Министерство образования и науки Российской Федерации

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 25 (44)

Серия: Строительство и архитектура
Научно-теоретический и производственно-практический журнал

2011

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta
Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura
(Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
Series: Civil Engineering and Architecture)

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград ВолгГАСУ

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Беликов Г. И., Калашников С. Ю. Исследование напряженно-деформированного состояния при изгибе сетчатых пластин по уточненной теории 8

Беликов Г. И., Калашников С. Ю. Оптимизация топологии подкрепленных цилиндрических оболочек мостовых конструкций при свободных колебаниях 14

Богомолова О. А., Ечевский А. В., Бабаханов Б. С., Соловьев А. В., Шиян С. И., Махова С. И., Калиновский С. А. Энергетический подход к расчету устойчивости нагруженных откосов 21

Богомолова О. А., Статун А. С., Соловьев А. В., Шиян С. И. Экспериментальное определение силы давления грунтового массива на потолочину подземного пространства прямоугольного сечения 31

Пилягин А. В., Махова С. И. Учет взаимного влияния фундаментов в расчетах по деформациям 36

Пшеничкина В. А., Махова С. И., Шубин М. А., Олянский Ю. И., Шапошников Н. А. Динамический расчет балки на стохастическом линейно деформируемом полупространстве 42

Пшеничкина В. А., Золина Т. В., Дроздов В. В., Харланов В. Л. Методика оценки сейсмической надежности зданий повышенной этажности 50

Масляев А. В., Олянский Ю. И. Анализ основных причин сейсмических воздействий на здания и сооружения г. Волгограда в 2010 г. 57

Кашарина Т. П., Клименко М. Ю., Мусаелян С. М. Оценка воздействия технической и инженерной систем городов на условия устойчивого водоснабжения 64

Кашарина Т. П., Глаголева А. С., Кашарин Д. В., Соловьев А. В., Махова С. И. Основные положения по расчету грунтонаполняемых оболочек 72

Кашарина Т. П., Приходько А. П., Пшеничкина В. А., Синяков В. Н., Шубин М. А. Обоснование параметров элементов грунтоармированной насыпи с применением композитных (полимерных) материалов 78

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., Беликов Г. И., Казачкова Л. О. Модернизация УДС г. Волгограда в проекте многофункционального комплекса «Глобал-Сити» 84
Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., Харланов В. Л., Алексиков И. С. Обоснование прочностных характеристик грунтов земляного полотна автомобильных дорог Нижнего Поволжья 89
Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., Харланов В. Л., Будрудинова А. Н. Особенности эксплуатации обочин автомобильных дорог Нижнего Поволжья 94
Буров В. В., Санжапов Б. Х., Акчурин Т. К. Модифицированные асфальтобетонные смеси для ямочного ремонта и прогнозирование их эксплуатационных свойств 99
Буров В. В., Вовко В. В., Акчурин Т. К. Технологии литого асфальтобетона и оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог 105
Калашников С. Ю., Алексиков С. В., Карпушко М. О., Куликов А. В. Оценка выпуска асфальтобетонной смеси с позиции математической статистики 110

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ДОРОЖНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ

Алексиков С. В., Беликов Г. И., Харланов В. Л., Волченко Ф. В. Математическая модель оптимизации маршрута движения снегоуборочной техники на городских дорогах 115
Куликов А. В., Карпушко М. О., Алексиков С. В., Санжапов Б. Х. Оптимизация перевозки асфальтобетонной смеси математическими методами 121
Лапынин Ю. Г. Проблемы экологической безопасности строительно-дорожных машин и некоторые пути их решения 126

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю., Дулькина Н. А. Влияние электрического поля на осушку воздуха в неподвижном слое силикагеля 133
Беспалов В. И. Методические основы принятия решений по снижению производственного травматизма при выполнении строительно-монтажных работ 139
Беспалов В. И. Систематизация результатов анализа условий труда и факторов производственного травматизма в строительстве 144
Пушенко С. Л., Страхова Н. А. Расчет производственных рисков в строительстве 149
Страхова Н. А., Пушенко С. Л. Идентификация факторов производственного риска в строительстве 154
Сидельникова О. П. Ограничение облучения работников предприятий природными источниками ионизирующих излучений 159

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Душко О. В. Пути снижения толщины дефектного слоя на поверхности высокотвердых керамических материалов 163
Душко О. В. Влияние состава смазочно-охлаждающей жидкости на процесс финишной обработки высокотвердых керамических материалов 171
Славина Е. В., Полянчиков Ю. Н. Повышение производительности доводки кварцевых кристаллических элементов путем управления процессом структурообразования в контакте притир — заготовка 178
Белаш Т. А. Об использовании конструкционных материалов с повышенными диссипативными свойствами в сейсмостойком строительстве 183
Бурханов А. И., Сопит А. В. Диэлектрические свойства экологически чистой сегнетокерамики 187
Гусельников Д. А., Шумячер В. М. Повышение эксплуатационных показателей изделий из бетонов, функционирующих в условиях интенсивных механических, температурно-влажностных воздействий и агрессивных сред 192
Шумячер В. М., Славин А. В., Кадильников А. В. Контактные взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью при шлифовании металлов 197

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Фокин В. М., Бодрова Е. В. Энергоэффективные схемы альтернативного использования геотермальных источников для систем теплоснабжения 201
Фокин В. М., Рощин П. А., Ковылин А. В. Обоснование использования спирального теплообменника кипящего слоя в тепловых и теплогенерирующих установках 208
Фокин В. М., Шило М. А., Таранов В. Ф. Исследование теплофизических параметров многослойной полимерной теплоизоляции с целью обеспечения экологической безопасности 212

Азаров В. Н., Богомолов А. Н., Сергина Н. М., Маринин Н. А., Чижов Н. И. О дисперсном составе пыли в системах аспирации и пневмоуборки 218
Азаров В. Н., Чижов Н. И., Мартынова О. А., Сокольцова А. С. Анализ существующих методов уборки осевшей пыли на предприятиях стройиндустрии и при ремонтно-строительных работах 224
Батманов В. П., Барсуков О. К., Барикаева Н. С. Организация контроля концентрации пыли в воздухе рабочей зоны с помощью оптических методов 228
Барсуков О. К., Барикаева Н. С., Батманов В. П. Влияние параметров микроклимата на изменение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны 233
Диденко В. Г., Шубин О. В., Голубева С. И. Улучшение качества внутрицеховой атмосферы за счет повышения локализующей эффективности местных отсосов 237
Диденко В. Г., Кисленко Т. А., Беломутенко С. В. Определяющие факторы циклонного обеспыливания вентиляционных выбросов 241
Бурлаченко О. В., Мензелинцева Н. В., Кабаева И. В. Анализ рассеивания выбросов в атмосферу строительных производств 246
Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Стефаненко С. И., Фомина Е. О. Экспериментальные исследования эффективности улавливания цементной пыли системами аспирации 249
Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Дьякова С. Б. Аппараты на базе зернистых фильтров для очистки промышленных выбросов от твердых частиц 252
Азаров В. Н., Богомолов А. Н., Гадаборшева Т. Б. Анализ запыленности воздуха рабочих зон цехов с многоуровневым расположением оборудования на предприятиях строительной индустрии 256
Богомолов А. Н., Гадаборшева Т. Б. Особенности перетекания воздуха рабочих зон в цехах строительного производства в зависимости от ограниченности технологических площадок строительными конструкциями 259
Лапынин Ю. Г. Обеспечение экологической безопасности газотранспортных систем 263
Москвичева Е. В., Доскина Э. П., Мойжес С. И. Применение теории оптимизации для снижения расхода воздуха, подаваемого в аэротенки 268
Ткаченко В. Н. О возможности и целесообразности катодной защиты трубопроводов тепловых и водопроводных сетей 275

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Фомичев В. Т., Лебедев Д. Н., Куликова И. А., Филимонова Н. А., Камкова С. В. Совершенствование технологии хлорирования природных и сточных вод 282
Фомичев В. Т., Филимонова Н. А., Куликова И. А., Камкова С. В. Обеззараживание инфицированных стоков препаратом на основе местного минерального сырья бишофита 287
Азаров В. Н., Воробьев А. В. О составе сточных вод и причинах возникновения взрывопожароопасных ситуаций на канализационных очистных сооружениях предприятий стройиндустрии 290
Потоловский Р. В., Болеев А. А., Москвичева Е. В., Акимов О. Ю., Радченко О. П. Особенности очистки сточных вод, содержащих водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения (ВД ЛКМ) 294
Болеев А. А., Потоловский Р. В., Радченко О. П., Москвичева Е. В., Рыльцева Т. Ф. Исследования внутренней коррозии канализационных трубопроводов 300
Серпокрылов Н. С., Борисова В. Ю., Скибина Е. В. Повышение среднесуточной окислительной способности биоценоза аэротенка 306

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Мусаелян С. М., Соловьев А. В. Оценка водных ресурсов малых рек Волгоградской области с целью строительства плотин и водохранилищ 311

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Юшкова Н. Г. Градостроительное планирование и стратегии инновационного развития регионов 320
Лобанов Ю. Н. Повышение притягательности объектов рекреационной архитектуры с учетом потенциала акваторий. Опыт Северо-Запада 332
Смирнов В. В. Школьное здание — составной элемент системы обслуживания населения 338

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кондратьева Л. Н. Культовый объект как архитектурно-конструктивное решение венчающей части многофункционального комплекса 341
Овчинникова Н. П. Окно как элемент фасада 345

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ

Волков С. А. Математические константы, гармония, архитектура и градостроительство 362

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Сидоренко В. Ф., Аброськина Н. В., Сидоренко И. В. Строительство как фактор негативного экологического воздействия на урбанизированных территориях 374

Желтобрюхов В. Ф., Колодницкая Н. В., Осипов В. М. Управление экологической безопасностью строительства на основе совершенствования системы мониторинга урбанизированных территорий 378

Желтобрюхов В. Ф., Полозова И. А., Бурханов А. И. Реализация экологически безопасной технологии водоподготовки на ОАО «Себряковцемент» 383

Стефаненко И. В., Соколов П. Э. Состояние, перспективы и задачи развития радиационного контроля в строительстве 388

Соколова Е. А., Диденко В. Г., Беломутенко С. В. Оценка факторов воздействия выбросов АЗС на воздушную среду их рабочей зоны и прилегающих территорий 392

Азаров В. Н., Калюжина Е. А. Об организации мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ на примере г. Волгограда 398

Азаров В. Н., Тертишников И. В., Калюжина Е. А., Маринин Н. А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$) в воздушной среде 402

Азаров В. Н., Горшков Е. В., Недре А. Ю., Воробьёв В. И. О некоторых мерах по снижению выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (PM_{10} и $PM_{2,5}$) на основе опыта Нидерландов 407

Лапынин Ю. Г. Экологически безопасный способ сооружения подземных инженерных коммуникаций 411

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Волков В. И. Информационное обеспечение задач оценки состояния природно-техногенной сферы с позиций градостроительства 415

Садовникова Н. П., Санжапов Б. Х. Информационно-аналитическая поддержка задач стратегического экологического оценивания безопасности гражданских территорий 421

Садовникова Н. П., Санжапов Б. Х., Гнедкова Е. П. Разработка концепции системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий 427

НАШИ АВТОРЫ 433

Contens

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES. SOIL ENGINEERING. STRUCTURAL MECHANICS

Belikov G. I., Kalashnikov S. Yu. Stress-strain analysis by flexure of wire-meshes by refined theory 8
Belikov G. I., Kalashnikov S. Yu. Layout operation of stiffened cylindrical shells of the bridge conduits under free oscillations 14
Bogomolova O. A., Yechevski A. V., Babakhanov B. S., Solovev A. V., Shiyan S. I., Makhova S. I., Kalinovski S. A. Energy approach to calculation of loaded slopes stability 21
Bogomolova O. A., Statun A. S., Solovev A. V., Shiyan S. I. Press force experimental determination of soil mass on ceiling of underground space with rectangular cross-section 31
Pilyagin A. V., Makhova S. I. List of foundations cross-feed in calculations on deformations 36
Pshenichkina V. A., Makhova S. I., Shubin M. A., Olyanski Yu. I., Shaposhnikov N. A. Beam dynamical analysis on random linearly deformable half-space 42
Pshenichkina V. A., Zolina T. V., Drozdov V. V., Kharlanov V. L. Estimation technique of seismic reliability of tier buildings 50
Maslyayev A. V., Olyanski Yu. I. Root cause analysis of seismic loads on Volgograd buildings and structures in 2010 57
Kasharina T. P., Klimenko M. Yu., Musayelyan S. M. Impact assessment of engineering and technical system of cities on conditions of stable water feed 64
Kasharina T. P., Glagoleva A. S., Kasharin D. V., Solovev A. V., Makhova S. I. Calculations conceptual issues of building envelopes with soil 72
Kasharina T. P., Prikhodko A. P., Pshenichkina V. A., Sinyakov V. N., Shubin M. A. Parameters substantiation of mound with the reinforced earth elements using composite (polymeric) materials 78

DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS

Alexikov S. V., Sanzhapov B. Kh., Belikov G. I., Kazachkova L. O. Volgograd street and road network modernization in project of multipurpose complex “Global-Siti” 84
Alexikov S. V., Sanzhapov B. Kh., Kharlanov V. L., Alexikov I. S. Ground strength properties basis of grade level on Lower Volga Region highways 89
Alexikov S. V., Sanzhapov B. Kh., Kharlanov V. L., Budrudinova A. N. Exploitation particularities of highways roadsides of Lower Volga Region 94
Burov V. V., Sanzhapov B. Kh., Akchurin T. K. Modified asphalt mixes for patching and forecasting of their running abilities 99
Burov V. V., Vovko V. V., Akchurin T. K. Technologies of guss asphalt concrete and assessment of highways condition with respect to use for traffic 105
Kalashnikov S. Yu., Alexikov S.V., Karpushko M.O., Kulikov A.V. Analysis of road concrete mix yield from of mathematical statistics perspective 110

MECHANISATION AND AUTOMATIZATION IN CONSTRUCTION. ROAD, CONSTRUCTION AND CARRYING AND LIFTING MACHINES

Alexikov S. V., Belikov G. I., Kharlanov B. L., Volchenko F. V. Mathematical model of movement route optimization of snow-clearing machinery on municipal road 115
Kulikov A. V., Karpushko M. O., Alexikov S. V., Sanzhapov B. Kh. Optimization of asphalt concrete mix transportation by mathematical methods 121
Lapynin Yu. G. Environmental safety problems of construction and road machines and some solutions their approaches 126

LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

Golovanchikov A. B., Yefremov M. Yu., Dulkina N. A. Influence of electric field on air drying in fixed bed of silica gel 133
Bespalov V. I. Methodic basis of decision making to industrial injuries reduction in construction and erection work 139
Bespalov V. I. Results range of analysis of working environment and factors of industrial injuries in building 144
Pushenko S. L., Strakhova N. A. Calculation of industrial risks in construction 149
Strakhova N. A., Pushenko S. L. Factors identification of industrial risk in construction 154
Sidelnikova O. P. Radiation limitation of factory workers of ionization radiations natural sources 159

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Dushko O. V. Reduction methods of defective layer depth on highly rigid ceramic materials surface 163
Dushko O. V. Influence of lubricating-cooling fluid composition on final polishing process of highly rigid ceramic materials 171
Slavina Ye. V., Polyanchikov Yu. N. Development productivity gains of quartz crystal elements by process control of structure formation in “abrading tool — blank part” contact 178
Belash T. A. About use of constructional materials with higher dissipative properties in antiseismic construction 183
Burkanov A. I., Sopit A. V. Dielectric properties of ecologically harmless segnetoceramic 187
Guselnikov D. A., Shumyacher V. M. Performance criteria rise of concrete products in conditions of intense mechanical influence of temperature and moisture and corrosion environments 192
Shumyacher V. M., Slavin A. V., Kadilnikov A. V. Contact interaction of abrasive grains with work surface by glazing of metals 197

HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION

Fokin V. M., Bodrova Ye. V. Energy-efficient schemes for alternative uses of geothermal resources for heat supply system 201
Fokin V. M., Roshchin P. A., Kovylin A. V. Use substantiation of spiral heat exchanger of boiling bed in thermal and heat producing installations 208
Fokin V. M., Shilo M. A., Taranov V. F. Thermophysical parameters research of multilayer polymer heat insulating by way of environment safety measures 212
Azarov V. N., Bogomolov A. N., Sergina N. M., Marinin N. A., Chizhov N. I. About particle size distribution in aspiration systems and pneumocleaning 218
Azarov V. N., Chizhov N. I., Martynova O. A., Sokoltsova A. S. Analysis of existing methods of settled dust cleaning at enterprises of construction industry and by repair and construction works 224
Batmanov V. P., Barsukov O. K., Barikayeva N. S. Inspection arrangement of dust loading in air of workplace by optical method 228
Barsukov O. K., Barikayeva N. S., Batmanov V. P. Influence of microclimate parameters on change of dust concentration in workplace air 233
Didenko V. G., Shubin O. V., Golubeva S. I. Quality improvement of interplant atmosphere due to isolate efficiency increase of local exhausts 237
Didenko V. G., Kislenko T. A., Belomutenko S. V. Determinants of cyclone dust control of atmospheric emissions 241
Burlachenko O. V., Menzelintseva N. V., Kabayeva I. V. Analysis of atmospheric emissions dissipation of construction operations 246
Menzelintseva N. V., Karapuzova N. Yu., Stefanenko S. I., Fomina Ye. O. Experimental investigation of collection efficiency of cement kiln dust by aspiration systems 249
Menzelintseva N. V., Karapuzova N. Yu., Dyakova S. B. Devices on basis of granular-bed filters for cleaning of industrial emissions from particulate matters 252
Azarov V. N., Bogomolov A. N., Gadaborsheva T. B. Analysis of dustiness workplaces air zones plants with multi-level equipment arrangement at enterprises of construction industry 256
Bogomolov A. N., Gadaborsheva T. B. Characteristics of working zone air flow-over in plants of construction operations depending on limitation of loading platforms building constructions 259
Lapynin Yu. G. Environment safety control of gas transmission systems 263
Moskvicheva Ye. V., Doskina E. P., Moizhes S. I. Application of optimization theory for air cost saving in aeration tanks 268
Tkachenko V. N. About possibility and desirability of pipelines cathodic protection of heat and water systems 275

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Fomichev V. T., Lebedev D. N., Kulikova I. A., Filimonova N. A., Kamkova S. V. Chlorination technological development of natural and waste waters 282
Fomichev V. T., Filimonova N. A., Kulikova I. A., Kamkova S. V. Sterilizing of infected sewages by use of preparation based on seater minerals of bischofite 287
Azarov V. N., Vorobev A .V. About waste waters composition and causes of explosive situations on sewage treatment plant of enterprises in construction industry 290
Potolovski R. V., Boleyev A. A., Moskvicheva Ye. V., Akimov O. Yu., Radchenko O. P. Sewage purification particularity with water-dispersion acrylic paint-and-lacquer materials of building purpose (WD-PLM) 294
Boleyev A. A., Potolovski R. V., Radchenko O. P., Moskvicheva Ye. V., Ryltseva T. F. Researches of internal corrosion of sewer pipelines 300
Serpokrylov N. S., Borisova V. Yu., Skibina Ye. V. Promotion of daily average oxidizing ability of aerotank biocenose 306

HYDROTECHNICAL ENGINEERING

Musayelyan S. M., Solovev A. V. Water assessment of headwaters in the Volgograd Region by way of dykes and reservoirs construction 311

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT. CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY

Yushkova N. G. Town-planning design and strategy of region innovation development 320
Lobanov Yu. N. Attractiveness promotion of recreational architecture objects included potential of water areas: experience of Noth-West 332
Smirnov V. V. School building is component of public service system 338

GENERAL ARCHITECTURE. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTONICAL ACTIVITY

Kondrateva L. N. Cult object as architectural and structural concept of mixed-up complex crowing 341
Ovchinnikova N. P. Window as element of facade 345

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE

Volkov S. A. Mathematic constants, harmony, architecture and urban planning 362

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Sidorenko V. F., Abroskina N. V., Sidorenko I. V. Construction as negative ecological effect on urban lands 374
Zheltobryukhov V. F., Kolodnitskaya N. V., Osipov V. M. Control of construction environmental safety on basis of monitoring system perfection of urban territories 378
Zheltobryukhov V. F., Polozova I. A., Burkhanov A. I. Implementation of water conditioning environmentally safe technology on JSC “Sebryakovtsement” 383
Stefanenko I. V., Sokolov P. E. State, perspectives and development objectives of monitoring in construction 388
Sokolova Ye. A., Didenko V. G., Belomutenko S. V. Characterization of influencing factor of GFS emissions in air of their operating space and surrounding grounds 392
Azarov V. N., Kalyuzhina Ye. A. About arrangements for monitoring of PM_{10} and $PM_{2,5}$ by example of Volgograd 398
Azarov V. N., Tertishnikov I. V., Kalyuzhina Ye. A., Marinin N. A. About concentration estimation of fine dust (PM_{10} и $PM_{2,5}$) in air 402
Azarov V. N., Gorshkov Ye. V., Nedre A. Yu., Vorobev V. I. About methods to reduce emissions of particulate matters (PM_{10} and $PM_{2,5}$) empirically Netherlands 407
Lapynin Yu. G. Environmentally safe method of underground engineering lines constructions 411

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volkov V. I. Informational support of condition estimation of natural and anthropogenic sphere from town-planning perspectives 415
Sadovnikova N. P., Sanzhapov B. Kh. Information analysis support of strategic environmental estimation problem 421
Sadovnikova N. P., Sanzhapov B. Kh., Gnedkova Ye. P. Conceptual design of decision support system on environmental safety supporting of urban areas development 427

OUR AUTHORS 433

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 624.072.33.072.14

Г. И. Беликов, С. Ю. Калашников

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ СЕТЧАТЫХ ПЛАСТИН ПО УТОЧНЕННОЙ ТЕОРИИ

Построена уточненная теория тонких упругих однослойных сетчатых пластин как некоторых континуальных систем на более строгом учете деформаций стержней.

Коррекция к стандартному решению обусловлена учетом трех факторов — поперечного сдвига, неклассического осевого напряжения и поперечного нормального напряжения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сетчатая пластина, изгиб, уточненная теория, оценка поправок.

The refined theory of thin elastic single-ply wire-meshes as some continual systems is worked out the more rigorous keeping of the canes deformations. The correction due to the standard solution is based on three factors — transverse shear, non-classical axial stress and transverse normal stress.

K e y w o r d s: wire-mesh, flexure, refined theory, evaluation of amendments.

Сетчатые пластины представляют собой сложную стержневую конструкцию, образованную группой композитных стержней одного направления. Оси стержней образуют семейство густо расположенных прямых в срединной поверхности пластины.

В работе более строго представлена теория деформаций стержней пластины, которая определяется классической теорией Бернулли и Эйлера, С. П. Тимошенко и ее различными модификациями. Главное различие между классической теорией Бернулли — Эйлера, теорией Тимошенко и ее различными модификациями для изотропных материалов и точным решением теории упругости — все уравнения для стержней написаны в плоском напряженном состоянии.

Основное внимание уделено вопросам теории однослойных сетчатых пластинок на базе теорий, представленных в работах [1] и [2].

Следует отметить, что статическая версия Тимошенко учитывает поперечную деформацию сдвига, но не учитывает поперечное нормальное напряжение.

Уточненная теория позволяют дать относительную оценку важности учета поправок, вносимых в классическую теорию и теорию Тимошенко при исследовании стержней и сетчатых пластин, выполненных из композитных материалов.

Используем метод, представленный в работе [1], где исследуется прямолинейный стержень. Метод основан на исследовании плоского изгиба тонких балок с прямоугольным поперечным сечением в плоском напряженном состоянии. Уточненная теория справедлива также при исследовании и бесконечно широких сетчатых пластин на базе теории плоской деформации.

Примем поперечное сечение прямолинейного стержня в виде прямоугольника с высотой h и шириной b.

Принимая закон Гука для плоского напряженного состояния, получаем формулы для определения продольных и поперечных перемещений и нормальных напряжений в прямолинейном стержне:

$$u(x,z) = u(x) - z \cdot w'(x) + \frac{Q}{2GJ}\left(h^2 z - \frac{z^3}{3}\right) + \nu\frac{Oz^3}{6EJ} + \nu\frac{N'z^3}{2EF},$$

$$w(x,z) = w(x) - \frac{\nu}{E}\left(\frac{N}{F}z - \frac{M}{J}z^3\right) + \frac{Q'}{2EJ}\left(\frac{z^4}{12} - \frac{h^2 z^2}{2} + \frac{2h^3 z}{3}\right), \qquad (1)$$

где $w(x, z)$ — перемещение в направлении нормали к срединной поверхности; N, M, Q — соответственно продольная сила, изгибающий момент, поперечная сила в стержне ($Q = -M'$); F, G — соответственно площадь и момент инерции поперечного сечения; E, G, ν — соответственно модуль упругости, модуль упругости при сдвиге, коэффициент Пуассона.

Штрих означает дифференцирование по продольной переменной (x).

В отличие от классической теории или теории Тимошенко, поперечное перемещение зависит нелинейно от координаты z.

Используя закон Гука и формулу (1), получим формулу для определения нормального напряжения

$$\sigma_x = \frac{N}{F} - \frac{M}{J}z + \underbrace{\frac{O'}{3J}\left(\frac{E}{2G} - \nu\right)\left(\frac{3h^2 z}{5} - z^3\right)}. \qquad (2)$$

В формуле последнее слагаемое является неклассическим вкладом в осевое напряжение. Следует отметить, что этот вклад является желательной доработкой.

Для определения продольной силы и изгибающего момента в сечении стержня получены следующие формулы:

$$N = EF\varepsilon + \nu\frac{h}{2}Q', \quad M = -EJ\chi - \left(0{,}4\frac{E}{G} - 0{,}3\nu\right)\frac{h_i^2}{4}Q'. \qquad (3)$$

Здесь ε, χ — компоненты осевой и изгибной деформаций стержня.

Из формулы (1) следует, если принять $\nu = 0$, то функция w не будет зависеть от координаты z. В этом случае теория будет учитывать депланацию поперечного сечения стержня. Если принять и $G = \infty$, то получим классическую теорию.

Получены новые уравнения для плоского изгиба стержней. Два дополнительных эффекта, поперечное нормальное и неклассическое осевое напряжения в сложении имеют тот же порядок, что и поперечный сдвиг в теории изгиба.

Новые уравнения дают решения точные или неразличимые от точного, т. е. показывают значительно улучшенные результаты.

В процессе исследования можно вводить константы, позволяющие оценивать вклад факторов, уточняющих классическую теорию.

Построим уточненную теорию упругих сетчатых пластинок, выполненных из композиционных материалов, которые можно рассматривать как континуум по [2] с учетом более строгой теории деформаций стержней.

Для срединной поверхности сетчатой пластинки примем ортогональную систему координат x, y.

Внутренние усилия и моменты будем считать равномерно распределенными по всему сечению модели [2].

При рассмотрении расчетной модели статические и геометрические уравнения совпадают с соответствующими уравнениями упругой теории сплошных пластинок.

Уранения равновесия:

$$\frac{\partial N_1}{\partial x}+\frac{\partial S_1}{\partial y}+X=0;\ \ \frac{\partial N_2}{\partial x}+\frac{\partial S_2}{\partial y}+Y=0;$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial x}+\frac{\partial Q_2}{\partial y}+Z=0;$$

$$\frac{\partial H_1}{\partial x}-\frac{\partial M_2}{\partial y}-Q_2=0;\ \ \frac{\partial H_2}{\partial x}-\frac{\partial M_1}{\partial y}-Q_1=0. \qquad (4)$$

Геометрические уравнения:

$$\varepsilon_1=\frac{\partial u}{\partial x};\ \ \varepsilon_2=\frac{\partial v}{\partial y};\ \ \varepsilon=\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x};$$

$$\chi_1=-\frac{\partial^2 w}{\partial x^2};\ \ \chi_2=-\frac{\partial^2 w}{\partial y^2};\ \ \tau=-\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}. \qquad (5)$$

Третью группу уравнений упругости получим исходя из континуальной расчетной схемы. При этом жесткость стержней на кручение учитывать не будем ($J_{3i}=0$).

Для принятой модели сетчатой пластины, состоящей из семейства стержней, формулы погонных усилий и моментов:

в сечении x = const,

$$N_1=\sum N_i^*\cos^2\varphi_i/a_i,$$

$$M_1=\sum M_i^*\cos^2\varphi_i/a_i,$$

$$Q_1=\sum Q_i^*\cos\varphi_i/a_i; \qquad (6)$$

в сечении y = const,

$$N_2=\sum N_i^*\sin^2\varphi_i/a_i,\ \ M_2=\sum M_i^*\sin^2\varphi_i/a_i,\ \ Q_2=\sum Q_i^*\sin\varphi_i/a_i. \qquad (7)$$

Здесь усилия и моменты, отмеченные звездочкой, определяются в стержнях сетчатой пластины.

Значения погонных сдвигающих усилий и крутящих моментов определяются по формулам:

$$S = S_1 = S_2 = \sum N_i^* \sin\varphi_i \cos\varphi_i / a_i,$$

$$H = H_1 = H_2 = -\sum M_i^* \sin\varphi_i \cos\varphi_i / a_i. \qquad (8)$$

Индекс i принимает значение от 1 до n. Угол φ_i — угол между осью x и осью стержня. Поворот от оси x к оси y, угол положителен.

Усилия и моменты в стержнях сетчатой пластинки по уточненной теории, в отличие от теории [2], зависят не только от деформаций стержней ε^*, χ^*, но и от поперечной силы Q^* в стержнях.

$$N_i^* = E_i F_i \varepsilon_i^* + \nu_i \frac{h_i}{2} \nabla_i Q_i^*,$$

$$M_i^* = -E_i J_{1i} \chi_i^* - (0,4\frac{E}{G} - 0,3\nu)\frac{h_i^2}{4}\nabla_i Q_i^*, \quad Q_i^* = -\nabla_i M_i^*, \qquad (9)$$

где $\nabla_i = \cos\varphi_i \frac{\partial}{\partial x} + \sin\varphi_i \frac{\partial}{\partial y}$ высота сечения стержня.

Используя формулы преобразования компонентов деформации теории упругости, для компонентов деформации оси i-го семейства сетчатой пластины получим

$$\varepsilon_i^* = \varepsilon_1 \cos^2\varphi_i + \varepsilon_2 \sin^2\varphi_i + \omega \sin\varphi_i \cos\varphi_i,$$

$$\chi_i^* = \chi_1 \cos^2\varphi_i + \chi_2 \sin^2\varphi_i + \tau \sin 2\varphi_i,$$

$$\tau_i^* = (\chi_1 - \chi_2)\sin\varphi_i \cos\varphi_i + \tau \cos 2\varphi_i. \qquad (10)$$

Формулы (6) — (9) представляют собой уравнения теории сетчатой пластины как континуальной системы.

Полная система уравнений уточненной теории сетчатых пластинок, выполненных из композитных материалов, определяется формулами (4) — (10).

Искомые функции должны удовлетворять как системе дифференциальных уравнений, так и граничным условиям.

Приведем некоторые частные случаи топологии сетки пластинок.

Тип 1. Пластина состоит из четырех семейств стержней ($n = 4$) (рис. 1). Стержни первого и второго стержней одинаковы. Топология сетки имеет следующие параметры:

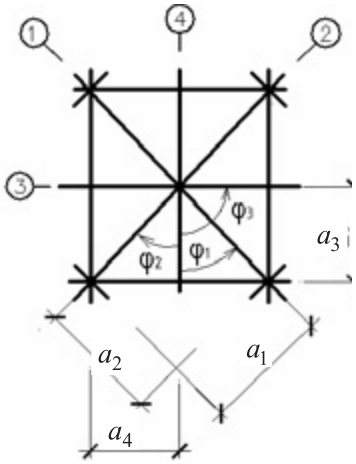
$$\varphi_1 = -\varphi_2 = \varphi;\ \varphi_3 = \pi/2;\ \varphi_4 = 0;\ a_1 = a_2 = a;\ a_3 = a/2\cos\varphi;\ a_3 = a/2\sin\varphi, \qquad (11)$$

где φ_i — угол между осью x и осью стержня (отсчитывается от оси x в направлении оси y), a_i — расстояние между осями соседних стержней.

Тип 2. Пластинка состоит из трех семейств стержней ($n = 3$). Она получается из приведенной на рис. сетки, если считать, что третье либо четвертое семейство стержней отсутствуют.

Тип 3. Пластинка состоит из двух семейств стержней ($n = 2$) — ромбическая сетка. Она получается из приведенной на рис. сетки, если считать, что третье и четвертое семейство стержней отсутствуют.

Тип 4. Пластинка состоит из двух семейств стержней ($n = 2$) — прямоугольная сетка. Она получается из приведенной на рис. сетки, если считать, что первое и второе семейство стержней отсутствуют.



Сетка из четырех семейств стержней

В качестве примера рассмотрим статический расчет сетчатой квадратной пластины, образованной двумя семействами стержней типа 3, шарнирно опертой по контуру. Все стержни одинаковы и сделаны из одного материала,

$$\frac{E}{G} = 30;\ \nu = 0,3 \text{ при } \varphi_1 = -\varphi_2 = \varphi = 45°;\ a_1 = a_2 = a.$$

Нормальная нагрузка распределена по поверхности $q = \text{const}$.

По контуру пластинка имеет следующие граничные условия:

$$w = M_1 = 0 \text{ при } x = 0, l_x,$$

$$w = M_2 = 0 \text{ при } y = 0, l_y. \qquad (12)$$

Из системы дифференциальных уравнений найдем

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 4\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{2a}{EJ} q,$$

$$M = M_1 = M_2 = \frac{EJ}{2a}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)\left(0,4\frac{E}{G} - 0,3\nu\right)\frac{h^2}{8a\sqrt{2}} q. \qquad (13)$$

Решение уравнений (13) получено в виде двойных тригонометрических рядов. Была исследована зависимость решения задачи от классической теории, от теории Тимошенко и уточненной теории. Анализ результатов показывает, что классическая теория при больших значениях E/G может дать существенную погрешность. Более строгая теория дает увеличение напряжений и нормальных перемещений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Rehfield L. W. and Murthy P. L. N.* Toward a Engineering Theory of Bending: Fundamentals // AIAA Journal. 1982. Vol. 20, № 4. P. 693—699.

2. *Пшеничнов Г. И.* Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 332 с.

3. *Беликов Г. И.* Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига. Волгоград : ВолгГАСА, 2003. 298 с.

1. *Rehfield L. W. and Murthy P. L. N.* Toward a Engineering Theory of Bending: Fundamentals // AIAA Journal. 1982. Vol. 20, № 4. P. 693—699.

2. *Pshenichnov G. I.* Teoriya tonkikh uprugikh setchatykh obolochek i plastinok. M. : Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematichekoy literatury, 1982. 332 s.

3. *Belikov G. I.* Statika, dinamika i ustoychivost setchatykh obolochek s uchetom poperechnogo sdviga. Volgograd : VolgGASA, 2003. 298 s.

© Беликов Г. И., Калашников С. Ю., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Беликов Г. И., Калашников С. Ю. Исследование напряженно-деформированного состояния при изгибе сетчатых пластин по уточненной теории // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 8—13.

УДК 634.074.433: 624.21.09

Г. И. Беликов, С. Ю. Калашников

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Рассмотрены вопросы оптимального проектирования подкрепленных цилиндрических оболочек при свободных колебаниях на базе континуальной расчетной схемы с учетом поперечного сдвига.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подкрепленные оболочки; свободные колебания; оптимизация.

The optimal design problems of the stiffened cylindrical shells are considered under free oscillations on the basis of the continual analytical model with account of the transverse shear.

K e y w o r d s: stiffened shells, free oscillations; optimization.

Исследованию оптимальности сетчатых цилиндрических оболочек посвящено сравнительно немного работ. В последнее время все исследования проводились методами математического программирования с использованием ЭВМ. Однако они, обеспечивая высокую точность, не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к проектировочным методам, так как не имеют аналитической формы и поэтому не могут с успехом использоваться в комплексных задачах.

В данной работе исследование оптимальности проводилось для цилиндрических оболочек, подкрепленных четырьмя группами ребер жесткости. Совершенство подкрепленной оболочки оценивается величиной частоты основного тона колебаний при фиксированной массе оболочки.

Задача оптимизации решалась аналитически методом сканирования. Полученные зависимости позволили получить оптимальные параметры оболочки — угол сетки подкрепления, тип сетки подкрепления и расположение ребер с наружной или внутренней стороны, при которых низшая частота свободных колебаний будет максимальная.

Получены основные уравнения свободных колебаний подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига.

За расчетную модель подкрепленной оболочки принята континуальная модель Г. И. Пшеничнова [1] с учетом поперечного сдвига по С. П. Тимошенко.

Параметры ребер сетки оболочки, образованной семействами стержней четырех направлений, тип сетки 1, имеют следующий вид: ребра первого и второго направлений одинаковы и

$$\varphi_1 = -\varphi_2 = \varphi;\ \varphi_3 = \pi/2;\ \varphi_4 = 0;$$

$$a_1 = a_2 = a;\ a_3 = a/2\cos\varphi;\ a_3 = a/2\sin\varphi.$$

Тонкая, в общем случае конструктивно анизотропная оболочка, усиленная ребрами четырех направлений, рассматривается как многослойная оболочка, в которой система ребер заменена конструктивно-анизотропными слоями [1, 2].

Уравнения движения свободных колебаний получим из статических уравнений введением в первые три уравнения сил инерции

$$-\rho h_* \frac{\partial^2 u}{\partial t^2},\ -\rho h_* \frac{\partial^2 v}{\partial t^2},\ -\rho h_* \frac{\partial^2 w}{\partial t^2},$$

а в последние два — сил инерций вращения

$$-\rho J_* \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial t^2},\ -\rho J_* \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial t^2},$$

где ρ — плотность материала оболочки (все ребра и обшивка подкрепленной оболочки выполнены из одного материала с одинаковой плотностью); ρh_* — масса, приходящаяся на единицу площади срединной поверхности оболочки; ρJ_* — массовый момент инерции рассматриваемого объема; θ_1, θ_2 — углы поворота отрезка нормали к срединной поверхности оболочки.

Приведенные толщина и момент инерции определяются по формулам

$$h_* = h_0 + \frac{2F_1}{a_1} + \frac{F_3}{a_3} + \frac{F_4}{a_4},\quad J_* = \frac{h_0^3}{12} + \frac{2J_1}{a_1} + \frac{J_3}{a_3} + \frac{J_4}{a_4},$$

где h_0 — толщина обшивки; $2F / a_1 + F_3 / a_3 + F / a_4$ — приведенная толщина ребер; F_i, J_i — площадь и момент инерции поперечного сечения i-го ребра; a_{i-} — расстояние между ребрами i-го направления.

Уравнения свободных колебаний расчетной модели подкрепленной цилиндрической оболочки с учетом сил инерции и инерции вращения имеют вид

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial N_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial S}{\partial \beta} - R\rho h_* \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0,\\
&\frac{\partial N_2}{\partial \beta} + \frac{\partial S}{\partial \alpha} + Q_2 - R\rho h_* \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0,\\
&-N_2 + \frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} - R\rho h_* \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0,\\
&\frac{\partial H_2}{\partial \beta} + \frac{\partial M_1}{\partial \alpha} - RQ_1 - R\rho J_* \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial t^2} = 0,\\
&\frac{\partial H_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial M_2}{\partial \beta} - RQ_2 - R\rho J_* \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial t^2} = 0.
\end{aligned} \tag{1}$$

Геометрические уравнения с учетом поперечного сдвига принимают вид [2]

$$\begin{aligned}
&\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{R\partial \alpha},\ \varepsilon_2 = \frac{\partial v}{R\partial \beta} + \frac{1}{R} w,\ \omega = \frac{\partial v}{R\partial \alpha} + \frac{\partial u}{R\partial \beta},\\
&\chi_1 = \frac{\partial \theta_1}{R\partial \alpha},\ \chi_2 = \frac{\partial \theta_2}{R\partial \beta},\ \beta_1 = \theta_1 + \frac{\partial w}{R\partial \alpha},\\
&\beta_2 = \theta_2 + \frac{\partial w}{R\partial \beta},\ 2\tau = \frac{\partial \theta_2}{R\partial \alpha} + \frac{\partial \theta_1}{R\partial \beta}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Третья группа уравнений состояния (уравнений упругости) зависит от структуры сетки и ее материала:

$$N_1 = a_{11}\varepsilon_1 + a_{12}\varepsilon_2 + a_{13}\chi_1 + a_{14}\chi_2, \quad N_2 = a_{21}\varepsilon_1 + a_{22}\varepsilon_2 + a_{23}\chi_1 + a_{24}\chi_2,$$

$$S = a_{55}\omega + a_{56}2\tau,$$

$$M_1 = -(a_{31}\varepsilon_1 + a_{32}\varepsilon_2 + a_{33}\chi_1 + a_{34}\chi_2), \tag{3}$$

$$M_2 = -(a_{41}\varepsilon_1 + a_{42}\varepsilon_2 + a_{43}\chi_1 + a_{44}\chi_2),$$

$$H_1 = a_{65}\omega + a_{66}2\tau, \quad H_2 = a_{75}\omega + a_{76}2\tau, \quad Q_1 = a_{82}\beta_1, \quad Q_2 = a_{98}\beta_2,$$

где

$$a_{11} = \frac{E_0 h}{1-\nu_0} + \frac{2E_1F_1}{a_1}\cos^4\varphi + \frac{E_4F_4}{a_4},$$

$$a_{12} = a_{21} = \frac{E_0 h}{1-\nu_0}\nu_0 + \frac{2E_1F_1}{a_1}\cos^2\varphi\sin^3\varphi,$$

……

$$a_{89} = k_1^2\frac{2G_1F_1}{a_1}\cos^2\varphi + k_3^2\frac{G_3F_3}{a_3} + k_0^2\frac{E_0 h}{2(1+\nu_0)}.$$

Выразив усилия через перемещения u, v, w, θ_1, θ_2 и подставив в (1), получим систему пяти дифференциальных уравнений в перемещениях

$$L_{11}^* u + L_{12}v + L_{13}w + L_{14}\theta_1 + L_{15}\theta_2 - 0,$$

$$L_{21}u + L_{22}^* v + L_{23}w + L_{24}\theta_1 + L_{25}\theta_2 - 0,$$

$$L_{31}u + L_{32}v + L_{33}^* w + L_{34}\theta_1 + L_{35}\theta_2 - 0, \tag{4}$$

$$L_{41}u + L_{42}v + L_{43}w + L_{44}^*\theta_1 + L_{45}\theta_2 - 0,$$

$$L_{51}u + L_{52}v + L_{53}w + L_{54}\theta_1 + L_{55}^*\theta_2 - 0,$$

где

$$L_{11}^* = L_{11} - R^2\rho h_* \frac{\partial^2}{\partial t^2}, \quad L_{22}^* = L_{22} - R^2\rho h_* \frac{\partial^2}{\partial t^2},$$

$$L_{33}^* = L_{33} - R^2\rho h_* \frac{\partial^2}{\partial t^2}, \quad L_{44}^* = L_{44} - R^2\rho J_* \frac{\partial^2}{\partial t^2}, \quad L_{55}^* = L_{55} - R^2\rho J_* \frac{\partial^2}{\partial t^2}.$$

Решение уравнений (4) при граничных условиях шарнирного опирания

$v = w = \theta_2 \equiv 0$ и $N_1 = M_1 \equiv 0$ при $\alpha = 0, L$

может быть получено в виде разложения в двойных тригонометрических рядах.

В случае установившихся гармонических свободных колебаний с круговой частотой ω компоненты обобщенных перемещений и углов принимаем в виде двойных тригонометрических рядов

$$u = \sum_{m=1}^{\infty} U_{mn} \cos\lambda_n \alpha \cos m\beta \cos\omega_{mn} t; \quad v = \sum_{m=1}^{\infty} V_{mn} \sin\lambda_n \sin m\beta \sin\omega_{mn} t;$$

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} W_{mn} \sin\lambda_n \alpha \cos m\beta \cos\omega_{mn} t; \tag{5}$$

$$\theta_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \theta_{1mn} \cos\lambda_n \alpha \cos m\beta \cos\omega_{mn} t; \quad \theta_2 = \sum_{m=1}^{\infty} \theta_{2mn} \sin\lambda_n \sin m\beta \sin\omega_{mn} t.$$

Здесь $\lambda = \dfrac{n\pi R}{L}$, n — число полуволн вдоль образующей, m — число полуволн вдоль параллели.

Подставив (5) в (4), приходим к системе пяти линейных алгебраических уравнений относительно $U_{mn}, V_{mn}, W_{mn}, \theta_1, \theta_2$.

$$\begin{aligned}
&a^*_{11mn} U_{mn} + a_{12mn} V_{mn} + a_{13mn} W_{mn} + a_{14mn}\theta_1 + a_{15mn}\theta_{2mn} = 0,\\
&a_{21mn} U_{mn} + a^*_{22mn} V_{mn} + a_{23mn} W_{mn} + a_{24mn}\theta_1 + a_{25mn}\theta_{2mn} = 0,\\
&a_{31mn} U_{mn} + a_{32mn} V_{mn} + a^*_{33} W_{mn} + a_{34mn}\theta_1 + a_{35mn}\theta_{2mn} = 0,\\
&a_{41mn} U_{mn} + a_{42mn} V_{mn} + a_{43mn} W_{mn} + a^*_{44mn}\theta_1 + a_{45mn}\theta_{2mn} = 0,\\
&a_{51mn} U_{mn} + a_{52mn} V_{mn} + a_{53mn} W_{mn} + a_{54mn}\theta_1 + a^*_{55mn}\theta_{2mn} = 0,
\end{aligned} \tag{6}$$

где

$$a^*_{11} = a_{11} - h_*\omega^*_{mn}, \quad a^*_{22} = a_{22} - h_*\omega^*_{mn}, \quad a^*_{33} = a_{33} - h_*\omega^*_{mn},$$

$$a^*_{44} = a_{44} - h_*\omega^*_{mn}, \quad a^*_{55} = a_{55} - h_*\omega^*_{mn}.$$

При осесимметричных свободных колебаниях ($m = 0$) приходим к алгебраической системе трех линейных однородных уравнений:

$$\begin{aligned}
&a^*_{110n} U_{0n} + a_{130n} W_{mn} + a_{140n}\theta_1 = 0,\\
&a_{310n} U_{0n} + a^*_{330n} W_{mn} + a_{340n}\theta_1 = 0,\\
&a_{410n} U_{mn} + a_{430n} W_{mn} + a^*_{440n}\theta_1 = 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Уравнение частот свободных колебаний получим, приравнивая нулю определитель системы уравнений.

При неосесимметричной форме колебаний имеем следующее частотное уравнение:

$$B_{5mn}(\omega^2)^5 + B_{4mn}(\omega^2)^4 + B_{3mn}(\omega^2)^3 + B_{2mn}(\omega^2) + B_{1mn}\omega^2 + B_{0mn} = 0. \tag{8}$$

При осесимметричной форме колебаний имеем частотное уравнение

$$B_{3mn}(\omega^2)^3 + B_{2mn}(\omega^2) + B_{1mn}\omega^2 + B_{0mn} = 0. \quad (9)$$

Минимизируя уравнения частот по m, n, можно найти значение частот основного тона свободных колебаний для различных случаев типов подкрепления оболочки, отношений L/R и угла φ.

Как показывают исследования, в первую очередь поперечные колебания оказываются ближе всего к техническим частотам возбудителей.

Если ограничиться только их определением, то можно вычеркнуть в уравнении частот члены квадратные $(\omega^2)^2$ и выше, сделав уравнение линейным.

Тогда значение низшей из них может быть определено по приближенной формуле:

$$\text{при } m \neq 0 \quad B_{1mn}\omega^2 + B_{0mn} = 0, \quad (10)$$

$$\text{при } m = 0 \quad B_{10n}\omega^2 + B_{00n} = 0. \quad (11)$$

Полученные аналитические зависимости позволили решить некоторые задачи оптимизации топологии шарнирно опертой круговой подкрепленной цилиндрической оболочки.

Из пяти вариантов наружного подкрепления при фиксированном объеме материала ребер и обшивки оболочки определенен тип сетки подкрепления, при котором низшая частота принимает наибольшее значение. Исследована эффективность расположения ребер подкрепления с наружной или с внутренней сторон обшивки оболочки.

Геометрия сетки подкрепления в начале имела тип 1 и следующие безразмерные параметры:

$$E/G = 40,\ F_i = 2{,}2222\cdot10^{-5},\ J_{1i} = 8{,}2304\cdot10^{-11},\ J_{3i} = 5{,}6543\cdot10^{-11},\ i = (\overline{1,4}),$$

$$m_0 = 32,\ V_* = 0{,}0278,\ h_* = 0{,}3333\cdot10^{-3},\ R_* = 1,\ e_i = 3{,}5\cdot10^{-3},\ k_i^2 = 1{,}2.$$

Объем обшивки и ребер подкрепления оболочки рассчитывался по формуле

$$V_* = 2\pi RLh_* = 2\pi RLh_{0*} + 2Lm_0(F_1 + F_3\sin\varphi + F_4\cos\varphi)/\cos\varphi,$$

где $h_* = h_{0*} + (2F_1/a_1 + F_3/a_3 + F_4/a_4)$ — толщина континуальной модели оболочки; h_{0*} — толщина обшивки.

Угол φ сетки изменялся от 10 до 80°, а отношение длины оболочки к ее радиусу изменялось от $L/R = 1$ до 4.

Ребра подкрепления принимались одинаковы. Форма сечения — прямоугольник с отношением сторон $h/b = 2$. Объем материала оболочки при изменении геометрических параметров оболочки сохранялся. Определялись низшие частоты свободных колебаний.

Переход к другим типам подкрепления 2—5 осуществлялся удалением ребер определенного направления из сетки типа 1 и распределением их массы поровну между оставшимися. Объем обшивки и ребер V_* сохранялся.

Пересчет геометрических характеристик поперечных сечений ребер осуществлялся из условия $V_* = \text{const}$ следующим образом:

тип 1 — сетка с четырьмя направлениями стержней;

$F_1 = F_2 = F_3 = F_4$, $V_* = \text{const}$;

тип 2 — ромбическая сетка;

$F_1 = F_2 = F = (V_* - 2\pi RLh_{0*})\cos\varphi/2Lm_0$, $F_3 = F_4 = 0$;

тип 3 — треугольная сетка;

$F_1 = F_2 = F_3 = (V_* - 2\pi RLh_{0*})\cos\varphi/[2Lm_0(1 + + \sin\varphi)]$, $F_4 = 0$;

тип 4 — треугольная сетка;

$F_1 = F_2 = F_4 = (V_* - 2\pi RLh_{0*})\cos\varphi/[2Lm_0(1 + + \cos\varphi)]$, $F_3 = 0$;

тип 5 — ортогональная сетка;

$F_3 = F_4 = (V_* - 2\pi RLh_{0*})\cos\varphi/[2Lm_0(\sin\varphi + + \cos\varphi)]$, $F_1 = F_2 = 0$.

Для цилиндрических оболочек с различными типами подкрепления и отношениями L/R найдены оптимальные углы φ, при которых оболочки будут наиболее жесткими, а собственная частота свободных колебаний наибольшей. Результаты расчета сведены в таблицу. При расположении ребер подкрепления с внешней стороны оболочки частоты приведены левее наклонной черты, правее — с внутренней стороны.

Анализ результатов в рамках постановки задачи определить по низшей частоте свободных колебаний оптимальную топологию подкрепленных круговых цилиндрических оболочек — тип сетки, угол φ при различных отношениях L/R.

Например, при $L/R = 2$ из всех типов сетки оптимальной будет тип 3. В этом случае низшая частота будет наибольшей $100\,\omega^2_{*\max} = 0{,}8249/0{,}8095$, оптимальный угол сетки подкрепления $\varphi = 25°$.

Эффективным подкреплением оболочки в большинстве случаев является наружное. Разница в частотах колеблется от 1 до 27 %. Исключение составляют лишь сетки подкрепления типа 3 при $L/R = 1$, типа 4 при $L/R = 3$ и типы 2, 3, 4, 5 при $L/R = 4$.

Тип сетки	L/R	m	$\varphi°$	$100\omega^2_*$
1	1	6/6	39/40	3,1868 / 3,1272
	2	5/5	34/39	0,6604 / 0,6428
	3	5/5	37/35	0,2933 / 0,2778
	4	4/4	42/72	0,1742 / 0,1711
2	1	6/6	33/31	5,3196 / 4,9470
	2	5/5	34/46	0,7818 / 0,6201
	3	4/4	36/68	0,3076 / 0,2691
	4	4/3	47/72	0,1603 / 0,1737
3	1	6/6	28/30	4,4498 / 4,4663
	2	5/5	25/25	0,8249 / 0,8095
	3	4/4	18/20	0,3322 / 0,3228
	4	4/4	23/52	0,1660 / 0,1792

Окончание табл.

Тип сетки	L/R	m	φ°	$100\omega_*^2$
4	1	6/6	47/48	3,6777 / 3,6375
	2	5/5	46/59	0,6750 / 0,6452
	3	5/4	54/61	0,2819 / 0,2871
	4	4/4	63/68	0,1591 / 0,1671
5	1	5/5	31/32	2,3349 / 1,8367
	2	5/4	35/31	0,7697 / 0,6555
	3	4/4	24/24	0,3334 / 0,3143
	4	3/4	76/71	0,1966 / 0,2156

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пшеничнов Г. И.* Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 352 с.

2. *Беликов Г. И.* Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига. Волгоград : ВолгГАСА, 2003. 298 с.

1. *Pshenichnov G. I.* Teoriya tonkikh uprugikh setchatykh obolochek i plastinok. M. : Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematichekoy literatury, 1982. 332 s.

2. *Belikov G. I.* Statika, dinamika i ustoychivost setchatykh obolochek s uchetom poperechnogo sdviga. Volgograd : VolgGASA, 2003. 298 s.

© Беликов Г. И., Калашников С. Ю., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Беликов Г. И., Калашников С. Ю. Оптимизация топологии подкрепленных цилиндрических оболочек мостовых конструкций при свободных колебаниях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 14—20.

УДК 624.131

О. А. Богомолова, А. В. Ечевский, Б. С. Бабаханов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян, С. И. Махова, С. А. Калиновский

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ НАГРУЖЕННЫХ ОТКОСОВ

Рассматривается возможность вычисления величины коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса на основе анализа работ удерживающих и сдвигающих сил, совершаемых в каждой точке линии скольжения на дополнительных перемещениях, возникающих за счет изменения главного вектора нагрузок. Построение наиболее вероятной линии скольжения проводится на основе анализа напряженного состояния грунтового массива исходя из условия минимальности величины коэффициента запаса устойчивости в каждой ее точке.

К л ю ч е в ы е с л о в а: перемещения точек линии скольжения за счет изменения вектора внешней нагрузки, работа удерживающих и сдвигающих сил, коэффициент запаса устойчивости нагруженного откоса, влияние геометрических параметров нагрузки на устойчивость откоса.

The computational feasibility of the stability factor of the loaded slope on the basis of the operational analysis of restraining and shear forces which are performed in every point of the flow line on the further displacements which are arisen by the change of the loads resultant vector is considered. The construction of the most probable flow line is carried out on the basis of the stress analysis of the soil body from the minimum value of the stability factor in it every point.

K e y w o r d s: displacement of flow line point by change of outer load resultant vector, operation of restraining and shear forces, stability factor of loaded slope, influence of load geometrical parameters on slope stability.

Расчет устойчивости откосов практически любым из используемых в настоящее время методов основывается на допущении о том, что призма возможного обрушения (скольжения) является абсолютно твердым телом. Абсолютно твердыми и не деформируемыми считаются и вертикальные блоки (отсеки), на которые она разбивается. Такое допущение, по нашему мнению, можно применять, не внося при этом значительных погрешностей в результат, при расчете устойчивости «старых» естественных склонов, где завершился процесс накопления осадок от действия гравитационных сил, а положение и форма поверхности скольжения определены наличием четкого контакта между потенциально оползнеопасным грунтовым массивом и твердыми горными породами. При расчете устойчивости откосов и склонов, в которых возникают, например за счет возведения на них инженерных сооружений, дополнительные поля напряжений и перемещений, это допущение будет явно некорректным.

В работе [1] сделано предложение о том, что для расчета устойчивости таких объектов следует применять методы, основанные на анализе полей напряжений и перемещений, возникающих в грунтовом массиве при приложении к нему дополнительной нагрузки. Такие рекомендации есть и в нормативной литературе. В частности, согласно п. 5.3 СНиП 33-01—2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» для обоснования надежности и безопасности гидротехнических сооружений «должны выполняться расчеты напряженно-деформированного состояния системы „сооружение — основание” на основе применения современных, главным образом, численных методов механики сплошной среды с учетом реальных свойств материалов и пород оснований. Обеспечение надежности системы „сооружение — основание”

должно обосновываться результатами расчетов по методу предельных состояний их прочности, устойчивости» [2].

Попытка устранения отмеченного выше некорректного допущения была сделана в диссертационной работе Н. Н. Потаповой [3], где предложен подход к отысканию коэффициента запаса устойчивости грунтовых откосов, основанный на принципе возможных перемещений.

Величина коэффициента запаса устойчивости определяется как отношение алгебраических сумм работ удерживающих и сдвигающих сил, действующих в точках наиболее вероятной линии скольжения

$$K = \frac{\Sigma A_{i\,\text{уд}}}{\Sigma A_{i\,\text{сд}}} = \frac{\Sigma(F_{i\,\text{уд}}\delta_i \cos\alpha_{i\,\text{уд}})}{\Sigma(F_{i\,\text{сд}}\delta_i \cos\alpha_{i\,\text{сд}})}, \quad (1)$$

где $F_{i\text{уд}}$, $F_{i\text{сд}}$ — соответственно удерживающая и сдвигающая сила в i-й точке наиболее вероятной линии скольжения; δ_i — полное перемещение i-й точки линии скольжения от действующей нагрузки; $\alpha_{i\text{уд}}$, $\alpha_{i\text{сд}}$ — углы между положительным направлением удерживающей и сдвигающей силы и направлением вектора полного перемещения соответственно в i-й точке НВЛС.

В выражении (1), по нашему мнению, содержится ошибка, состоящая в том, что в расчет принимаются полные перемещения, в которые, помимо перемещений от внешней нагрузки, входят перемещения от собственного веса грунта. Перемещения от собственного веса грунта формируются на протяжении всего периода существования грунтового массива и потому истинные их значения не могут быть определены методами теории упругости.

Исключить эти неизвестные перемещения из расчетов и избавиться от необходимости их отыскания в случае исследования устойчивости нагруженных откосов можно следующим образом. Вычисляем перемещения n точек исследуемой области, лежащих на наиболее вероятной линии скольжения, с учетом внешних нагрузок и собственного веса грунта Δ_i. Затем вычисляем перемещения тех же n точек δ_i, возникающие только от собственного веса грунта без учета внешней нагрузки. Разность этих перемещений, с позиций теории упругости, и будет равна собственно перемещениям только от действия внешней нагрузки. Причем в результате операции вычитания будут уничтожены и погрешности результата, возникающие, например, из-за неадекватности граничных условий, степени дискретизации расчетной области, неправильного выбора ее размеров и т.д.

Формула (1) примет в этом случае вид

$$K = \frac{\Sigma A_{i\,\text{уд}}}{\Sigma A_{i\,\text{сд}}} = \frac{\Sigma(F_{i\,\text{уд}}(\Delta_i - \delta_i)\cos\alpha_{i\,\text{уд}})}{\Sigma(F_{i\,\text{сд}}(\Delta_i - \delta_i)\cos\alpha_{i\,\text{сд}})}, \quad (2)$$

а численные значения удерживающих и сдвигающих сил в каждой точке приоткосной области определяются выражениями

$$F_{i\text{уд}} = \left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x)\cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz}\sin 2\alpha + \sigma_{\text{св}}\right]\text{tg}\varphi, \quad (3)$$

$$F_{i\text{сд}} = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z)\sin 2\alpha + \tau_{xz}\cos 2\alpha. \quad (4)$$

Для оценки разницы численных значений величин коэффициентов запаса устойчивости откосов, получаемых по формуле (1), используемой Н. Н. Потаповой [3], и на основе сделанных нами предложений воспользуемся компьютерной программой [4], разработанной в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете, в которой формализован метод построения наиболее вероятной линии скольжения, предложенный проф. В. К. Цветковым [5].

Пример № 1. Определим величину коэффициента запаса устойчивости однородного грунтового откоса. Пусть прямолинейный откос высотой H = 19,3 м с углом $\beta = 45°$ сложен однородным связным грунтом, имеющим следующие физико-механические характеристики: объемный вес $\gamma = 2$ т/м^3, угол внутреннего трения $\varphi = 25°$, удельное сцепление C = 0,27 кПа, коэффициент бокового давления грунта $\xi_o = 0{,}75$, что отвечает его среднему значению для глинистых грунтов [6], модуль деформации E_o = 5 МПа. Откос нагружен равномерно распределенной нагрузкой интенсивности $q = 5\gamma H$, которая приложена на расстоянии $d = 0{,}5H$ от его бровки; ширина нагруженного участка $b = 0{,}5H$.

Расчетная схема МКЭ состоит из 6216 конечных элементов, сопряженных в 12 100 узлах, при этом матрица жесткости системы имеет ширину 126 (рис. 1).

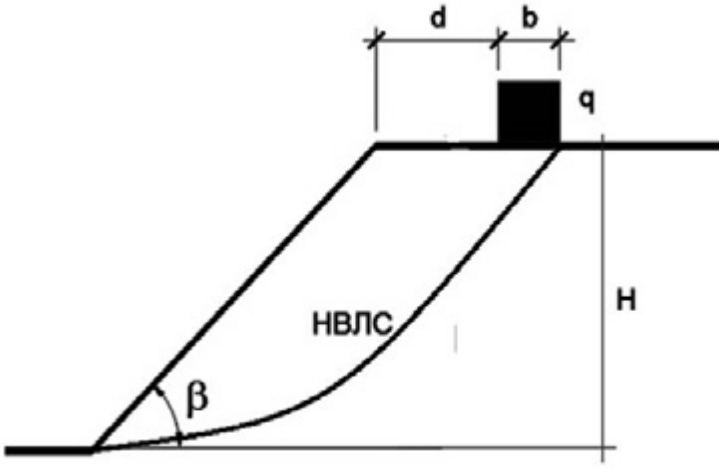


Рис. 1. Фрагмент расчетной схемы нагруженного откоса

В результате проведения расчетов установлено, что величина коэффициента запаса устойчивости для данного объекта, определенная по методике проф. В. К. Цветкова, равна $K_{Цв}$ = 1,95, вычисленная по методу Н. Н. Потаповой, равна $K_{Пот}$ = 1,78, а найденная на основе наших предложений — K = 2,24, что на 14,9 % больше, чем $K_{Цв}$, и на 25,8 % больше, чем $K_{Пот}$.

На рис. 2. изображена наиболее вероятная линия скольжения (след поверхности скольжения) и эпюры работ удерживающих ($A_{уд}$) и сдвигающих ($A_{сд}$) сил, действующих в точках линии скольжения, совершаемых ими на перемещениях, вызванных внешней нагрузкой.

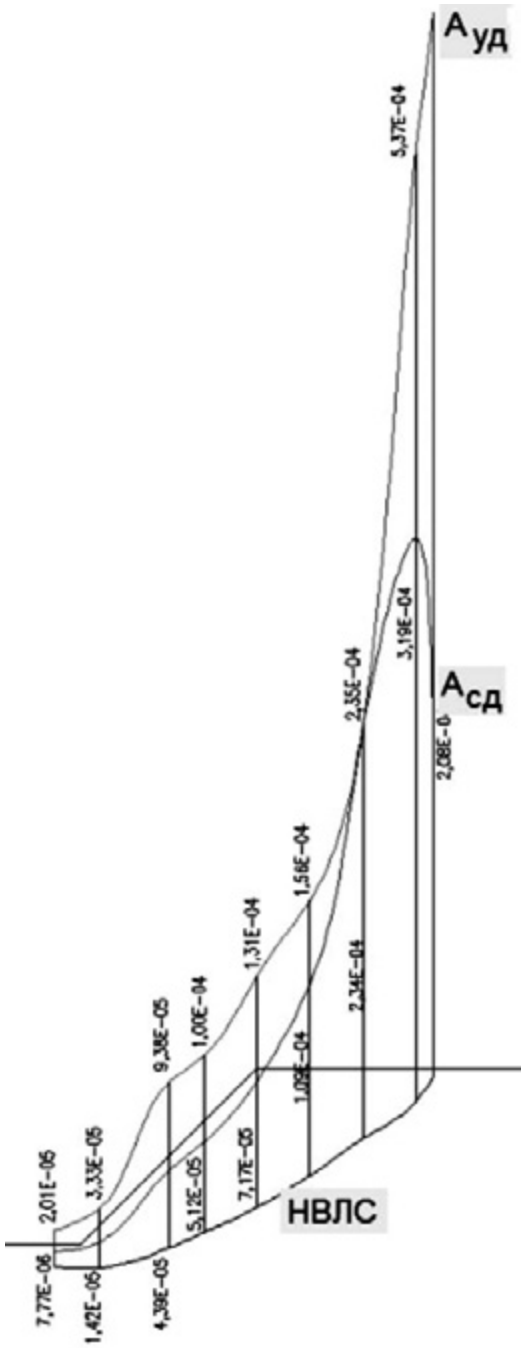


Рис. 2. Эпюры работ удерживающих и сдвигающих сил, совершаемых в точках НВЛС

Для обоснования экономического эффекта, который может быть получен при использовании наших предложений, необходимо ответить на вопрос: какими будут углы заложения исследуемого откоса, если численные значения коэффициента запаса устойчивости, определенные на основе наших предложений,

равны соответственно $K = K_{Пот} = 1{,}78$ и $K = K_{Цв} = 1{,}95$. Оказалось, что эти углы соответственно равны $\beta_1 = 54°$ и $\beta_2 = 51°$. Нетрудно подсчитать, что назначение проектного угла заложения откоса насыпи или борта строительного котлована равным β_1 или β_2 дает экономию объемов земляных работ по сравнению с $\beta_{пр} = 45°$ соответственно 136,7 м^3 или 95,1 м^3 на 100 м длины насыпи или борта котлована.

На рис. 3 соответствующие объемы обозначены вертикальной и наклонной штриховкой. Отметим еще одно обстоятельство. Нами проведены вычисления величины коэффициента запаса устойчивости K тремя методами при трех разных значениях величины коэффициента бокового давления $\xi_o = 0{,}43;\ 0{,}65;\ 0{,}75$. Оказалось, что значения коэффициентов устойчивости, подсчитанные по методике проф. В. К. Цветкова, равны $K_{Цв}^{0,43} = 1{,}71;\ K_{Цв}^{0,65} = 1{,}92;\ K_{Цв}^{0,75} = 1{,}95$; определенные на основе предложений Н. Н. Потаповой, — $K_{Пот}^{0,43} = 1{,}63;\ K_{Пот}^{0,65} = 1{,}75;\ K_{Пот}^{0,75} = 1{,}78$; а на основе наших предложений — $K^{0,43} = 1{,}53;\ K^{0,65} = 2{,}03;\ K^{0,75} = 2{,}24$.

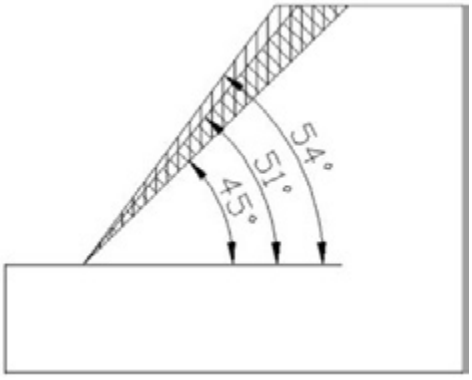


Рис. 3. Разница объемов земляных работ, обеспечивающая экономический эффект

Анализ этих данных показывает, что во всех трех случаях величина K зависит от величины коэффициента бокового давления грунта ξ_o, причем эта зависимость наиболее ярко выражена в третьем случае (рис. 4). (Отметим, что большинство применяемых в настоящее время расчетных методов не позволяют учесть величину коэффициента бокового давления грунта, являющегося одной из важнейших характеристик напряженного состояния грунтового массива.) Кроме того, предлагаемый подход позволяет определять при соответствующих значениях величины ξ_o такие значения геометрических параметров откосов (угла заложения β или высоты H), которые обеспечивают получение *экономического эффекта* за счет существенного сокращения объема земляных работ (см. рис. 3). С другой стороны, напротив, при определенных значениях коэффициента бокового давления грунта получаемые нами коэффициенты запаса устойчивости K оказываются меньше соответствующих значений $K_{Цв}$ и $K_{Пот}$, что позволяет *предотвратить возможность возникновения аварийной ситуации* (см. рис. 4) в том случае, когда проектные значения K определяются по [3; 5].

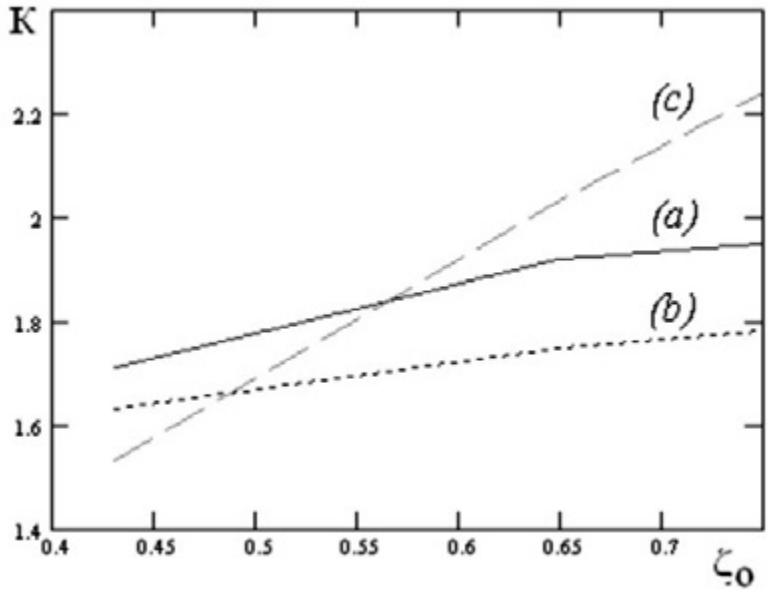


Рис. 4. Графические зависимости вида $K = f(\xi_o)$, построенные по результатам вычислений по методу В. К. Цветкова (*a*), Н. Н. Потаповой (*b*), предлагаемому (*c*)

Нами исследован еще один важный вопрос, связанный с расчетом устойчивости откосов, а именно вопрос о влиянии геометрических параметров равномерно распределенной нагрузки: ее ширины *b* и ширины бермы безопасности *d* (см. рис. 1) на величину коэффициента запаса устойчивости.

Ранее в работе [7] мы уже обращались к его рассмотрению, однако тогда величина коэффициентов запаса устойчивости в точках грунтового массива вычислялась по формуле

$$K = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x)\cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz}\sin 2\alpha + \sigma_{св}\right]\mathrm{tg}\varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z)\sin 2\alpha + \tau_{xz}\cos 2\alpha}, \qquad (5)$$

а величина глобального коэффициента запаса устойчивости откоса, вычисленная для наиболее вероятной линии скольжения, определялась выражением

$$K = \frac{\int_0^l F_{уд}(S)ds}{\int_0^l F_{сд}(S)ds}. \qquad (6)$$

Было установлено, что величина коэффициента запаса устойчивости может быть определена выражением

$$K = n_1 n_2 (2a\sigma_{св} + b)\mathrm{tg}\varphi, \qquad (7)$$

где коэффициенты n_1, n_2, a, b определяются по графикам.

Первые два коэффициента корректируют величину K в зависимости от ширины нагрузки и от ее расстояния до бровки откоса, причем их численные значения не зависят от величины интенсивности нагрузки q и угла заложения откоса β.

Аналогичную формулу удалось получить и в случае расчета устойчивости нагруженных откосов на основе анализа распределения напряжений и перемещений в приоткосной области.

В результате обработки результатов расчетов для однородных откосов с углами заложения β = 25°; 40°; 55° установлено, что вне зависимости от угла заложения откоса β, его высоты H и интенсивности внешней нагрузки минимальное значение коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса K^* будет соответствовать условию, что ширина равномерно распределенной нагрузки равна $b = 0{,}5H$, а расстояние от нагрузки до кромки откоса (ширина бермы безопасности) равно $d = 0{,}8H$ (см. рис. 1).

При этом величина коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса при любой величине интенсивности равномерно распределенной нагрузки q, любой ее ширине b и при любом расстоянии от бровки откоса может быть вычислена по формуле

$$K = K^* k_1 k_2, \tag{8}$$

где значения K^*, k_1 и k_2 определяются по графикам.

На рис. 5 и 6 в качестве примера приведены графические зависимости, позволяющие определять численные значения коэффициентов, входящих в формулу (8), при угле заложения откоса β = 55°.

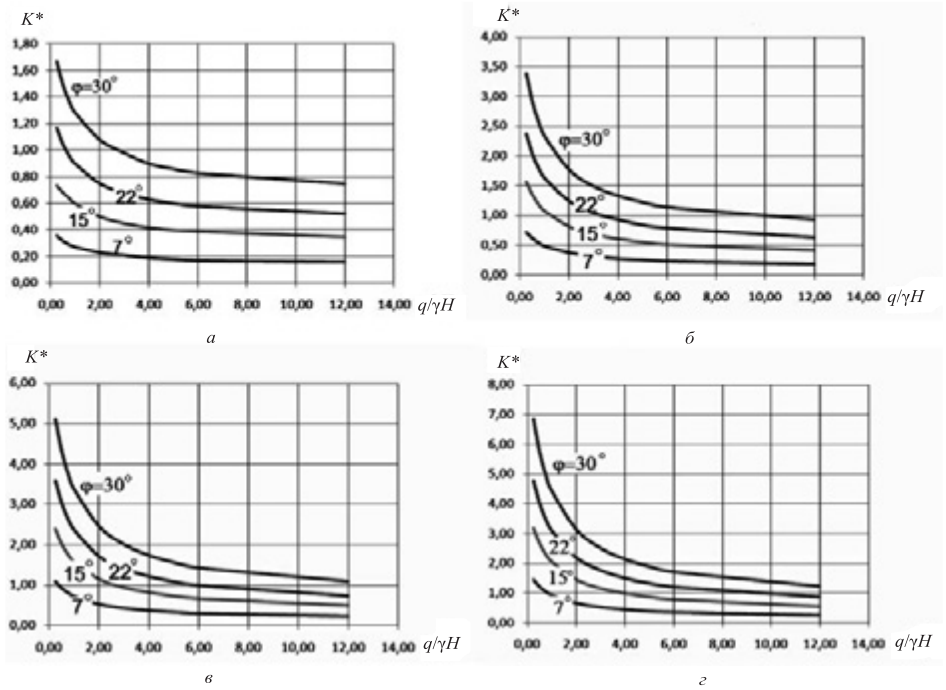
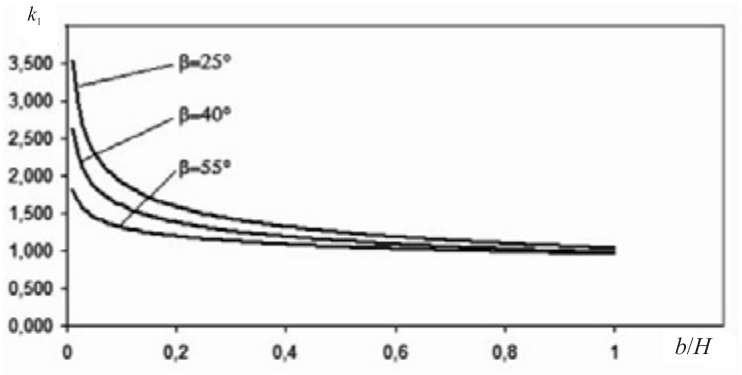
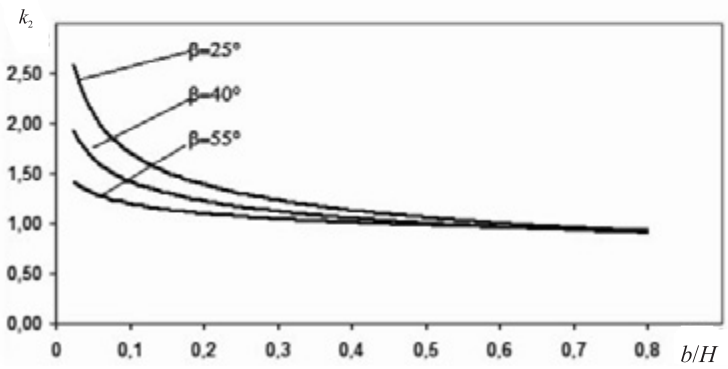


Рис. 5. Графики зависимости вида $K^* = f(q/\gamma H)$ при β = 55°: *а* — $\sigma_{св} = 0{,}05$; *б* — $\sigma_{св} = 0{,}583$; *в* — $\sigma_{св} = 1{,}117$; *г* — $\sigma_{св} = 1{,}65$



а



б

Рис. 6. Графики для определения коэффициентов k_1 (*а*) и k_2 (*б*)

Пример № 2. Рассмотрим откос, сложенный однородным связным грунтом, имеющим следующие физико-механические характеристики: высота откоса $H = 20$ м, угол заложения $\beta = 55°$, объемный вес грунта $\gamma = 2$ т/м^3, угол внутреннего трения $\varphi = 18°$, удельное сцепление $C = 0{,}0195$ МПа, коэффициент бокового давления грунта $\xi_o = 0{,}75$, что отвечает его среднему значению для глинистых грунтов. Откос нагружен равномерно распределенной нагрузкой интенсивности $q/\gamma H = 1{,}15$ шириной $b = 0{,}3H = 6$ м, которая приложена на расстоянии $d = 0{,}4H = 8$ м от его бровки. Определить величину коэффициента запаса устойчивости K.

Используя метод линейной интерполяции по графикам, приведенным на рис. 5 и 6, определим численные значения коэффициентов, входящих в формулу (8): $K^* = 0{,}95$; $k_1 = 1{,}22$; $k_2 = 1{,}416$, тогда величина коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса, вычисленная по формуле (8), равна $K = 1{,}64$.

Для проверки полученного результата проведен расчет величины K для условий рассмотренного примера при помощи компьютерной программы [4] (фрагмент расчетной схемы приведен на рис. 7). В результате расчета получена величина $K_{комп} = 1{,}52$, что всего лишь на 7,3 % отличается от значения K, вычисленного при помощи предлагаемых формулы и графиков.

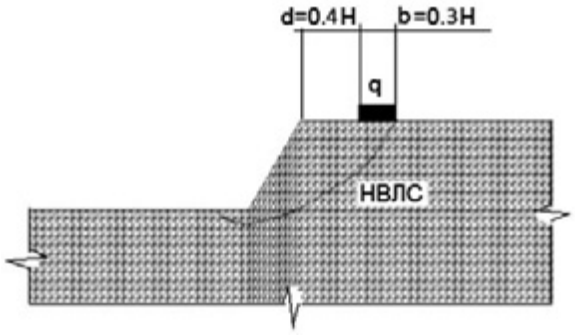


Рис. 7. Фрагмент расчетной конечно-элементной схемы

Выводы:

1. Предложен метод вычисления величины коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса, основанный на анализе изменений полей напряжений и перемещений грунтового массива, возникающих вследствие приращения полного вектора внешней нагрузки.

2. Показано, что для однородных откосов, находящихся под действием равномерно распределенной нагрузки интенсивности $q \in [0,1...14]\gamma H$ минимальное значение величины коэффициента запаса устойчивости K^* соответствует геометрическим параметрам $b = 0,5H$ и $d = 0,8H$ и для откосов с углом заложения $\beta = 55°$ может быть определено в зависимости от величины $\sigma_{св}$ по графикам, приведенным на рис. 5.

3. Установлено, что при любой величине интенсивности внешнего воздействия влияние геометрических параметров равномерно распределенной нагрузки (ее ширины b и расстояния от бровки откоса d) на устойчивость откоса может быть учено двумя коэффициентами, которые для откосов с углами заложения $\beta = 25°; 40°; 55°$ определяются по графикам, приведенным на рис. 6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет устойчивости нагруженных откосов на основе использования принципа возможных перемещений / А. Н. Богомолов и др. // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства : материалы Международной конференции. Пермь : ПНИПУ, 2011. С. 350—355.

2. СНиП 33-01—2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. М. : Госстрой России, 2004.

3. *Потапова Н. Н.* Оценка устойчивости грунтовых откосов и несущей способности оснований сооружений на основе анализа распределения напряжений и перемещений: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСА, 2001. 205 с.

4. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) / А. Н. Богомолов и др. : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.

5. *Цветков В. К.* Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижне-Волжское книжное издательство, 1979. 235 с.

6. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М. : ВШ, 1978. 447 с.

7. *Богомолов, А. Н., Верещагин В. П.* Моделирование разрушения нагруженных откосов // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала : межвуз. сб. науч. тр. Пермь : ППИ, 1990. С. 112—114.

1. Raschet ustoychivosti nagruzhennykh otkosov na osnove ispolzovaniya printsipa vozmozhnykh peremeshcheni / A. N. Bogomolov i dr. // Fundamenty glubokogo zalozheniya i problemy osvoyeniya podzemnogo prostranstva : materialy Mezhdunarodnoy konferentsii. Perm : PNIPU, 2011. S. 350—355.

2. SNiP 33-01—2003. Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya. Osnovnyye polozheniya. M. : Gosstroy Rossii, 2004.

3. *Potapova N. N.* Otsenka ustoychivosti gruntovykh otkosov i nesushchey sposobnosti osnovani sooruzheni na osnove analiza raspredeleniya napryazheni i peremeshcheni : dis. ... kand. tekhn. nauk. Volgograd : VolgGASA, 2001. 205 s.

4. Ustoychivost (napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye) /A. N. Bogomolov i dr. : svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g.

5. *Tsvetkov V. K*. Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. Volgograd : Nizhne-Volzhskoye knizhnoye izdatelstvo, 1979. 235 s.

6. *Vyalov S. S.* Reologicheskiye osnovy mekhaniki gruntov. M. : VSh, 1978. 447 s.

7. *Bogomolov A. N., Vereshchagin V. P.* Modelirovaniye razrusheniya nagruzhennykh otkosov // Osnovaniya i fundamenty v geologicheskikh usloviyakh Urala : mezhvuz. sb. nauch. tr. Perm : PPI, 1990. S. 112—114.

© Богомолова О. А., Ечевский А. В., Бабаханов Б. С., Соловьев А. В., Шиян С. И., Махова С. И., Калиновский С. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Энергетический подход к расчету устойчивости нагруженных откосов / О. А. Богомолова, А. В. Ечевский, Б. С. Бабаханов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян, С. И. Махова, С. А. Калиновский // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 21—30.

УДК 624.042.13:69.035.4

О. А. Богомолова, А. С. Статун, А. В. Соловьев, С. И. Шиян

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА НА ПОТОЛОЧИНУ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Приведены результаты экспериментов на моделях из эквивалентных материалов, выполненных с целью верификации расчетной формулы и графических зависимостей, предложенных авторами для вычисления силы давления вышележащей массы грунта на кровлю подземного пространства прямоугольного сечения. В табличной форме приведены результаты сопоставления опытных и теоретических данных. Показано, что последние отличаются друг от друга в пределах, допустимых в инженерной практике. Делается вывод о возможности применения данного инженерного метода при проведении предварительных расчетов при проектировании подземных сооружений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: напряженно-деформированное состояние грунтового массива, подземное пространство прямоугольного сечения, сила давления на кровлю, моделирование на моделях из эквивалентных материалов, сопоставление теоретических и экспериментальных данных.

The results of experiments on the models of equivalent materials which are done with the view of verification of calculating formula and graphic dependences which are proposed for press force calculation of superincumbent soil mass on the underground space covering with rectangular cross-section are given. The results of comparison of experienced and theoretical data are given in tabular form. The last are distinct from each other within the engineering practice. The inference about the applying opportunity of this engineering method in carrying preliminary calculations during the design of underground buildings is done.

K e y w o r d s: strain-stress distribution of soil mass, underground space with rectangular cross-section, press force on covering, modeling on models of equivalent materials, comparison of theoretical and experienced data.

В работах [1, 2] нами приводится инженерный метод расчета величины силы, с которой вышележащий массив грунта действует на потолочину подземного пространства прямоугольного сечения. Расчетная формула получена в результате анализа напряженно-деформированного состояния массива и применения статического подхода к определению величины R. При этом расчетная схема принята аналогичная той, что использована в работе [3], однако существенным ее отличием от последней является то, что направление боковых сторон усеченного конуса, определяющих вес давящего на потолочину грунта, определяется на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива с учетом физико-механических свойств грунта и геометрических параметров подземного пространства.

Для подтверждения возможности использования предложенного метода на практике нами проведено моделирование процессов обрушения потолочины, при котором определялось вертикальное усилие, действующее на перекрытие подземного пространства.

Экспериментальная установка состоит из грунтового лотка размерами 1790×1000×120 мм, боковые стороны которого выполнены из органического стекла толщиной 8 мм (рис. 1, *а*); системы, воспринимающей усилие и передающей его на измерительный элемент — весовой конструкции (рис. 1, *б*); измерительного элемента (рис. 1, *в*).

а

б

в

Рис. 1. Составные части экспериментальной установки: *а* — весовая конструкция; *б* — грунтовый лоток; *в* — табло вывода результата

Стенки из оргстекла и весовая конструкция выполнены в четырех вариантах, позволяющих имитировать подземное пространство прямоугольного сечения 200×200 мм, 200×100 мм, 100×200 мм, 100×100 мм.

Перед выполнением моделирования проводилась процедура тарирования весовой конструкции. Она осуществлялась в два этапа. На первом этапе тарирование на ноль было сделано с учетом веса только верхней пластины весовой конструкции. Второй этап тарирования осуществлялся при монтаже весовой конструкции непосредственно в экспериментальную установку. Поскольку масса весовой конструкции различна в зависимости от геометрических размеров сечения модели подземного пространства, второй этап тарирования каждый раз осуществлялся отдельно.

Для предотвращения попадания эквивалентного материала в зазоры между пластинкой-«потолочиной» и стенками модели подземного пространства ее оборачивали в прозрачную пленку.

В качестве эквивалентного материала, имитирующего грунт, использовалась смесь сухого речного песка и машинного масла. Удельное сцепление и угол внутреннего трения эквивалентного материала определены путем стандартных испытаний на сдвиг на приборе ВСВ-25 равными $C = 0{,}8167$ кПа, $\varphi = 14°$. Объемный вес эквивалентного материала $\gamma = 15{,}55$ кН/м^3.

Формирование модели грунтового массива в лотке проводили послойно. Первый слой укладывался на высоту от дна лотка до нижних границ отверстий, расположенных на стенках из органического стекла. Между слоями эквивалентного материала устраивался слой-«маркер» толщиной 2—3 мм, состоящий

из абсолютно сухого песка белого цвета. Его предназначение — создание линий-меток, позволяющих визуально наблюдать изменения, происходящие с грунтовым массивом в результате моделирования. Последующие слои укладывались толщиной равной примерно 20 см.

После полного заполнения экспериментального лотка эквивалентным материалом и создания слоев-«маркеров» все работы прекращались на три часа для обеспечения равномерного уплотнения эквивалентного материала силами гравитации. Только после этого приводилось в действие измерительное устройство и определялась сила давления вышележащего грунта на потолочину модели подземного пространства.

Для каждого размера весовой конструкции, а значит, и для каждого размера поперечного сечения моделируемого подземного пространства проведены серии из трех опытов, средние значения результатов каждой из которых приведены в табл.

Результаты экспериментов

Номер серии опытов и размеры поперечного сечения пространства ($b \times h$)	Результаты					Разница результатов, %			
	R_1	R_2	R_3	α_1	α_2	$\frac{R_1}{R_2}\times 100$	$\frac{R_2}{R_3}\times 100$	$\frac{R_1}{R_3}\times 100$	$\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\times 100$
№1 (100×100 мм)	4,24	3,84	4,12	46,03	50,88	9,44	6,74	2,90	9,52
№2 (200×100 мм)	11,64	11,18	10,42	42,34	43,06	3,98	6,80	10,51	1,69
№3 (100×200 мм)	5,11	3,93	5,72	39,26	46,77	23,09	31,33	10,72	16,06
№4 (200×200 мм)	7,85	8,62	9,42	35,74	43,97	8,91	8,53	16,68	18,71

В таблице приняты следующие обозначения R_1, R_2 — это силы давления вышележащих слоев эквивалентного материала грунта на кровлю модели подземного пространства, полученные в результате расчета по формуле (1),

$$R = \gamma\left(\frac{H}{\mathrm{tg}\varphi} + a\right)H - 2cH - \rightarrow$$

$$\rightarrow - \frac{2cH\left(\mathrm{tg}\alpha\left(H - A\right) - \dfrac{A}{\mathrm{tg}\alpha}\right)\sin\alpha\left(\mathrm{tg}\varphi + 1\right)}{\sin\alpha\left(\left(B + \dfrac{a}{2}\right)\cos\left(2\alpha - 90°\right) - 2\mathrm{tg}\left(\varphi + 1\right)\left(\dfrac{a}{2} + \dfrac{A}{\mathrm{tg}\alpha}\right)\right) + \mathrm{tg}\varphi\left(\sin\alpha\left(a + \dfrac{A}{\mathrm{tg}\alpha}\right) + \cos\alpha\left(H - A\right)\right)}, \quad (1)$$

приведенной в работе [2] (там же смотри и обозначения), при условии, что $\alpha = \alpha_1$ и $\alpha = \alpha_2$ соответственно, а R_3 — среднее значение соответствующей силы, полученное в результате эксперимента; α_1 — среднее, между полученными экспериментально и теоретически, значение угла наклона следа наиболее вероятных

линий разрушения, ограничивающих с обеих сторон призму давящего на потолочину эквивалентного материала; α_2 — угол наклона экспериментально установленной прямолинейной границы призмы возможного обрушения.

На рис. 2 в качестве примера приведены фотографии экспериментального лотка до и после проведения эксперимента при условии, что размер модели подземного пространства составляет 200×200 мм (рис. 2, *а*, *д*), 100×200 мм (рис. 2, *б*, *е*), 200×100 мм (рис. 2, *в*, *ж*), 100×100 мм (рис. 2, *г*, *з*).

На рис. 2, *д* показаны экспериментально полученные следы боковой грани усеченной грунтовой призмы (линии скольжения), оказывающей давление на кровлю подземного пространства *1*, и след наиболее вероятной поверхности скольжения *2*, полученный на основе анализа напряженно-деформированного грунтового массива при использовании компьютерной программы [4].

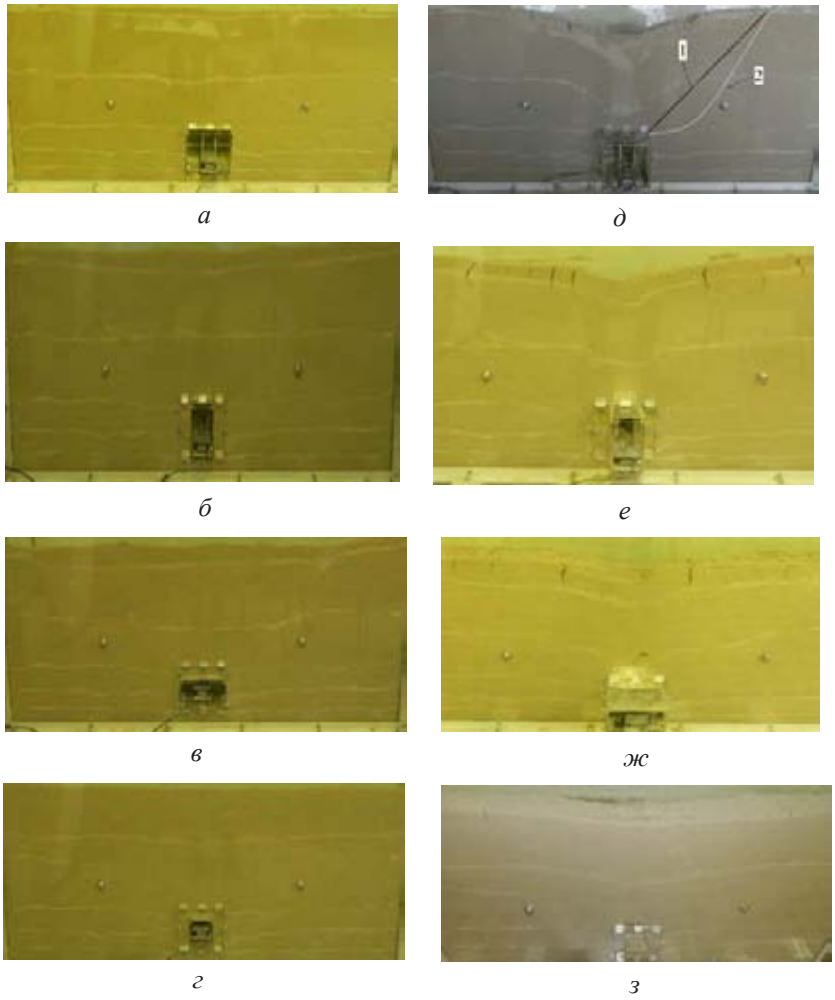


Рис. 2. Экспериментальный лоток до и после проведения экспериментов

Анализ приведенных в таблице и на рис. 2 данных показывает, что разница численных значений величин сил давления на кровлю моделей, вычисленных по формуле (1) и полученных экспериментальным путем, изменяется

в пределах (в зависимости от размера сечения имитируемого подземного пространства) от 2,9 % до 31,33 %. Численные значения соответствующих углов α отличаются друг от друга на 1,69—18,71 %.

Таким образом, в результате проведения эксперимента и сопоставления его результатов с результатами теоретических исследований установлено, что соответствующие значения полученных расчетных параметров отличаются друг от друга в пределах, допустимых в инженерной практике. Поэтому инженерный метод определения сил давления на потолочину подземного пространства может быть рекомендован для проведения предварительных расчетов при проектировании подземных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О статическом подходе к определению величины давления на кровлю горизонтальной подземной выработки / А. Н. Богомолов и др. // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2011. Вып. 24(43). С. 22—28.

2. Расчет устойчивости потолочины горизонтальной штольнеобразной выработки квадратного сечения и давления на ее кровлю / А. Н. Богомолов и др. // Материалы 7-й Международной конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Т. 1. 2011. С. 78—82.

3. *Бродский М. П.* Новая теория давления пород на подземную крепь. М. : Горно-геологическое нефтяное изд-во, 1937. 72 с.

4. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А. В.* Программа «Устойчивость» для ПЭВМ // Информационный листок о научно-техническом достижении № 311-96. Волгоград, ЦНТИ, 1996.

1. O staticheskom podkhode k opredeleniyu velichiny davleniya na krovlyu gorizontalnoy podzemnoy vyrabotki / A. N. Bogomolov i dr. // Vestn. VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh. 2011. Vyp. 24(43). S. 22—28.

2. Raschet ustoychivosti potolochiny gorizontalnoy shtolneobraznoy vyrabotki kvadratnogo secheniya i davleniya na krovlyu / A. N. Bogomolov i dr. // Materialy 7-y Mezhdunarodnoy konf. po problemam gornoy promyshlennosti, stroitelstva i energetiki. T. 1. 2011. S. 78—82.

3. *Brodski M. P.* Novaya teoriya davleniya porod na podzemnuyu krep. M. : Gorno-geologicheskoye neftyanoye izd-vo, 1937. 72 s.

4. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A. V.* Programma «Ustoychivost» dlya PEVM // Informatsionny listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 311-96. Volgograd, TsNTI, 1996.

© Богомолова О. А., Статун А. С., Соловьев А. В., Шиян С. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Экспериментальное определение силы давления грунтового массива на потолочину подземного пространства прямоугольного сечения / О. А. Богомолова, А. С. Статун, А. В. Соловьев, С. И. Шиян // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 31—35.

УДК 624.15

А. В. Пилягин, С. И. Махова

УЧЕТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ФУНДАМЕНТОВ В РАСЧЕТАХ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

Дается анализ существующих методов определения осадок фундаментов с учетом влияния загружения соседних фундаментов или площадей, а также приводятся новые методы расчета как с построением, так и без построения эпюр дополнительных напряжений в основании.

К л ю ч е в ы е с л о в а : фундамент, взаимное влияние, осадка, расчет по деформациям.

The analysis of existing methods of definition of the foundation settlements is given taking into account influence of the loading of surrounding foundations and areas. New calculation methods are also presented both with construction and without construction of diagrams of additional stresses in the foundations.

K e y w o r d s : foundation, cross-feed, settlement, stiffness analysis.

Как известно, напряжения от веса сооружений распространяются и за пределы площадей загружения. Поэтому загрузка одних фундаментов оказывает влияние на развитие осадок соседних фундаментов. Степень рассматриваемого влияния зависит от расстояния между фундаментами, их размеров, величины нагрузки, свойств грунта, темпов строительства и т. д.

Необходимость проверки взаимного влияния загружения соседних фундаментов или площадей часто возникает в случае пристройки одного здания к другому, складирования строительных материалов и длительного их хранения, при размещении технологического оборудования на полах по грунту, при планировке строительной площадки подсыпкой.

Обычно учет взаимного влияния фундаментов проводят методом угловых точек. Ниже излагаются другие приемы автора, позволяющие учесть область и степень взаимного влияния фундаментов.

Учет взаимного влияния фундаментов можно провести с использованием метода центральных точек (рис. 1).

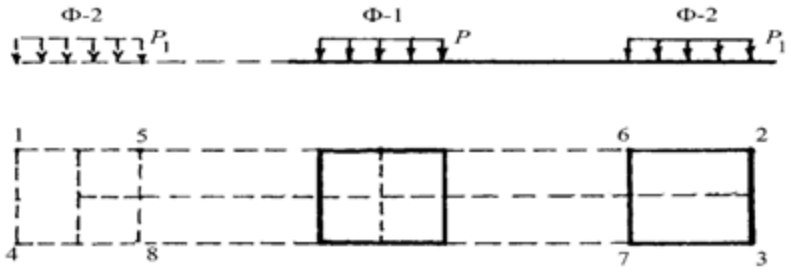


Рис. 1. Учет загружения соседних фундаментов методом центральных точек

Для учета влияния фундамента Ф-2 на фундамент Ф-1 необходимо ввести условный фундамент Ф-2, симметрично расположенный относительно фундамента Ф-1. Для определения дополнительных напряжений по вертикали, проходящей через центр рассчитываемого фундамента Ф-1, от влияния фундамен-

та Ф-2 необходимо вычислить напряжения σz от загружения прямоугольника 1234, вычесть из них напряжения σz от загружения прямоугольника 5678, а полученную разность поделить пополам:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_{1234} - \sigma_{5678}}{2}. \quad (1)$$

Метод центральных точек может быть также использован при вычислении осадки фундаментов методом эквивалентного слоя.

Для уменьшения трудоемкости вычисления влияния соседних фундаментов с использованием метода эквивалентного слоя можно с достаточной для практики точностью использовать следующий метод [1] (рис. 2).

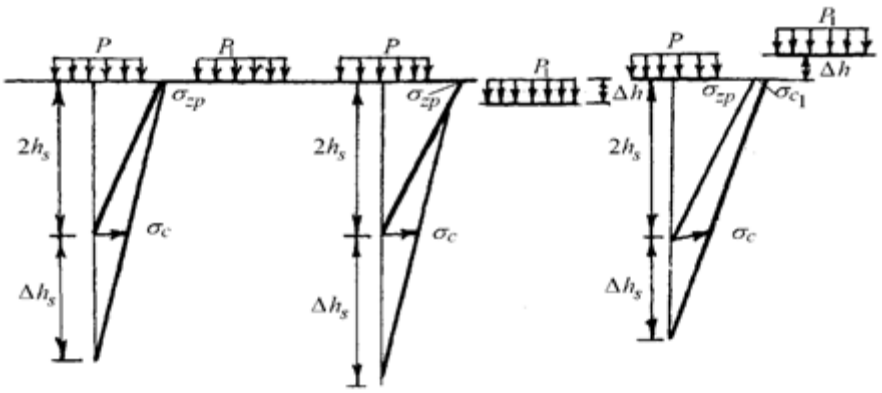


Рис. 2. Учет влияния загружения соседних фундаментов с использованием метода эквивалентного слоя

Для вычисления увеличения толщины эквивалентного слоя Δh_s от влияния загружения соседних фундаментов необходимо вычислить на глубине $2h_s$ величину дополнительных напряжений σ_c.

Величина дополнительных напряжений от загружения соседних фундаментов может быть вычислена по формуле (4) или как от сосредоточенной силы по формуле

$$\sigma_c = \sum_{i=1}^{n} k_i \frac{N_i}{z^2}, \quad (2)$$

где i — число соседних фундаментов, оказывающих влияние на осадку рассчитываемого фундамента; N_i — нагрузка, действующая на соседний фундамент; k_i — коэффициенты, зависящие от отношения L_i/z; L_i — расстояния между соседними фундаментами.

Определение дополнительных напряжений как от сосредоточенной силы допустимо, так как они вычисляются на глубине $2h_s$ всегда большей $2b$.

Увеличение мощности сжимаемой толщи рассчитываемого фундамента можно вычислить по формуле (рис. 2, *а*)

$$\Delta h_s = \frac{\sigma_c}{\sigma_{zp} - \sigma_c} 2h_s. \quad (3)$$

Полная мощность сжимаемой толщи составит

$$H = 2h_s \left(1 + \frac{\sigma_c}{\sigma_{zp} - \sigma_c} \right), \quad (4)$$

а осадка

$$s = h_s \left(1 + \frac{\sigma_c}{\sigma_{zp} - \sigma_c} \right) m_v \sigma_{zp}, \quad (5)$$

где m_v — коэффициент относительной сжимаемости грунта.

Если соседний фундамент будет иметь большее заглубление (рис. 2, *б*), чем рассчитываемый, то приращение сжимаемой толщи от его влияния вычисляется по формуле

$$\Delta h_s = \frac{\sigma_c}{\sigma_{zp} \left(1 - \frac{\Delta h}{2h_s} \right) - \sigma_c} \left(2h_s - \Delta h \right), \quad (6)$$

где Δh — разница в отметках заложения фундаментов.

Если глубина заложения соседнего фундамента будет меньше, чем для рассчитываемого фундамента, то увеличение сжимаемой толщи можно определить по формуле (6) с добавлением к давлению σ_{zp} величины дополнительных напряжений на глубине Δh, то есть σ_{c_1}.

Учет влияния соседних фундаментов можно выполнить также следующим способом. Любой соседний фундамент можно представить как часть кольцевой загруженной площадки с радиусами R_1 и R_2 [R_2 и R_1 — соответственно расстояния до дальней и ближней граней соседнего фундамента (рис. 3)].

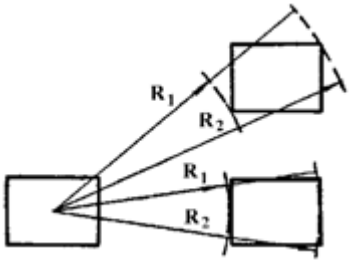


Рис. 3. Учет загружения соседних фундаментов, представляемых как часть кольцевого фундамента

Значения вертикальных напряжений от единичной силы равны

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{R^5}, \quad (7)$$

где P — значение единичной силы; z — вертикальная координата.

При рассмотрении круговых площадок

$$R = \left(\rho^2 + b^2 + z^2 - 2b\rho\cos\varphi\right)^{1/2}. \tag{8}$$

Значения вертикальных напряжений для центральной вертикали кольцевой загруженной площадки (при $b = 0$) могут быть вычислены интегрированием по ρ в пределах от R_1 до R_2 и по φ в пределах от 0 до 2π, то есть

$$\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi}\int_{R_1}^{R_2}\int_{0}^{2\pi}\frac{\rho\, d\rho\, d\varphi}{\left(\rho^2 + z^2\right)^{5/2}}. \tag{9}$$

Решение данного интеграла дает значение σ_z:

$$\sigma_z = P\left[\frac{1}{\left(1+\frac{R_1^2}{z^2}\right)^{3/2}} - \frac{1}{\left(1+\frac{R_2^2}{z^2}\right)^{3/2}}\right]. \tag{10}$$

Если в формуле (10) положить значение $R_2 = 0$, то получим известное решение по определению вертикальных напряжений по оси круговой загруженной площадки. Площадь соседнего фундамента можно представить как часть кольцевой площадки, равную отношению площади соседнего фундамента к площади кольца, то есть

$$k = \frac{A}{\pi\left(R_2^2 - R_1^2\right)}. \tag{11}$$

Следовательно, вертикальные напряжения от загружения соседних фундаментов вычисляются по формуле (10) с умножением их на коэффициент k, вычисленный по формуле (11).

Указанный подход позволяет учесть влияние любого числа соседних фундаментов или загруженных площадей путем суммирования дополнительных напряжений от каждого соседнего фундамента.

Приведенные выше методы определения влияния загружения соседних фундаментов в расчетах по деформациям довольно трудоемки, так как требуют построения эпюр дополнительных напряжений как от рассчитываемого фундамента, так и от соседних фундаментов. Ниже изложенные приемы автора позволяют учесть загружение соседних фундаментов без вычисления напряжений в основании.

Как известно, осадка любой точки основания от единичной сосредоточенной силы P, приложенной к поверхности грунта, определяется по формуле

$$S = \frac{P\left(1+\mu\right)}{2\pi E}\left[\frac{z^2}{R^2} + \frac{2\left(1-\mu\right)}{R}\right]. \tag{12}$$

Значения осадок для центральной вертикали круговой площадки могут быть вычислены двойным интегрированием данного выражения.

$$S = \frac{P(1+\mu)}{2\pi E}\left[\int_0^R\int_0^{2\pi} \frac{z2x\,\partial\varphi\,\partial x}{\left(x^2+z^2\right)^{3/2}} + 2(1-\mu)\int_0^R\int_0^{2\pi} \frac{z\,\partial x\,\partial\varphi}{\left(x^2+z^2\right)^{1/2}}\right] = \tag{13}$$

$$= \frac{P(1+\mu)}{E}\left[z - \frac{z^2}{\sqrt{R^2+z^2}} + 2(1-\mu)\left(\sqrt{R^2+z^2} - z\right)\right].$$

При вычислении осадки поверхности грунта круговой площадки, т. е. при $z = 0$ выражение (13) примет известный вид:

$$S = \frac{2P\left(1-\mu^2\right)}{E}R. \tag{14}$$

Очевидно, осадка поверхности грунта в центре кольцевой площадки равна

$$S = \frac{2P\left(1-\mu^2\right)}{E}(R_2 - R_1), \tag{15}$$

где R_1 и R_2 — соответственно расстояние от центральной вертикали до внешней и дальней граней соседнего фундамента.

Любой соседний фундамент можно представить как часть кольца, следовательно, осадку, подсчитанную по формуле (15), необходимо умножать на отношение площади соседнего фундамента к площади кольца с радиусом R_1 и R_2, т. е. на коэффициент k формулы (11).

При определении осадки поверхности грунта от единичной силы P, т. е. при $z = 0$, выражение (12) примет вид

$$S = \frac{\left(1-\mu^2\right)P}{\pi E}\frac{1}{R}. \tag{16}$$

Вертикальные перемещения поверхности основания от загружения прямоугольной площадки определяются путем двойного интегрирования.

$$S = \frac{\left(1-\mu^2\right)P}{\pi E}\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b} \frac{d\xi\,d\eta}{\sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}} =$$

$$= \frac{\left(1-\mu^2\right)P}{\pi E}\left\{\frac{(a-x)\ln\left[(b-y)+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}\right]}{\ln\left[-b-y+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}\right]} + \right.$$

$$\left. + \frac{(a+x)\ln\left[(b-y)+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}\right]}{\ln\left[-b-y+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}\right]} + \right.$$

$$+\frac{(b-y)\ln\left[(a-x)+\sqrt{(a-x)^2+(b-y)^2}\right]}{\ln\left[(-a-x)+\sqrt{(a+x)^2+(b-y)^2}\right]}+$$

$$+\frac{(b+y)\ln\left[(a-x)+\sqrt{(a-x)^2+(b+y)^2}\right]}{\ln\left[-a-x+\sqrt{(a+x)^2+(b+y)^2}\right]}\Bigg\}, \qquad (17)$$

где a и b — соответственно полудлина и полуширина прямоугольной площадки.

Осадка центра поверхности грунта, загруженной по прямоугольной площадке размерами $2a\times2b$, может быть вычислена по формуле

$$S=\frac{2b\left(1-\mu^2\right)P}{\pi E}k. \qquad (18)$$

Значения k, вычисленные по формуле (17), приведены в таблице

Коэффициенты k в зависимости от $n=a/b$

Круг	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.5	4.0
1.0	1.120	1.225	1.315	1.395	1.465	1.530	1.590	1.645	1.694	1.740	1.785	1.880	1.965

$n=a/b$	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	10	20	30	100
k	2.040	2.105	2.165	2.220	2.270	2.320	2.360	2.400	2.545	2.985	3.240	4.075

Учет влияния загружения соседних фундаментов без построения эпюр дополнительных напряжений можно осуществить по схеме (см. рис. 1).

Предлагаемые методы учета загружения соседних фундаментов в расчетах по деформациям способствуют повышению достоверности прогноза осадок фундаментов, что ведет к повышению эффективности проектных решений фундаментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пилягин А. В.* Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений. М. : АСВ, 2011. 286 с.

1. *Pilyagin A. V.* Proektirovaniye osnovani i fundamentov zdani i sooruzheni. M. : ASV, 2011. 286 s.

© Пилягин А. В., Махова С. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования

Пилягин А. В., Махова С. И. Учет взаимного влияния фундаментов в расчетах по деформациям // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 36—41.

УДК 624.072.2

В. А. Пшеничкина, С. И. Махова, М. А. Шубин, Ю. И. Олянский, Н. А. Шапошников

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БАЛКИ НА СТОХАСТИЧЕСКОМ ЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

Рассматривается задача о колебаниях балки на линейно деформируемом полупространстве в детерминированной и вероятностной постановке. Применение фундаментальных функций в качестве координатных функций канонического разложения позволило существенно снизить трудоемкость решения вероятностной задачи.

К л ю ч е в ы е с л о в а : колебания балки, вероятностный расчет, жесткость, деформация, прогиб.

The problem of the beam vibrations on the linearly deformable half-space in the deterministic and random position is considered. Application of the fundamental functions as coordinate functions of the canonical decomposition is significantly reduced the solution complexity of the probabilistic problem.

K e y w o r d s : beam vibrations, probabilistic calculation, inflexibility, deformation, sag.

Грунтовые поля оснований обладают ярко выраженной статистической неоднородностью, что оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние зданий и сооружений. Поэтому задача обеспечения их надежности и долговечности, а также рационального проектирования корректно может быть решена только в вероятностной постановке.

В настоящее время вероятностные методы расчета строительных объектов, в частности системы сооружение — основание, не получили должного распространения в инженерной практике. Это связано со сложностью решения стохастических краевых задач, отсутствием инженерных методик, а также со сложившимся устойчивым мнением о недостаточности статистических данных.

Вместе с тем, вероятностный расчет сооружений на стохастическом основании с приемлемой для практических приложений точностью может быть проведен в корреляционном приближении, причем без существенного увеличения объема данных, получаемых при стандартных инженерно-геологических изысканиях.

Задача расчета конструкций на стохастическом основании на действие статических и динамических нагрузок рассматривалась многими авторами, при этом практически все исследования базировались на использовании модели коэффициента постели. Впервые задачу расчета балки на стохастическом винклеровском основании независимо друг от друга рассмотрели В. В. Болотин [1] и Д. Н. Соболев [2]. Решалась задача вида (1), где коэффициент постели $C(x)$ и внешняя нагрузка $q(x)$ принимались в виде стационарных случайных функций:

$$EIy^{IV}(x)+C(x)y(x)=q(x). \qquad (1)$$

Задача (1) относится к классу стохастически нелинейных краевых задач, поэтому для ее решения применяются различные методы линеаризации и приближенные методы: малого параметра, канонического разложения, Монте-Карло и др. Этот подход применялся Д. Н. Соболевым и А. К. Юсуповым [3]

при рассмотрении колебаний коротких балок и плит на стохастически неоднородном основании. Особенностью этой задачи является необходимость исследования сходимости решения. Оценка дисперсий выходных функций сильно зависит от точности решения краевой задачи для короткой системы. Поэтому, используя численные методы, надо стремиться к безусловному удовлетворению граничных условий, в противном случае это приводит к неопределенным оценкам выходных случайных функций.

Вероятностный расчет балок и плит конечной жесткости на стохастически неоднородных основаниях был рассмотрен А. П. Пшеничкиным [4] в приложении к расчету бескаркасных зданий на лессовых просадочных грунтах. Используя метод эквивалентного слоя Н. А. Цытовича [5] и развивая его к установлению связи между осадкой основания и действующей нагрузкой, введя в рассмотрение понятия эквивалентного коэффициента жесткости $C_э$ и эквивалентной нагрузки $q_э$, интегральную зависимость для однородного изотропного полупространства с ядром Буссинеска автор приводит к эквивалентной дифференциальной зависимости с постоянными коэффициентами постели (или жесткости). Это упрощает решение вероятностных задач (не нужно производить линеаризацию уравнений, а также исследовать сходимость решения) и позволяет перейти от условной модели Винклера к модели статистически неоднородного анизотропного линейно или нелинейно деформируемого полупространства в доступном для инженерных расчетов виде.

В настоящей работе рассматривается задача о колебаниях балки на линейно деформируемом полупространстве в детерминированной и вероятностной постановке. Для ее решения применен способ систематического выделения из решения такой его части, которая является решением задачи о балке, лежащей на винклеровском основании. Распределительная способность грунтового основания моделируется как добавка к основному решению в виде *самоуравновешенной* системы сил, деформирующих балку и основание. Эта идея была рассмотрена в работах А. Н. Крылова [6] и Б. Г. Коренева [7] и применена в [4] для статических нагрузок.

Рассматривается общий случай неоднородных деформаций основания, характерных для подрабатываемых территорий, оттаивающих вечномерзлых грунтов, сильно сжимаемых водонасыщенных грунтов и организованно увлажняемых лессовых оснований. Деформации вызываются большим количеством факторов случайной природы, и поэтому рассматриваемые основания считаются статистически неоднородными. Неоднородность физико-механических параметров основания характеризуется регулярной и случайной составляющими. Не делаются различия между деформациями, связанными и не связанными с коренными изменениями структуры и свойств грунта.

Основной характеристикой метода расчета конструкций на стохастическом основании является возможная поверхность деформирования основания, которую считаем аддитивной случайной функцией

$$S(x) = \bar{S}(x) + \tilde{S}(x), \tag{2}$$

где символ ($\bar{}$) означает детерминированную, а символ ($\tilde{}$) — случайную составляющие функции $S(x)$.

Центрированная (самоуравновешенная) нагрузка, вызывающая изгиб конструкции, определяется по формуле

$$q(x) = C_э \left\{ \left[\overset{0}{\bar{S}}(x) + \tilde{S}(x) \right] - V(x) \right\}, \tag{3}$$

где $\overset{0}{\bar{S}}(x)$ — центрированное относительно уровня S_0 математическое ожидание осадки основания от действия уплотняющего давления при условии абсолютной гибкости конструкции; $\tilde{S}(x)$ — собственно случайная поверхность деформирования основания, центрированная относительно уровня $\overset{0}{\bar{S}}(x)$, определяемая также без учета жесткости конструкции; $C_э = \dfrac{q}{S_0}$ — коэффициент пропорциональности между уплотняющим давлением и осадкой; S_0 — средняя осадка основания, полученная из условия равновесия конструкции, как штампа под действием внешней нагрузки и реакции грунта; $V(x)$ — искомое перемещение системы сооружение — основание *относительно центрированного состояния*.

Дифференциальное уравнение движения балки запишем, согласно В. З. Власову [8], учитывая силы инерции балки и грунтового основания

$$EIV^{IV}(x,t) + C_э V(x,t) + m_1 \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = f(t) C_э \left\{ S_0 \left[A_s \bar{\varphi}(x) + k_s \tilde{\varphi}(x) \right] \right\} -$$

$$- m_0 \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2}, \tag{4}$$

где EI — жесткость балки; m_1 — погонная масса балки; $m_0 = \gamma_0/g$; γ_0 — объемный вес грунта; g — ускорение свободного падения; $f(t)$ — динамическая нагрузка на балку.

Запишем уравнение (4) в виде

$$EIV^{IV}(x,t) + C_э V(x,t) + (m_1 + m_0) \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} =$$

$$= f(t) \left[C_э S_0 A_s \bar{\varphi}(x) + C_э S_0 k_s \tilde{\varphi}(x) \right] = f(t) \left[\bar{q}_э(x) + \tilde{q}_э(x) \right]. \tag{5}$$

$\bar{q}_э(x,t)$, $\tilde{q}_э(x,t)$ рассматриваются как детерминированная и случайная составляющие эквивалентной нагрузки.

Разделим левую и правую части уравнения (5) на EI

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) + m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} (C_э S_0 A_s \bar{\varphi}(x) + C_э S_0 k_s \tilde{\varphi}(x)); \tag{6}$$

$$s^4 = \frac{C_э}{EI}; \; m^* = \frac{m_1 + m_0}{EI}.$$

Считаем m^* детерминированной величиной, численно равной ее математическому ожиданию.

При свободных колебаниях нагрузка отсутствует, из (6) получим

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) = -m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2}. \tag{7}$$

Решение (7) находим по методу [8]. Тогда собственные частоты системы находим по формуле

$$\omega_n^2 = \frac{\lambda_n^2 + s^4}{(m^*)^2}, \tag{8}$$

где λ_n — фундаментальное число.

Фундаментальные функции

$$X_n(x) = \operatorname{sh}\lambda_n x + \sin\lambda_n x - a_0(\operatorname{ch}\lambda_n x + \cos\lambda_n x), \tag{9}$$

где

$$a_{0n} = \frac{\operatorname{sh}\lambda_n l - \sin\lambda_n l}{\operatorname{ch}\lambda_n l - \cos\lambda_n l}.$$

Рассмотрим *действие мгновенного импульса на балку*. Пусть на балку длиной l, расположенную на однослойном основании, действует нагрузка, интенсивность которой на погонную единицу длины равна

$$q(x) = q_0[1 + A_s\varphi(x)]. \tag{10}$$

Считаем, что продолжительность нагрузки и перемещения в момент ее исчезновения бесконечно малы, а скорость имеет конечное значение. Свободные колебания балки

$$V(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n(A_n \sin\omega_n t + B_n \cos\omega_n t). \tag{11}$$

Частоты и формы колебаний определены с учетом краевых условий. Коэффициенты A_n и B_n находим из начальных условий: при $t = 0$

$$V(x,0) = 0;\ \frac{\partial V(x,0)}{\partial t} = v_0, \tag{12}$$

где V_0 — начальная скорость.

Из 1-го условия (12) $B_n = 0$. Коэффициенты A_n находим при помощи разложения начальных условий (функции $\frac{q(x)}{m}$) в ряд по формам собственных колебаний. После преобразований получим

$$A_n = \frac{\int_0^l q(x) X_n dx}{m\omega_n \int_0^l X_n^2 dx}. \qquad (13)$$

Если $q(x) = q_0 = \text{const}$, то $A_n = \dfrac{q_0 \int_0^l X_n dx}{m\omega_n \int_0^l X_n^2 dx}$.

Используя свойство фундаментальных функций

$$\int_0^l X_n^2 dx = \frac{l}{4}\left[X_n^2 - 2X_n' X_n''' + \left(X_n''\right)^2 \right]_{x=0},$$

получим $\int_0^l X_n^2 dx \approx l$, а также для данной фундаментальной функции $\int_0^l X_n dx \approx 0$.

Это означает, что изгибные колебания балки происходят относительно средней осадки S_0, уровень которой остается практически постоянным в процессе колебания.

Для детерминированной самоуравновешенной эквивалентной нагрузки

$$A_n = \frac{A_s q_0 \int_0^l \bar{\phi}(x) X_n dx}{m\omega_n l}. \qquad (14)$$

Окончательно решение задачи имеет вид

$$V(x,t) = \frac{A_s q_0}{ml} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \cdot X_n \sin \omega_n t. \qquad (15)$$

Решение задачи о вынужденных колебаниях балки. На балку, расположенную на линейно деформируемом стохастическом основании, действует нагрузка, изменяющаяся во времени по длине балки по одному и тому же закону $f(t)$.

$$q(x,t) = f(t)[\bar{q}_э(x) + \tilde{q}_э(x)]. \qquad (16)$$

Масса m остается постоянной в процессе движения. Движение балки описывается неоднородным стохастически линейным дифференциальным уравнением

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) + m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} C_э \left[S_0 A_s \bar{\varphi}(x) + \sigma_s \sum_i \tilde{u}_i X_i(x) \right]. \qquad (17)$$

Решение уравнения (17) проводим в 2 этапа: детерминированный расчет на уровне математических ожиданий для регулярной составляющей эквивалентной нагрузки и вероятностный расчет на действие случайной составляющей.

1. Детерминированный расчет

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) + m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} C_э S_0 A_s \bar{\varphi}(x) = q_0 A_s \bar{\varphi}(x) \frac{f(t)}{EI}. \qquad (18)$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения находим по формуле (11). Произвольные постоянные $B_n = 0$, A_n вычисляем по (14).

Находим частное решение. Для этого разложим нагрузку $\bar{q}_э(x)$ или, что равносильно, функцию $\bar{\varphi}(x)$ в ряд по собственным функциям

$$\bar{\varphi}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n X_n . \qquad (19)$$

Умножив левую и правую части равенства на X_k и проинтегрировав по длине балки, получим

$$C_n = \frac{A_s q_0 \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx}{\int_0^l X_n^2 dx}. \qquad (20)$$

Прогиб балки для *n*-й формы колебаний равен

$$V_n(x,t) = \frac{A_s q_0}{m\omega_n l} X_n \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t-\tau) d\tau \qquad (21)$$

или, в целом,

$$V_n(x,t) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{C_n}{m\omega_n} X_n \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t-\tau) d\tau. \qquad (22)$$

Суммарное решение с учетом свободных и вынужденных колебаний

$$V(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \frac{A_s q_0}{m\omega_n l} \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \left[\sin \omega_n t + \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t-\tau) d\tau \right]. \qquad (23)$$

2. Вероятностный расчет. Для определения случайной функции прогиба запишем уравнение относительно случайной составляющей, представленной каноническим разложением:

$$\tilde{V}^{IV}(x,t) + s^4 \tilde{V}(x,t) + m^* \frac{\partial^2 \tilde{V}(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} C_э \left[\sigma_s \sum_i \tilde{u}_i X_i(x) \right], \qquad (24)$$

где $\tilde{u}_i$ — случайные нормально распределенные величины с математическим ожиданием, равным нулю, и дисперсиями $D[u_i] = D_i = \sigma_s^2 d_i^H$; $X_i(x)$, σ_s^2 — координатные функции входа и дисперсия случайной функции поверхности деформирования $\tilde{\varphi}(x)$; d_i^H — коэффициенты канонического разложения.

Если случайная функция входа задана каноническим разложением, то и случайная функция выхода (прогиб балки) также получается в виде канонического разложения. Тогда дисперсию функции $\tilde{V}(x,t)$ вычисляем по формуле

$$D_v(x,t) = \sigma_s^2 (F(t))^2 \sum_i d_i^H \left[\psi_i (x) \right]^2, \qquad (25)$$

где $\psi_i (x)$ — координатные функции выхода, полученные решением системы (24), в правой части которой вместо случайной функции $\tilde{\varphi}(x)$ стоят детерминированные координатные функции $X_i(x)$.

$$F(t) = \left[\sin \omega_n t + \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t-\tau) d\tau \right].$$

При нахождении координатных выходных функций используем решение (23):

$$\psi_i(x) = \frac{k_s}{m^* \omega_i} X_i(x). \qquad (26)$$

Применение фундаментальных функций в качестве координатных функций канонического разложения позволяет существенно снизить трудоемкость решения вероятностной задачи. В силу того что они автоматически удовлетворяют граничным условиям, сходимость решения высокая.

При использовании эквивалентных характеристик грунтового поля, а также разложения решения на основное и добавочное для самоуравновешенной системы сил задача колебаний балки на стохастически линейном полупространстве сводится к эквивалентной задаче колебаний балки на винклеровском основании с постоянным коэффициентом жесткости. Эта задача легко решается известными методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Болотин В. В.* Об упругих деформациях подземных трубопроводов, прокладываемых в статистически неоднородном грунте // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 1.

2. *Соболев Д. Н.* К расчету конструкций, лежащих на статистически-неоднородном основании // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 1.

3. *Соболев Д. Н., Юсупов Л. К.* Изгиб балки на нелинейном статистически-неоднородном основании // Строительная механика и расчет сооружений. 1975. № 5.

4. *Пшеничкин А. П.* Основы вероятностно-статистической теории взаимодействия сооружений с неоднородными грунтовыми основаниями. 2-е изд., испр. и доп. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. 336 с.

5. *Цытович Н. А.* Механика мерзлых грунтов. М. : Высш. шк., 1973. 448 с.

6. *Цытович Н. А.* Механика грунтов. М. : Стройиздат, 1963. 638 с.

7. *Крылов А. Н.* О расчете балок, лежащих на сплошном упругом основании / АН СССР. М., 1930.

8. *Коренев Б. Г.* Некоторые задачи упругости и теплопроводности, решаемые в бесселевых функциях. М. : Физматгиз, 1960.

9. *Власов В. З., Леонтьев Н. Н.* Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М. : Физматгиз, 1960.

1. *Bolotin V. V.* Ob uprugikh deformatsiyakh podzemnykh truboprovodov, prokladyvayemykh v statisticheski neodnorodnom grunte // Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheni. 1965. № 1.

2. *Sobolev D. N.* K raschetu konstruktsi, lezhashchikh na statisticheski neodnorodnom osnovanii // Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheni. 1965. № 1.

3. *Sobolev D. N., Yusupov L. K.* Izgib balki na nelineynom statisticheski neodnorodnom osnovanii // Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheni. 1975. № 5.

4. *Pshenichkin A. P.* Osnovy veroyatnostno-statisticheskoy teorii vzaimodeystviya sooruzeni s neodnorodnymi gruntovymi osnovaniyami. 2-e izd., ispr. i dop. Volgograd : VolgGASU, 2010. 336 s.

5. *Tsytovich N. A.* Mekhanika merzlykh gruntov. M. : Vyssh. shk., 1973. 448 s.

6. *Tsytovich N. A.* Mekhanika gruntov. M. : Stroyizdat, 1963. 638 s.

7. *Krylov A. N.* O raschete balok, lezhashchikh na sploshnom uprugom osnovanii / AN SSSR. M., 1930.

8. *Korenev B. G.* Nekotoryye zadachi uprugosti i teploprovodnosti, reshayemyye v besselevykh funktsiyakh. M. : Fizmatgiz, 1960.

9. *Vlasov V. Z., Leontev N. N.* Balki, plity i obolochki na uprugom osnovanii. M. : Fizmatgiz, 1960.

© Пшеничкина В. А., Махова С. И., Шубин М. А., Олянский Ю. И., Шапошников Н. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Динамический расчет балки на стохастическом линейно деформируемом полупространстве / В. А. Пшеничкина, С. И. Махова, М. А. Шубин, Ю. И. Олянский, Н. А. Шапошников // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 42—49.

УДК 624.042.7:721.011.27

В. А. Пшеничкина, Т. В. Золина, В. В. Дроздов, В. Л. Харланов

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

Изложена методика оценки полного сейсмического риска для зданий повышенной этажности на основе базовой пространственной конечно-элементной модели.

Ключевые слова: сейсмическая нагрузка, оценка надежности, полный сейсмический риск.

The estimation technique of the full seismic risk for the tier buildings is embodied on basis of the standard model of the spatial finite element model.

Key words: seismic load, seismic reliability, full seismic risk.

Расчет зданий и сооружений на сейсмические нагрузки связан с высокой степенью неопределенности: амплитуда, спектральный состав, направление и продолжительность, а также время начала воздействия являются случайными параметрами. Прочностные и физико-механические характеристики материалов конструкции также обладают статистической изменчивостью. Обеспечить безопасность таких объектов можно лишь с определенной степенью вероятности, что требует перехода от расчетов по методу предельных состояний к расчетам по предельно допустимому риску.

Вероятностные методы нормирования надежности конструкций зданий и сооружений с использованием показателей риска практически еще не разработаны вследствие сложности проведения вероятностных расчетов и построения функции надежности зданий и сооружений как единых пространственных систем. В настоящее время оценка надежности зданий при сейсмических воздействиях основывается на оценке риска превышения сейсмического ускорения грунтового основания заданный расчетный уровень. При этом остается неопределенной величина вероятности отказа конструкций зданий при условии реализации землетрясения проектной и более высокой интенсивности. Кроме того, существующая методика разработана в основном для одномассовых систем, что ограничивает область ее применения лишь частными случаями.

В качестве примера рассчитывается 17-этажное монолитное рамно-связевое здание с безбалочными перекрытиями. Высота здания составляет 54 м. В плане здание прямоугольное, размерами 27,5×19,4 м. Колонны сечением 400×400 мм, толщина диафрагм жесткости 200 мм. Класс бетона конструкций В30, армирование выполнено арматурными стержнями класса А240, А400. План этажа изображен на рис. 1, расчетная схема представлена на рис. 2.

Сейсмическая нагрузка моделируется в виде стационарной случайной функции со следующими характеристиками: спектральная плотность случайной функции сейсмического движения грунта $\tilde{X}(t)$;

$$S(\omega) = D\frac{2}{\pi}\alpha\frac{m^2+\omega^2}{m^4+2a\omega^2+\omega^4}, \qquad (1)$$

где $m^2 = \alpha^2 + \theta^2$, $a = \alpha^2 - \theta^2$.

Дисперсию D принимаем, согласно [1], равной $\sigma = \sqrt{D} = 0{,}25$ м/с^2 (для 7-балльного землетрясения). Коэффициенты спектральной плотности $\alpha = 6$ с$^{-1}$; $\theta = 14$ с$^{-1}$.

График нормированной спектральной плотности $S^{H}(\omega)$ приведен на рис. 3.

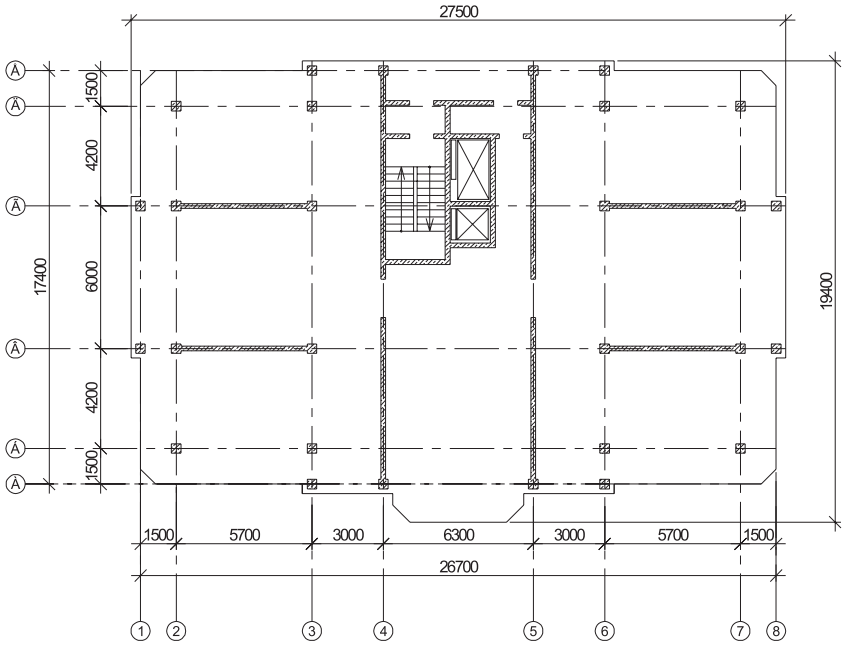


Рис. 1. План типового этажа здания

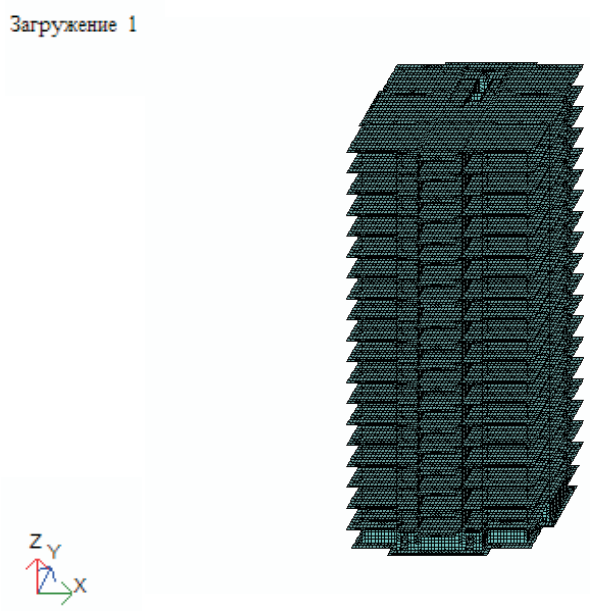


Рис. 2. Расчетная схема здания

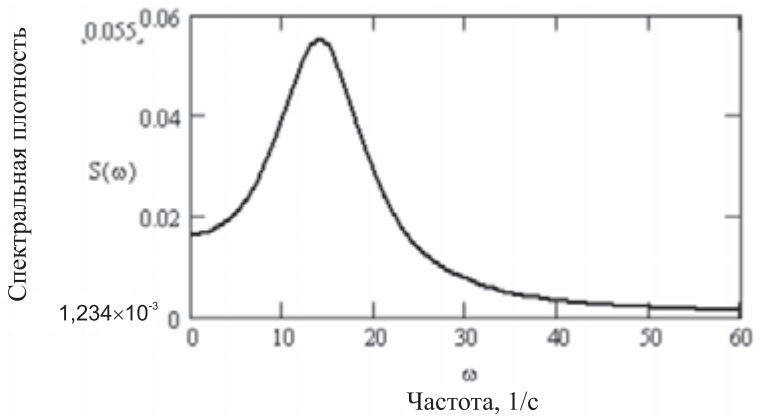


Рис. 3. Нормированная спектральная плотность сейсмической нагрузки

Для решения вероятностной задачи используем метод канонических разложений:

$$\tilde{X}(t) = \sum_{i=1}^{n} [\tilde{A}_i \phi_i(t) + \tilde{B}_i \phi_i(t)]. \tag{2}$$

В выражении (2) $\tilde{A}_i$ и $\tilde{B}_i$ — случайные величины с математическими ожиданиями, равными нулю и попарно равными дисперсиями

$$m_{A_i} = m_{B_i} = 0; \quad D_{A_i} = D_{B_i} = D_i = Dd_i^{\text{H}} = \int_{\omega_i - \Delta\omega/2}^{\omega_i + \Delta\omega/2} S^{\text{H}}(\omega) d\omega;$$

$$\Delta\omega = \omega_{i+1} - \omega_i;$$

$\phi_i^s(t) = e^{-\gamma t} \sin \omega_i t$; $\phi_i^c(t) = e^{-\gamma t} \cos \omega_i t$ — координатные функции входа.

Тогда дисперсию обобщенных координат находим по формуле

$$D_{\varphi}(t) = D \sum_{i=1}^{n} d_i^{\text{H}} \left(\left[\psi_i^s(t) \right]^2 + \left[\psi_i^c(t) \right]^2 \right), \tag{3}$$

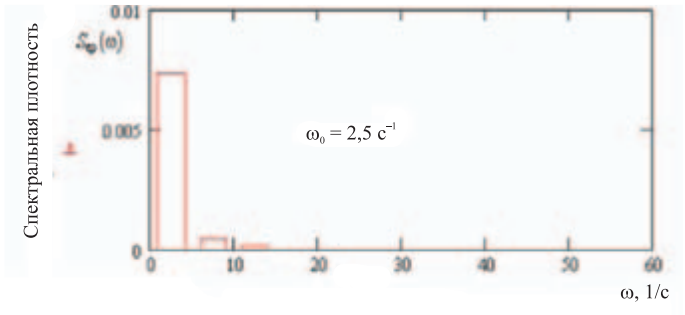
где $(\psi_i^s), (\psi_i^c)$ — координатные функции выхода:

$$\psi_{ij}^s(t) = \frac{1}{\omega_{0j}} \int_0^t \phi_i^s(\tau) e^{-c_j(t-\tau)} \sin \omega_{0j}(t-\tau) \, d\tau, \tag{4}$$

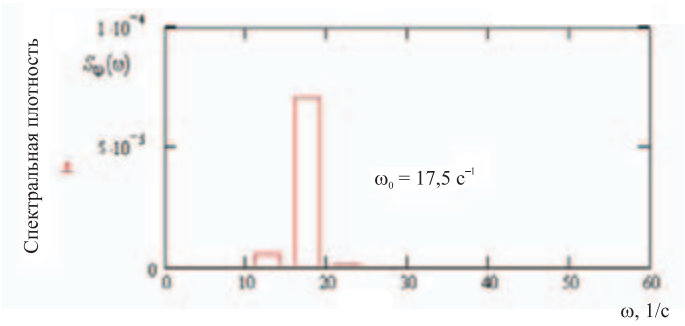
$$\psi_{ij}^c(t) = \frac{1}{\omega_{0j}} \int_0^t \phi_i^c(\tau) e^{-c_j(t-\tau)} \sin \omega_{0j}(t-\tau) \, d\tau, \tag{5}$$

где ω_{0j} — собственная *j*-я частота здания, c_j — коэффициент затухания.

Выходные спектральные плотности обобщенных координат представлены на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Выходные спектральные плотности обобщенных координат $S_\varphi(\omega,t)$ при $t = 2$ и собственных частотах системы: *а* — $\omega_0 = 2{,}5\ c^{-1}$; *б* — $\omega_0 = 17{,}5\ c^{-1}$

Оценка условного риска превышения перемещения за данный уровень находится по выражению

$$P(\varphi > a|t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t U(a|\tau)d\tau\right), \tag{6}$$

где $U(a,t)$ — среднее число выбросов функции прогиба за уровень a.

$$U(a,t) = \frac{1}{T_{e_p}(t)} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_p^2(t)}}, \tag{7}$$

где σ_p — стандарт первой производной (скорости изменения) функции обобщенных координат.

Эффективный период T_{e_p} [2] изменения параметра $\tilde{\varphi}(t)$ для пространственных систем находим по формуле

$$T_{e_p} = 2\pi\frac{\sigma_p}{\sigma_{\dot{p}}} = 2\pi\left(\frac{\int_0^\infty S_p(\omega)d\omega}{\int_0^\infty \omega^2 S_p(\omega)d\omega}\right)^{\frac{1}{2}} =$$

$$= 2\pi \left(\frac{\int_0^{\infty} \sum_{k=1}^{4} (\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{\varphi_{\xi k}}(\omega) + \eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{\varphi_{\eta k}}(\omega) + \theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{\varphi_{\theta k}}(\omega)) d\omega}{\int_0^{\infty} \sum_{k=1}^{4} (\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{\dot{\varphi}_{\xi k}}(\omega) + \eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{\dot{\varphi}_{\eta k}}(\omega) + \theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{\dot{\varphi}_{\theta k}}(\omega)) d\omega} \right)^{\frac{1}{2}} \approx$$

$$\approx 2\pi \left(\frac{\sum_{k=1}^{4} \left(\frac{\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{11}(\lambda_{\xi k})}{\lambda_{\xi k}^3} + \frac{\eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{22}(\lambda_{\eta k})}{\lambda_{\eta k}^3} + \frac{\theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{33}(\lambda_{\theta k})}{\lambda_{\theta k}^3} \right)}{\sum_{k=1}^{4} \left(\frac{\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{11}(\lambda_{\xi k})}{\lambda_{\xi k}} + \frac{\eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{22}(\lambda_{\eta k})}{\lambda_{\eta k}} + \frac{\theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{33}(\lambda_{\theta k})}{\lambda_{\theta k}} \right)} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Условная вероятность превышения прогибом $\tilde{\varphi}(t)$ для двух уровней a $(0 \le \tau \le t)$

$a = 1\sigma_{\varphi}$, $a = 1{,}64\ \sigma_{\varphi}$.

Интенсивность выбросов функции прогиба (перемещений) (t = 2 с) представлена в табл. 1:

Таблица 1

п/п	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$U(\sigma_{\varphi i},2)$	0,40	0,75	1,21	1,66	2,09	2,49	2,84	3,17	3,47	3,76	3,97	4,08
$U(1{,}64\sigma_{\varphi i},2)$	0,09	0,16	0,27	0,37	0,47	0,56	0,63	0,71	0,77	0,83	0,88	0,91

Вероятность превышения прогибом уровень a за время землетрясения $0 \le \tau \le 2$ с представлена в табл. 2:

Таблица 2

п/п	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi i})$	0,546	0,776	0,910	0,964	0,985	0,993
$P(\varphi_i > 1{,}64\sigma_{\varphi i})$	0,161	0,284	0,416	0,524	0,607	0,670
п/п	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ω_i	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi i})$	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999
$P(\varphi_i > 1{,}64\sigma_{\varphi i})$	0,761	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999

Вероятность превышения прогибом уровень a за время землетрясения $0 \le \tau \le 10$ с представлена в табл. 3

Таблица 3

п/п	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi i})$	0,912	0,999	0,999	~1	~1	~1
$P(\varphi_i > 1{,}64\sigma_{\varphi i})$	0,418	0,801	0,932	0,976	0,991	0,996
п/п	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ω_i	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi i})$	~1	~1	~1	~1	~1	~1
$P(\varphi_i > 1{,}64\sigma_{\varphi i})$	0,998	0,999	~1	~1	~1	~1

Для вычисления оценки полного сейсмического риска находим значения сейсмической опасности района строительства. Выбираем комплект карт А ОСР-97 с периодом повторяемости землетрясения 500 лет, что соответствует частоте $\Lambda = 0{,}002$ (лет$^{-1}$). Сейсмическая опасность как вероятность превышения расчетного землетрясения в течение T_0 хотя бы один раз вычисляется по закону Пуассона с постоянной интенсивностью

$$H(t) = 1 - \exp(-\Lambda t). \quad (9)$$

Значения функции сейсмической опасности территории $H(t)$ представлены в табл. 4.

Таблица 4

t, лет	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$H(t)$	$1{,}98\times10^{-2}$	0,04	0,06	0,077	0,095	0,113	0,131	0,148	0,165	0,181

Полный сейсмический риск равен произведению вероятностей (6) и (9), представлен выражением:

$$H_{seism}(a,T) = P(\varphi > a|t)H(T) = \left\{1 - \exp\left[-\int_0^t U(a,\tau)\right]\right\}\left[1 - \exp(-\Lambda T)\right]. \quad (10)$$

Значения полного сейсмического риска приведены в табл. 5:

Таблица 5

п/п	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5
$H_{seism}(\sigma, T)$	0,071	0,101	0,119	0,126	0,129	0,130
$H_{seism}(1{,}64\sigma, T)$	0,002	0,037	0,054	0,069	0,079	0,088
п/п	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ω_i	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$H_{seism}(\sigma, T)$	0,131	0,131	0,131	0,131	0,131	0,131
$H_{seism}(1{,}64\sigma, T)$	0,099	0,131	0,131	0,131	0,131	0,131

Выводы. Проведен расчет оценки условного и полного сейсмического риска превышения перемещений в конструкциях 17-этажного монолитного каркасно-связевого здания на основе МКЭ за данный уровень. Величина полного сейсмического риска при расчете на безопасность достаточно велика — 7,1—13,1 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП II-7—81*. Строительство в сейсмических районах. М. : Стройиздат, 2002. 75 с.

2. Надежность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях / В. А. Пшеничкина, А. С. Белоусов, А. Н. Кулешова, А. А. Чураков. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. 180 с.

1. SNiP II-7—81*.Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh. M. :Stroyizdat, 2002. 75 s.

2. Nadezhnost zdani kak prostranstvennykh sostavnykh sistem pri seysmicheskikh vozdeystviyakh / V. A. Pshenichkina, A. S. Belousov, A. N. Kuleshova, A. A. Churakov. Volgograd : VolgGASU, 2010. 180 s.

© Пшеничкина В. А., Золина Т. В., Дроздов В. В., Харланов В. Л., 2011

Поступила в редакцию
в декабре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Методика оценки сейсмической надежности зданий повышенной этажности / В. А. Пшеничкина, Т. В. Золина, В. В. Дроздов, В. Л. Харланов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 50—56.

УДК 699.841 (05)

А. В. Масляев, Ю. И. Олянский

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ г. ВОЛГОГРАДА В 2010 г.

Министерство обороны РФ в 2010 г. в ряде регионов России производило уничтожение боеприпасов наземными взрывами. Такое решение предусматривало исключение воздействия ударной воздушной волны на здания и людей. Однако анализ сейсмических воздействий от наземных взрывов боеприпасов вблизи территории г. Волгограда показал, что существующие тектонические разломы могут значительно усиливать их воздействие на здания и сооружения.

Ключевые слова: взрывы боеприпасов, сейсмические воздействия, колебания зданий, тектонический разлом.

RF Ministry of Defense in 2010 in the number of Russia regions is made the destruction of ammunition by ground explosions. Such decision is saved of shock air wave influence on buildings and people. However the analysis of seismic loads from ground explosions of ammunition near to Volgograd territory is shown that existing tectonic faults can them considerably strengthen their action on buildings and structures.

Key words: explosions of ammunition, seismic loads, fluctuation of buildings, tectonic fault.

Примерно с мая 2010 г. жители верхних этажей отдельных 8-, 9-этажных панельных, кирпичных зданий г. Волгограда стали периодически испытывать их колебания. Через некоторое время среди людей стала распространяться информация о том, что колебания зданий — это последствия наземных взрывов боеприпасов на военном полигоне «Прудбой», который располагается в западном направлении от г. Волгограда на расстоянии примерно 50 км. На многочисленные телефонные звонки различным чиновникам в течение нескольких месяцев жители города так и не получили разъяснения. С момента начала этих событий прошло примерно 1,5 года, но никто из представителей администрации Волгоградской области так и не высказал своего мнения по этому вопросу, будто этих значительных подземных силовых воздействий на многочисленные здания г. Волгограда не было. Опасные сейсмические воздействия наблюдались примерно в течение 7...8 месяцев. У администрации области даже не возникала мысль о привлечении ученых для выявления источника всех этих воздействий. Более того, когда 20 мая 2010 г. значительно раскачались пролетные строения нового мостового перехода в центре г. Волгограда, буквально на следующий день один из заместителей министра по транспорту утверждал, что это только воздействие аэродинамики. При этом никто из жителей г. Волгограда в это время не заметил каких-либо значительных усилений ветра.

Специалистам известно, что сооружение мостового перехода спроектировано и возведено с грубыми нарушениями требований нормативного документа [1]. Основной его конструктивный недостаток заключается в том, что он является несейсмостойким сооружением. Дело в том, что, согласно постановлению Главы администрации Волгоградской области № 84 от 04.02.2003, «мосты длиною 100 м и более на дорогах федерального значения» должны относиться к сооружениям с особой ответственностью, для которых нормативный доку-

мент для территории г. Волгограда установил нормативную сейсмостойкость в 7 баллов. Однако московские проектировщики («Гипротрансмост») уровень ответственности этого сооружения занизили, определив ему категорию повышенной ответственности, для которой нормативный документ [1] установил меньшую нормативную сейсмостойкость в 6 баллов. При этом, ссылаясь на научный отчет [2], в котором вообще отсутствуют работы по сейсмическому микрорайонированию строительной площадки мостового перехода, они делают вывод, что и расчетная сейсмичность строительной площадки этого сооружения оценивается в 6 баллов, хотя в [2] четко показаны несколько тектонических разломов, которые пересекают территорию этой строительной площадки. Это, согласно положению п. 4.5 документа [1], ведет к тому, что территория является неблагоприятной в сейсмическом отношении. Более того, п. 7.4.1 [1] не рекомендует «большие мосты» располагать в зонах тектонических разломов. Поэтому при расположении мостового перехода в зонах тектонических разломов расчетная сейсмичность его строительной площадки даже при исходной нормативной сейсмичности 6 баллов должна быть не менее 7 баллов, т. е. сооружение должно быть сейсмостойким.

Отличительной особенностью сейсмостойких конструкций пролетных строений моста длиной более 18 м является то, что они, согласно требованиям п. 7.4.16 [1], должны рассчитываться и на вертикальную сейсмическую нагрузку, которая исключает их расчет на любые ветровые воздействия. Когда возводилось это сооружение, автор рекомендовал заказчику (администрации Волгоградской области) установить в его конструкциях и на грунтах сейсмоаппаратуру. Если бы аппаратура была установлена, сегодня природа воздействий на это сооружение была бы понятна. Однако и сегодня необходимая сейсмоаппаратура не установлена в конструкциях сооружения и на грунтах (установлена аппаратура для отслеживания ветровых воздействий). Более того, на территории г. Волгограда отсутствует сейсмоаппаратура на таких ответственных сооружениях, как Волжская плотина, скульптура «Родина-Мать зовет», во всех высотных зданиях. Несмотря на требования нормативного документа [1], сегодня эксплуатацией этих ответственных сооружений занимаются люди, которые не являются специалистами в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

Предварительный анализ источника всех сейсмических воздействий в течение нескольких месяцев показал, что все они происходили в строго определенные дни, часы и примерно одинаковые минуты. Получается, что сейсмические воздействия происходили одновременно на здания, расположенные в разных районах г. Волгограда на больших расстояниях друг от друга. Прежде всего это говорит о том, что на здания воздействовали значительные упругие сейсмические волны неизвестной природы, но от одного источника.

В подвале одного из учебных корпусов Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета установлена сейсмоаппаратура, работающая в непрерывном режиме. Из-за наличия многочисленных источников физических помех эта аппаратура по программе записывает только колебания интенсивностью примерно более 3 баллов. За 2010 г. записей тектонических колебаний грунтов не было. Поэтому для анализа вероятных источников сейсми-

ческих воздействий на здания и сооружения г. Волгограда в течение 2010 г. были избраны наземные взрывы боеприпасов на военном полигоне «Прудбой».

Известно, что наземные взрывы опасны для зданий и сооружений в основном воздействием ударной воздушной волны, на образование которой расходуется основная часть их энергии. Но энергия ударной воздушной волны полностью гасится на первых километрах от эпицентра взрыва. а на образование упругой сейсмической волны в грунтах от наземного взрыва расходуется менее одного процента энергии. Поэтому военные специалисты считают, что наземные взрывы боеприпасов для зданий и сооружений, которые находятся на больших расстояниях, не представляют опасности.

Однако такое положение может быть справедливым только для территорий, которые «не обременены» тектоническими разломами. Если на какой-либо территории в течение многих миллионов лет происходят деформации любой направленности (вверх, вниз и т. д.), это служит основным признаком присутствия здесь тектонических разломов. На территории Волгоградской области в течение многих миллионов лет происходит опускание земной поверхности, о чем свидетельствует большая мощность осадочного слоя, которая видна на [3]. Так, по данным рис. 1 величина осадочного слоя вблизи р. Волги равна 5...6 км. По данным [4] и сегодня скорость опускания поверхности отдельных территорий Волгоградской области равна 8 мм в год. Результатом длительного действия тектонических сил различной направленности в земной коре на территории Волгоградской области является густая сеть тектонических разломов, часть которой отображена на рис. 2 [2].

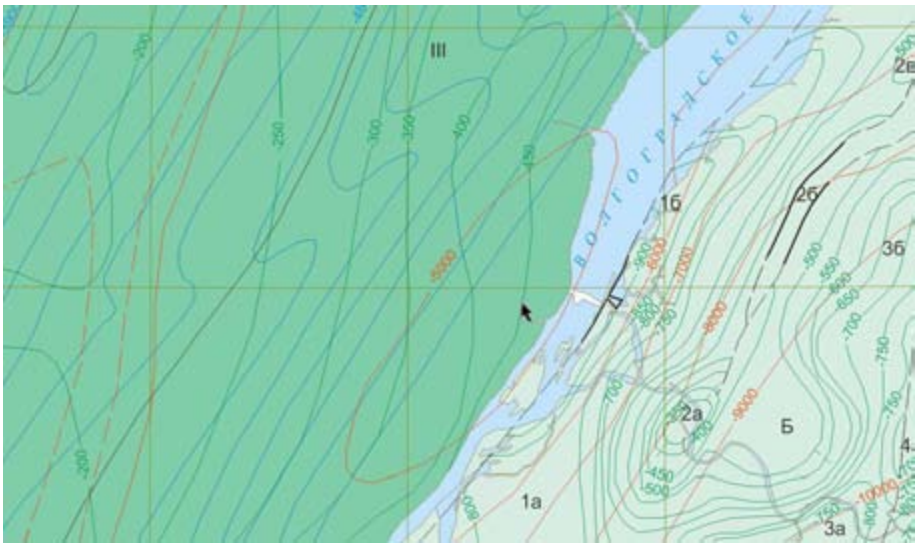


Рис. 1. Фрагмент схемы погружения поверхности фундамента на территории Волгоградской области. Условные обозначения — изогипсы в метрах поверхности фундамента [3]

Известно, что сложная тектоническая система может длительное время находиться в триггерном состоянии, т. е. обладает способностью под воздействием внешних сил приходить в движение. Так как территории военного по-

лигона «Прудбой» и г. Волгограда имеют единую (общую) сеть тектонических разломов, упругие сейсмические воздействия в грунтах от одномоментного наземного взрыва нескольких десятков тонн боеприпасов могут проявиться на больших расстояниях. При этом в пределах единой сети тектонических разломов на примерно одинаковых расстояниях от эпицентра взрыва сейсмические волны должны проявляться примерно через одинаковые показатели: 1) времени воздействия; 2) частоты волны. Жители г. Волгограда звонили в дежурную службу Комитета гражданской защиты населения администрации г. Волгограда и сообщали время колебания своего здания, его адрес, номер своего этажа.

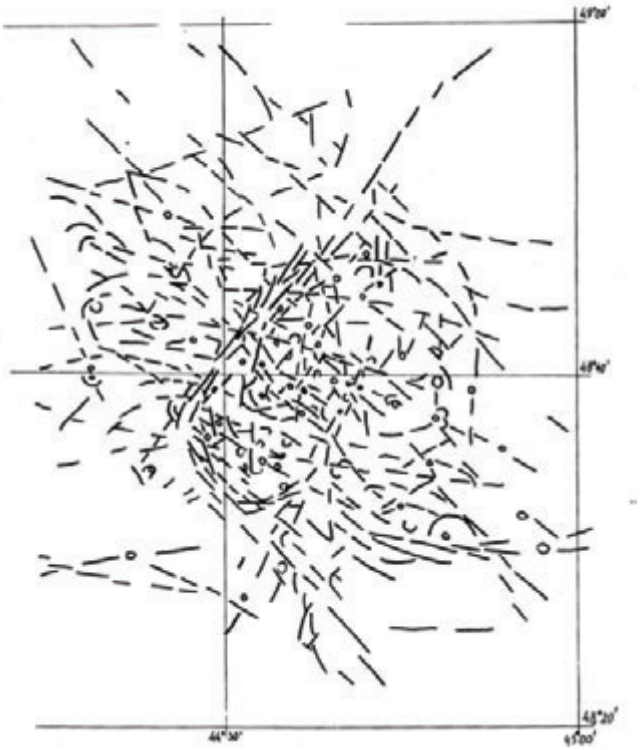


Рис. 2. Схема линеаментной сети на территории Волгограда, выявленная по результатам дешифрирования космических снимков [2]

Волгоград расположен вдоль р. Волги и его общая протяженность составляет примерно 90 км. Согласно данным звонков, чувствовали колебания зданий только жители верхних этажей 8-, 9-этажных панельных (отдельных кирпичных) зданий со всех районов города. Более того, совершали колебания только здания и сооружения (мостовой переход в центре города), которые находились вблизи тектонических разломов или глубоких оврагов. В дежурную службу позвонили жители примерно ста различных зданий г. Волгограда. Анализ сопоставления времени взрывов на полигоне «Прудбой» и времени звонков жителей показал, что разница во времени составляет примерно 10...15 минут: вначале был взрыв, а через указанное время — колебания зданий. В табл. помещена малая часть данных по анализу сейсмических воздействий от наземных

взрывов боеприпасов на отдельные жилые здания и мостовой переход в Центральном районе г. Волгограда. Так как основную часть составляют 9-этажные панельные жилые здания, в которых жители чувствовали колебания, для них определили период (частоту) их собственных колебаний. Зная частоту f собственных колебаний основной части зданий, в которых проявились резонансные явления, что и позволило людям их почувствовать, можно определить основную частоту этих сейсмических воздействий. Для определения значения периода T_c собственного колебания такого типа здания используем эмпирическую формулу для средних грунтовых условий [5]:

$$T_c = 0{,}05N;$$

где N — количество этажей в здании.

$$T_c = 0{,}05 \cdot 9 = 0{,}45 \text{ с или } f = 2 \text{ Гц}.$$

Известно, что тектонические воздействия происходят в интервале частот от 0,1 до 10 Гц. Как видим, основная частота сейсмического воздействия на территории г. Волгограда $f = 2$ Гц находится в пределах вышеуказанных значений для тектонических подвижек. Это позволяет говорить об участии тектонических разломов в усилении сейсмических воздействий на здания и сооружения на территории г. Волгограда при наземных взрывах на военном полигоне «Прудбой», что находится в полном согласии с положением п. 4.5 [1].

Адрес зданий и сооружений на территории г. Волгограда	Дата и время взрывов боеприпасов	Дата и время телефонных звонков от жителей	Разница во времени от взрывов до звонков	Присутствие вблизи зданий (сооружений) оврагов, тектонических разломов
1	2	3	4	5
Мостовой переход через р. Волгу	20.05.10 г. 17.55; 17.59	20.05.10 г., начало колебания — 18.05—18.10	10 мин.	Разломы
Ул. Ткачева, 14	14.10.10 г. 16.00	14.10.10 г. 16.13	13 мин.	Овраг
Ул. Рокоссовского, 24	02.11.10 г. 13.33	02.11.10 г. 13.45	12 мин.	Овраг, разлом
Ул. Донецкая, 16	29.11.10 г. 16.41	29.11.10 г. 16.51	10 мин.	Овраг, разлом
Ул. Пархоменко, 59;	29.11.10 г. 16.41	29.11.10 г. 16.54	13 мин.	Овраг
Ул. Рокоссовского, 56;	29.11.10 г. 16.41	29.11.10 г. 16.57	16 мин.	Овраг, разлом
Ул. Рокоссовского, 56;	01.12.10 г. 15.32	01.12.10 г. 15.47	15 мин.	Овраг, разлом
Ул. Рокоссовского, 54;	01.12.10 г. 15.32	01.12.10 г. 15.46	14 мин.	Овраг, разлом
Ул. Краснознаменская, 8	20.12.10 г. 16.34	20.12.10 г. 16.46	12 мин.	Овраг, разлом

В результате анализа сейсмических воздействий на территории г. Волгограда сделан вывод, что вблизи тектонических разломов проявлялся 2-балльный сейсмический эффект, который на верхних этажах 8-, 9-этажных панельных (отдельных кирпичных) домов усиливался примерно до 4 баллов. Данная оценка выполнена на основе положений сейсмической шкалы MSK-64.

Выводы. По данным времени взрывов на территории военного полигона «Прудбой», времени звонков от жителей всех районов г. Волгограда, колебаний только 8-, 9-этажных панельных (отдельных кирпичных) жилых домов и 3 максимальных пролетов мостового перехода, имеющих одно значение частоты собственного колебания примерно 2 Гц, которое находится в интервале стандартных значений частот сейсмических воздействий при тектонических подвижках (от 0,1 до 10 Гц), можно сделать вывод, что основными причинами колебаний были:

1) наземные взрывы боеприпасов на военном полигоне «Прудбой»;

2) наличие единой густой сети тектонических разломов на территориях военного полигона «Прудбой» и г. Волгограда.

Для проектировщиков Волгоградской области:

1. Отмеченная в данной статье усилительная роль тектонических разломов при распространении упругих сейсмических волн в земной коре на территории Волгоградской области при взрывах на военном полигоне «Прудбой» в 2010 г. согласуется с требованиями п. 4.5 [1].

2. Так как тектонические разломы на территории Волгоградской области смогли значительно усилить слабые упругие сейсмические волны в грунтах при взрывах, при землетрясении расчетное сейсмическое воздействие на здания и сооружения может быть увеличено ими примерно на один балл.

3. Учитывая наличие густой сети тектонических разломов на территории Волгоградской области и требование п. 4.7 [1], в проектах высотных зданий для Волгоградской области следует предусматривать установку сейсмоаппаратуры с передачей сигналов в единый аналитический центр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция / Минрегион России. М., 2011. 84 с.

2. *Бражников Г. А.* Тектоническое районирование Волгоградской области. Вып. 3. Л., 1965. С. 164—180.

3. *Шестоперов Г. С., Рогожин Е. А.* Уточнение сейсмотектонической обстановки и сейсмическое микрорайонирование участка строительства городского моста через р. Волгу в г. Волгограде // Отчет (сейсмотектонические исследования) НИИТРС, инв. № ВНТИЦ. М., 1996, 25 с.

4. *Кузнецов Ю.* Карты современных вертикальных движений земной коры на территории СССР / ЦНИИ геодезии, аэросъемки и картографии. М., 1990.

5. Строительство в сейсмических районах : проект. Вторая редакция. Международные строительные нормы. МНТКС, 2001.

1. SP 14.13330.2011. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya / Minregion Rossii. M., 2011. 84 s.

2. *Brazhnikov G. A.* Tektonicheskoye rayonirovaniye Volgogradskoy oblasti. Vyp. 3. L., 1965. S. 164—180.

3. *Shestoperov G. S., Rogozhin E. A.* Utochneniye seysmotektonicheskoy obstanovki i seysmicheskoye mikrorayonirovaniye uchastka stroitelstva gorodskogo mosta cherez reky Volgu

v gorode Volgograde // Otchet (seysmotektonicheskiye issledovaniya) NIITRS, inv. № VNTITs. M., 1996. 25 s.

4. *Kuznetsov Yu.* Karty sovremennykh vertikalnykh dvizheni zemnoy kory na territorii SSSR / TsNII geodezii, aerosemki i kartografii. M., 1990.

5. Stroitelstvo v seysmicheskikh raionakh : proekt. Vtoraya redaktsiya. Mezhdunarodnyye stroitelnye normy. MNTKS, 2001.

© Масляев А. В., Олянский Ю. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Масляев А. В., Олянский Ю. И. Анализ основных причин сейсмических воздействий на здания и сооружения г. Волгограда в 2010 г. // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 57—63.

УДК 626/627.03042.0.19.3

Т. П. Кашарина, М. Ю. Клименко, С. М. Мусаелян

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ СИСТЕМ ГОРОДОВ НА УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрены вопросы риска, сочетание показателей опасности и уязвимости, а также логико-вероятностные методы оценки надежности технических систем.

Ключевые слова: инженерно-техническая система города, окружающая среда, негативные последствия неправильной эксплуатации.

The questions of risk, combination of danger and vulnerability indicators and logical-and-probabilistic method of the engineering systems reliability evaluation are considered.

Key words: engineering and technical system of city, environment, negative consequences of abuse.

В настоящее время участились аварии технических и инженерных систем городской застройки, что связанно со сроком их службы, долговечностью строительных материалов, изменениями климатических условий, природных и антропогенных воздействий и т.п.

Основным показателем степени риска аварий является коэффициент риска аварий $R_a = \lambda v$, который представляет собой долю риска технических систем при наиболее неприятных сочетаниях показателей опасности $\lambda = 1$ и уязвимости $v = 1$. Степень риска аварии оценивается по величине коэффициента риска аварии, приведенного в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициент риска аварий

Степень риска аварии	Коэффициент R_a
Малая	Не более 0,15
Умеренная (средняя)	Свыше 0,15, но не более 0,3
Большая	Свыше 0,3, но не более 0,5
Критическая ситуация	Свыше 0,5

В диапазоне коэффициента риска аварии $0,5 > R_a > 0,3$ необходимо проведение дополнительного анализа факторов, обуславливающих максимальное значение показателей опасности и уязвимости рассматриваемого элемента сооружения (объекта), и выполнение тех или иных технических и организационных мероприятий по повышению уровня безопасности их и снижению риска аварий; при $R_a > 0,5$ дальнейшая эксплуатация сооружения в проектном режиме по условиям риска аварий недопустима [1].

В основу действующих нормативных коэффициентов надежности положена традиционная/детермическая по форме, «полувероятностная схема нормативных коэффициентов надежности», учитывающих случайные и непредвиденные факторы, т. е. вариабельность нагрузок, характеристик материалов,

условность расчетных схем, степень ответственности технической системы в общем виде представляется следующим образом:

$$\Phi\left(\gamma_f F_H \frac{R_H}{\gamma_m}\gamma_n\gamma_c\gamma_{fc}\gamma_a C\right) \geq 0, \quad (1)$$

где $\gamma_f, \gamma_n, \gamma_c, \gamma_{fc}, \gamma_a$ — нормативные коэффициенты надежности соответственно по нагрузке, материалу, ответственности сооружения, условиям работы, сочетанию нагрузок, точности; R_H, F_H — нормативное значение нагрузок и несущей способности; C — постоянная, определяющая ограничения, задаваемые для предельных состояний второй группы (по осадкам, смещениям и т. п.).

Данная схема оценки надежности не позволяет установить количественную связь между статистическими характеристиками исходных величин (нагрузок, воздействий, характеристиками материалов и т. п.) и параметров, определяющих состояние объекта (напряжения, смещения и т. п.), т. е. не позволяет дать количественную оценку надежности как элементов, подсистем, так и систем в целом. Значения нормативных коэффициентов для малосерийных и уникальных объектов носят достаточно условный характер.

Если выражение (1) представить в виде

$$\Phi(x_1, x_2 \ldots x_n) \geq 0, \quad (2)$$

где x_i — случайные параметры, определяющие нагрузки, характеристики материала и т.п., тогда

$$H = P\,[\Phi(x_1, x_2 \ldots x_n) \geq 0], \quad (3)$$

где P [ ] — вероятность выполнения условия (3), а условие надежной работы в виде

$$H = P\,[\Phi(x_1, x_2 \ldots x_n) \geq 0] \geq [H], \quad (4)$$

где $[H]$ — недопустимый уровень надежности.

Отсюда отказ или нарушение работоспособности запишется в следующем виде:

$$Q = P\,[\Phi(x_1, x_2 \ldots x_n) < 0] = 1 - H, \quad (5)$$

где

$$Q = P\,[\Phi(x_1, x_2 \ldots x_n) < 0] < Q, \quad (6)$$

где $[Q] = 1 - [H]$ — допустимый уровень отказов.

Эта схема теории надежности более последовательно учитывает случайные факторы и позволяет дать количественную оценку надежности объекта. Получаемые таким методом показатели надежности (безотказной работы, долговечности и др.) сравниваются с некоторыми допустимыми значениями, используются для сопоставления (по уровню надежности) различных вариантов проекта, режимов эксплуатации и т. п. и, что наиболее существенно для наших целей, позволяют определять показатель надежности сложных систем по показателям надежности элементов и подсистем [2].

На основании ретроспективного анализа составляем иерархическую схему основных элементов зданий (рис. 1).

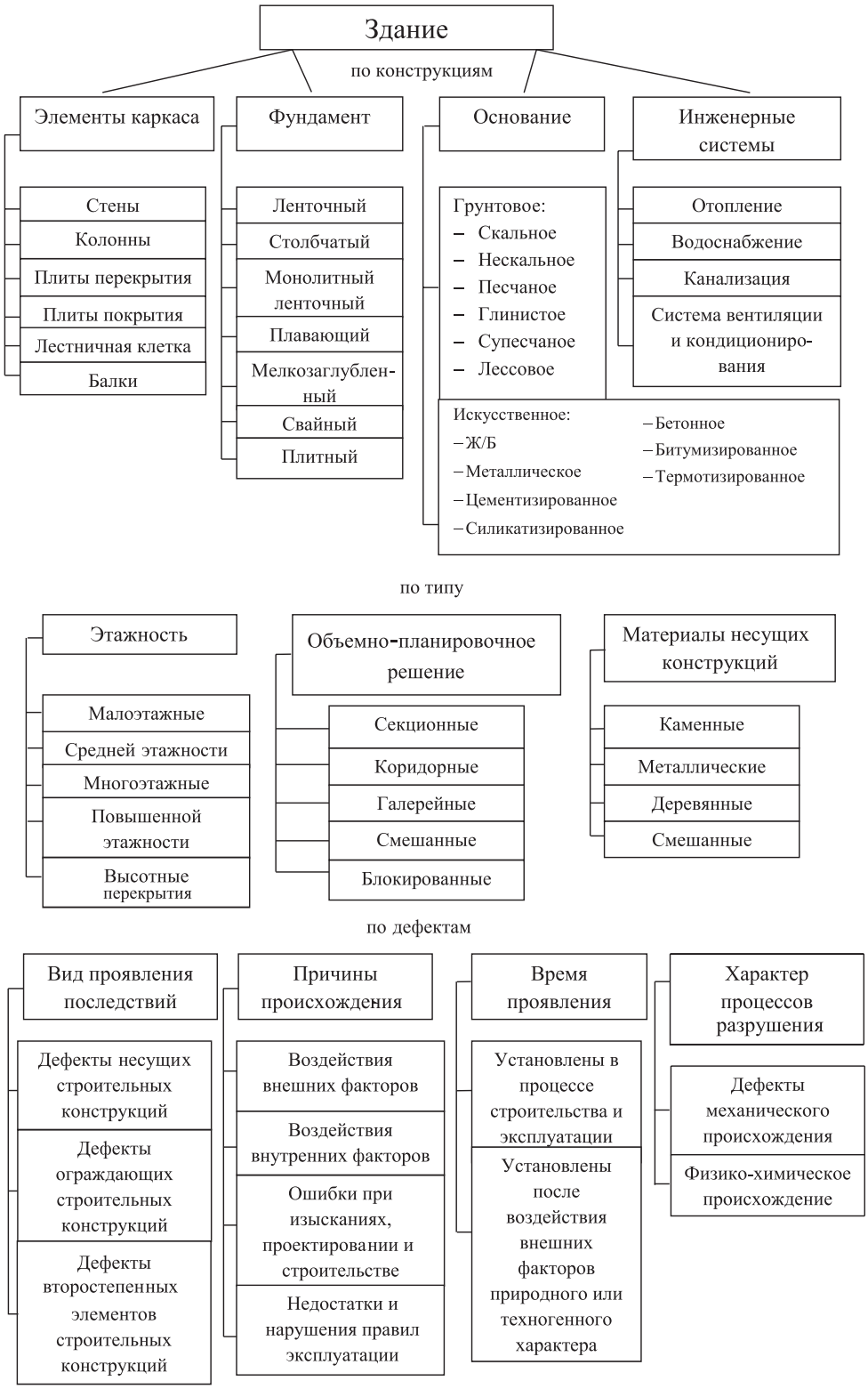


Рис. 1. Иерархическая схема основных элементов зданий

Аварии зданий и сооружений возникают в основном из-за допущенных грубых ошибок и просчетов, неучтенных при разработке проектов, строительстве и эксплуатации.

Недостаточная надежность проекта может возникнуть вследствие:

а) несоответствия принятой расчетной модели действительной работе конструкций из-за отсутствия или неполноты норм на проектирование, неясности расчетных схем и фактических условий работы и эксплуатации;

б) недостаточных данных о действующих нагрузках и воздействиях;

в) недостаточных сведениях о свойствах и изменчивости материалов, конструкций и оснований, а также масштабного фактора;

г) применения новых неапробированных типов конструкций;

д) недостаточной сопротивляемости сооружения случайным воздействиям и повреждениям;

е) недостатков, сложности расчета и конструирования, недостатка времени на проектирование.

Некачественное строительство объектов может возникнуть вследствие:

а) применения дефектных материалов;

б) использования необычных или неапробированных методов возведения;

в) плохого контроля за качеством строительства, неудовлетворительным взаимодействием проектировщиков и строителей;

г) низкой квалификации производственного персонала, частой смены производственного персонала;

д) неудовлетворительной обстановки на стройке (недостаток времени, средств, плохие взаимоотношения персонала).

Некачественная эксплуатация может возникнуть вследствие:

а) завышений проектных нагрузок;

б) отступлений от правил эксплуатации;

в) использования объекта не по назначению;

г) отсутствия контроля за состоянием здания или сооружения;

д) эксплуатации здания или сооружения с неустраненными дефектами;

е) снижения прочности конструкций во времени вследствие накопления повреждений (коррозии, выветривания, изменения грунтовых условий, усталости материала и т.п.).

Определение вероятности аварии производят на основании анализа условий, влияющих на надежность технических систем, используя экспертные оценки, данные расчетных или натурных обследований. Опросная анкета, на которую анонимно отвечают эксперты, содержит ряд оценочных условий, каждое из которых имеет свой удельный вес, с общей суммой всех условий, равной 1 (табл. 2) [3].

Условную надежность здания или сооружения β определяют по формуле

$$\beta = \frac{\sum P_i}{5},$$

где P_i — удельная оценка надежности, получаемая умножением удельного веса условия на оценку в баллах.

Полученные значения β для сооружения сравнивают со шкалой оценок надежности, которые представлены в табл. 3.

Таблица 2

Экспертная оценка надежности зданий и сооружений

	Условие надежности	Удельный вес условия	Вариант	Оценка в баллах					Удельная надежность
				1	2	3	4	5	
Качество проекта									
1	Достоверность инженерно-геологических изысканий	0,2	1			3			0,6
			2			3			0,6
			3	1					0,2
2	Апробированность конструкций и материалов сооружения в предыдущих сооружениях	0,05	1				4		0,2
			2			3			0,15
			3	1					0,05
3	Учет требований нормативных документов	0,05	1				4		0,2
			2		2				0,2
			3	1					0,05
4	Квалификация проектировщиков	0,7	1				4		0,28
			2			3			0,21
			3		2				0,14
5	Соответствие расчетной модели сооружения и нагрузки действительной работе	0,06	1				4		0,16
			2		2				0,12
			3		2				0,12
6	Наличие достаточного времени и средств на проектирование	0,05	1			3			0,15
			2			3			0,15
			3			3			0,15
7	Прохождение экспертизы проекта	0,2	1				4		0,8
			2			3			0,6
			3			3			0,6
Качество строительства									
8	Соответствие материалов и конструкций проекту	0,1	1		2				0,2
			2			3			0,3
			3		2				0,2
9	Апробированность методов строительства	0,02	1				4		0,08
			2		2				0,04
			3	1					0,02

Окончание табл. 2

	Условие надежности	Удельный вес условия	Вариант	Оценка в баллах					Удельная надежность
				1	2	3	4	5	
10	Контроль качества строительства	0,05	1				4		0,2
			2	1					0,05
			3	1					0,05
11	Квалификация кадров	0,1	1		2				0,2
			2	1					0,1
			3	1					0,1
12	Отсутствие отступлений от норм и проекта	0,1	1		2				0,2
			2	1					0,1
			3	1					0,1
13	Достаточность времени и средств на строительство	0,1	1			3			0,3
			2		2				0,2
			3		2				0,2
	Качество эксплуатации								
14	Отсутствие завышения проектных нагрузок	0,05	1				4		0,2
			2		2				0,1
			3	1					0,05
15	Контроль за исправностью сооружений и оборудования	0,05	1				4		0,2
			2		2	3			0,15
			3						0,1
16	Соблюдение правил эксплуатации	0,1	1			3			0,3
			2		2				0,2
			3	1					0,1
		$\Sigma = 1$		$\Sigma_1 = 4{,}27$; $\Sigma_2 = 3{,}27$; $\Sigma_3 = 2{,}23$					

Таблица 3

Шкала надежности и вероятности аварии зданий и сооружений при экспертных оценках

Условная надежность β	Вероятность (частота) аварии в год	Словесная шкала оценки надежности
1	10^{-6}	Хорошая
0,8	10^{-4}	Удовлетворительная
0,6	10^{-4}	Неудовлетворительная
0,4	10^{-3}	Недопустимая

Каждое условие оценивается по балльной шкале и имеет 5 вариантов ответа: 1 (неприемлемо), 2 (неудовлетворительно), 3 (удовлетворительно), 4 (хорошо), 5 (отлично).

Для более достоверных оценок надежности зданий и сооружений против аварии их оценка осуществляется несколькими независимыми экспертами, т. е.

$$\beta_1 = \frac{\sum P_i}{5} = \frac{4,27}{5} = 0,854 \text{ — удовлетворительная;}$$

$$\beta_2 = \frac{\sum P_i}{5} = \frac{3,27}{5} = 0,654 \text{ — неудовлетворительная;}$$

$$\beta_3 = \frac{\sum P_i}{5} = \frac{2,23}{5} = 0,446 \text{ — недопустимая.}$$

На основании проведенных логико-вероятностных методов и применив систему экспертных оценок, получим график условной зависимости надежности β от времени t, т. е. $\beta = f(t)$ и эмпирическую зависимость

$$Y = 10^{(A+BX)}, \quad (7)$$

где $A = -1,4\ldots-2$; $B = 3,3\ldots5,4$, при $R^2 = 0,89$.

На рис. 2 хорошо видны скачки в поведении графика, что показывает жизненный цикл сооружения от проектирования, строительства и эксплуатации.

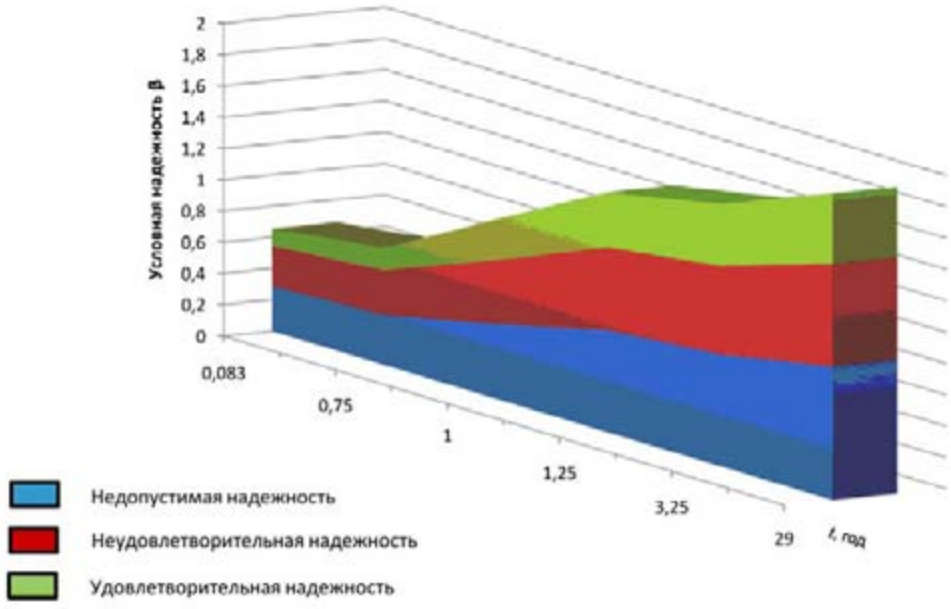


Рис. 2. График зависимости условной надежности β от времени t

Это позволяет определить условную надежность технической и инженерной системы зданий, определить оценку их технического состояния, а также воздействие на окружающую среду [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарина Т. П.* Производство работ при чрезвычайных ситуациях. Новочеркасск : Ф20У ВПО «НГМА», 2005. С. 134.

2. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Е. Н. Беллендир, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин, О. М. Финагенов, С. Г. Шульман. СПб. : Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2003. Т. 1. 553 с.

3. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам / Добромыслов А. Н. и др. М., 2001.

1. *Kasharina T. P.* Proizvodstvo rabot pri chrezvychaynykh situatsiyakh. Novocherkassk : F20U VPO «NGMA», 2005. 134 s.

2. Veroyatnostnyye metody otsenki nadezhnosti gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheni / E. N. Bellendir, D. A. Ivashintsov, D. V. Stefanishin, O. M. Finagenov, S. G. Shulman. SPb. : Izd-vo OAO «VNIIG im. B. Ye.Vedeneyeva», 2003. T. 1. 553 s.

3. Rekomendatsii po otsenke nadezhnosti stroitelnykh konstruktsi zdani i sooruzheni po vneshnim priznakam / Dobromyslov A. N. i dr. M. 2001.

© Кашарина Т. П., Клименко М. Ю., Мусаелян С. М., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Кашарина Т. П., Клименко М. Ю., Мусаелян С. М. Оценка воздействия технической и инженерной систем городов на условия устойчивого водоснабжения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 64—71.

УДК 626.01:624.1

Т. П. Кашарина, А. С. Глаголева, Д. В. Кашарин, А. В. Соловьев, С. И. Махова

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ГРУНТОНАПОЛНЯЕМЫХ ОБОЛОЧЕК

Рассмотрены вопросы расчетного обоснования грунтонаполняемых оболочек под нагрузкой, их теоретические и экспериментальные исследования.

К л ю ч е в ы е с л о в а : грунтонаполняемые оболочки, композитные и полимерные наноматериалы, расчет прочности, моделирование оболочек.

The justifying calculation of the building envelopes with soil under load, their basic and experimental researches are considered.

K e y w o r d s : building envelopes with soil, composite and polymeric nanomaterials, strength analysis, modeling of envelopes.

Использование новых композитных (полимерных) материалов (наноматериалов) и нанотехнологий позволяет применять передовые технические решения строительных конструкций и сооружений, в том числе в водохозяйственном строительстве, что повысит срок их эксплуатации, надежность и безопасность.

Натурные исследования, проведенные авторами, показали, что в процессе эксплуатации конструкции и элементы, представляющие собой замкнутые и незамкнутые оболочки из композитных (полимерных) материалов, изменяют свои прочностные характеристики в зависимости от степени поврежденности, полученной вследствие силовых воздействий внешней, а затем и внутренней среды, значительно снижающей их долговечность и прочность [1,2].

В связи с этим применение новых композитных материалов в сочетании с наноматериалами может обеспечить сохранение проектной формы за счет изменения характеристик материала в зависимости от внешних и внутренних воздействий в предварительно заданном диапазоне. Однако это вопросы будущей перспективы развития материалов.

Современные композитные материалы обладают невысокой стоимостью, уникальными физико-механическими характеристиками: высокой механической прочностью на разрыв, химической и биологической устойчивостью, водозадерживающими и фильтрационными качествами. Это позволяет авторам внедрить в производство новые технические решения с применением грунтонаполняемых и грунтоармированных элементов, обосновывая при этом методы их расчета [1].

В настоящее время известны научные исследования отечественных и зарубежных ученых, а также различные зависимости для определения и построения очертаний грунтонаполняемых оболочек из композитных (полимерных материалов), основанных на теории сыпучей среды.

Исследованиями элементов конструкций из композитных (полимерных) материалов занимались многие отечественные и зарубежные ученые, такие как Л. Женевуа, Ф. К. Лапшин, К. М. Хуберян, Б. И. Сергеев, В. А. Волосухин, В. И. Кашарин и др.

Очертание поперечного сечения трубопровода по веревочной кривой впервые было предложено Л. Женевуа [2]. При этом он ограничивался рассмотрением открытого трубопровода, опертого на всем своем протяжении на горизонтальную плоскость. При определении веревочного очертания он учитывал только гидростатическое давление в трубопроводе. Схема поперечного сечения предложенного Л. Женевуа трубопровода представлена на рис. 1.

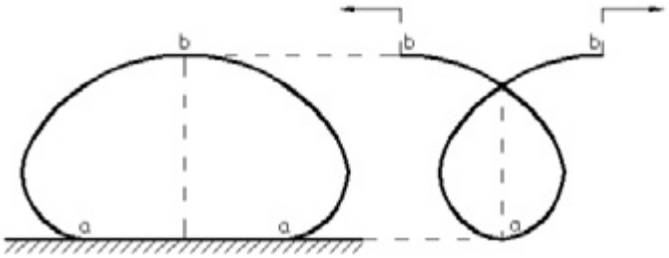


Рис. 1. Схема поперечного сечения трубопровода, предложенная Л. Женевуа. Часть *aba*, очерченная по веревочной кривой, и тонкий упругий стержень, нагруженный двумя эксцентрично приложенными противоположно направленными силами

Нами используется схема грунтонаполняемой оболочки, в которой очертания поперечного сечения по веревочной кривой сочетаются с идеей двухточечного ее опирания, т. е. рациональное ее сечение.

Каждую веревочную кривую выгоднее строить по совокупности всех действующих на расчетный участок оболочки основных статических нагрузок.

Вводим следующие упрощения: при построении веревочных кривых собственным весом оболочки пренебрегают; учитывается только внешнее и внутреннее давление на оболочку. Тогда форму поперечного сечения оболочки можно описать уравнениями эластики второго рода, имеющими следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \frac{y}{h} &= 1 - \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \bar{\varphi}}; \\ \frac{x}{h} &= E_2(\bar{\varphi}, k) - \left(1 - \frac{k^2}{2}\right) E_1(\bar{\varphi}, k), \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где y и x — координаты точки эластики, м; h — расстояние наиболее удаленной точки эластики от линии действия сил, м; $E_1(\varphi; k)$ и $E_2(\varphi; k)$ — эллиптические интегралы первого и второго рода соответственно; k — модуль эллиптического интеграла (модуль эластики); $\bar{\varphi}$ — амплитуда эллиптического интеграла, градусы.

Для эластик второго рода: $0 \le k \le 1$ и $0 \le \varphi \le \pi/2$.

Задавшись конкретным значением модуля k и придавая различные значения параметру φ, в заданных пределах, можно с помощью уравнений (1) и таблиц эллиптических интегралов полностью построить одну ветвь эластики. Остальные ветви получаются как повторение найденной. При различных величинах модуля k можно построить все семейство эластик второго рода [3, 4].

Нами произведены расчеты, определены и построены возможные очертания грунтонаполняемой оболочки с учетом работ [3, 4, 5].

В данном разделе рассмотрен расчет грунтонаполняемой оболочки под засыпкой с учетом результатов работы К. М. Хуберяна, в которой применяется гипотеза о давлении широкой и неглубокой засыпки (интенсивность вертикального давления засыпки в данной точке поверхности конструкции принимается равной весу столба грунта над этой точкой, а интенсивность горизонтального давления засыпки принимается всюду пропорциональной интенсивности вертикального давления). Схема по расчету грунтонаполняемого элемента показана на рис. 2 [3].

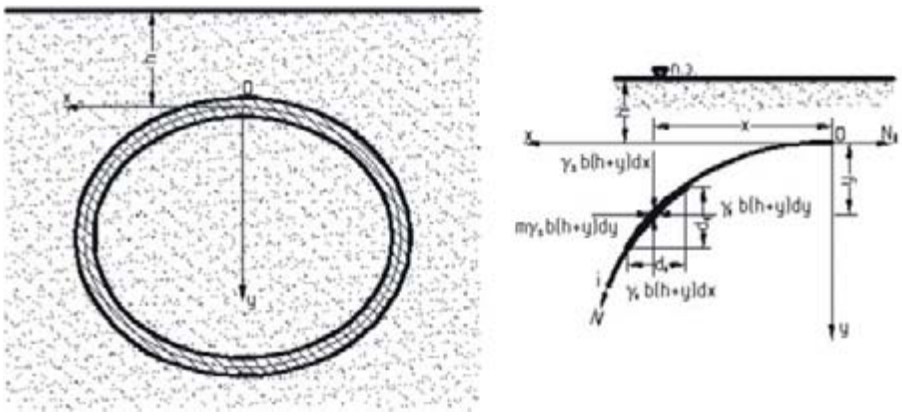


Рис. 2. Схема по расчету грунтонаполняемых элементов: п.з. — поверхность засыпки

Расчет ведется в следующей последовательности.

Выделяют бесконечно малый элемент нити (см. рис. 2) длиною d_s, находящийся в равновесии под действием наружного давления засыпки N_0 и сил натяжения N. Соответственно этим силам интенсивности суммарной вертикальной нагрузки q_y и суммарной горизонтальной нагрузки q_x выражаются следующими зависимостями:

$$q_y = (h+y)(\gamma_н - \gamma_з)b; \quad q_x = (h+y)(\gamma_н - \gamma_з m)b, \tag{2}$$

где $\gamma_н$, $\gamma_з$ — объемный вес грунта, наполняющего оболочку, и грунта засыпки, кН/м^3: $\gamma = \rho g$; ρ — плотность грунта; h — высота засыпки над ключом свода, м; m — коэффициент, определяемый по формуле $m = \mathrm{tg}^2\left(45° - \frac{\beta}{2}\right)$; β — угол естественного откоса засыпки, градусы; b — размер выделенного участка оболочки в направлении, перпендикулярном чертежу, м.

Уравнение равновесия гибкой нити при любых вертикальных и горизонтальных нагрузках принимает следующий вид:

$$(N_0 - \int_0^y q_x dy)\, y'' = q_y - q_x y'^2, \tag{3}$$

где N_0 — наружное давление засыпки, кН/м; y — уравнение, описывающее форму оболочки; y' — первая производная уравнения y; y'' — вторая производная уравнения y.

Преобразуя уравнения (2) и (3) и введя обозначения $\frac{\gamma_з}{\gamma_н} = \frac{\rho_з}{\rho_н} = a$, формулу запишем следующим образом:

$$N = \frac{(h+y)\left(\{1-a\}+\{1-am\}y'^2\right)}{y''} + (1-am)\left(hy + \frac{y^2}{2}\right), \tag{4}$$

где N — сила натяжения в оболочке, $N = \frac{N_0}{\gamma_н b}$, кН/м.

Уравнение, описывающее форму оболочки — уравнение эластики второго рода

$$y = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sin^2\varphi}{k^2}}\right)h, \tag{5}$$

где φ — угол внутреннего трения грунта засыпки, градусы; k — модуль эллиптических интегралов.

Первая и вторая производная уравнения (5) принимают вид

$$y' = \frac{h\sin\varphi\cos\varphi}{k^2\sqrt{1-\frac{\sin^2\varphi}{k^2}}}; \quad y'' = \frac{h\,(k^2\cos 2\varphi + \sin^4\varphi)}{k^4\sqrt{1-\frac{\sin^2\varphi}{k^2}}}. \tag{6}$$

На основании полученных зависимостей составлена программа для расчета замкнутой грунтонаполняемой оболочки под нагрузкой (рис. 3).

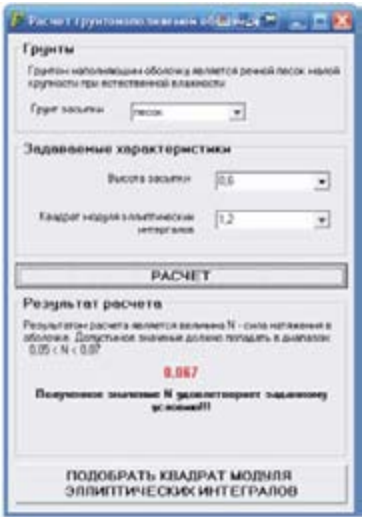


Рис. 3. Программа для расчета грунтонаполняемых элементов

Приводим пример расчета грунтонаполняемой оболочки (табл.), который производится при высоте засыпки над ключом свода 0,6 м, квадрате модуля эллиптических интегралов 1,2 и при размере выделенного участка оболочки 0,01 м. В качестве грунта, наполняющего оболочку, во всех вариантах принят маловлажный речной песок средней крупности с характеристиками: ρ = 18 кН/м^3, β = 40°, φ = 24°.

Результаты расчета

Наименование грунта засыпки с характеристиками	Значение сил натяжения в оболочке N, кН/м
1. Маловлажный речной песок средней крупности (ρ = 18 кН/м^3, β = 40°, φ = 24°)	0,067
2. Суглинки (ρ = 19 кН/м^3, β = 20°, φ = 19°)	–0,058
3. Техногенный грунт (ρ = 15 кН/м^3, β = 13°, φ = 10°)	0,219

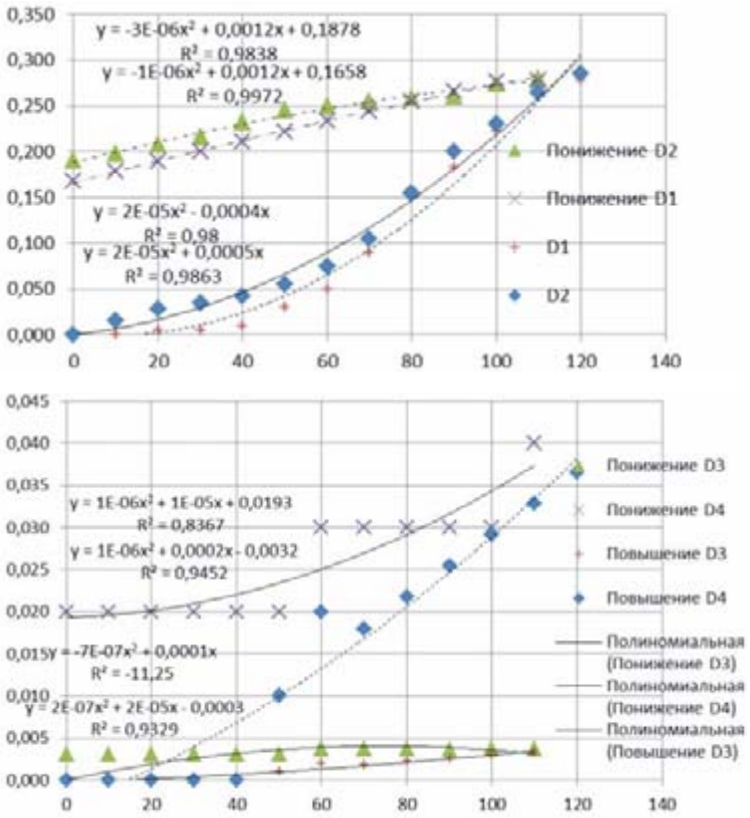


Рис. 4. Графики зависимостей изменения формы оболочки при нагрузке и разгрузке

Для обоснования правильности полученных теоретических исследований выбраны условия для проведения экспериментальных исследований, которые проводились в лаборатории кафедры ПГСГиФ ЮРГТУ. Нагружение оболочки производилось с учетом ее заглубления и под засыпкой, а также с дополнительной нагрузкой малоэтажными зданиями. Модель грунтонаполняемой оболочки была выполнена в масштабе 1:50. Нагрузка на горизонтальную грунтонаполняемую оболочку подавалась через штамп, а ступени нагружения — весом груза. Горизонтальные перемещения ее под нагрузкой определялись датчиками часового типа ИЧ-10. После полного нагружения оболочка находилась в таком состоянии трое суток, а потом производилась разгрузка ее.

На основании полученных экспериментальных данных были построены графики (рис. 4) и получены эмпирические зависимости перемещений от нагрузки $y = f(P)$, по изменению формы оболочки под нагрузкой и после ее разгрузки.

Это позволяет обосновать изменение формы оболочки под нагрузкой и разгрузкой, подобрать композитный материал для натурных конструкций в соответствии с жесткостью его на изгиб и относительными удлинениями по основе и утку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарина Т. П., Кашарин Д. В.* Применение грунтонаполняемых оснований из композитных материалов для водоподпорных сооружений // Труды международной конференции «Фундаменты глубокого заложения и проблемы с освоением подземного пространства». Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2011. С. 395—401.

2. *Кашарина Т. П., Жмайлова О. В., Глаголева А. С.* Современные методики расчета укрепления оснований грунтонаполняемым элементом малоэтажных строений на техногенных грунтах // Малоэтажное строительство в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России»: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 15—16 дек. 2009 г., г. Волгоград. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 189—192.

3. *Хуберян К. М.* Рациональные формы трубопроводов, резервуаров и напорных перекрытий. М. : Госстройиздат, 1956. 206 с.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610995 «Грунтонаполняемая оболочка». Новочеркасск : ЮРГТУ(НПИ), 2010.

5. Рекомендации по применению в малоэтажном строительстве грунтонаполняемых элементов при усилении оснований на техногенных грунтах / под. рук. Т. П. Кашариной. Ростов н/Д : Южводпроект, 2010. 23 с.

1. *Kasharina T. P., Kasharin D. V.* Primeneniye gruntonapolnyayemykh osnovani iz kompozitnykh materialov dlya vodopodpornykh sooruzheni // Trudy mezhdunarodnoy konferentsii «Fundamenty glubokogo zalozheniya i problemy s osvoyeniyem podzemnogo prostranstva». Perm : Izd-vo PNIPU, 2011. S. 395—401.

2. *Kasharina T. P., Zhmaylova O. V., Glagoleva A. S.* Sovremennyye metodiki rascheta ukrepleniya osnovani gruntonapolnyayemym elementom maloetazhnykh stroyeni na tekhnogennykh gruntakh // Maloetazhnoye stroitelstvo v ramkakh Natsionalnogo proekta «Dostupnoye i komfortnoye zhile grazhdanam Rossii»: tekhnologii i materialy, problemy i perspektivy razvitiya v Volgogradskoy oblasti : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 15—16 dek. 2009 g., g. Volgograd. Volgograd : VolgGASU, 2009. S. 189—192.

3. *Khuberyan K. M.* Ratsionalnyye formy truboprovodov, rezervuarov i napornykh perekryti. M. : Gosstroyizdat, 1956. 206 s.

4. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2010610995 «Gruntonapolnyayemaya obolochka». Novocherkassk : YuRGTU(NPI), 2010.

5. Rekomendatsii po primeneniyu v maloetazhnom stroitelstve gruntonapolnyayemykh elementov pri usilenii osnovani na tekhnogennykh gruntakh / pod. ruk. T. P. Kasharinoy. Rostov n/D : Yuzhvodproekt, 2010. 23 s.

© Кашарина Т. П., Глаголева А. С., Кашарин Д. В., Соловьев А. В., Махова С. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Основные положения по расчету грунтонаполняемых оболочек / Т. П. Кашарина, А. С. Глаголева, Д. В. Кашарин, А. В. Соловьев, С. И. Махова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 72—77.

УДК 624.131.543:51

Т. П. Кашарина, А. П. Приходько, В. А. Пшеничкина, В. Н. Синяков, М. А. Шубин

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУНТОАРМИРОВАННОЙ НАСЫПИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ (ПОЛИМЕРНЫХ) МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются конструктивные особенности грунтоармированных сооружений из композитных (полимерных) материалов и обоснование их параметров.

К л ю ч е в ы е с л о в а : грунтоармированные сооружения, композитные и полимерные материалы, дорожные насыпи и полигоны твердых бытовых отходов.

The design features of the constructions with the reinforced earth of the composite (polymeric) materials and the substantiation of their parameters are considered.

K e y w o r d s : constructions with reinforced earth, composite and polymeric materials, road embankments and solid domestic waste landfills.

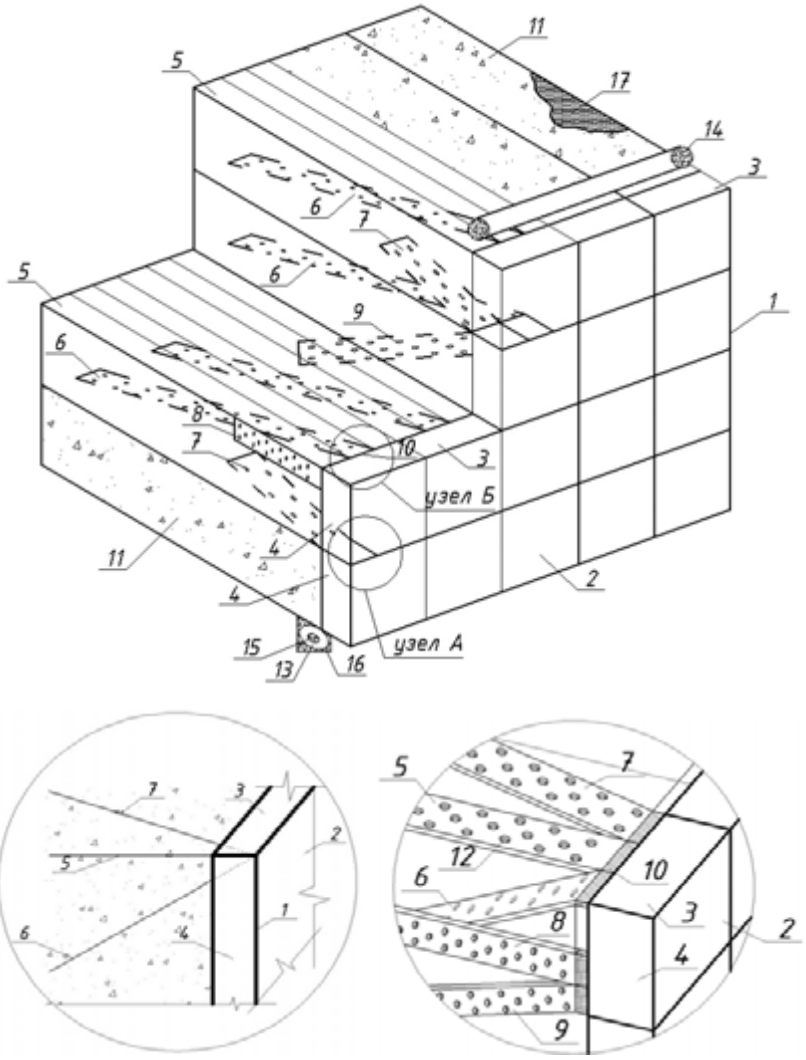
В настоящее время большое внимание уделяется проблеме использования техногенных грунтов в строительной отрасли, в том числе при устройстве дорожных насыпей и полигонов твердых бытовых отходов.

Для обоснования применения подобных сооружений нами разработаны конструктивные решения и методы их обоснования [1, 2, 3].

Разработанное техническое решение представляет собой грунтоармированное сооружение, состоящее из (рис. 1): лицевой стенки *1* из лицевых элементов *2*, выполняемых из композитных материалов (наноматериалов), обладающих памятью, включая горизонтальный *3* и вертикальный *4* участки лицевого элемента, разрезанные от лицевых элементов или прикрепленные гибкими связями *10* горизонтальные *5*, нижние *6*, верхние *7*, боковые прямолинейные *8* и наклонные *9* армоленты, перфорированные в шахматном порядке *12* и вводимые в грунтовый массив *11*, а также удерживающие верхние и нижние многооболочечные анкера *13*, *14* приямка *16*, в заполнитель которых введен сорбент для очистки воды и отвода поступающих поверхностных и грунтовых вод *15*. Верхние части грунтоармированного сооружения покрываются полимерным материалом с семенами *17*, обеспечивающим защиту от разрушения грунтового массива *11*.

На основании проведенных теоретических исследований по определению усилий в подпорной стенке и в армолентах нами разработана программа на ЭВМ и получено свидетельство о государственной регистрации программы «Расчет грунтоармированного основания» № 2010616390, применение которой позволяет значительно сократить время на проектирование данных конструкций.

Одной из задач при применении композитных материалов является их характеристика, в том числе прочность на разрыв, что связано с достаточно большим относительным удлинением, являющимся результатом действия разрывного усилия. Учет этих зависимостей необходим для более рационального подбора композитного (полимерного) материала, который усиливает основание насыпей.



Узел А *Узел Б*

Рис. 1. Грунтоармированное сооружение с лицевой стенкой из отдельных элементов

Грунтоармированные элементы конструкций воспринимают на себя напряжение растяжения, а грунт — напряжение сжатия. Долговечность композитных (полимерных) материалов определяется свойствами исходного сырья, пропитывающего состава и поверхностного покрытия, что определяет срок их службы от 5 до 25 и более лет.

Условие прочности на разрыв для композитных материалов имеет вид

$$\frac{\mathrm{T}_{z,i}}{\mathrm{K}_{\mathrm{c}} bt} \le R_a, \qquad (1)$$

где R_a — прочность полимерного армирующего элемента на разрыв; K_{c} — коэффициент, учитывающий снижение прочности армирующего материала в

процессе эксплуатации; $T_{z,i}$ — растягивающие усилия, возникающие в армирующем элементе, определяемые по следующей зависимости:

$$T_{z,i} = K_a \gamma z S_h, \tag{2}$$

где $K_a = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) = tg^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ — коэффициент активного давления грунта; φ — угол внутреннего трения засыпки; γ — удельный вес засыпки; S_h — расстояние между армирующими элементами; z — расстояние до рассматриваемой точки.

Наибольшей нагрузке подвергается нижняя прослойка арматуры:

$$T_{max} = \frac{n}{n+1} K_a \gamma S_h. \tag{3}$$

Коэффициент запаса арматурных лент на выдергивание определяется по формуле

$$K_s^c = \frac{Tf}{T} = \frac{2Tf}{K_a \gamma H^z}. \tag{4}$$

Расчет общей надежности всей системы производится на основании составленной авторами блок-схемы и разработанной программы «Расчет грунтоармированного основания», которая позволяет определять оптимальную длину армирующих элементов при различных: высоте засыпки *H*; высоте отдельного слоя *h*; длине армирующих (двойных) лент *l*1 и *l*2; угле внутреннего трения засыпки φ, плотности грунта γ; коэффициенте трения арматуры по грунту *f* (рис. 2).

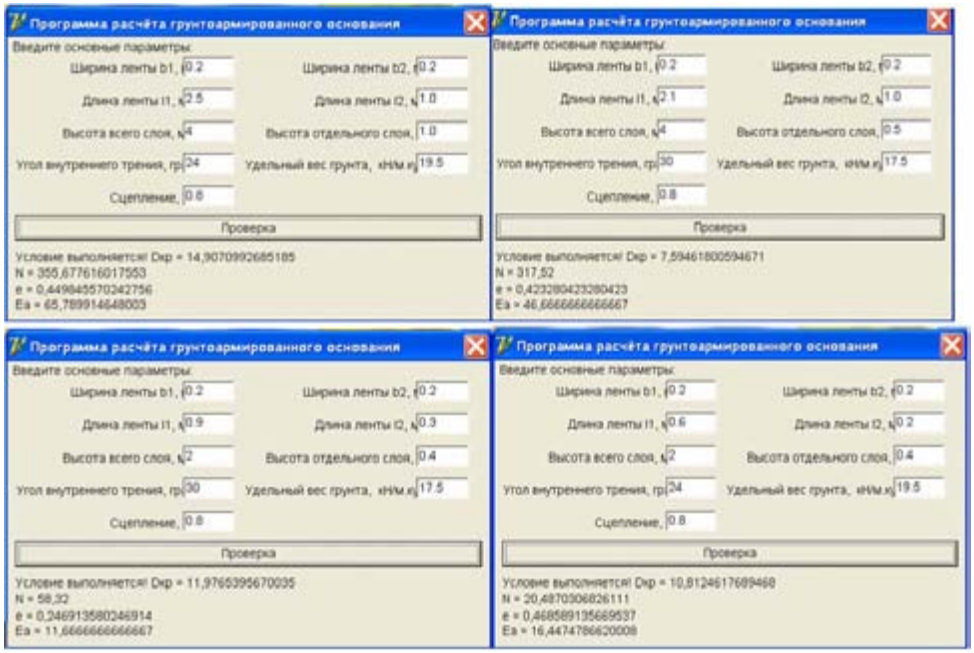


Рис. 2. Примеры расчета грунтоармированного массива с единой лицевой стенкой

При составлении расчетного обоснования параметров армолент предлагаемой конструкции нами усовершенствуется ранее разработанная программа, в которой будут учитываться наклонные ленты различных направлений, оценка жесткости композитного материала на изгиб EJ, а также характеристики их $\varepsilon_{\text{основы}}$ и $\varepsilon_{\text{утка.}}$

Проведенные теоретические исследования позволили получить графические и эмпирические зависимости для определения растягивающих усилий в армоленте, которые представлены следующей зависимостью:

$$T = \Phi(\theta, \gamma, \varphi, H, h, f, l, b, m_1, m_2, S_h, S_\gamma, \varepsilon_i, EJ), \quad (5)$$

где θ — угол трения армированной засыпки; φ — угол внутреннего трения засыпки; γ — удельный вес засыпки; H — высота насыпи; h — высота слоя засыпки; S_h — расстояние между армолентами по высоте; S_γ — шаг армирования; b — ширина армоленты; l — длина армоленты; m_1, m_2 — углы наклона армоленты; EJ — жесткость на изгиб композитного материала; ε_i — характеристики композитного материала на растяжение по основе и утку.

В настоящее время разрабатывается программный комплекс по совместной работе лицевых элементов насыпи и армолент. Разработанное техническое решение с лицевой стенкой из отдельных лицевых элементов и армолент с различным углом наклона в грунтовом массиве позволяет обеспечить большую надежность и устойчивость грунтоармированного сооружения в целом.

В результате проведенных теоретических исследований, которые представлены на графиках (рис. 3—6), выявлено, что усилия в наклонных армолентах зависят в большей степени от угла их наклона, ширины армоленты, высоты засыпки.

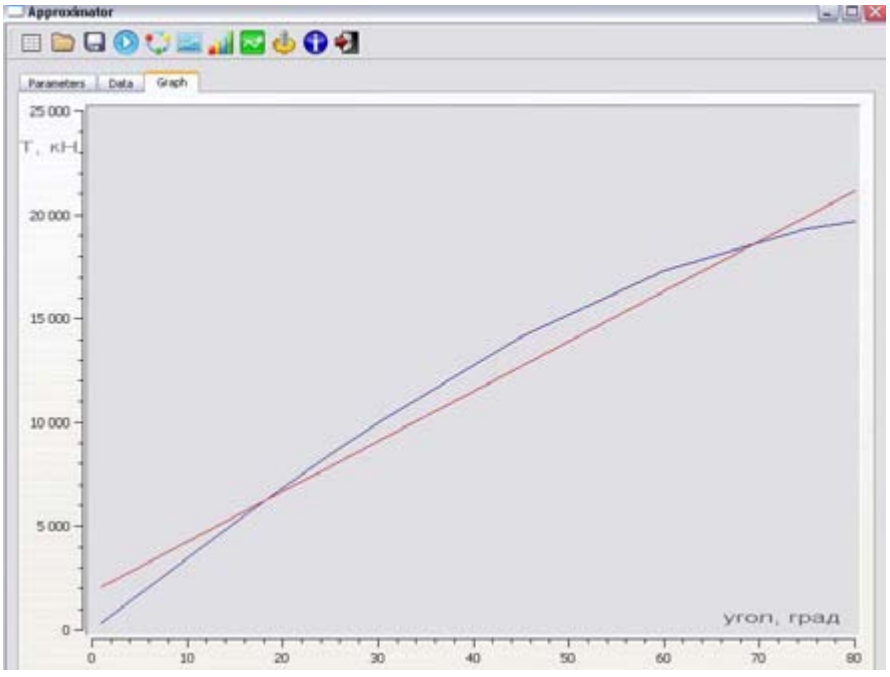


Рис. 3. График T = *f*(φ)

Полученная зависимость усилия T от угла наклона армоленты вычисляется по

$$Y = A + BX,$$

где Y — функция усилия от угла наклона; A = 1838,4; B = 241,5 — эмпирические коэффициенты. (Достоверность R^2 = 0,98.)

Ниже приведены графики зависимости T = $f(\varphi, l)$, T = $f(\varphi, b)$, T = $f(\varphi, H)$ (рис. 4—6).

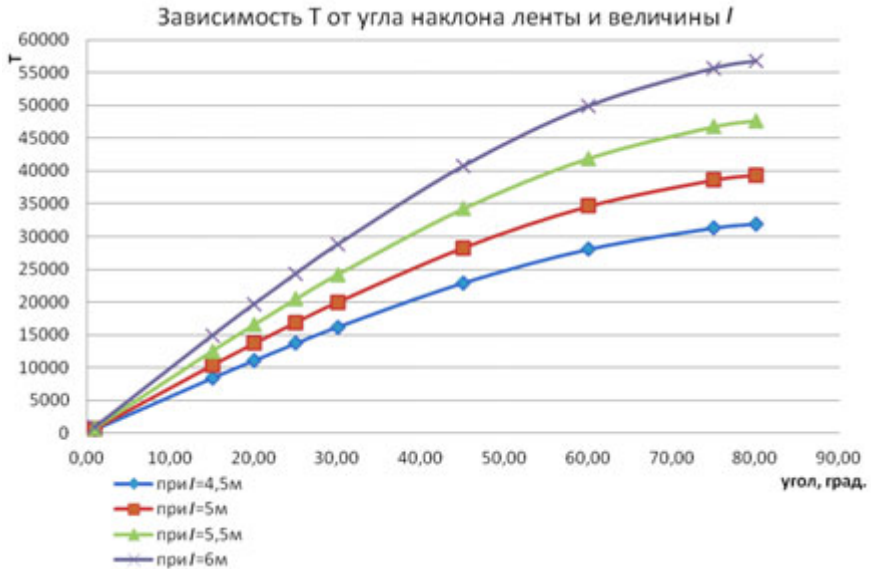


Рис. 4. График T = $f(\varphi, l)$

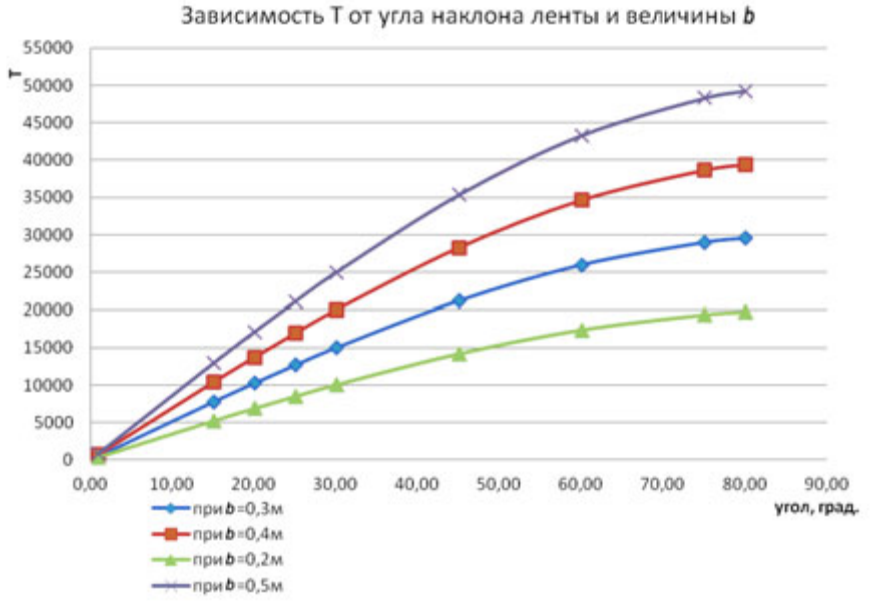


Рис. 5. График T = $f(\varphi, b)$

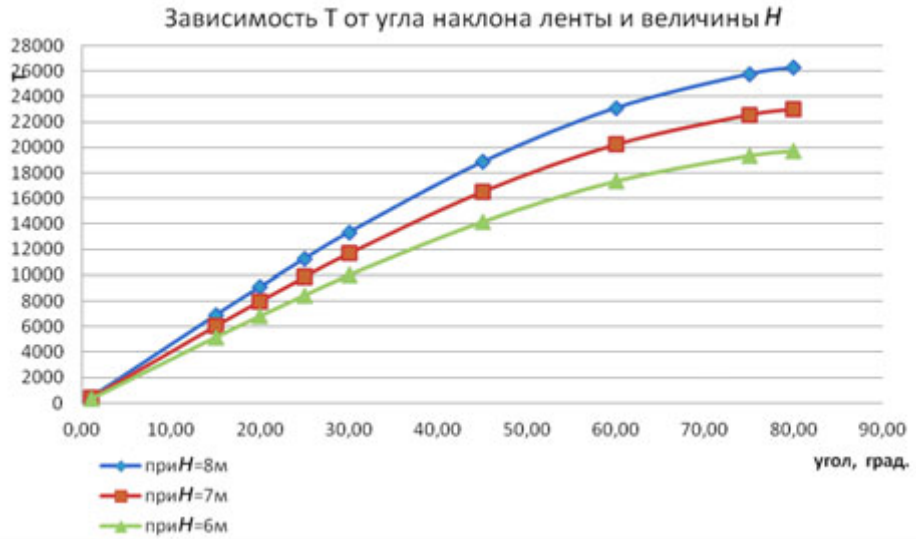


Рис. 6. График T = *f*(φ, *H*)

Это позволяет определить задачу по проведению экспериментальных исследований для получения практических обоснований применения вышеприведенного технического решения в практике строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решение о выдаче патента на изобретение «Грунтоармированное сооружение и способ его возведения», заявка № 2010131312/13(044350), зарегистрирована 26.07.2010.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010616390.

3. *Кашарина Т. П.*, *Приходько А. П.* Методы обоснования работы грунтоармированных элементов конструкций с применением композитных материалов. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010.

4. *Приходько А. П.* Усиление оснований и фундаментов малоэтажных комплексов на техногенных грунтах. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009.

1. Resheniye o vydache patenta na izobreteniye «Gruntoarmirovannoye sooruzheniye i sposob yego vozvedeniya», zayavka № 2010131312/13(044350), zaregistrirovana 26.07.2010.

2. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2010616390.

3. *Kasharina T. P., Prikhodko A. P.* Metody obosnovaniya raboty gruntoarmirovannykh elementov konstruktsi s primeneniyem kompozitnykh materialov. Volgograd : VolgGASU, 2010.

4. *Prikhodko A.P.* Usileniye osnovani i fundamentov maloetazhnykh komplexov na tekhnogennykh gruntakh. Volgograd : VolgGASU, 2009.

© Кашарина Т. П., Приходько А. П., Пшеничкина В. А., Синяков В. Н., Шубин М. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Обоснование параметров элементов грунтоармированной насыпи с применением композитных (полимерных) материалов / Т. П. Кашарина, А. П. Приходько, В. А. Пшеничкина, В. Н. Синяков, М. А. Шубин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 78—83.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.745.21

С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов, Г. И. Беликов, Л. О. Казачкова

МОДЕРНИЗАЦИЯ УДС г. ВОЛГОГРАДА В ПРОЕКТЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ГЛОБАЛ-СИТИ»

Изложены основные проектные решения по модернизации улично-дорожной сети и организации дорожного движения в проекте строительства многофункционального комплекса «Глобал-Сити».

К л ю ч е в ы е с л о в а: улично-дорожная сеть, транспорт, уровень загрузки, скорость, энергозатраты.

The basic design decisions to modernization of street and road network and traffic management are set out in the project of the multipurpose complex “Global-Siti” construction.

K e y w o r d s: street and road network, transport, load line, speed, power consumption.

Многофункциональный офисный комплекс «Глобал-Сити» разрабатывается как часть застройки федерального транспортного узла ж.-д. вокзал «Волгоград-I» — автовокзал по ул. Пархоменко Центрального района г. Волгограда (рис. 1). Транспортная доступность комплекса обеспечивается наземным общественным и индивидуальным транспортом с ул. Пархоменко, ул. Балонина и ул. Невской (рис. 2).

Рис. 1. Проект многофункционального офисного комплекса «Глобал-Сити» федерального транспортного узла «Волгоград-I»

Рис. 2. Транспортное обеспечение комплекса «Глобал-Сити» по ул. Невской и ул. Пархоменко

Въезд на участок проектируемого объекта осуществляется с ул. Пархоменко и ул. Балонина. Со стороны ул. Балонина запроектирован въезд на автомобильную парковку, предназначенную для стоянки автомобилей посетителей, и въезд на автовокзал. Со стороны ул. Пархоменко предусмотрена парковка только для посетителей комплекса. Благоустройство участка запроектировано в увязке с прилегающей территорией. Территория максимально благоустраивается, предусмотрены проезды, площадки из бетонной плитки, озеленение.

Подъезд грузового автотранспорта, обеспечивающего доставку и вывоз товаров, запроектирован со стороны ул. Пархоменко и ул. Балонина.

В настоящее время улично-дорожная сеть в районе многофункционального офисного комплекса «Глобал-Сити» характеризуется повышенной загруженностью. На отдельных участках УДС интенсивность движения приближается к их пропускной способности (рис. 3). Уровень загрузки улиц изменяется от 0,7 до 0,97. Скорость движения транспортного потока на этих перегонах составляет 10—15 км/ч, а средневзвешенная скорость на рассматриваемом участке УДС — 20 км/ч.

Рис. 3. Эпюра интенсивности движения городского транспорта

К проблемным перегонам относятся улицы между перекрестками:
1) по ул. Пархоменко:
от ул. Двинской до ул. Невской, $Z = 0,85$;
от ул. Невской до ул. Двинской, $Z = 0,8$;
от ул. Ткачева до ул. Двинской, $Z = 0,75$;
от ул. Двинской до ул. Ткачева, $Z = 0,7$;
2) по ул. Кубанской:
от ул. Пархоменко до ул. Новороссийской, $Z = 0,74$;
от ул. Новороссийской до ул. Рокоссовского, $Z = 0,97$;
3) по ул. Комсомольской:
от ул. Коммунистической до ул. Пархоменко, $Z = 0,86$;
от ул. Пархоменко до ул. Коммунистической, $Z = 0,83$;
4) по ул. Невской:
от ул. Пархоменко до ул. Новороссийской, $Z = 0,82$;
от ул. Новороссийской до ул. Пархоменко, $Z = 0,76$;
5) по ул. Новороссийской:
от ул. Двинской до ул. Невской, $Z = 0,80$;
от ул. Невской до ул. Двинской, $Z = 0,81$;
6) по ул. Балонина:
от ул. Новороссийской до ул. Кубанской, $Z = 0,79$.

В сечениях этих улиц образуются пробки, особенно в часы пиковых нагрузок (рис. 4).

Рис. 4. Движение по ул. Невской (от ул. Пархоменко в сторону ул. Новороссийской)

Технико-экономическое обоснование мероприятий по модернизации УДС в районе влияния центра выполнено по критерию минимизации топливно-энергетических затрат на перевозки пассажиров и грузов. В качестве целевой функции использовались суммарные энергозатраты на транспортные перевозки:

$$Э = \sum_{i=1}^{I} \sum_{m=1}^{M} \frac{N_i^m Q_i^m L_i}{\overline{V}_i} \rightarrow \min, \qquad (1)$$

где N_i^m — интенсивность движения автотранспортного средства марки m с мощностью двигателя Q_i^m на i-ом участке УДС протяженностью L_i.

Средняя скорость транспортного потока $\overline{V_i}$ зависит от уровня загрузки перегона движением автотранспорта (Z) и расстояния между перекрестками (L_n):

$$V_{\text{ср}} = \frac{4,68 L_n^{0,11}}{Z^{1,473}}, \qquad (2)$$

Коэффициент корреляции — 0,84, стандартная ошибка 0,33.

Энергозатраты на автотранспорте на рассматриваемом участке УДС в настоящее время составляют 265 ГДж/ч, расход топлива — 2411 л/ч.

Анализ показал, что строительство комплекса приведет к перераспределению транспортных потоков на УДС от ул. Хиросимы до ул. Голубинской и от ул. Рокоссовского до ул. Коммунистической, усугубит сложившуюся на данный момент непростую транспортную ситуацию.

Увеличение интенсивности движения в направлении комплекса приведет:

к повышению уровня загрузки на проблемных перегонах с 0,7—0,97 до 0,71—0,99 ;

снижению скорости до 7 %;

росту энергозатрат и увеличению расхода топлива на 1,4 %.

Данная ситуация будет характеризоваться не только ухудшением уровня удобства движения, но и увеличением нагрузки на окружающую среду за счет роста потребления топливно-энергетических ресурсов, повышенному загрязнению воздушного бассейна выбросами отработавших газов:

выбросы оксида углерода увеличатся с 0,952 т/ч до 0,965 т/ч;

выбросы оксида азота — с 0,279 т/ч до 0,283 т/ч.

Для повышения пропускной способности УДС и скорости транспортных потоков, снижения уровня загрязнения окружающей среды выбросами автотранспорта в районе многофункционального комплекса в проекте предусмотрено:

продление ул. Балонина в направлении ул. Хиросимы до ул. Пархоменко с целью разгрузки ул. Пархоменко в направлении ул. Кубанской и организации беспрепятственного въезда к проектируемому комплексу «Глобал-Сити» со стороны ул. Хиросимы (рис. 5);

запрет движения в прямом направлении на перекрестке ул. Невская — ул. Пархоменко в направлении ул. Кубанской;

устройство разделительного островка по ул. Невской для разворота транспортных средств;

строительство проезда рядом с комплексом «Глобал-Сити», параллельного ул. Невской (рис. 6);

уширение проезжей части на ул. Пархоменко (от ул. Невской до ул. Ткачева) с устройством островка безопасности (см. рис. 6);

создание открытой парковки с левой стороны от торгового комплекса на ул. Балонина (рядом с путепроводом через железную дорогу и банком «Кор»).

Рис. 5. Схема продления ул. Балонина

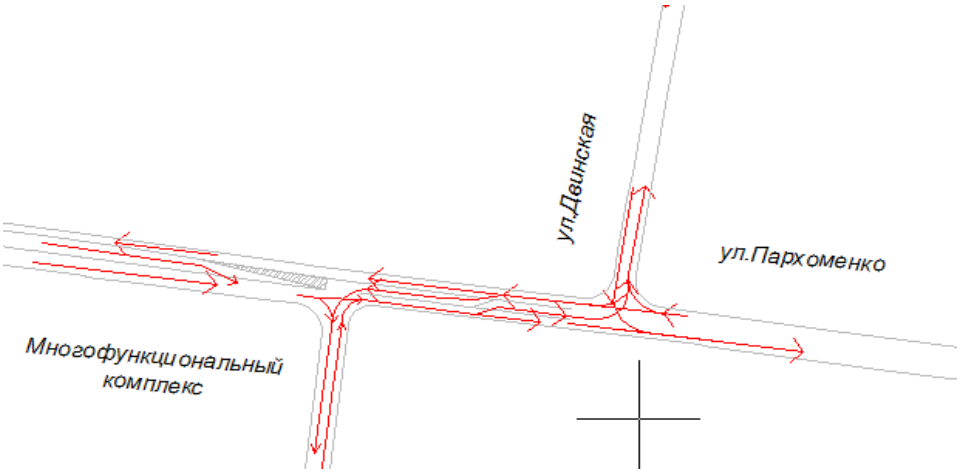


Рис. 5. Схема организации дорожного движения

Реализация перечисленных выше мероприятий позволит:

снизить уровень загрузки на прилегающей к комплексу УДС путем перераспределения части транспортного потока с ул. Пархоменко на ул. Балонина;

повысить на этих участках скорость движения транспортного потока с 10—15 км/ч до 12—22 км/ч;

сократить энергозатраты на транспорте и расход топлива на 0,7 %;

уменьшить выбросы загрязняющих веществ: оксида углерода с 0,952 т/ч до 0,944 т/ч и оксида азота — с 0,279 т/ч до 0,277 т/ч.

© Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., Беликов Г. И., Казачкова Л. О., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Модернизация УДС г. Волгограда в проекте многофункционального комплекса «Глобал-Сити» / С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов, Г. И. Беликов, Л. О. Казачкова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 84—88.

УДК 625.768.5:338.312

С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов, В. Л. Харланов, И. С. Алексиков

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Выполнено исследование зависимости прочности грунтов земляного полотна автомобильных дорог от их влажности и плотности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: грунт, влажность, плотность, модуль упругости, угол внутреннего трения.

The dependence research of the grade level ground strength on the highways from their humidity and density is executed.

K e y w o r d s: ground, humidity, density, elastic modulus, angle of internal friction.

Исследования показывают, что толщина несущего слоя основания дорожной одежды (H) в значительной степени зависит от прочности грунтового основания.

$$H = 45,8 E_{э}^{0,008} E_{г}^{0,31} E_{щ}^{-0,24}. \quad (1)$$

где $E_{э}$ — эквивалентный модуль упругости верхних конструктивных слоев дорожной одежды, обработанных органическим вяжущим, $E_{г}$ и $E_{щ}$ — модули упругости соответственно грунтовой поверхности и основания из щебня.

Оценка значимости указанных факторов уравнения (1) по коэффициентам весомости показывает, что на толщину основания из щебня основное влияние оказывают модули упругости грунта земляного полотна (коэффициент весомости 0,31) и основания (коэффициент весомости 0,24). Влияние прочности верхних слоев дорожной одежды на толщину основания весьма незначительно, так как коэффициент весомости 0,008.

Анализ конструкций дорожных одежд на дорогах Нижнего Поволжья показал, что запас прочности по упругому прогибу дорожных одежд в среднем составляет 33—63 %, запас прочности на растяжение при изгибе монолитных слов покрытия — 49—62 %, на сдвиг в подстилающем слое песка — 17—19 %, на сдвиг в грунте земляного полотна — 2—6 %. Значительный запас прочности на упругий прогиб и растяжение при изгибе слоев покрытия обусловлен тем, что, согласно ОДН 218.046-01, минимально допустимая толщина конструктивных слоев дорожной одежды, обработанных органическим вяжущим, увеличилась до 12—18 см. Подстилающий слой основания несет в основном функции дренажного слоя и практически не влияет на расчетную толщину дорожной одежды. Толщина подстилающего песчаного слоя назначается в зависимости от дорожно-климатической зоны, типа местности по условиям увлажнения, вида грунта земляного полотна. При расчете конструкции дорожной одежды существенно ужесточились требования к проверке на сдвиг в грунте земляного полотна. Известно, что прочностные характеристики грунтов в значительной степени определяются их гранулометрическим составом, влажностью и плотностью. В связи

с этим задача исследования зависимости физико-механических характеристик глинистых грунтов юга России от их влажности и плотности является актуальной.

В расчетах дорожных одежд в качестве параметров физико-механических свойств используются модуль упругости ($E_{гр}$), угол внутреннего трения ($\varphi_{гр}$) и удельное сцепление ($c_{гр}$).

Исследованием влияния типа и влажности грунта на его прочностные характеристики в различных дорожно-климатических зонах занимались Н. А. Пузаков, И. А. Золотарь, В. М. Сиденко, Е. И. Шелопаев, Л. К. Бируля, И. Е. Евгеньев, А. Я. Тулаев, Н. Н. Иванов, О. Т. Батраков, Калужский, А. А. Малышев, Ю. А. Покутнев, А. М. Каменев и др. Физико-механические свойства грунтов степной и лесостепной зон юга России наиболее полно исследованы в работах В. М. Сиденко, О. Т. Батракова, Ю. А. Покутнева, А. М. Каменева.

Функциональные зависимости расчетных прочностных характеристик различных типов глинистых грунтов от их относительной влажности при нормативной плотности $K_у = 0{,}98$, представлены на рис. 1.

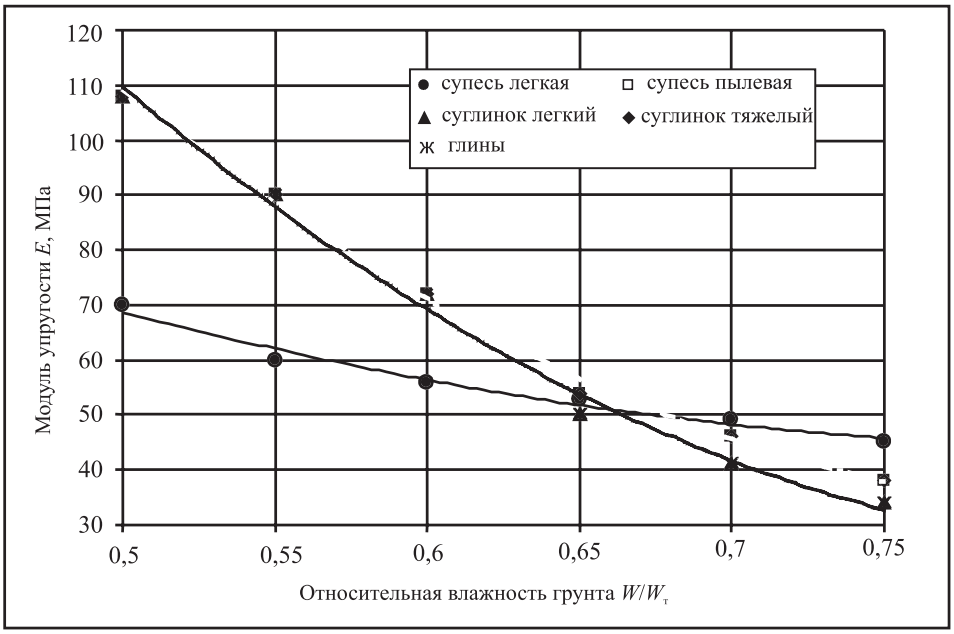


Рис. 1. Зависимость модуля упругости глинистого грунта от его влажности при $K_у = 0{,}98$

Зависимость модуля упругости глинистых грунтов от относительной влажности имеет вид

$$E_у = aW^2 - bW + c, \qquad (2)$$

где a, b, c — коэффициенты уравнения, зависят от типа грунта и принимаются по табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты уравнения (2)

Тип грунта	Значение коэффициентов уравнения		
	a	*b*	*c*
Супесь легкая	214,29	359,86	195,14
Супесь пылеватая	642,86	1089,30	493,00
Суглинок легкий	650,00	1120,50	507,50
Суглинок тяжелый	642,86	1089,30	493,00

Сдвиговые характеристики глинистых грунтов зависят от относительной влажности грунта и суммарного числа приложений расчетной нагрузки $N_р$:

$$R = C_0 W^{\alpha 1} N_р^{\alpha 2}, \quad (3)$$

где R — сдвиговая характеристика глинистого грунта (угол внутреннего трения φ, сцепление с); C_0 — коэффициент масштабирования; α_1, α_2 — коэффициенты влияния указанных факторов на сдвиговые характеристики глинистого грунта, принимаются по табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты уравнения (3)

Сдвиговые характеристики грунтов	Тип грунта	Коэффициент множественной корреляции	Значение коэффициентов уравнения		
			C_0	$\alpha 1$	$\alpha 2$
Угол внутреннего трения	Суглинки и глины	0,82	0,0045	−4,2380	−0,1034
	Супеси	0,96	0,0071	−1,6906	−0,0843
Сцепление	Суглинки и глины	0,97	5,5634	−3,4660	−0,0931
	Супеси	0,98	35,3085	−0,1021	−0,0802

Для обоснования прочностных характеристик грунтов земляного полотна юга России использованы данные О. Т. Батракова, В. М. Сиденко, Ю. А. Покутнева, А. М. Каменева, результаты полевых испытаний прочности дорожных одежд и грунтов земляного полотна автомобильных дорог Волгоградской области, выполненные Н. П. Толстиковым, В. Ф. Царевым, В. С. Боровиком, авторами. Статистическая обработка результатов штамповых испытаний прочности дорожной одежды автомобильной дороги Самара — Пугачев — Волгоград (участок дороги Волжский — Приморск, 741—773 км) показала, что коэффициент корреляции прочностных характеристик и относительной влажности глинистого грунта составляет: для модуля упругости грунта — 0,98, для угла внутреннего трения — 0,97, для сцепления — 0,95. Данные, полученные при обследовании дороги Волжский — Приморск (741—773 км) подтверждают исследования В. М. Сиденко для грунтов степного и лесостепного типов почв, наиболее точно описывают зависимость прочности грунтов юга России от их относительной влажности (рис. 2—4).

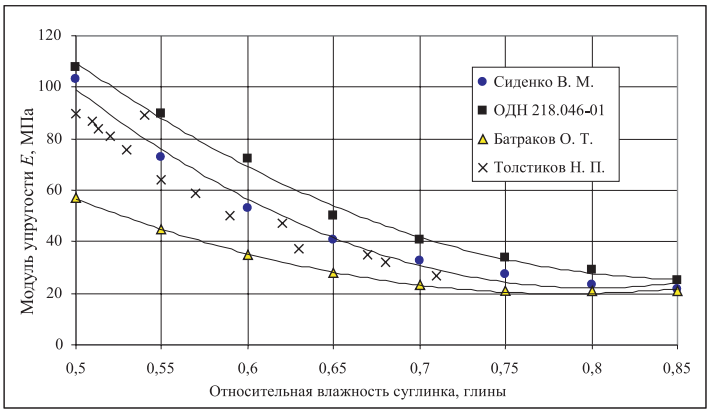


Рис. 2. Зависимость модуля упругости грунтов от их относительной влажности

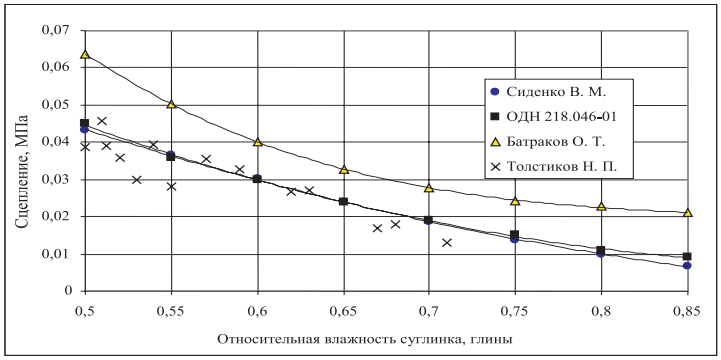


Рис. 3. Зависимость сцепления грунтов от их относительной влажности

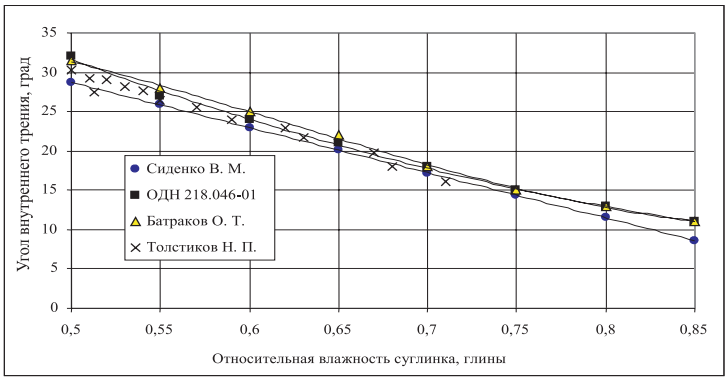


Рис. 4. Зависимость сцепления грунтов от их относительной влажности

Одним из эффективных решений повышения надежности дорожной одежды и снижения ее толщины является повышенное уплотнение грунтов рабочего слоя насыпи. Увеличение коэффициента уплотнения до 1,05—1,08 позволяет повысить модуль упругости грунтового основания на 10—50 %. При этом наибольший эффект наблюдается на суглинках тяжелых и глинах в засушливых

районах юга России, в интервале относительной влажности от 0,5 до 0,7. Зависимости прочностных характеристик грунтов от их плотности (K_y) и влажности (W) имеют вид:

модуль упругости грунта

$$E = \frac{CK_y^{1,5}}{W^a}; \quad (4)$$

сцепление в грунте

$$c = \frac{CK_y^{1,5}}{W^a}; \quad (5)$$

угол внутреннего трения грунта

$$\varphi = C + aK_y + bW. \quad (6)$$

Таблица 3

Коэффициенты уравнений (4) — (6)

Прочностная характеристика грунтов	Тип грунта	Стандартная ошибка	Коэффициент корреляции	Значение коэффициентов уравнений		
				C	*a*	*b*
Модуль упругости	Суглинки и глины	0,021	0,98	2,87	3,15	
	Супеси	0,021	0,98	4,23	0,23	
Угол внутреннего трения	Суглинки и глины, супеси пылеватые	0,055	0,97	0,09	3,43	
	Супеси	0,018	0,97	0,11	0,92	
Сцепление в грунте	Суглинки и глины, супеси пылеватые	0,328	0,98	40,02	19,04	−59,30
	Супеси	0,082	0,98	10,01	34,65	−14,83

Выполненные исследования позволили установить влияние влажности и плотности глинистых грунтов Нижнего Поволжья на прочностные характеристики грунтов рабочего слоя земляного полотна дорог юга России. Установленные зависимости (2) — (6) использованы при разработке регионального альбома оптимальных конструкций дорожных одежд из местных материалов Волгоградской области.

© Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., Харланов В. Л., Алексиков И. С., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Обоснование прочностных характеристик грунтов земляного полотна автомобильных дорог Нижнего Поволжья / С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов, В. Л. Харланов, И. С. Алексиков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 89—93.

УДК 625.768.5:338.312

С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов, В. Л. Харланов, А. Н. Будрудинова

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОЧИН АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

На основе исследования состояния обочин автомобильных дорог даны предложения по совершенствованию расчета конструкций их укрепления.

К л ю ч е в ы е с л о в а: обочина, автомобильная дорога, расчет, конструкция, укрепление.

Research of dependence of ground durability of sub grade on highways from their humidity and density is executed.

K e y w o r d s: ground, humidity, density, modulus of elasticity, angle of internal friction.

Использование ширины проезжей части, безопасность дорожного движения, скорость автомобилей во многом зависит от состояния и ширины обочин. Многочисленные исследования, статистики ДТП показывают:

до 16—20 % ДТП происходит из-за неудовлетворительного состояния обочин;

укрепление обочин обеспечивает увеличение прочности грунтового основания под проезжей частью дороги на 6—8 %;

сохранение прочности и ровности укрепленных обочин позволяет повысить среднюю скорость транспортного потока до 10 %.

В течение 2008—2010 гг. выполнено обследование состояния 260 км обочин магистральных дорог Волгоградской области. В ходе обследования выявлены основные дефекты обочин и причины их появления (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Сводная ведомость дефектов обочин на дорогах федерального значения

Виды повреждения обочин	Протяженность поврежденных обочин, %			
	Волгоград — Астрахань (l = 40 км)	Волгоград — Москва (l = 50 км)	Волгоград — Элиста (l = 90 км)	Волгоград — Саратов (l = 80 км)
Выбоины, просадки	5	25	60	45
Колейность	45	40	80	60
Занижение обочины относительно кромки проезжей части	90	60	70	50
Видимые нарушения поперечных уклонов	—	5	20	25
Скол кромки проезжей части	5	50	70	80
Застой воды на обочинах	15	15	25	25

Наиболее распространенными дефектами являются выбоины, колейность, превышение кромки проезжей части над поверхностью обочины, скол кромки проезжей части (рис. 1—4).

Рис. 1. Выбоины укрепленной обочины, трасса М-6 «Каспий» на участке Волгоград — Москва

Рис. 2. Превышение кромки проезжей части над обочиной, трасса М-6 «Каспий»

Рис. 3. Колейность обочины на участке Волгоград — Астрахань

Рис. 4. Скол кромки проезжей части, трасса М-6 «Каспий» на участке Волгоград — Астрахань

Неудовлетворительное состояние обочин обусловлено: плохим содержанием дорог; высокими (сверхнормативными) транспортными нагрузками грузовых автомобилей, остановившихся на обочине; отсутствием краевых и остановочных полос; использованием обочин для движения транспорта на участках, перегруженных движением. В связи с экономией средств, ремонт участков дорог зачастую ограничивается проезжей частью. Выполненный мониторинг позволяет сделать вывод о необходимости более внимательного отношения дорожников к строительству, ремонту и содержанию обочин. Высокие транспортные нагрузки, частое использование обочин для стоянки и движения транспорта, появление новых строительных материалов требуют совершенствования методики проектирования укреплений обочин.

Одной из важнейших проблем при расчете укрепления обочин является определение расчетного количества наездов тяжелых автомобилей на конструкцию в процессе эксплуатации. Недоучет воздействия тяжелых транспортных нагрузок действующими нормативными документами приводит к просадкам укрепленной части обочины (рис. 5).

Рис. 5. Просадка укрепленной обочины дороги, трасса Р-228

Установлено, что укрепленная часть обочин автомагистралей используется для совершения обгонов или установившегося движения по ним. Особенно опасны подобные нарушения на обочинах дорог с усовершенствованным покрытием капитального типа, поскольку при этом движение по обочинам происходит с высокими скоростями. Массовый выезд автомобилей на укрепленную полосу происходит даже при частично загруженных условиях движения при снижении скорости транспортного потока до 60 км/ч. Как правило, это вызвано наличием тихоходного крупногабаритного транспортного средства. Причем независимо от интенсивности, при снижении скорости транспортного потока до 55—65 км/ч или остановке транспортных средств на проезжей части из-за поломки или ДТП, наблюдается массовый выезд автомобилей на обочину. После преодоления препятствия и увеличения скорости движения до 70 км/ч и более транспортный поток возвращается к установившемуся движению. Наблюдения показывают, что движение по укрепленной полосе совершают 2,75 % водителей от среднесуточной интенсивности движения. При этом обгон по обочине зачастую выполняется по переходно-скоростным полосам примыканий и пересечений в одном уровне.

Кроме того, остановка тяжелого грузового автомобиля на обочине, особенно в расчетный период года или в жаркий летний сезон, приводит к просадкам или появлению наплывов на асфальтобетонном покрытии. Сравнительный анализ расчетного количества выездов на обочину по ОДН 218.3.039—2003 и данных исследования показывает явное несоответствие нормативных расчетных значений с фактическим числом автомобилей, выезжающих на обочину. Фактическое число выездов на обочину в 1,5—3,0 раза превышает расчетное (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительный анализ количества выездов на обочину

Направление	Количество выездов		Превышение фактического количества выездов над расчетным
	по ОДН	фактическое	
Москва — Астрахань	50	150	3,00
Волгоград — Элиста	70	186	2,60
Волгоград — Саратов	47	70	1,50

Согласно ОДН 218.3.039—2003 назначение требуемой прочности конструкции укрепления обочины выполняется по среднесуточному количеству наездов на обочину автомобилей с расчетной нагрузкой

$$N_0 = A\sum_{m=1}^{n}\frac{N_m S_{m\,\text{сум}}}{2},$$

где A — коэффициент, учитывающий количество наездов автомобилей на краевую укрепленную полосу, не изменялся с 1980 г. и, следовательно, не учитывает нынешнюю ситуацию на дорогах: высокий уровень загрузки и плотность транспортного потока, увеличение количества тяжеловесного крупногабаритного автотранспорта.

Полученные результаты исследований позволили разработать номограмму для определения приведенного количества наездов автомобилей на краевую укрепительную полосу обочины (рис. 6).

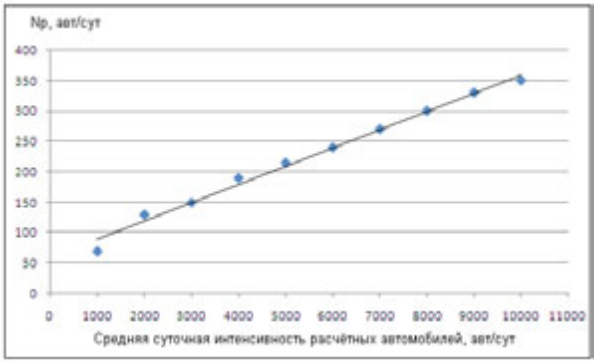


Рис. 6. Номограмма для определения приведенного количества наездов автомобилей на краевую полосу обочины

В программе «Indor Pavement 8» выполнен расчет конструкций укрепления обочин. Установлено, что при интенсивности движения более 2500 авт/сут конструкция укрепления обочин приближается к конструкции по типу основной дорожной одежды.

Полученные результаты позволяют предложить некоторые предварительные рекомендации по проектированию укреплений обочин магистральных автомобильных дорог:

при расчете дорожной одежды на остановочных полосах целесообразно принимать не менее 1/3 расчетной интенсивности или другую нагрузку, обоснованную в проекте, при которой исключается быстрое накопление остаточных деформаций;

покрытие на укрепленной полосе обочин (0,5—0,75 м) и на остановочной полосе (2,5 м) рекомендуется устраивать из цементо- или асфальтобетона, а также из обработанных вяжущими местных каменных, гравийных и других минеральных материалов. Поверхность остальной части обочин укрепляют в зависимости от интенсивности и характера движения, грунтов земляного полотна и особенностей климата засевом трав, россыпью щебня, гравия, шлака и других местных крупнозернистых материалов;

на участках с пиковым уровнем загрузки более 0,7 и интенсивным движением тяжелого грузового транспорта необходимо одно- или двустороннее уширение проезжей части и, соответственно, земляного полотна. Конструкцию дорожной одежды на полосе уширения следует рассчитывать по типу основной дорожной одежды для движения преимущественно тяжелого транспорта.

© Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., Харланов В. Л., Будрудинова А. Н., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности эксплуатации обочин автомобильных дорог Нижнего Поволжья / С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов, В. Л. Харланов, А. Н. Будрудинова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 94—98.

УДК 625.855.3

В. В. Буров, Б. Х. Санжапов, Т. К. Акчурин

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Рассматривается эффективность разработанных составов модифицированных битумных вяжущих для производства асфальтобетонных покрытий и ямочного ремонта. Предлагается использование методики оценки эффективности, учитывающей качественные показатели технологии литого асфальтобетона с входным контролем используемых компонентов и выходным контролем получаемой продукции, а также позволяющей оценить экономическую эффективность и целесообразность применения различных модификаторов битумного вяжущего.

К л ю ч е в ы е с л о в а: качество и долговечность асфальтобетонных покрытий, литой асфальтобетон, модификаторы битумного вяжущего, экономическая эффективность ямочного ремонта.

The efficiency of the developed compositions of the retrofit asphalt binders for asphalt carpets production and patching is considered. The methods use of the performance evaluation which is considered the quality factors of the guss asphalt technology with the incoming inspection of the used elements and with the outgoing inspection of the receivable productions, and also is allowed to estimate economic efficiency and applicability of different modifiers of the asphalt binder is suggested.

K e y w o r d s: quality and durability of asphalt carpets, guss asphalt, modifiers of asphalt binder, economic efficiency, patching.

Министерство транспорта РФ совместно с другими ведомствами разработало программу «Развитие транспортной системы». Обширный проект, рассчитанный до 2019 года, включает в себя множество подпрограмм, одна из которых — «Дорожное хозяйство».

Основное направление развития этой программы — это строительство высококачественных федеральных трасс и реконструкция дорог, формирующих международные транспортные коридоры в европейской части России по направлениям север — юг и центр — Урал, а также по направлениям, обеспечивающим реализацию экономического потенциала Дальнего Востока и Сибири.

Одной из основных задач дорожного хозяйства является повышение качества и долговечности асфальтобетонных покрытий. На наш взгляд, возможным способом решения этой задачи может стать использование литых асфальтобетонных смесей на основе полимербитумных вяжущих.

Известно, что применение литого асфальтобетона практикуется во многих странах Западной Европы для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий мостов, мостовых переходов. Применение литых асфальтобетонных смесей для ямочного ремонта позволяет осуществлять производство работ круглый год.

Особенностью конструкций из литого асфальтобетона на основе полимербитумных вяжущих является единая природа основы — один и тот же битумный материал, обеспечивающий единство и совместную работу слоев между собой в силу одинаковой деформативности, обеспечение слипаемости слоев при технологической температуре 190—200 °С, отсутствие необходимости в уплотнении (плотность равна единице), высокая сопротивляемость трещино-, сдвиго- и колееобразованию, морозоустойчивость, прекрасная совместимость с

температурными деформациями мостовых металлических пролетов. Полимербитумное вяжущее обладает высокомолекулярной устойчивой структурой, великолепно связывает битум и исключают его вытапливание и избыточное образование на поверхности дорожного полотна, имеет хорошие адгезионные свойства по отношению к каменному материалу.

Литой асфальтобетон органичен в работе с другими видами конструкционных элементов дорожной одежды мостового полотна: обычным асфальтобетоном, гидроизоляцией, деформационными швами, из него наилучшим образом устраиваются направляющие водосточных элементов. Свойства материала и технологии обеспечивают условия удаления воды с поверхности, а также требуемое сцепление колес транспортных средств с дорожным покрытием [1].

По итогам четырех- и пятилетней эксплуатации конструкции дорожной одежды мостовых объектов через р. Волгу у с. Пристанное получены следующие результаты: отсутствие трещин, выкрашиваний, вспучиваний, хорошие условия стока воды, структура материала препятствуют возникновению гололеда за счет упругости материала и механического разрушения пленки гололеда при проезде транспортного средства, подтверждена высокая водонепроницаемость материала и конструкции, стабильность коэффициента сцепления, отсутствие трещин в стыках сопряжений с другими конструкционными элементами, уменьшение шумообразования относительно аналогичных конструкций и устройств шероховатой поверхностной обработки, хорошая адгезия с материалами дорожной разметки, отсутствие каких-либо проявлений возможного пережога битума при указанных температурах приготовления, высокая личная оценка участников дорожного движения при проезде по мостовому переходу. Важнейшим достоинством указанной конструкции является применение в качестве гидроизоляции полимербитумной мастики.

Применение конструкции дорожной одежды мостового полотна на основе литого асфальтобетона регламентировано Рекомендациями по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью (Росавтодор, 5.01.2004).

Как известно, оценку транспортно-эксплуатационного состояния дороги осуществляют по степени соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных показателей дороги, которые приняты за ее потребительские свойства, такие как: обеспеченная дорогой скорость, непрерывность, удобство и безопасность движения, пропускная способность, способность пропускать автомобили и автопоезда с осевой нагрузкой и общей массой, установленными для соответствующих категорий дорог [2].

Конечным результатом оценки является обобщенный показатель качества и состояния дороги ($П_Д$), включающий в себя комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дороги ($КП_Д$), показатель инженерного оборудования и обустройства ($К_{ОБ}$) и показатель уровня эксплуатационного содержания ($К_Э$):

$$П_Д = КП_Д К_{ОБ} К_Э.$$

Показатели $П_Д$, $КП_Д$, $К_{ОБ}$, $К_Э$ являются критериями оценки качества и состояния дороги. Их нормативные значения для каждой категории принимают в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

В зависимости от целей и задач оценки она может быть выполнена как по обобщенному показателю качества и состояния, так и раздельно по комплексному показателю транспортно-эксплуатационного состояния, показателю инженерного оборудования и обустройства или по показателю уровня эксплуатационного содержания.

Оценку качества дороги в момент сдачи в эксплуатацию после строительства, реконструкции или ремонта выполняют так же, как и эксплуатируемой дороги — по результатам объективной оценки и измерения фактических параметров и характеристик дороги.

Предлагаемая нами методика оценки эффективности использования разработанных составов модифицированных битумных вяжущих учитывает качественные показатели технологии литого асфальтобетона при производстве ремонтно-строительных работ еще на стадии рабочего проекта и позволяет оценить экономическую эффективность и целесообразность применения различных модификаторов битумного вяжущего.

$$Э = \left(\sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - З_t}{I\left(t, t_б\right) \prod_{q=1}^{t} \left(1 + E_q\right)} - \sum_{t=0}^{T} \frac{K_t}{I\left(t, t_б\right) \prod_{q=1}^{t} \left(1 + E_q\right)} \right) k,$$

где R_t — результаты, полученные в год t; $I(t,t_б)$ — индекс инфляции в году t по сравнению с годом $t_б$; $З_t$ — текущие затраты в год t; K_t — единовременные затраты в год t; E_q — норма дисконта; k — комплексный коэффициент качества.

Комплексный коэффициент качества определяется по формуле

$$k = \prod_{i=1}^{n} \frac{x_i}{x_i^{норм}},$$

где x_i — значение i-го показателя качества; $x_i^{норм}$ — нормативное значение i-го показателя качества.

Превосходство в качестве дорожного покрытия реально приводит к увеличению прибыли дорожно-эксплуатационных предприятий (служб). На увеличение прибыли воздействуют два фактора: первый — удовлетворенность потребителей более высоким качеством производства ремонтно-строительных работ, вследствие чего дорожное предприятие имеет возможность выиграть тендерные торги; второй — снижение затрат на производство из-за отсутствия дефектов, и, следовательно, уменьшение затрат на их доработку.

И как следствие, использование новых более качественных технологий для ремонта и строительства автомобильных дорог (таких как технология литого асфальтобетона, ЩМА) увеличивает эффективность работы дорожного предприятия.

За рубежом наблюдается тенденция к увеличению объемов литых асфальтобетонных смесей, применяемых для устройства слоев дорожной одежды на проезжей части как металлических, так и железобетонных автодорожных мостов и путепроводов. Они прекрасно себя зарекомендовали, их применение увеличивает сроки эксплуатации асфальтобетонных покрытий, их межремонтные сроки, снижает риск обледенения за счет более высоких показателей упругости.

Основным структурообразующим веществом асфальтового бетона является асфальтовое вяжущее (битум и минеральный порошок), от которого зависят важнейшие характеристики асфальтобетонного покрытия (прочность, долговечность, плотность, сдвигоустойчивость и др.). Битум должен быть теплоустойчив, не хрупок при отрицательных температурах и прочно прилипать к поверхности зерен минерального заполнителя.

Установлено, что экономически эффективными модификаторами нефтяных битумов являются те, которые доступны и недороги. С технической точки зрения для создания на основе битумов композиционных материалов с заданным комплексом свойств могут применяться модификаторы, обладающие рядом показателей, как-то:

способные не разрушаться при температуре приготовления бетонной смеси;

совместимые с битумом при проведении процесса смешения на обычном оборудовании при температурах, традиционных для приготовления асфальтобетонных смесей;

в летнее время повышающие сопротивление битумов в составе дорожного покрытия к воздействию сдвиговых напряжений без увеличения их вязкости при температурах смешения и укладки, а также не придающие битуму жесткость и ломкость при низких температурах в покрытии;

химически и физически стабильные и сохраняющие присущие им свойства при хранении, переработке, а также в реальных условиях работы в составе дорожного покрытия.

В настоящее время для устройства и ремонта дорожных покрытий при необходимости используются композиционные материалы на основе битума и модификаторов, таких как сера, каучук (полибутадиеновый, натуральный, бутилкаучук, хлоропрен), органо-марганцевые компаунды, термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол, этилен-винилацетат), термопластичные каучуки (полиуретан, олефиновые сополимеры, а также блоксополимеры стирол-бутадиен-стирола).

Использование в рецептуре асфальтобетонной смеси битума, модифицированного полимером типа СБС, обеспечивает дорожному покрытию способность к быстрому снятию напряжений, возникающих в покрытии под воздействием движущегося транспорта. В настоящее время за рубежом композиции битума с разным содержанием полимера типа СБС находят широкое применение для устройства дорожных одежд на искусственных сооружениях и, как показывает опыт, обеспечивают длительные сроки работы покрытий, несмотря на особосложные условия их эксплуатации.

Как известно, битумы при нагревании размягчаются, а термопластичные полимеры, независимо от того, были они кристаллическими или аморфными, переходят в вязко-текучее состояние. Таким образом, смесь полимера и битума при повышенной температуре представляет собой смесь двух жидкостей, различающихся по вязкости, а следовательно, процесс их смешения в основном должен сводиться к диспергированию жидкости в жидкости. Степень дисперсности таких систем при прочих равных условиях определяется соотношением вязкости компонентов, а также взаимной растворимостью. В случае термодинамически несовместимых компонентов предельный размер частиц в смеси

зависит только от соотношения вязкостей и условий перемешивания, а смесь при повышенной температуре представляет собой эмульсию. При приложении нагрузки к таким системам происходит деформация (вытягивание) капель полимера в массе битума по направлению действия силы и в зависимости от молекулярной массы, пластичности полимера разрушение, дробление их на капли или вытягивание в нити. При повышении содержания полимера размер капель в массе битума возрастает, так как растет вероятность их коалесценсии (слияния), приводящей к обращению фаз в системе [3].

Структура битумов, модифицированных полимерами, созданная при технологической температуре, как правило, сохраняется и после охлаждения. Это обусловлено резким увеличением вязкости приготовленного полимерно-битумного материала при понижении температуры, препятствующим расслоению дисперсной системы. Следовательно, понятие «совместимость полимеров с битумами» включает две составные части: термодинамическую совместимость компонентов, а также совместимость на уровне двухфазных структур.

Исследования, проводимые в последние годы, показывают, что литым асфальтобетонам на основе битумов, модифицированных полимерами класса термоэластопластов, свойственны меньшие значения показателя погружения штампа как критерия теплоустойчивости материала, чем литым асфальтобетонам на основе вязкого нефтяного битума.

В качестве модификаторов для этой цели используют побочные продукты производства полиэтилена (низкомолекулярный полиэтилен), поливинилхлорида (фильтрационный кек), полистирола (отсевы) и т.п. Введения этих полимеров в количестве 1,5—3 % достаточно для значительного повышения качества битума. В основе модификации битумов полимерами лежит процесс формирование структуры полимера в битуме. Изменение свойств битума зависит от степени распределения молекул полимера в битуме, которое обуславливается молекулярной массой полимера, содержанием асфальтенов в битуме и веществ, содержащихся в масляной фракции битума.

В работе был рассмотрен олигокапроамид, представляющий собой олигомеры циклического и линейного строения. Поскольку молекулы олигокапроамида включают остатки мономера ε-олигокапроновой кислоты, то его общую формулу можно представить как $H[HN(CH_2)5C(O)]nOH$. Олигокапроамид хорошо растворяется в полярных средах, а с компонентами битума при температурах 150—160 °С образует однородную гомогенную массу [4].

Полученные данные показывают, что при использовании модифицированного вяжущего заметно повышается предел прочности и усилие сдвига при повышенных температурах, интенсивный рост показателя погружения штампа наблюдается в течение первых 3—4 минут, после чего темп нарастания этого показателя существенно замедляется для литых асфальтобетонов как на вязком битуме, так и на битумополимерном вяжущем. Экспериментально установлено, что гранулометрический состав минеральной части литых асфальтобетонных смесей, также как и вид и концентрация полимера в составе битумополимерного вяжущего оказывают влияние на теплоустойчивость литого асфальтобетона. Величина показателя погружения штампа в мелкозернистый литой асфальтобетон меньше, чем для песчаного литого асфальтобетона. При этом с

ростом концентрации полимера в составе битумополимерного вяжущего показатель погружения штампа в песчаный и мелкозернистый литой асфальтобетон уменьшается.

Экспериментально подтверждено, что асфальтобетонные смеси, приготовленные на модифицированном битумном вяжущем, обладают улучшенными физико-механическими показателями по сравнению с исходными асфальтобетонными смесями. Комплекс высоких показателей модифицированного нефтяного битума обеспечивает повышенную трещиностойкость асфальтобетонных покрытий и их долговечность [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройство конструкций дорожной одежды мостового полотна с использованием литого асфальтобетона на основе полимер-битумных вяжущих // Проект отраслевых методических рекомендаций. Саратов : РОСДОРТЕХ, 2003. 3 с.

2. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Основные положения : ОДН 218.0.006—2002 : введ. 03.10.2002. М. : Информавтодор, 2002. 4 с.

3. Рекомендации по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью / Росавтодор. М., 2004. 8 с.

4. *Ребрин Ю. И.* Управление качеством : учеб. пособие. Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2004. 9 с.

5. *Гохман Л. М*. Почему битумы, отвечающие требованиям ГОСТ 22245—90, не соответствуют требованиям условий эксплуатации асфальтобетонных покрытий // Транспорт России. 2005. № 6. С. 10.

1. Ustroystvo konstruktsi dorozhnoy odezhdy mostovogo polotna s ispolzovaniyem litogo asfaltobetona na osnove polimer-bitumnykh vyazhushchikh // Proekt otraslevykh metodicheskikh rekomendatsi. Saratov : ROSDORTEKh, 2003. 2 s.

2. Pravila diagnostiki i otsenki sostoyaniya avtomobilnykh dorog. Osnovnyye polozheniya : ODN 218.0.006—2002 : vved. 03.10.2002. M. : Informavtodor, 2002. 4 s.

3. Rekomendatsii po ustroystvu dorozhnykh pokryti s sherokhovatoy poverkhnostyu / Rosavtodor. M., 2004. 8 s.

4. *Rebrin Ju. I.* Upravleniye kachestvom : ucheb. posobiye. Taganrog : Izd-vo TRTU, 2004. 9 s.

5. *Gokhman L. M.* Pochemu bitumy, otvechayushchiye trebovaniyam GOST 22245—90, ne sootvetstvuyut trebovaniyam uslovi expluatatsii asfaltobetonnykh pokryti // Transport Rossii. 2005. № 6. S. 10.

© Буров В. В., Санжапов Б. Х., Акчурин Т. К., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Буров В. В., Санжапов Б. Х., Акчурин Т. К. Модифицированные асфальтобетонные смеси для ямочного ремонта и прогнозирование их эксплуатационных свойств // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 99—104.

УДК 625.855.3

В. В. Буров, В. В. Вовко, Т. К. Акчурин

ТЕХНОЛОГИИ ЛИТОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА И ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Представлена методика оценки эффективности использования разработанных составов модифицированных битумных вяжущих, учитывающая качественные показатели технологии литого асфальтобетона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: качество и долговечность асфальтобетонных покрытий, литой асфальтобетон, модификаторы битумного вяжущего, экономическая эффективность, ямочный ремонт.

The estimation procedure of the use efficiency of the developed compositions of the modified asphalt binder which is considered the qualitative indicators of the guss asphalt concrete technology is described.

K e y w o r d s: quality and durability of asphalt concrete pavements, poured asphalt, modifiers of bituminous cement, cost efficiency, patching.

Министерство транспорта РФ совместно с другими ведомствами разработало программу «Развитие транспортной системы». Обширный проект, рассчитанный до 2019 года, включает в себя множество подпрограмм, одна из которых — «Дорожное хозяйство». По мнению разработчиков, программа позволит повысить конкурентоспособность отраслей экономики и снизить уровень транспортных издержек в конечной стоимости российской продукции и транспортоемкости внутреннего валового продукта на 3,6 %. Рост транспортной подвижности населения вырастет на 20,4 %.

Основное направление развития этой программы — это строительство высококачественных федеральных трасс и реконструкция дорог, формирующих международные транспортные коридоры в европейской части России по направлениям север — юг и центр — Урал, а также по направлениям, обеспечивающим реализацию экономического потенциала Дальнего Востока и Сибири.

Одной из основных задач дорожного хозяйства является повышение качества и долговечности асфальтобетонных покрытий. На наш взгляд, возможным способом решения этой задачи может стать использование литых асфальтобетонных смесей на основе полимербитумных вяжущих.

Известно, что применение литого асфальтобетона практикуется во многих странах Западной Европы для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий мостов, мостовых переходов. Применение литых асфальтобетонных смесей для ямочного ремонта позволяет осуществлять производство работ круглый год. Используя литые асфальтобетонные смеси, возможно устранять разрушения на асфальтобетонных покрытиях на ранних стадиях их появления. Такой подход может значительно снизить объемы ремонтных работ в процессе эксплуатации покрытий.

Значительное содержание вязкого нефтяного дорожного битума и минерального порошка в составе обычной литой асфальтобетонной смеси обеспечивает ей повышенную удобоукладываемость при технологической темпера-

туре и позволяет осуществлять устройство и ремонт покрытий без уплотнения катками, что особенно эффективно при выполнении ремонтных работ на городских улицах и дорогах. Существенным преимуществом покрытий из литого асфальтобетона, по сравнению с покрытиями из традиционных плотных горячих асфальтобетонов, является их водонепроницаемость, высокая длительная водо- и морозоустойчивость.

С ростом в последние десятилетия интенсивности движения и нагрузок на ось транспортных средств выдвигаются более высокие требования к теплостойкости и, соответственно, сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог при высоких летних температурах. В то же время, покрытия из литых асфальтобетонов из-за повышенного содержания битума и минерального порошка характеризуются меньшей тепло- и сдвигоустойчивостью по сравнению с покрытиями из обычного асфальтобетона, что сдерживает их применение, особенно на городских улицах и дорогах.

Особенностью конструкций из литого асфальтобетона на основе полимербитумных вяжущих является единая природа основы — один и тот же битумный материал, обеспечивающий единство и совместную работу слоев между собой в силу одинаковой деформативности, обеспечение слипаемости слоев при технологической температуре 190—200 °С, отсутствие необходимости в уплотнении (плотность равна единице), высокая сопротивляемость трещино-, сдвиго- и колееобразованию, морозоустойчивость, прекрасная совместимость с температурными деформациями мостовых металлических пролетов. Полимербитумное вяжущее обладает высокомолекулярной устойчивой структурой, великолепно связывает битум и исключают его вытапливание и избыточное образование на поверхности дорожного полотна, имеет хорошие адгезионные свойства по отношению к каменному материалу.

Литой асфальтобетон органичен в работе с другими видами конструкционных элементов дорожной одежды мостового полотна: обычным асфальтобетоном, гидроизоляцией, деформационными швами, из него наилучшим образом устраиваются направляющие водосточных элементов. Свойства материала и технологии обеспечивают условия удаления воды с поверхности, а также требуемое сцепление колес транспортных средств с дорожным покрытием [1].

Оценку транспортно-эксплуатационного состояния дороги осуществляют по степени соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных показателей дороги, которые приняты за ее потребительские свойства, такие как: обеспеченная дорогой скорость, непрерывность, удобство и безопасность движения, пропускная способность, способность пропускать автомобили и автопоезда с осевой нагрузкой и общей массой, установленными для соответствующих категорий дорог.

Конечным результатом оценки является обобщенный показатель качества и состояния дороги ($П_Д$), включающий в себя комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дороги ($КП_Д$), показатель инженерного оборудования и обустройства ($К_{ОБ}$) и показатель уровня эксплуатационного содержания ($К_Э$):

$$П_Д = КП_Д \cdot К_{ОБ} \cdot К_Э.$$

Показатели $П_Д$, $КП_Д$, $К_{ОБ}$, $К_Э$ являются критериями оценки качества и состояния дороги. Их нормативные значения для каждой категории принимают в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

В зависимости от целей и задач оценки она может быть выполнена как по обобщенному показателю качества и состояния, так и раздельно по комплексному показателю транспортно-эксплуатационного состояния, показателю инженерного оборудования и обустройства или по показателю уровня эксплуатационного содержания.

Оценку качества дороги в момент сдачи в эксплуатацию после строительства, реконструкции или ремонта выполняют так же, как и эксплуатируемой дороги, — по результатам объективной оценки и измерения фактических параметров и характеристик дороги [2].

Предлагаемая нами методика оценки эффективности использования разработанных составов модифицированных битумных вяжущих учитывает качественные показатели технологии литого асфальтобетона при производстве ремонтно-строительных работ еще на стадии рабочего проекта и позволяет оценить экономическую эффективность и целесообразность применения различных модификаторов битумного вяжущего.

$$Э = \left(\sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - З_t}{I\left(t, t_б\right) \prod_{q=1}^{t} \left(1 + E_q\right)} - \sum_{t=0}^{T} \frac{K_t}{I\left(t, t_б\right) \prod_{q=1}^{t} \left(1 + E_q\right)} \right) k,$$

где R_t — результаты, полученные в год t; $I(t,t_б)$ — индекс инфляции в году t по сравнению с годом $t_б$; $З_t$ — текущие затраты в год t; K_t — единовременные затраты в год t; E_q — норма дисконта; k — комплексный коэффициент качества.

Комплексный коэффициент качества определяется по формуле

$$k = \prod_{i=1}^{n} \frac{x_i}{x_i^{норм}},$$

где x_i — значение i-го показателя качества ; $x_i^{норм}$ — нормативное значение i-го показателя качества.

Превосходство в качестве дорожного покрытия реально приводит к увеличению прибыли дорожно-эксплуатационных предприятий (служб). На увеличение прибыли воздействуют два фактора: первый — удовлетворенность потребителей более высоким качеством производства ремонтно-строительных работ, вследствие чего дорожное предприятие имеет возможность выиграть тендерные торги; второй — снижение затрат на производство из-за отсутствия дефектов и, следовательно, уменьшение затрат на их доработку [3].

Основным структурообразующим веществом асфальтового бетона является асфальтовое вяжущее (битум и минеральный порошок), от которого зависят важнейшие характеристики асфальтобетонного покрытия (прочность, долговечность, плотность, сдвигоустойчивость и др.).

В настоящее время для устройства и ремонта дорожных покрытий в основном используют композиционные материалы на основе битума и моди-

фикаторов, таких как каучук (полибутадиеновый, натуральный, бутилкаучук, хлоропрен), органо-марганцевые компаунды, термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол, этилен-винилацетат), термопластичные каучуки (полиуретан, олефиновые сополимеры, а также блоксополимеры стирол-бутадиен-стирола).

Структура битумов, модифицированных полимерами, созданная при технологической температуре, как правило, сохраняется и после охлаждения. Это обусловлено резким увеличением вязкости приготовленного полимерно-битумного материала при понижении температуры, препятствующим расслоению дисперсной системы. Следовательно, понятие «совместимость полимеров с битумами» включает две составные части: термодинамическую совместимость компонентов, а также совместимость на уровне двухфазных структур.

Исследования, проводимые в последние годы, показывают, что литым асфальтобетонам на основе битумов, модифицированных полимерами класса термоэластопластов, свойственны меньшие значения показателя погружения штампа как критерия теплоустойчивости материала, чем литым асфальтобетонам на основе вязкого нефтяного битума.

В связи с этим, нами был рассмотрен олигокапроамид, представляющий собой олигомеры циклического и линейного строения. Поскольку молекулы олигокапроамида включают остатки мономера ε-олигокапроновой кислоты, то его общую формулу можно представить как $H[HN(CH_2)5C(O)]nOH$. Олигокапроамид хорошо растворяется в полярных средах, а с компонентами битума при температурах 150—160 °С образует однородную гомогенную массу.

Полученные данные показывают, что при использовании модифицированного вяжущего заметно повышается предел прочности и усилие сдвига при повышенных температурах, интенсивный рост показателя погружения штампа наблюдается в течение первых 3—4 минут, после чего темп нарастания этого показателя существенно замедляется для литых асфальтобетонов как на вязком битуме, так и на битумополимерном вяжущем. Экспериментально установлено, что гранулометрический состав минеральной части литых асфальтобетонных смесей, также как и вид и концентрация полимера в составе битумополимерного вяжущего оказывают влияние на теплоустойчивость литого асфальтобетона. Величина показателя погружения штампа в мелкозернистый литой асфальтобетон меньше, чем для песчаного литого асфальтобетона. При этом с ростом концентрации полимера в составе битумополимерного вяжущего показатель погружения штампа в песчаный и мелкозернистый литой асфальтобетон уменьшается.

Экспериментально подтверждено, что асфальтобетонные смеси, приготовленные на модифицированном битумном вяжущем, обладают улучшенными физико-механическими показателями по сравнению с исходными асфальтобетонными смесями. Комплекс высоких показателей модифицированного нефтяного битума обеспечивает повышенную трещиностойкость асфальтобетонных покрытий и их долговечность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройство конструкций дорожной одежды мостового полотна с использованием литого асфальтобетона на основе полимер-битумных вяжущих // Проект отраслевых методических рекомендаций. Саратов : РОСДОРТЕХ, 2003. 3 с.

2. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Основные положения : ОДН 218.0.006—2002 : введ. 03.10.2002. М. : Информавтодор, 2002. 4 с.

3. Рекомендации по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью / Росавтодор. М., 2004. 8 с.

4. *Ребрин Ю. И.* Управление качеством : учеб. пособие. Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2004. 9 с.

5. *Гохман Л. М.* Почему битумы, отвечающие требованиям ГОСТ 22245—90, не соответствуют требованиям условий эксплуатации асфальтобетонных покрытий // Транспорт России. 2005. № 6. С. 10.

1. Ustroystvo konstruktsi dorozhnoy odezhdy mostovogo polotna s ispolzovaniyem litogo asfaltobetona na osnove polimer-bitumnykh vyazhushchikh // Proekt otraslevykh metodicheskikh rekomendatsi. Saratov : ROSDORTEKh, 2003. 2 s.

2. Pravila diagnostiki i otsenki sostoyaniya avtomobilnykh dorog. Osnovnyye polozheniya : ODN 218.0.006—2002 : vved. 03.10.2002. M. : Informavtodor, 2002. 4 s.

3. Rekomendatsii po ustroystvu dorozhnykh pokryti s sherokhovatoy poverkhnostyu / Rosavtodor. M., 2004. 8 s.

4. *Rebrin Ju. I.* Upravleniye kachestvom : ucheb. posobiye. Taganrog : Izd-vo TRTU, 2004. 9 s.

5. *Gokhman L. M.* Pochemu bitumy, otvechayushchiye trebovaniyam GOST 22245—90, ne sootvetstvuyut trebovaniyam uslovi expluatatsii asfaltobetonnykh pokryti // Transport Rossii. 2005. № 6. S. 10.

© Буров В. В., Вовко В. В., Акчурин Т. К., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Буров В. В., Вовко В. В., Акчурин Т. К. Технологии литого асфальтобетона и оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 105—109.

УДК 666.9.03:691.168:519.22

С. Ю. Калашников, С. В. Алексиков, М. О. Карпушко, А. В. Куликов

ОЦЕНКА ВЫПУСКА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С ПОЗИЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Приводится анализ динамики выпуска всех видов асфальтобетонных смесей в РФ. Приведены результаты статистического анализа работы АБЗ на примере филиала № 2 треста МУП «Дормостстрой». Выявлены особенности описания сложных технологических процессов в дорожной отрасли законом β-распределения и нормальным.

К л ю ч е в ы е с л о в а : асфальтобетонный завод, асфальтобетонная смесь, гистограмма, выравнивающая кривая закона распределения, математическая статистика, закон β-распределения, нормальный закон распределения, коэффициент загрузки.

The dynamics analysis of the asphalt mixes yield of all types in Russian Federation is reduced. The results of the statistic analysis of the ACMP work are quoted by the example of the branch № 2 of MUE group “Dormoststroi”. The particularities of complex technical processes description in the road branch of beta-distribution and normal distribution laws are revealed.

K e y w o r d s : coating plant, road concrete mix, frequency diagram, fitted curve of distribution law, mathematical statistics, beta distribution law, normal distribution law, loading factor.

Выпуск асфальтобетонной смеси (АБС) асфальтобетонным заводом (АБЗ) представляет собой неустановившийся процесс, в котором объем и время выпуска постоянно меняются. Это происходит под влиянием большого количества как производственных, так и экономических факторов. Финансирование и характер дорожных работ, наличие и техническое состояние дорожно-строительной техники, погодно-климатические условия оказывают существенное влияние на динамику производства различных типов смеси.

За период с 2004 по 2008 г. объем производства асфальтобетонных смесей в России увеличился на 65 % и достиг почти 40 млн т [1]. В 2009 г. из-за экономического кризиса было произведено 28,6 млн т асфальтобетона, что на 28 % меньше, чем в 2008 г. В 2010 г. был зафиксирован положительный прирост производства, который составил 14,2 % (рис. 1).

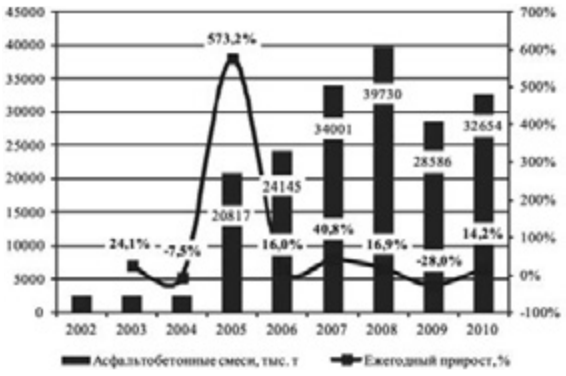


Рис. 1. Динамика производства всех видов асфальтобетонных смесей в РФ, 2002—2010 гг., тыс. т

Производство асфальтобетонной смеси, как правило, приурочено к летнему строительному сезону. До 60—70 % годового объема приходится на III квартал, наименьший — на I квартал года.

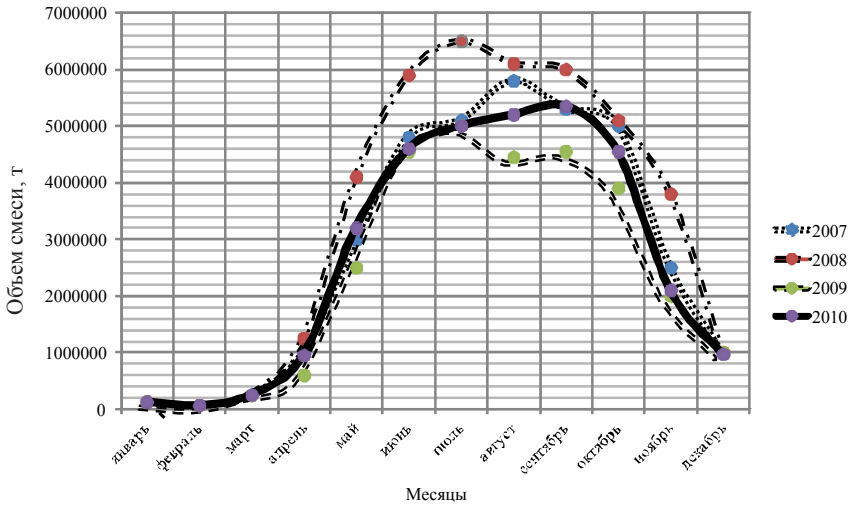


Рис. 2. Динамика производства всех видов асфальтобетонной смеси в РФ по месяцам, 2007—2010 гг., т

Аналогичная динамика производства смесей наблюдается в дорожной отрасли Волгоградской области (рис. 3). Наибольший объем выпуска крупнозернистой смеси приходится на первую половину летнего строительного сезона (апрель — июль), что вызвано устройством нижних слоев и ямочным ремонтом дорожного покрытия. Укладка преимущественно верхних слоев дорожной одежды повлекла рост объема выпуска мелкозернистых смесей в период август — октябрь. Доля литых смесей составила всего 2 % годового объема и приурочена к ямочному ремонту проезжей части в холодный период года.

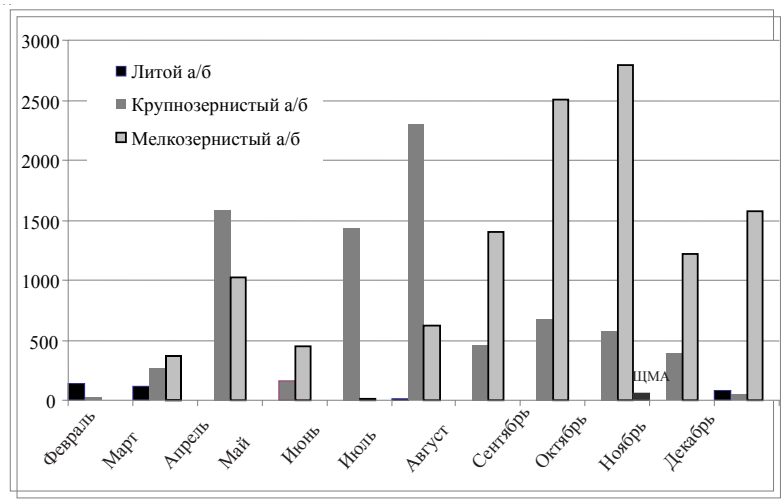


Рис. 3. Динамика производства АБС по месяцам филиалом № 2 треста МУП Дормостстрой, 2010 г., т

Исследования показывают, что интенсивность дорожно-ремонтных работ Q, т/смена, определяется производительностью АБЗ ($П_{АБЗ}$) и укладочного звена ($П_{УК}$):

$$Q = 0,271 П_{АБЗ}^{0,385} П_{АТ}^{0,051} П_{УК}^{0,565}.$$

Оптимизация сроков дорожно-ремонтных работ, формирование механизированных звеньев, оперативное управление строительным производством проблематичны без статистической оценки суточной производительности АБЗ. Известно, что производительность АБЗ формируется под воздействием различных факторов, имеющих детерминированный и вероятностный характер. Выявить степень влияния каждого из факторов при различном их сочетании затруднительно. Целесообразно оценивать эксплуатационную производительность АБЗ законом распределения, математическим ожиданием, средним квадратическим отклонением, максимальным и минимальным значениями с заданной доверительной вероятностью.

Исследования вероятностного характера дорожно-строительного производства выполнены И. А. Золотарем, В. М. Мальцевым, В. Н. Шестаковым, В. М. Могилевичем, Т. В. Бобровой и др. Доказано, что производительность АБЗ удовлетворительно описывается нормальным и универсальным β-распределением [3, 4]. При этом нормальное распределение следует рассматривать как частный случай β-распределения, когда влияние отдельных случайных факторов становится малосущественным (рис. 4).

Рис. 4. Гистограмма и теоретическая кривая распределения выпуска асфальтобетонной смеси установкой ДС-1

При этом форма β-распределения определяется экономическими и организационно-технологическими условиями производства работ.

По результатам производственной деятельности дорожно-строительных организаций Волгоградской области в 2000—2010 гг. установлены закономерности распределения производительности основных моделей отечественных асфальтосмесительных установок. Доказано, что использование β-распределения правомерно, при этом форма распределения зависит от коэффициента загрузки АБЗ (рис. 5).

Функция плотности вероятности β-распределения производительности П в интервале изменения переменной $П_{min} \le П \le П_{max}$ и параметрах формы γ, η (которые равны α + 1 = γ, δ + 1 = η, при α > −1, δ > −1) описывается

$$f(П) = c\,(П - П_{min})^{\alpha}\,(П_{max} - П)^{\delta},$$

где *c* — постоянная величина при конкретных значениях $П_{min}$, $П_{max}$, α, δ.

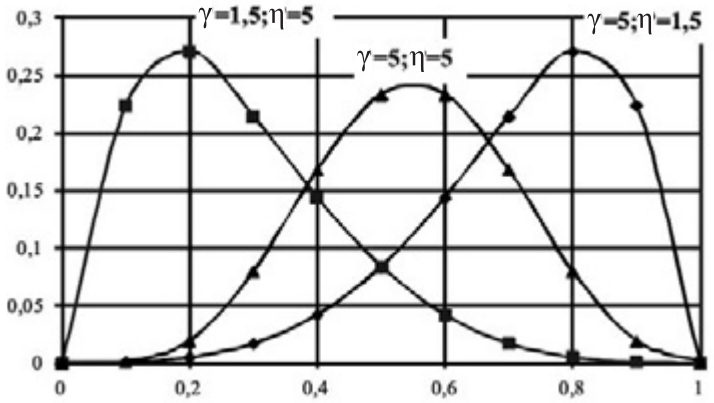


Рис. 5. Формы кривых плотности β-распределения производительности АБЗ при различных γ и η

Коэффициент загрузки АБЗ в основном определяется условиями финансирования дорожных работ, наличием автотранспорта и производительностью укладочного звена.

При дефиците финансирования или недостатке автотранспорта, средний уровень загрузки АБЗ $К_{загр}$ = 0,1—0,4, распределение производительности имеет левостороннюю ассиметрию (γ = 1,5, η = 5). При устойчивом производственном процессе $К_{загр}$ = 0,4—0,7, распределение вырождается в нормальное (γ = 5, η = 5). Напряженный график производства работ, при $К_{загр}$ > 0,7, приводит к правосторонней ассиметрии кривой распределения (см. рис. 5).

Параметры формы распределения

Коэффициент загрузки АБЗ, $К_{загр}$	γ	η
0,1—0,4	1,5	5
0,4—0,7	5	5
> 0,7	5	1,5

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На фоне наметившегося в последние годы прироста выпуска асфальтобетонных смесей (до 14,2 %) он имеет сезонный характер. В холодный период ограниченно производятся литые смеси (до 2 %) для выполнения ямочного ремонта дорожного покрытия. Повышение рентабельности производства в южных районах РФ возможно при круглогодичном выполнении дорожно-ремонтных работ с использованием холодных и литых битумоминеральных смесей.

2. Регрессионный анализ показал, что интенсивность дорожных работ в значительной степени определяется работой АБЗ. Производительность асфальтобетонных заводов удовлетворительно описывается β-распределением. Форма теоретической кривой зависит от уровня загрузки оборудования АБЗ.

3. Накопление статистического материала в дальнейшем позволит учесть сложившиеся условия производства работ данной организации, выявить внутренние резервы повышения темпов и снижения себестоимости строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий за счет оптимизации технологической цепочки АБЗ — транспорт — асфальтоукладчик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автомобильные дороги. 2009. № 6.

2. http://www.asphalt.ru/useful/article/asphalt/a223/

3. *Могилевич В. М., Боброва Т. В.* Организация дорожно-строительных работ. М. : Транспорт, 1990. 151 с.

4. Экономико-математические методы в дорожном строительстве / Золотарь И. А. и др. М. : Транспорт, 1974. 248 с.

1. Avtomobilnyye dorogi. 2009. № 6.

2. http://www.asphalt.ru/useful/article/asphalt/a223/

3. *Mogilevich V. M., Bobrova T. V.* Organizatsiya dorozhno-stroitelnykh rabot. M. : Transport, 1990. 151 s.

4. Ekonomiko-matematicheskiye metody v dorozhnom stroitelstve / Zolotar I. A. i dr. M. : Transport, 1974. 248 s.

© Калашников С. Ю., Алексиков С. В., Карпушко М. О., Куликов А.В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка выпуска асфальтобетонной смеси с позиции математической статистики / С. Ю. Калашников, С. В. Алексиков, М. О. Карпушко, А. В. Куликов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 110—114.

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ДОРОЖНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ

УДК 625.768.5:338.312

С. В. Алексиков, Г. И. Беликов, В. Л. Харланов, Ф. В. Волченко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ СНЕГОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ НА ГОРОДСКИХ ДОРОГАХ

Предложена математическая модель оптимизации маршрута движения снегоуборочной техники на улично-дорожной сети больших городов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: математическая модель, маршрут движения, снегоуборочная техника, улично-дорожная сеть, транспортный поток.

The mathematical model of the movement route optimization of the snow-clearing machinery on the street and road network of the big city is offered.

K e y w o r d s: mathematical model, movement route, snow-clearing machinery, network of city, transport stream.

Стоимость зимнего содержания городских дорог увеличивается с каждым годом. Это связано с тем, что возрастают требования, предъявляемые к проезжей части городских дорог, уменьшается время, отведенное на уборку, высокая интенсивность движения на УДС затрудняет работу снегоуборочной техники, особенно в центральных районах городов. Транспортные расходы составляют более 80 % общей стоимости уборки снега, а расстояния до мест складирования снега и снеготаялок постоянно увеличиваются, так как предъявляемые к ним экологические требования все дальше отодвигают их от центральных районов города [1].

Снижение стоимости зимнего содержания городских дорог возможно путем оптимизации маршрута движения снегоуборочной техники. Разработка математической модели оптимизации маршрута движения техники должна учитывать особенности движения снегоуборочной техники по УДС и грузового автотранспорта к местам складирования снега в условиях плотных транспортных потоков города. Это позволит уменьшить производственные затраты за счет более рационального использования снегоуборочной техники и автосамосвалов.

Математическая модель оптимизации маршрута движения снегоуборочной техники должна учитывать:

затраты организаций на выполнение работ по зимнему содержанию ($С_{д.о.}$);

потери на автотранспорте от неудовлетворительных дорожных условий (наличие льда и снега на дорожном покрытии), к которым относятся потери от снижения скорости городского движения ($П_v$), потери от ДТП ($П_{дтп}$);

экологический ущерб, наносимый окружающей среде ($П_{эк}$).

В общем виде математическая модель оптимизации маршрута движения снегоуборочной техники имеет вид

$$П_{с.п.у.} = \sum_{i=1}^{N} \left(С_{д.о.} + П_v + П_{дтп} + П_{эк} \right) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Затраты на выполнение работ по зимнему содержанию ($С_{д.о.}$) складываются из стоимости противогололедных материалов ($С_{пгм}$) и стоимости эксплуатации снегоуборочной техники ($С_{маш}$):

$$С_{д.о.} = С_{пгм} + С_{маш}, \quad (2)$$

где

$$С_{маш} = С_р + С_{пл} + С_{пог} + С_{сам}, \quad (3)$$

$С_р$ — стоимость эксплуатации машин (КДМ) при распределении противогололедных материалов (ПГМ) по проезжей части; $С_{пл}$ — стоимость эксплуатации плужно-щеточных снегоочистителей; $С_{пог}$ — стоимость эксплуатации погрузчика; $С_{сам}$ — стоимость эксплуатации автосамосвалов при перевозке снега от мест их уборки на дороге к складу.

Удельная стоимость эксплуатации снегоуборочных машин (рис. 1—3) определяется уровнем загрузки УДС движением транспорта (Z) и удаленностью участка производства работ от производственной базы (L_x).

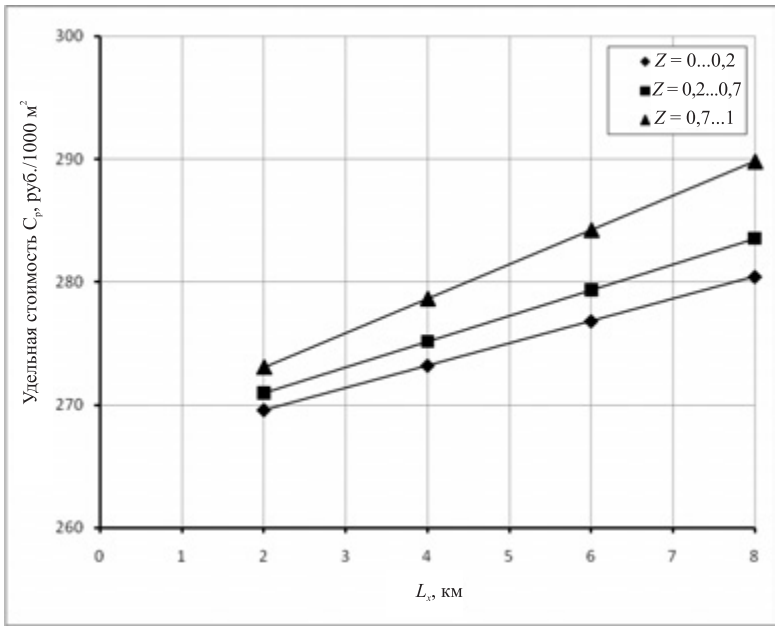


Рис. 1. Зависимость удельной стоимости эксплуатации КДМ ЭД-405 от удаленности участка производства работ (L_x) и уровня загрузки УДС (Z)

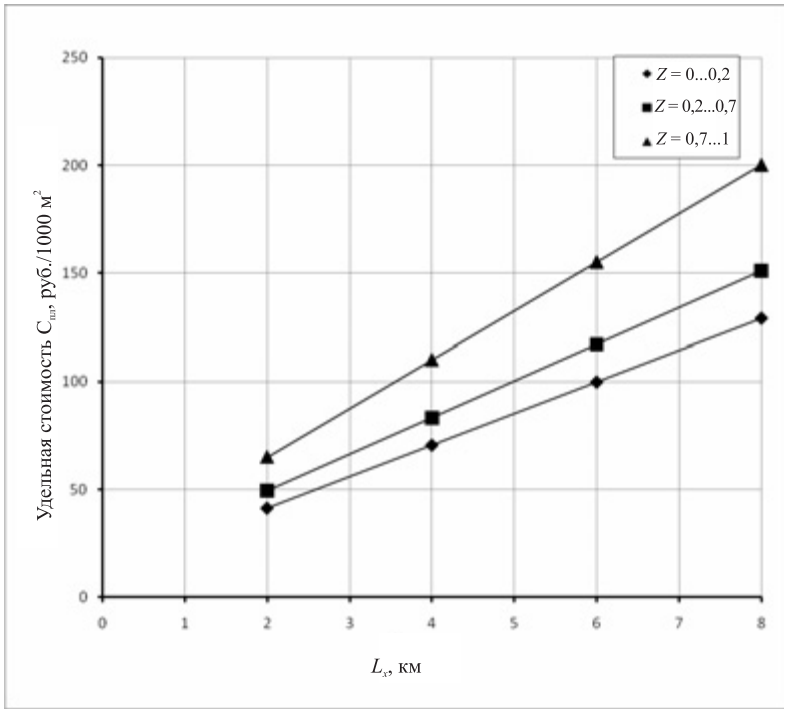


Рис. 2. Зависимость удельной стоимости эксплуатации плужно-щеточных снегоочистителей ЭД-405 от удаленности участка производства работ (L_x) и уровня загрузки УДС (Z)

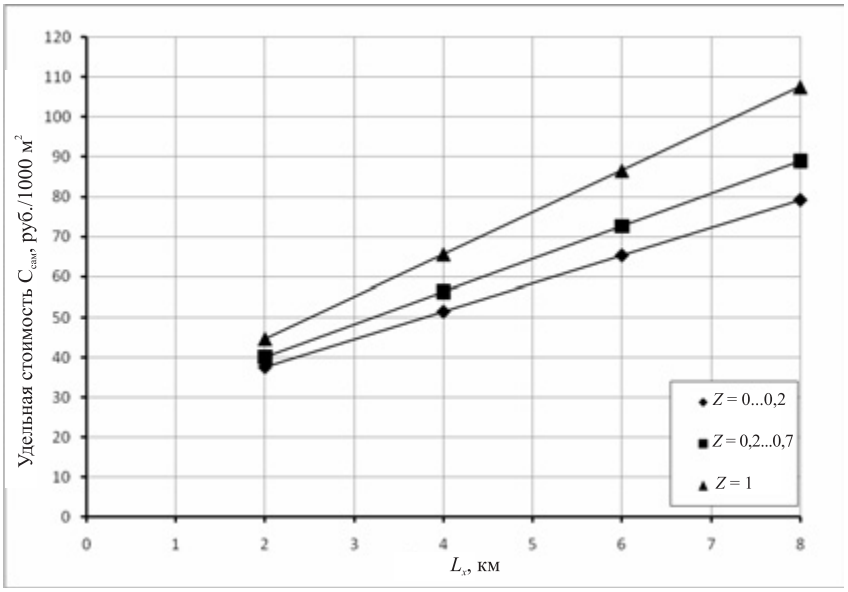


Рис. 3. Зависимость удельной стоимости эксплуатации автосамосвалов КАМАЗ-65115-6056-78 от удаленности участка производства работ (L_x) и уровня загрузки УДС (Z) при интенсивности снегопада 1 мм/ч слоя воды

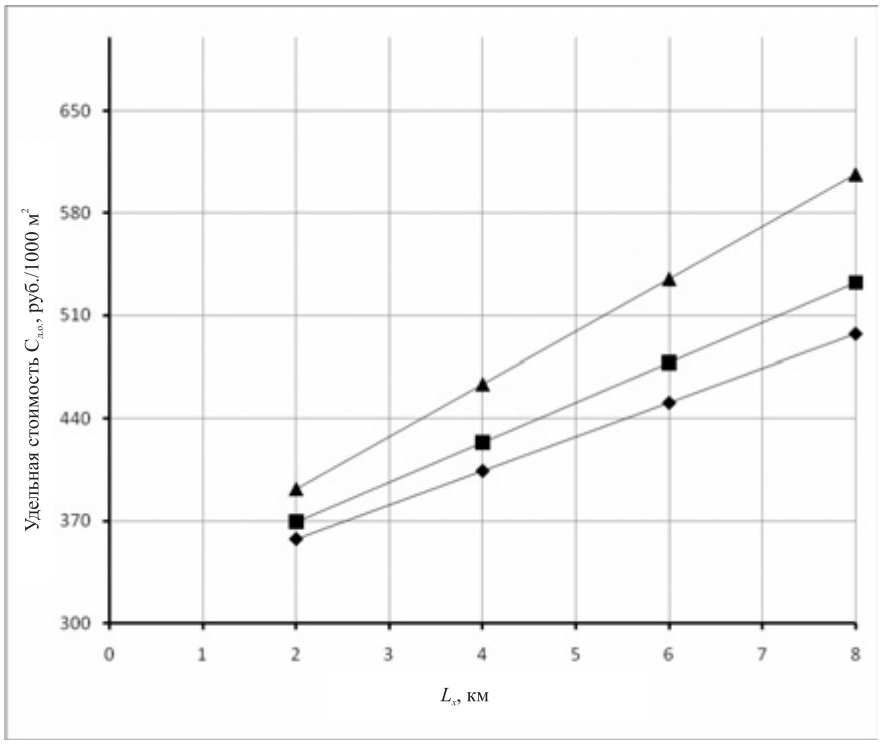


Рис. 4. Зависимость удельной стоимости затрат дорожной организации от удаленности участка производства работ (L_x) и уровня загрузки УДС (Z) при интенсивности снегопада 1 мм/ч слоя воды

Общие затраты предприятий на зимнее содержание зависят от удаленности участка производства работ, уровня загрузки движением городского транспорта и интенсивности снегопада:

$$C_{д.о.} = a + bL_x, \quad (4)$$

где a, b — коэффициенты, зависят от интенсивности снегопада и уровня загрузки УДС, принимаются по табл.

Интенсивность снегопада i, мм/ч слоя воды	Уровень загрузки УДС, Z	Коэффициенты	
		a	b
$i \le 1$	0—0,2	23,348	310,91
	0,2—0,7	27,145	315,23
	0,7—1,0	35,805	320,17
$1 \le i \le 3$	0—0,2	37,173	358,54
	0,2—0,7	43,428	362,86
	0,7—1,0	56,74	367,8
$3 \le i$	0—0,2	50,998	406,17
	0,2—0,7	59,71	410,48
	0,7—1,0	77,675	415,42

Появление зимней скользкости на проезжей части приводит к снижению скорости движения транспортных средств, увеличивает себестоимость автомобильных перевозок. Исследования показывают, что наличие снега на проезжей части высотой в 3—5 см вызывает необходимость снижения скорости движения автомобилей на 10—20 % в зависимости от длины перегона. При высоте снега свыше 20 см движение становится невозможным.

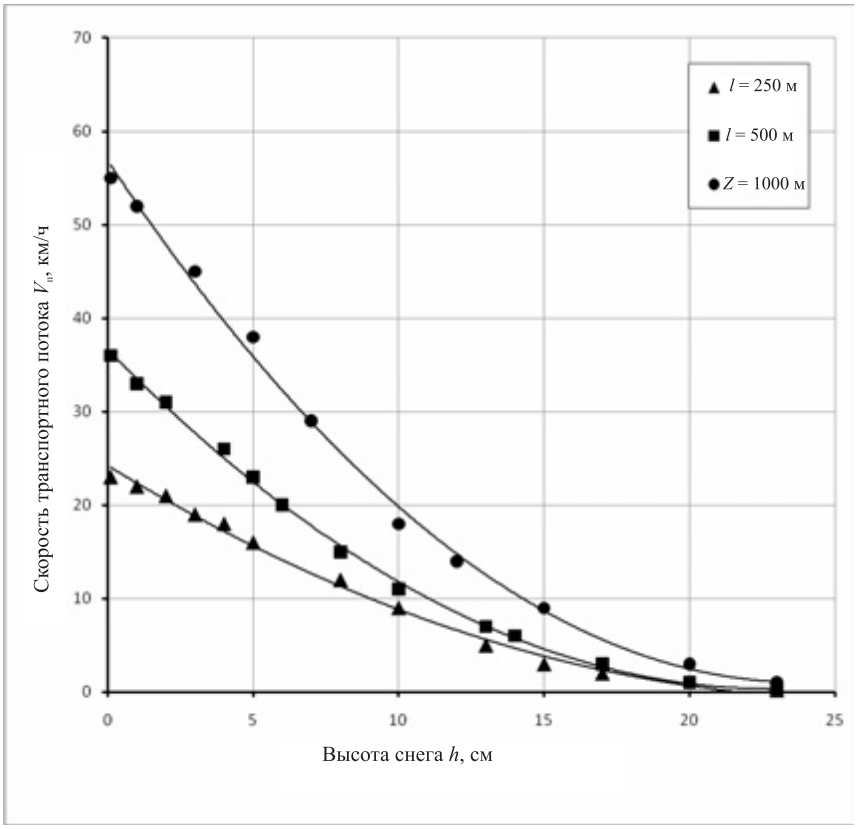


Рис. 5. Зависимость скорости транспортного потока $V_п$ от высоты снега на проезжей части h

Потери от неудовлетворительных дорожных условий можно определить как разницу себестоимости перевозок грузов и пассажиров между чистым покрытием и при наличии снега на покрытии:

$$C_{с.п.} = NC_{авт}\frac{L}{V_{ср}^1 - V_{ср}^2}. \quad (5)$$

Возможные потери от ДТП при различном состоянии дорожного покрытия могут быть рассчитаны согласно [2]:

$$П_{дтп} = ZA, \quad (6)$$

где Z — увеличение числа ДТП на обледеневшем или заснеженном покрытии, A — ущерб от одного ДТП.

Экологический ущерб, наносимый окружающей среде в процессе производства работ по зимнему содержанию, складывается из ущерба загрязнения окружающей среды противогололедными материалами ($У_{пгм}$) и ущерба от выбросов автотранспортных средств ($У_{выбр}$) [2]:

$$П_{эк} = У_{пгм} + У_{выбр}. \quad (7)$$

Поиск оптимального маршрута движения выполняется на основе теории графов, где вес каждого ребра представлен общими затратами на содержание улицы между перекрестками, вершины — перекрестками улично-дорожной сети. В качестве целевой функции используется выражение (1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Борисюк Н. В.* Зимнее содержание городских дорог : учеб. пособ. М., 2006.

2. *Самодурова Т. В.* Оперативное управление зимним содержанием дорог : учеб. пособ. Воронеж, 2003.

3. ГАО ВО «Региональный Центр по ценообразованию в строительстве Волгоградской области».

1. *Borisyuk N. V.* Zimneye soderzhaniye gorodskikh dorog : ycheb. posob. M., 2006.

2. *Samodurova T. V.* Operativnoye upravleniye zimnim soderzhaniyem dorog : ycheb. pocob. Voronezh, 2003.

3. GAO VO «Regionalny Tsentr po tsenoobrazovaniyu v stroitelstve Volgogradskoy oblasti».

© Алексиков С. В., Беликов Г. И., Харланов В. Л., Волченко Ф. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Математическая модель оптимизации маршрута движения снегоуборочной техники на городских дорогах / С. В. Алексиков, Г. И. Беликов, В. Л. Харланов, Ф. В. Волченко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 115—120.

УДК 629.351:691.168:519.87

А. В. Куликов, М. О. Карпушко, С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Приводится оптимизация перевозки асфальтобетонной смеси при ямочном ремонте на улично-дорожной сети города. Для сокращения транспортных затрат в технологической цепи АБЗ — транспорт — укладочное звено предлагается использовать логистический подход и маршрутизацию.

К л ю ч е в ы е с л о в а: оптимизация, асфальтобетонная смесь, математические методы, маршрутизация, мелкопартионные грузы, матрица расстояний, пробег автомобиля, грузоподъемность, коэффициент использования пробега, коэффициент использования статической грузоподъемности.

The optimization of the road concrete mix transportation by the patching on street and road network of the city is indicated. The logistic approach and the route scheduling is offered to use for the reduction of the transportation costs in ACMP — transport — laying part manufacturing chain.

K e y w o r d s: optimization, road concrete mix, mathematical methods, route scheduling, small consignments, distance matrix, mileage, lading capacity, loaded mileage proportion, activity factor, static load rating.

Правильная организация перевозочного процесса позволяет значительно снизить стоимость строительства объекта. Затраты на перевозку дорожно-строительных материалов для устройства дорожного покрытия, а именно асфальтобетонной смеси (АБС) составляют до 48 % от стоимости объекта [1].

Цель перевозки — обеспечение объекта дорожного строительства смесью с требуемыми свойствами: температура должна соответствовать требованиям ГОСТ 9128—2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия», перевозимый объем должен обеспечивать равномерную загрузку приемного бункера асфальтоукладчика в течение смены.

Перевозка готовой АБС, выпущенной асфальтобетонным заводом (АБЗ) осуществляется в соответствии с графиками производства дорожно-строительных работ, что требует оперативного управления, обеспечивающего эффективность работы транспорта в процессе дорожного строительства.

Для дорожного строительства характерно неравномерное потребление асфальтобетонной смеси в течение года. Большая часть приходится на летний строительный сезон вследствие технологических и климатических особенностей. При этом установлено, что в жаркую погоду горячие смеси можно возить на 40—50 км, а теплые — на 60—80 км. В прохладную погоду расстояние для перевозки горячей смеси не должно превышать 20—30 км, а теплой — 40—50 км [2].

Перевозка горячей смеси к месту ее укладки осуществляется большегрузными автомобилями: самосвалами грузоподъемностью 11—15 т. Потребное количество транспортных средств зависит от объема перевозимой смеси, от грузоподъемности подвижного состава и скорости движения [3]. При этом скорости автомобилей в городских условиях отличаются от загородных. Это объ-

ясняется высоким уровнем загрузки улично-дорожной сети, наличием большого количества перекрестков, остановок общественного транспорта, средств организации движения (знаков, разметки, светофоров).

Организацию перевозок необходимо выполнить таким образом, чтобы обеспечить минимальные суммарные потери от простоев в технологической цепи АБЗ — транспорт — укладочное звено. Для этого необходимо составление наиболее эффективного способа организации оптимального продвижения грузопотоков по логистическим звеньям, т. е. маршрутизацию.

При маршрутизации перевозок учитывается множество ограничений, вызываемых конкретными условиями работы транспорта: объемы перевозок поставщиков и потребителей, характер грузов, время их доставки, структура парка подвижного состава и его наличие, режим работы автотранспортных предприятий и погрузочно-разгрузочных пунктов, режим работы водителей, пропускная возможность погрузочно-разгрузочных пунктов и дорожной сети, значение целевой функции и др.

Методы маршрутизации перевозок делятся: на маршрутизацию перевозок помашинных отправок и маршрутизацию перевозок мелких партий грузов. В зависимости от использования математического аппарата они делятся на методы, основанные на моделях математического программирования, и на методы, основанные на алгоритмах задач теории расписаний [4].

Рассмотрим применение маршрутизации для оптимизации работ автомобильного транспорта по перевозке АБС для ямочного ремонта, проводимых за 1 рабочий день в соответствии с календарным планом на улично-дорожной сети города, как маршрутизацию перевозки мелких партий грузов. Ямочный ремонт характеризуется значительной удаленностью объектов друг от друга, и для проведения ямочного ремонта требуется меньшее количество асфальтобетонной смеси, чем при капитальном ремонте и реконструкции.

Схема транспортной сети города с указанием объектов ямочного ремонта представлена на рис. 1. Объемы АБС по этим объектам приводятся в табл. При выполнении маршрутизации критериями оптимизации являются: использование пробега автомобиля и его грузоподъемность.

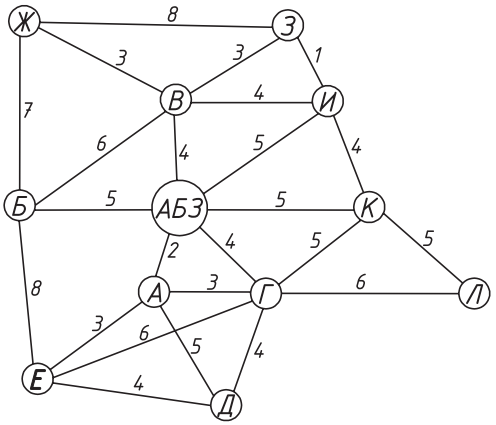


Рис. 1. Схема транспортной сети, где А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л — объекты ямочного ремонта

На первом этапе данного процесса производится набор пунктов для каждого маршрута по кратчайшим расстояниям с условием обеспечения максимального использования грузоподъемности автомобиля (в данном случае используется автомобиль КАМАЗ-55111 грузоподъемностью 15 т). Набор пунктов по маршруту прекращается, когда достигается превышение грузоподъемности автомобиля суммарным объемом перевозок. В результате получаем 1-й маршрут, состоящий из следующих пунктов: АБЗ—Л—К—И—З—В. Коэффициент использования статической грузоподъемности составляет $\gamma_c = 0{,}86$.

Объемы ввозимой асфальтобетонной смеси и вместимость транспортного средства

	Грузопоглощающие пункты											Вместимость транспортного средства, т
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	
Общая потребность, т	0,4	2	1,3	1,7	1,3	0,9	2,6	3,9	2,6	3	2,1	15

Следующим этапом является нахождение кратчайшего пути объезда пунктов маршрута, начиная с грузообразующего, т. е. с АБЗ. Для этого строятся специальные матрицы расстояний между пунктами каждого маршрута.

Матрица расстояний по маршруту 1:

	АБЗ	10	5	5	6	4
	10	**Л**	5	9	10	13
	5	5	**К**	4	5	8
	5	9	4	**И**	1	4
	6	10	5	1	**З**	3
	4	13	8	4	3	**В**
Σ	30	47	27	23	25	32

По диагонали записаны пункты маршрута, на пересечении *i*-й строки и *j*-го столбца указаны кратчайшие расстояния между пунктами *i* и *j*. Итоговая строка называется строкой сумм. В ней указана сумма кратчайших расстояний между пунктами маршрута по столбцам.

Первоначально намечается маршрут объезда трех пунктов, которым соответствуют в строке сумм наибольшие значения. Наибольшие значения соответствуют вершинам Л—В—АБЗ. Эти три пункта образуют начальный кольцевой маршрут. В этот маршрут включается вершина К, которой в строке сумм соответствует максимальное из оставшихся значение сумм кратчайших расстояний.

Чтобы определить, между какими пунктами следует его включить, необходимо определить увеличение длины маршрута в каждом возможном случае при его добавлении (рис. 2).

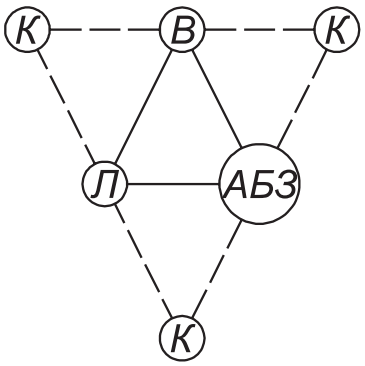


Рис. 2. Определение возможного месторасположения пункта К в кольцевом маршруте Л—В—АБЗ

Для каждой соседней пары пунктов первоначального маршрута (Л—В, В—АБЗ, АБЗ—Л) определяем приращение Δ по формуле

$$\Delta_1 = l_{АБЗ—К} + l_{К—Л} - l_{АБЗ—Л} = 5 + 5 - 10 = 0;$$

$$\Delta_2 = l_{Л—К} + l_{К—В} - l_{Л—В} = 5 + 8 - 13 = 0;$$

$$\Delta_3 = l_{В—К} + l_{К—АБЗ} - l_{В—АБЗ} = 8 + 5 - 4.$$

Из всех полученных значений приращений расстояния выбираем наименьшее и между соответствующими ему пунктами включаем пункт К. Затем из матрицы 1-го маршрута выбираем пункт, соответствующий следующему по убыванию значению величины суммы кратчайших расстояний в строке сумм. Им будет вершина З.

$$\Delta_1 = l_{АБЗ—З} + l_{З—Л} - l_{АБЗ—Л} = 6 + 10 - 10 = 6;$$

$$\Delta_2 = l_{Л—З} + l_{З—К} - l_{Л—К} = 10 + 5 - 5 = 10;$$

$$\Delta_3 = l_{К—З} + l_{З—В} - l_{К—В} = 5 + 3 - 8 = 0;$$

$$\Delta_4 = l_{В—З} + l_{З—АБЗ} - l_{В—АБЗ} = 3 + 6 - 4 = 5.$$

Получаем: Л—К—З—В—АБЗ. Следующая вершина по убыванию И:

$$\Delta_1 = l_{АБЗ—И} + l_{И—Л} - l_{АБЗ—Л} = 5 + 9 - 10 = 4;$$

$$\Delta_2 = l_{Л—И} + l_{И—К} - l_{Л—К} = 9 + 4 - 5 = 8;$$

$$\Delta_3 = l_{К—И} + l_{И—З} - l_{К—З} = 4 + 1 - 5 = 0;$$

$$\Delta_4 = l_{З—И} + l_{И—В} - l_{З—В} = 1 + 4 - 3 = 2;$$

$$\Delta_5 = l_{В—И} + l_{И—АБЗ} - l_{В—АБЗ} = 4 + 5 - 4 = 5.$$

Получаем маршрут: АБЗ—Л—К—И—З—В. Объезд пунктов полученного маршрута возможен в прямом и обратном направлениях. Предпочтительнее то направление объезда, которое обеспечивает максимальное значение коэффициента использования пробега (β_e), определяемого по формуле

$$\beta_e = \frac{\sum l_{e\text{г}}}{\sum l_{e\text{г}} + \sum l_{\text{х}}},$$

где $\sum l_{e\text{г}}$ — суммарный груженый пробег, км; $\sum l_{\text{х}}$ — суммарный холостой пробег, км.

Для прямого направления $\beta_{e1} = 0{,}852$, для обратного — $\beta_{e2} = 0{,}629$.

Увеличение значения коэффициента использования пробега приводит к росту значения производительности подвижного состава и к снижению себестоимости перевозки 1 т груза [4].

Так как в 1-й маршрут вошли не все объекты ямочного ремонта из-за ограниченной грузоподъемности автомобиля, далее формируется 2-й и последующие маршруты по предлагаемой методике.

В результате выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Затраты, приходящиеся на организацию перевозочного процесса, составляют значительную (до 48 %) часть от общей стоимости объекта.

2. Для сокращения транспортной составляющей в затратах цепи АБЗ — транспорт — укладочное звено необходимо использовать логистический подход.

3. Для повышения эффективности использования подвижного состава при выполнении ямочного ремонта в условиях улично-дорожной сети города необходимо применять методы маршрутизации перевозок мелких партий грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Куликов А. В.* Эффективность автомобильных перевозок в системах дорожного строительства : дис. … канд. техн. наук. Волгоград, 1998. 184 с.

2. Строительство и реконструкция автомобильных дорог. СЭД / А. П. Васильев и др ; под ред. А. П. Васильева. М. : Информавтодор, 2005. Т. 1. 207 с.

3. *Лукин А. В., Лукин В. А., Куликов А. В.* Обоснование оптимальной скорости движения транспортных потоков на УДС (на примере г. Волгограда) // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 21(40). С. 53—59.

4. Грузовые автомобильные перевозки : учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Куликов. М. : Горячая линия — Телеком, 2006. 560 с.

1. *Kulikov A. V.* Effektivnost avtomobilnykh perevozok v sistemakh dorozhnogo stroitelstva : dis. … kand. tekhn. nauk. Volgograd, 1998. 184 s.

2. Stroitelstvo i rekonstruktsiya avtomobilnykh dorog. SED / A. P. Vasilev i dr. ; pod red. A. P. Vasileva. M. : Informavtodor, 2005. T. 1. 207 s.

3. *Lukin A. V., Lukin V. A., Kulikov A. V.* Obosnovaniye optimalnoy skorosti dvizheniya transportnykh potokov na UDS (na primere g. Volgograda) // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2011. Vyp. 21(40). S. 53—59.

4. Gruzovyye avtomobilnyye perevozki : uchebnik dlya vuzov / A. V. Velmozhin, V. A. Gudkov, L. B. Mirotin, A. V. Kulikov. M. : Goryachaya liniya — Telekom, 2006. 560 s.

© Куликов А. В., Карпушко М. О., Алексиков С. В., Санжапов Б. Х., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Оптимизация перевозки асфальтобетонной смеси математическими методами / А. В. Куликов, М. О. Карпушко, С. В. Алексиков, Б. Х. Санжапов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 121—125.

УДК 629.11.01.012.8

Ю. Г. Лапынин

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Рассмотрены некоторые вопросы проблем экологической безопасности строительства. Предложены принципы построения строительно-дорожных машин, которые позволяют: повысить их надежность; уменьшить загрязнение почвы и воды рабочими жидкостями; уменьшить воздействие машины на почву; уменьшить загрязнения окружающей среды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидравлические системы, экологическая безопасность, колесо, шагающий механизм.

The some issues of the environmental safety problems in the constructions are described. The construction principle of construction and road machines which are allowed to advance their reliability and to trim soil and water pollution of the hydraulic fluids, machines force on the soil and environment pollutions are suggested.

K e y w o r d s: hydraulic systems, environmental safety, wheel, legged locomotion machine.

Внедорожные тягово-транспортные системы широко применяются в строительстве, сооружении нефтяных и газовых скважин и нефтегазопроводов. Существующие транспортные технологии далеки от оптимальных, если за критерий оценки принять величину загрязнения окружающей среды и энергоемкость их выполнения. Выполнение тягово-транспортных работ мобильными машинами в различной степени влияет:

на атмосферу — в результате попадания в нее пыли, вредных газов, паров топлив и масел, высокого уровня шумов;

воду — из-за смыва масел и топлива, пестицидов, гербицидов, удобрений (минеральных и органических);

почву — как результат уплотнения и разрушения ее структуры, накопления в ней плохо разлагающихся компонентов, в том числе тяжелых металлов, масел и топлива [1].

Защита почвы от ветровой и водной эрозии выражается в сохранности в ней влаги и остаточных форм элементов питания, предотвращении уноса плодородного слоя — гумуса [1].

Несмотря на незавершенность в настоящее время комплексной механизации строительства и широкое использование ручного труда, влияние техники на окружающую среду остается определяющим. Существенное загрязнение окружающей среды вызвано недостаточной надежностью мобильной техники. Неудовлетворительный уровень надежности гидравлических и топливных систем приводит к потере смазочных масел, рабочих жидкостей и топлива [1—3].

Выброс в атмосферу продуктов сгорания только от дизелей работающих тракторов достигает 5 млн т в год. В выхлопных газах наряду с CO и CO_2 содержатся и другие вредные примеси: сажа, окислы азота, соединения серы и углеводорода, альдегиды. Попадая в атмосферу и почву, они образуют соединения, многие из которых обладают канцерогенными свойствами.

На 1 т израсходованного топлива выбросы веществ для дизелей составляют: 0,2 т окиси азота, 0,03 т углеводородов, 0,04 т окислов азота. Среднестатистическое потребление кислорода дизелем мобильного тягово-транспортного средства за год оценивается в 5 т [1].

Таким образом, выбросы в атмосферу продуктов сгорания двигателей мобильных агрегатов, наряду с выбросами промышленных производств, серьезно ухудшают состав атмосферы, влияют на ее тепловое и химическое загрязнение.

Создание конструкции экологически безопасной мобильной техники — задача комплексная, связанная с решением ряда сложных и подчас противоречивых вопросов.

Основные направления снижения вредного воздействия мобильной техники на окружающую среду:

I. Повышение уровня надежности гидравлических систем.

Для повышения надежности гидравлических систем и возможности работы на высоких давлениях нами были разработаны уплотнительные узлы с Ж-образными манжетами [3, 7], герметизирующие устройства с равномерной нагрузкой уплотнителей и гидроагрегаты с коаксиально расположенными оболочками, обеспечивающие надежную работу на всем диапазоне рабочих давлений [6, 7].

II. Снижение уплотнения почвы, разрушения ее структуры и энергозатрат энергии на перемещение грузов.

Механические воздействия движителей машин на опорную поверхность не следует рассматривать только как уплотняющие, так как одновременно происходит разрушение ее структуры под действием буксования. Истирание почвы, образование колеи от прохода движителей создают условия развития водной и ветровой эрозии. Эти процессы усугубляются тенденцией увеличения массы машин за счет усложнения конструкции и появления новых узлов и агрегатов.

Проблемы чрезмерного уплотнения почвы и разрушения ее поверхностного слоя могут быть решены при создании более совершенных конструкций машин, в результате поиска новых компоновочных схем и конструктивных решений, обеспечивающих существенное снижение конструкционной массы, рациональное распределение ее по движителям и оптимизацию положения центра масс относительно центра опорной поверхности.

При качении ведущего колеса почва дополнительно уплотняется в горизонтальном направлении. Этому уплотнению подвергается в большей степени объем почвы, частицы которой находятся в зоне контакта с ободом или же близко расположены к ней. Однако чем больше уплотнилась почва до взаимодействия с колесом, тем меньше она будет уплотнена в горизонтальном направлении. Перекатившись через уплотнение, колесо начинает взаимодействовать с менее уплотненной средой, что вызывает соответствующее снижение поступательной скорости оси и увеличение угловой скорости колеса. Волнообразное движение почвы перед колесом уменьшается при буксовании колеса — проскальзывании нижней точки обода в сторону, противоположную движению. Как показали опыты на стенде, минимум затрат энергий на образование

колеи соответствует положению мгновенной оси вращения на поверхности качения. Последнее дает основание сделать вывод о том, что улучшение работы ходового аппарата мобильных колесных машин с точки зрения экологии почвы возможно при обеспечении автоматического режима качения колеса. Нами разработано как плоское, так и пространственное колесо в виде шара, обеспечивающие такой способ перемещения (с переносом осевой нагрузки из центра вперед по направлению движения) [5, 9]. В случае пространственного исполнения (рис. 1) колесо *1* имеет внутреннюю *2* и внешнюю *3* поверхности.

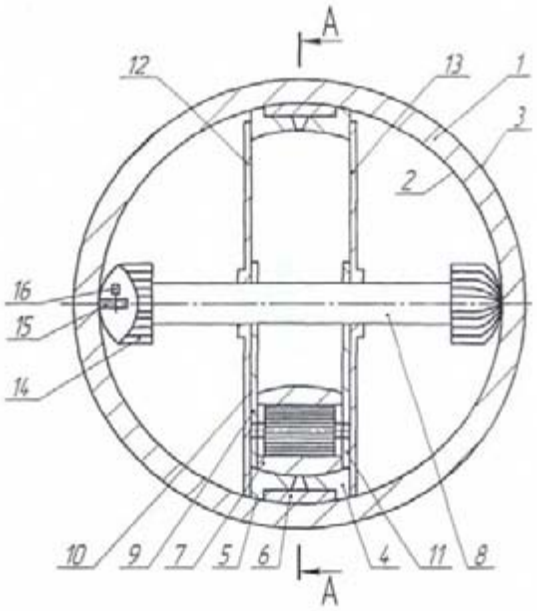


Рис. 1. Общий вид колеса шара с переносом осевой нагрузки

Внутри колеса *1* установлен обод *4*, имеющий сферическую поверхность *5*, которая взаимодействует с внутренней *2* поверхностью колеса *1*, причем обод *4* может фиксироваться относительно внутренней поверхности колеса *1* фиксирующим элементом *6*. С ободом *4* взаимодействует приводное колесо *7*, которое может быть выполнено зубчатым и установлено на оси *8* посредством водила *9*, состоящего из щек *10*, *11*. Обод *4* имеет щеки *12*, *13*, в которых выполнены отверстия для установки оси *8*, причем на концах оси *8* установлены задающие элементы *14*, хотя бы в одном из которых установлено устройство поворота *15* оси *8* с приводным механизмом *16*. Задающий элемент *14* может быть выполнен с различной поверхностью или в виде одного или двух роликов *17*, упруго установленных для задания положения оси 8 внутри сферического колеса *1*. В процессе движения приводное колесо может отклоняться относительно нижнего положения на угол α (рис. 2), причем отклонение ограничено упругими элементами *18*, связанными с осью *8*. Задающий элемент *14* может взаимодействовать с направляющей *19* (рис. 3). Задающие элементы *14* описывают сферические траектории. Приводное колесо *7* приводится во вращение приводом *20* (электродвигатель или другой двигатель) (см. рис. 1, 3).

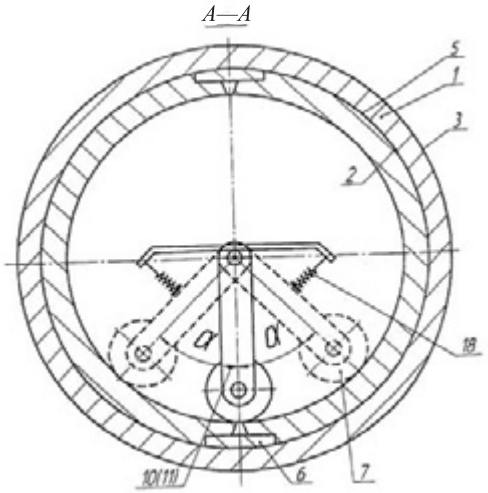


Рис. 2. Сечение *А—А* на общем виде

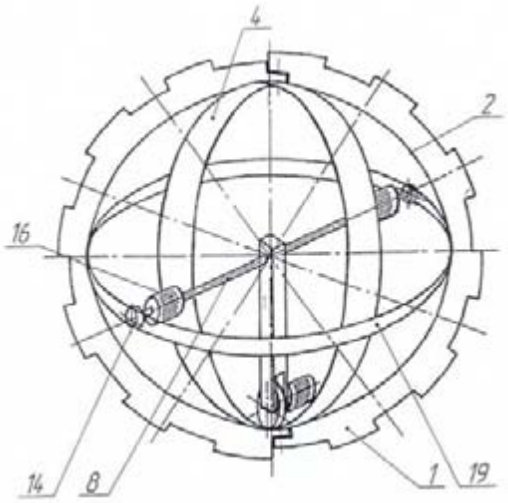


Рис. 3. Вариант общего вида колеса-шара

Колесо *1* может быть установлено в корпусе *21* шарнирно с помощью элементов *22*, причем каждое колесо может работать автономно, когда все приводные элементы (условно не показанные) расположены внутри колеса. В этом случае колесо поворачивается в любом направлении на 360°. Если приводные механизмы расположены внутри колеса, а источник энергии вне колеса, то в этих случаях угол поворота колес ограничен и составляет около 360° (см. рис. 1, 2).

Работа при осуществлении данного способа происходит следующим образом. Подается крутящий момент на приводное колесо *7*, которое передает вращение на обод *4* колеса *1*, причем обод *4* относительно колес *1* фиксируется в направлении дальнейшего движения колеса фиксирующим механизмом

6 с внутренней поверхности колеса, а внутренняя *2* и внешняя *3* поверхность колеса *1* выполнены сферическими. Положение оси колеса задается относительно внутренней *2* поверхности колеса *1* задающими элементами *14*, которые могут иметь различную поверхность, взаимодействующую с внутренней сферической поверхностью колеса, или в виде роликов с каждой стороны оси колеса, или двух роликов с упругим элементом.

Задающие элементы *14* могут взаимодействовать как непосредственно с внутренней поверхностью *2* колеса *1*, так и с направляющей *19*. Задающие элементы *14* могут приводиться во вращение приводным механизмом относительно оси (в этом случае задающие элементы могут вращаться относительно оси) и выполнять функции устройства поворота или непосредственно устройством *15* приводным механизмом *16*, или от внешнего источника поворота через отверстие *24*. Приводное колесо *7* (рис. 2) при большом внешнем сопротивлении может отклоняться на угол α до упора в упругие элементы *18* (возможно сжатие упругих элементов), приводное колесо *7* установлено относительно оси *8* посредством *10*, *11* водила *9*. Колесо *1* устанавливается в корпусе от одного и больше. Если необходимо повысить сопротивление движению, колеса приводят во вращение в направлении, не совпадающим с касательной к траектории (с траекторией).

По сравнению с традиционными колесными и гусеничными шагающие движители обладают следующими качествами: дискретностью следа; увеличенной в 1,5—1,8 раза силой тяги при одинаковой нагрузке на них; повышенной проходимостью через переувлажненные участки; способностью преодолевать препятствия высотой до 0,5 диаметра эквивалентного колеса.

Потери мощности на самопередвижение машины с шагающим механизмом значительно ниже, чем машины с колесным движителем [1].

В процессе взаимодействия колеса с грунтом происходит непрерывная смена точек и вследствие этого деформация большого объема почвы, тогда как при шагании смена точек опоры дискретная и промежутки между следами не деформируются. Дискретность следов имеет и другое преимущество: уменьшение вероятности водной эрозии почвы, что особенно эффективно при движении вдоль склонов. Однако наряду с преимуществами колесных машин они имеют и недостатки.

Технические недостатки известных шагающих устройств:

велико скольжение опор по грунту (разница между идеальной окружностью поворота и кривой, по которой движется опора);

большое количество механизмов поворота делает систему управлений сложной и ненадежной;

большая часть приводов поворота не использует своего диапазона полностью даже при минимальном радиусе поворота опоры, т. к. требуемое поперечное отклонение опор разное, а приводы поворота на всех опорах одинаковые;

соединение между собой управляющих рычагов приводов поворота посредством рулевой трапеции вносит накопленную погрешность в систему управления (т. к. управляющий рычаг определяет радиус поворота опоры, то для разных опор — разные по величине рычаги управления, а для их соединения нужна трапеция).

Многоопорная шагающая машина, предлагаемая нами [10] и устраняющая приведенные выше недостатки, имеет привод поворота, выполненный из двух реверсивных приводов поворота, каждый из которых связан с рычагами рычажных механизмов половины опор общим качающимся валом, имеющих общий рычаг управления, а рычаги рычажных механизмов установлены в среднем положении под углом

$$\beta = \operatorname{arctg}\frac{1 - A_1}{(1 + A_1)\operatorname{tg}(\gamma / 2)}$$

к вертикали рамы машины, и размеры их равны

$$r = \left[\frac{\sqrt{R^2 - (L - B)^2} - \sqrt{R^2 - L^2}}{2c\cos(\beta + k\gamma / 2)\sin(k\gamma / 2)}\right],$$

где

$$A = \left[\frac{\sqrt{R^2 - (L - B)^2} - \sqrt{R^2 - L^2}}{\sqrt{R^2 - (L + B)^2} - \sqrt{R^2 - L^2}}\right], \; k = 1;$$

R — минимальный радиус поворота опоры; L — расстояние от среднего положения опоры до середины базы машины; B — полуразмах шагающего движителя; γ — полуразмах приводного кривошипа стойки; c — отношение длины нижней части стойки (от крепления приводного кривошипа) к длине верхней ее части; k — передаточное отношение механизма поворота.

Таким образом, предложенные усовершенствования внедорожных тягово-транспортных средств позволяют: повысить их надежность; уменьшить загрязнение почвы и воды рабочими жидкостями; уменьшить воздействие машины на почву; уменьшить загрязнения окружающей среды за счет снижения энергозатрат на перемещение грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ксеневич И. П.* Внедорожные тягово-транспортные системы: проблемы защиты окружающей среды // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1996. № 6.

2. Пути увеличения проходимости и экологичности транспортных средств / Ю. Г. Лапынин, А. Н. Макаренко, А. А. Архипов, Д. В. Резников // Фундаментальные исследования. 2011. № 4. С. 101—107.

3. *Пындак В. И., Дяшкин А. В., Лапынин Ю. Г.* Повышение эксплутационно-технологических показателей уплотнительных устройств поршневых гидропневмоагрегатов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 2. С. 183—189.

4. *Хавронина В. Н., Лапынин Ю. Г., Макаренко А. Н.* Транспортное средство для работы на грунтах с малой несущей способностью // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 3. С. 242—248.

5. Авторское свидетельство СССР № 1643209. Колесный узел мобильной машины / Строков В. Л., Лапынин Ю. Г. Б.и. № 15 от 23.04.91, 1991.

6. Патент РФ № 2181852. Многоступенчатая поршневая машина объемного вытеснения / Макаренко А. Н., Лапынин Ю. Г. , Пындак В. И., Макаренко Е. И. Б.и. № 12 от 27.04.2002.

7. Патент РФ № 2194898. Уплотнительное устройство для цилиндрических пар гидропневмомашин / Пындак В. И., Лапынин Ю. Г., Душко О. В., Дяшкин А. В. Б.и. № 35 от 20.12.2002.

8. Патент РФ № 2195593. Уплотнительное устройство для цилиндрических пар гидропневмомашин / Пындак В. И., Дяшкин А. В., Лапынин Ю. Г., Душко О. В. Б.и. № 36 от 27.12.2002.

9. Патент РФ № 2375234. Способ перемещения транспортного средства и устройство его реализующее / Лапынин Ю. Г., Хавронина В. Н., Макаренко А. Н. Б.и. № 36 от 10.12.2009.

10. Патент РФ № 2258624. Многоопорная шагающая машина / Лапынин Ю. Г., Величкин Н. А. 20.08.2005.

1. *Xenevich I. P.* Vnedorozhnyye tyagovo-transportnyye sistemy: problemy zashchity okruzhayushchey sredy // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. 1996. № 6.

2. Puti uvelicheniya prokhodimosti i ekologichnosti transportnykh sredstv / Ju. G. Lapynin, A. N. Makarenko, A. A. Arkhipov, D. V. Reznikov // Fundamentalnyye issledovaniya. 2011. № 4. S. 101—107.

3. *Pyndak V. I., Dyashkin A. V., Lapynin Ju. G.* Povysheniye expluatatsionno-tekhnologicheskikh pokazateley uplotnitelnykh ustroystv porshnevykh gidropnevmoagregatov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo komplexa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye. 2011. № 2. S. 183—189.

4. *Khavronina V. N., Lapynin Ju. G., Makarenko A. N.* Transportnoye sredstvo dlya raboty na gruntakh s maloy nesushchey sposobnostyu // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo komplexa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye. 2011. № 3. S. 242—248.

5. Avtorskoye svidetelstvo SSSR № 1643209. Kolesny uzel mobilnoy mashiny / Strokov V. L., Lapynin Ju. G. B.i. № 15 ot 23.04.91, 1991.

6. Patent RF № 2181852. Mnogostupenchataya porshnevaya mashina obemnogo vytesneniya / Makarenko A. N., Lapynin Ju. G., Pyndak V. I., Makarenko E. I. B.i. № 12 ot 27.04.2002.

7. Patent RF № 2194898. Uplotnitelnoye ustroystvo dlya tsilindricheskikh par gidropnevmomashin / Pyndak V. I., Lapynin Ju. G., Dushko O. V., Dyashkin A. V. B.i. № 35 ot 20.12.2002.

8. Patent RF № 2195593. Uplotnitelnoye ustroystvo dlya tsilindricheskikh par gidropnevmomashin / Pyndak V. I., Dyashkin A. V., Lapynin Ju. G., Dushko O. V. B.i. № 36 ot 27.12.2002.

9. Patent RF № 2375234. Sposob peremeshcheniya transportnogo sredstva i ustroystvo yego realizuyushcheye / Lapynin Ju. G., Khavronina V. N., Makarenko A. N. B.i. № 36 ot 10.12.2009.

10. Patent RF № 2258624. Mnogoopornaya shagayushchaya mashina / Lapynin Ju. G., Velichkin N. A. 20.08.2005.

© Лапынин Ю. Г., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Лапынин Ю. Г. Проблемы экологической безопасности строительно-дорожных машин и некоторые пути их решения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 126—132.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 66.021.3: 537.212

А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСУШКУ ВОЗДУХА В НЕПОДВИЖНОМ СЛОЕ СИЛИКАГЕЛЯ

Расчеты, проведенные для адсорбера периодического действия, показывают, что электрическое поле увеличивает время рабочего цикла и суммарный коэффициент массопереноса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: адсорбция, ионизированный газ, напряженность электрического поля, время рабочего цикла.

The calculations which are carried out for the adsorber of the batch action are shown that the electric field is increased the work cycle time and the total mass transfer.

K e y w o r d s : adsorption, ionized gas, electric field intensity, work cycle time.

Экспериментальные исследования по осушке воздуха в неподвижном слое силикагеля (табл. 1) показали значительное влияние напряженности электрического поля на гидрофильность микропор силикагеля и увеличение его полной обменной емкости [1, 2].

Т а б л и ц а 1

Результаты экспериментальных и теоретических исследований зависимости полной обменной емкости силикагеля от напряженности электрического поля

Напряженность электрического поля E, кВ/м	0	185	444	∞
Полная обменная емкость A (кг/кг)	0,127	0,192	0,272	0,464*
Параметр уравнения Ленгмюра B $(кг/м^3)^{-1}$	1910	1473	1111	

*теоретически полученное значение A_∞.

Результаты экспериментальных исследований с относительной ошибкой до 4 % описываются уравнением Ленгмюра

$$a = \frac{ABc}{1 + Bc}. \qquad (1)$$

Как видно из второй строчки табл. 1, полная обменная емкость сначала резко возрастает, а затем этот рост замедляется. Эту зависимость можно описать уравнением

$$A = A_\infty + \frac{A_0 - A_\infty}{1 + kE^n}, \qquad (2)$$

где A_0 = 0,127 кг/кг, A_∞ = 0,464 кг/кг — соответственно полная обменная емкость без электрического поля, E = 0 В/м и теоретически рассчитанная полная обменная емкость при напряженности электрического поля $E \to \infty$; $k = 2{,}5\times10^{-4}$ и n = 1,0314 — численные параметры уравнения (2), соответствующие табличной зависимости $A = A(E)$.

Предельная адсорбционная емкость A_∞ характеризует полное заполнение всех пор адсорбента поглощенным компонентом — молекулами воды

$$A_\infty = \frac{V_\text{п}\rho_\text{к}}{V_\text{а}\rho_\text{а}} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\frac{\rho_\text{к}}{\rho_\text{а}}, \qquad (3)$$

где $V_\text{п}$, $V_\text{а}$ — соответственно объем пор и объем твердого адсорбента, м^3; ε — внутренняя порозность зерен адсорбента; $\rho_\text{к}$, $\rho_\text{а}$ — соответственно плотность конденсата поглощаемого компонента и истинная плотность адсорбента, кг/м^3.

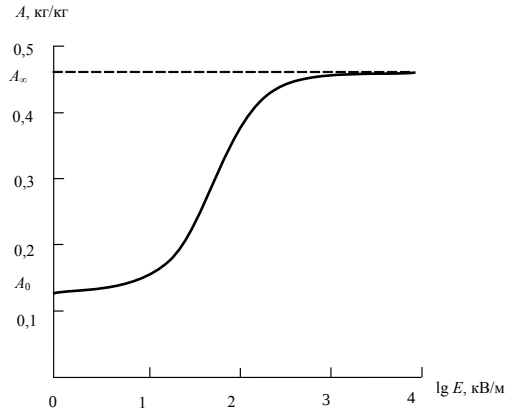
Для силикагеля ε = 0,511, $\rho_\text{а}$ = 2250 кг/м^3, $\rho_\text{к}$ = 1000 кг/м^3 [3], поэтому расчетное значение A_∞ = 464 г/кг. Следовательно, изменяя напряженность электрического поля, можно увеличить гидрофильность зерен силикагеля и повысить его поглотительную способность.

Зависимость константы B от напряженности электрического поля можно представить в виде

$$B = B_m + (B_0 - B_m)exp(-\alpha E). \qquad (4)$$

Коэффициенты в уравнении (4) B_0 = 1909,1 м^3/кг, B_m = 810, $\alpha = 2{,}92\times10^{-3}$ м/кВ определялись методом наименьших квадратов по данным табл. 1. Относительные отклонения табличных значений B от теоретически рассчитанных не превышали 1 %.

Таким образом, равновесная зависимость динамической емкости силикагеля от напряженности электрического поля и концентрации паров воды в воздухе преобразуется к виду (1), график которого представлен на рисунке.



Зависимость статической емкости силикагеля от напряженности электрического поля

При ионизации воздушного потока, по аналогии с его ионизацией в электрофильтрах, скорость движения ионов определяется в виде [4, 5]

$$w_e = |e| \frac{E}{3\pi\mu d_{\text{м}}}$$

(обозначения параметров приведены в табл. 2). Тогда коэффициент объемного массопереноса от действия электрического поля определится в виде [4, 5]

$$\beta_e = \frac{w_e}{d_{\text{з}}},$$

а внешний объемный коэффициент массоотдачи без электрического поля [6]

$$\beta_y = \frac{1{,}6 D_{\text{р}}\, \omega}{\nu^{0{,}54} d_{\text{з}}^{1{,}46}}.$$

Общий объемный коэффициент массоотдачи от ядра газового потока к границе зерен силикагеля запишется в виде суммы

$$\beta = \beta_y + \beta_e .$$

Так как лимитирующей стадией при малых концентрациях паров воды в воздухе является внешняя диффузия [6], то коэффициент массопередачи практически равен коэффициенту массоотдачи

$$K_y = \beta .$$

Алгоритм расчета с выводом основных уравнений описан нами в работах [1, 2, 4, 5]. Ниже приведены сравнительные расчеты промышленного адсорбера для осушки воздуха ОАО «Химпром» в неподвижном слое силикагеля без электрического поля и в электрическом поле.

Таблица 2

Сравнение параметров промышленного адсорбера с неподвижным слоем силикагеля и рабочим давлением 65 ат и электроадсорбера с рабочим давлением 1,033 ат при осушке воздуха

Параметр	Промышленный адсорбер	Электроадсорбер	Атмосферный адсорбер	Адсорбер при p = 10 ат, E = 10 кВ/м
Исходные данные				
1. Производительность при нормальных условиях (p = 1,033 ат, t = 20 °С) q_{v0}, нм^3/ч	1200	1200	1200	1200
2. Высота слоя силикагеля H, м	1	1	1	1
3. Начальная концентрация водяных паров в воздухе перед подачей в адсорбер $c_{\text{н1}}$, кг/м^3	1×10^{-3}	$8{,}6\times10^{-3}$	$8{,}6\times10^{-3}$	$6{,}8\times10^{-3}$
4. Допускаемая конечная концентрация водяных паров в воздухе, приведенная к нормальным условиям $c_{\text{к1}}$, кг/м^3	3×10^{-5}	3×10^{-5}	3×10^{-5}	3×10^{-5}
5. Температура воздуха перед входом в адсорбер t, °С	10	25	25	25
6. Рабочее давление p, ат	65	1,033	1,033	10

Окончание табл. 2

Параметр	Промышленный адсорбер	Электроадсорбер	Атмосферный адсорбер	Адсорбер при p = 10 ат, E = 10 кВ/м
Справочные данные				
1. Молекулярная масса воздуха $M_г$, кг/кмоль	29	29	29	29
2. Молекулярная масса паров воды M, кг/кмоль	18	18	18	18
3. Плотность конденсата паров ρ, кг/м^3	1000	1000	1000	1000
4. Коэффициент диффузии паров воды в воздухе при нормальных условиях D_0, м^2/с	$2{,}19\times10^{-5}$	$2{,}19\times10^{-5}$	$2{,}19\times10^{-5}$	$2{,}19\times10^{-5}$
5. Насыпная плотность силикагеля (среднепористый КСМ) $\rho_н$, кг/м^3	550	550	550	550
6. Вязкость воздуха при рабочей температуре μ, Па·с	$1{,}75\times10^{-5}$	$1{,}81\times10^{-5}$	$1{,}81\times10^{-5}$	$1{,}81\times10^{-5}$
7.Эквивалентный диаметр зерен силикагеля $d_з$, м	$4{,}2\times10^{-3}$	$4{,}2\times10^{-3}$	$4{,}2\times10^{-3}$	$4{,}2\times10^{-3}$
8.Диаметр молекул воды $d_м$, м [6]	3×10^{-10}	3×10^{-10}	3×10^{-10}	3×10^{-10}
9. Единичный заряд e, Кл	$1{,}6\times10^{-19}$	$1{,}6\times10^{-19}$	$1{,}6\times10^{-19}$	$1{,}6\times10^{-19}$
10. Напряженность электрического поля E, кВ/м	0	1×10^{4}	0	1×10^{3}
Расчетные параметры				
1. Расход воздуха при рабочих давлении и температуре в адсорбере q_V, м^3/ч	19,75	1220	1220	126,1
2. Рабочая начальная концентрация паров воды в воздухе $c_н$, кг/м^3	$6{,}5\times10^{-2}$	$8{,}55\times10^{-3}$	$8{,}55\times10^{-3}$	$6{,}47\times10^{-2}$
3. Рабочая конечная (допускаемая) концентрация паров воды в воздухе $c_к$, кг/м^3	$1{,}95\times10^{-3}$	$2{,}95\times10^{-5}$	$2{,}95\times10^{-5}$	$2{,}85\times10^{-4}$
4. Равновесная начальная концентрация паров в силикагеле $a_н^*$, кг/кг	0,126	0,4	0,12	0,352
5. Плотность воздуха в адсорбере ρ, кг/м^3	74,5	1,18	1,18	11,5
6. Рабочая фиктивная скорость воздуха в адсорбере w, м/с	0,053	0,423	0,423	0,136
7. Расчетный диаметр адсорбера $D_а$, м	0,352	1	1	0,572
8. Коэффициент диффузии водяных паров при рабочих параметрах воздуха в адсорбере $D_р$, м^2/с	$3{,}97\times10^{-7}$	$2{,}5\times10^{-5}$	$2{,}5\times10^{-5}$	$2{,}58\times10^{-6}$
9. Коэффициент массоотдачи β_y, c^{-1}	1,39	28,5	28,5	5,44
10. Коэффициент массопереноса ионов воды в электрическом поле β_e, c^{-1}	0	7,7	0	0,77
11. Суммарный коэффициент массопереноса β, с$^{-1}$	1,39	36,2	28,5	6,21
12. Объем силикагеля в адсорбере $V_с$, м^3	0,125	0,785	0,785	0,257
13. Масса силикагеля в адсорбере $G_с$, кг	53,6	432	432	141,5
14. Массовая динамическая емкость силикагеля по парам воды $M_с$, кг	6,75	171,1	52,7	49,8
15. Время адсорбции $\tau_к$,ч	5,2	16	4,6	5,4
16. Удельный объем (объем воздуха, обезвоженный 1 кг силикагеля) $V_у$, м^3/кг	112	44,85	12,5	45,9

Начальная концентрация водяных паров $c_{н1}$ перед промышленным адсорбером снижается с $8{,}6\times10^{-3}$ до 1×10^{-3} кг/м^3 за счет конденсации паров при ком-

примировании. Поэтому в промышленный адсорбер воздух подается с концентрацией водяных паров в 8,5 раз меньшей, чем в электроадсорбер. Сравнивая параметры расчетов промышленного адсорбера с электроадсорбером, можно оценить преимущества последнего (см. столбцы 4 и 5 табл. 2). Во-первых, режим работы при атмосферном давлении; во-вторых, возрастание времени рабочего цикла более чем в 3 раза как за счет увеличения массы адсорбента, так и за счет увеличения суммарного коэффициента массопереноса в 26 раз и динамической емкости силикагеля в 25 раз, хотя масса адсорбента в электроадсорбере возрастает только в 8 раз. Это связано с увеличением в электрическом поле равновесной начальной концентрации паров в силикагеле более чем в 3 раза. Произведение увеличения массы адсорбента и равновесной начальной концентрации приводит к 25-кратному увеличению емкости силикагеля.

К недостаткам электроадсорбера по сравнению с промышленным адсорбером следует отнести технологическое обслуживание высоковольтного оборудования, хотя напряженность электрического поля 10^7 В/м, при которой рассчитывается электроадсорбер, соответствует рабочей напряженности электрофильтров [9, 10].

Авторами разработаны конструкции электроадсорберов, защищенные патентами РФ [11—13]. Другим недостатком электроадсорбера, работающего под атмосферным давлением, является снижение эффективности использования 1 кг силикагеля со 112 до 45 м^3, т. е. в 2,6 раза, хотя электрическое поле увеличивает этот параметр в 4,4 раза (см. последнюю строчку табл. 2 в столбцах 5 и 6). В столбце 6 табл. 2 для сравнения приведены результаты расчета адсорбера, работающего под атмосферным давлением без электрического поля, из которых хорошо видны преимущества как промышленного, так и электроадсорбера, работающего в электрическом поле при атмосферном давлении.

Рабочее время адсорбции и значительная часть эффекта осушки связана не с адсорбцией, а с конденсацией паров перед адсорбером при компримировании воздуха. Так, если бы в промышленный адсорбер при 65 ат подавался воздух с первоначальной концентрацией водяных паров $c_{н1} = 8{,}6\times10^{-3}$ кг/м^3, то эффективность использования 1 кг силикагеля составляла бы $V_у = 11{,}8$ м^3/кг, т. е. была бы близка к этому параметру в электроадсорбере, работающем под атмосферным давлением. Были рассчитаны параметры электроадсорбера с пониженным давлением $p = 10$ ат и напряженностью электрического поля $E = 10^3$ кВ/м. Основные расчетные параметры этого адсорбера приведены в последнем столбце табл. 2. Он сохраняет основные преимущества одновременного использования давления и электрического поля при их средних значениях и нивелирует недостатки. Таким образом, применение электрического поля при осушке воздуха позволяет снизить давление в адсорбере вплоть до 1 ат при сохранении и даже повышении основных технологических параметров: времени рабочего цикла и суммарного коэффициента массопереноса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю.* Интенсификация сорбционных процессов в электрическом поле : учеб. пособ. Волгоград : ВолгГТУ, 2005. 72 с.

2. *Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю., Сафонов Е. В.* Исследование процесса адсорбции газов в электрическом поле // ТОХТ. 2003. Т. 37, № 5. С. 548—550.

3. *Кельцев Н. В.* Основы адсорбционной техники. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Химия, 1984. 592 с.

4. Моделирование процесса адсорбции и электроадсорбции / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина, А. В. Кузнецов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». 2011. Вып. 11, № 9 (82). С. 14—18.

5. *Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю., Рязанов М. А.* Моделирование адсорбционных процессов в электрическом поле // Известия вузов. «Химия и химическая технология». 2003. Т. 46, вып. 3. С. 135—137.

6. *Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 8-е, перераб. и доп. Л. : Химия, 1976. 552 с.

7. *Слета Л. А.* Химия : справочник. Харьков : Фалио ; Ростов н/Д : Феникс, 1997. 496 с.

8. *Глизманенко Д. Л.* Получение кислорода. М. : Химия, 1965. 402 с.

9. *Тимонин А. С.* Инженерно-экологический справочник. Т. 2. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 917 с.

10. Машины и аппараты химических производств / И. И. Чернобыльский [и др.] ; под ред. И. И. Чернобыльского ; 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1975. 456 с.

11. Патент 2078410 РФ, 6 B 01 D 53/06. Аппарат для проведения сорбционных процессов во взвешенном слое / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, В. А. Козловцев, А. Г. Карипов, Л. А. Примакова. Заявл. 17.05.94. Опубл. 27.04.97. Бюл. № 12.

12. Патент 2133139 РФ, 6 B 01 D 53/04, 53/52. Аппарат для очистки газа от примесей / А. Б. Голованчиков, М. Ю. Ефремов, Е. А. Бабаева, А. В. Ильин. Заявл. 12.05.98. Опубл. 20.04.99. Бюл. № 20.

13. П. м. 101940 РФ, МПК B 01 D 53/02. Адсорбер / А. Б. Голованчиков, А. В. Добряков, М. Ю. Ефремов, Н. А. Дулькина, А. А. Решетников, В. Н. Лебедев. Волгоград : ВолгГТУ, 2011.

1. *Golovanchikov A. B., Yefremov M. Yu.* Intensifikatsiya sorbtsionnykh protsessov v elektricheskom pole : ucheb. posob. Volgograd : VolgGTU, 2005. 72 s.

2. *Golovanchikov A. B., Yefremov M. Yu., Safronov E. V.* Issledovaniye protsessa adsorbtsii gazov v electricheskom pole // TOKhT. 2003. T. 37, № 5. S. 548—550.

3. *Keltsev N. V.* Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki. 2-e izd., pererab. i dop.: M. : Khimiya, 1984. 592 s.

4. Modelirovaniye protsessa adsorbtsii i elektroadsorbtsii / A. B. Golovanchikov, M. Yu. Yefremov, N. A. Dulkina, A. V. Kuznetsov // Izvestiya VolgGTU. Seriya «Aktualnyye problemy upravleniya, vychislitelnoy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh». 2011. Vyp. 11, № 9 (82). S. 14—18.

5. *Golovanchikov A. B., Yefremov M. Yu., Ryazanov M. A.* Modelirovaniye adsorbtsionnykh protsessov v electricheskom pole // Izvestiya vuzov. «Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya». 2003. T. 46, vyp. 3. S. 135—137.

6. *Pavlov K. F., Romankov P. G., Noskov A. A.* Primery i zadachi po kursu protsessov i apparatov khimicheskoy tekhnologii. Izd.8-e, pererab. i dop. L. : Khimiya, 1976. 552 s.

7. *Sleta L. A.* Khimiya : spravochik. Kharkov : Falio ; Rostov n/D : Fenix, 1997. 496 s.

8. *Glizmanenko D. L.* Polucheniye kisloroda. M. : Khimiya, 1965. 402 s.

9. *Timonin A. S.* Inzhenerno-ekologicheski spravochnik. T. 2. Kaluga : Izd-vo N. Bochkarevoy, 2003. 917 s.

10. Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv / I. I. Chernobylski [i dr.] ; pod red. I. I. Chernobylskogo ; 3-e izd., pererab. i dop. M. : Mashinostroyeniye, 1975. 456 s.

11. Patent № 20784 RF, 6 B 01 D 53/06. Apparat dlya provedeniya sorbtsionnykh protsessov vo vzveshennom sloye / A. B. Golovanchikov, M. Yu. Yefremov, V. A. Kozlovtsev, A. G. Karipov. Zayavl. 17.05.94. Opubl. 27.04.97. Byul. № 12.

12. Patent № 2133139 RF, 6 B 01 D 53/04. Apparat dlya ochistki gaza ot primesey / A. B. Golovanchikov, M. Yu. Yefremov, Ye. A. Babayeva, A. V. Ilin. Zayavl. 12.05.98. Opubl. 20.04.99. Byul. № 20.

13. P. m. 101940RF, MPK B 01 D 53/02. Adsorber / A. B. Golovanchikov, A. V. Dobryakov, M. Yu. Yefremov, N. A. Dulkina, A. A. Reshetnikov, V. N. Lebedev. Volgograd : VolgGTU, 2011.

© Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю., Дулькина Н. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю., Дулькина Н. А. Влияние электрического поля на осушку воздуха в неподвижном слое силикагеля // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 133—138.

УДК 628:511

В. И. Беспалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Статья посвящена актуальной проблеме разработки метода выбора средств снижения производственного травматизма, предполагающего предварительное обоснование приемов управления большой социально-технической системой человек — производственная среда, обеспечивающих сведение к минимуму проявления причин производственного травматизма в условиях строительной отрасли.

Ключевые слова: строительная отрасль, производственная среда, выбор средств снижения производственного травматизма

The topical development issue of the selection method of facilities on industrial injuries reduction which is supposed the previous ground of big social and technical person — industrial environment system control is described. The control is provided the minimization of cause's development of the industrial injuries in construction industry conditions.

Key words: building sector, industrial environment, selection of facilities on industrial injuries reduction.

Если еще недавно главным содержанием профессиональной деятельности инженера по охране труда было решение отдельных технических и технологических вопросов, то в условиях рынка и экономической самостоятельности строительных организаций важнейшим становится умение управлять большими системами, к которым, безусловно, относится и система человек — производственная среда. Непосредственный перенос опыта управления из других отраслей без учета специфики строительно-монтажных работ (СМР) и структуры строительного производства, менталитета и квалификации персонала малопродуктивен и зачастую просто невозможен. В этих условиях поставленная нами цель — разработка метода выбора средств снижения производственного травматизма, предполагает предварительное обоснование приемов управления большой социально-технической системой человек — производственная среда, обеспечивающих сведение до минимума проявления причин производственного травматизма в условиях строительной отрасли [1].

В связи с этим, прежде всего, необходимо уточнить понятийный аппарат, который будет использован нами в дальнейших исследованиях, применительно к рассматриваемому кругу задач.

Система человек — производственная среда при проведении СМР представляет собой совокупность социально-производственных и технических элементов (подсистем), находящихся во взаимодействии и образующих определенную целостность.

Примеры содержания и соотношения X_i, Y_j и G_k для различных иерархических уровней системы человек — производственная среда в условиях строительной отрасли представлены в таблице.

Примеры содержания и соотношения X_i, Y_j и G_k для различных иерархических уровней системы человек — производственная среда

Вход X_i	Состояние G_k	Выход Y_j
Строительная организация (управление)		
Конкурентная среда. Законодательство. Экономическое состояние. Потребность в СМР и др.	Размер и структура организации. Производственно-техническая база. Персонал. Производственный процесс. Управление ОТ и др.	ППР. Экономические показатели. Нормативно-правовые требования. Внешние условия производства работ. Система ОТ. Отчетность по ОТ, в т. ч. социально-экономические последствия травматизма и др.
Стройплощадка (объект)		
ППР для объекта. Экономические показатели. Внешние условия производства работ. Нормативно-правовые требования и др. Система ОТ	Производственный процесс. Специализация. Персонал. Производительность труда. Механизмы и оборудование. Контроль за соблюдением требований ОТ и др.	ППР для участков. Экономические показатели. Нормативно-правовые требования. Условия и организация ОТ на объекте. Отчетность по ОТ. Характеристика случаев травматизма и др.
Участок (захватка)		
ППР для участка. Экономические показатели. Внешние условия производства работ. Условия и организация ОТ на объекте. Нормативно-правовые требования и др.	Производственный процесс. Специализация. Персонал. Производительность труда. Механизмы и оборудование. Контроль за соблюдением требований ОТ и др.	Объем СМР для рабочих отдельных специальностей. Условия и организация ОТ рабочих отдельных специальностей. Характеристика случаев травматизма и др.

Как видно из таблицы, элементы системы человек — производственная среда иерархически упорядочены, представлены объектами различного происхождения, взаимно дополняющими друг друга, имеют общую цель и стабильные связи.

Связи между элементами рассматриваемой системы обеспечивают ее функционирование и определяют структуру. Причем характер связи между элементами системы человек — производственная среда неоднозначен. Связи между техническими элементами системы, как правило, заранее определены

и известны, поскольку формируются при проектировании. Связи между социально-производственными элементами формируются на основе действующего законодательства, плана, складываются под воздействием директивных и рыночных воздействий и в силу этого могут складываться стихийно. Все это в соответствии с теорией управления системами [2] позволяет отнести систему человек — производственная среда к большой социально-технической системе.

Под управлением системой человек — производственная среда в условиях строительной отрасли мы понимаем процесс преобразования информации о состоянии рассматриваемой системы в действия, направленные на обоснованное принятие организационно-технических решений по защите работающих от факторов производственного травматизма [1].

Исходя из определения, необходимыми условиями реализации процесса управления выступают: информация, цели и действия. Однако перечисленные условия не являются достаточными, поскольку любое реальное управление требует ресурсов, а сам процесс управления происходит во времени, иногда весьма значительном.

Значение ресурсов для управления очевидно, а учет фактора времени необходим:

для планирования соответствующих действий, которые должны иметь календарное начало и промежуточные этапы;

нормирования трудозатрат;

для координации действий с другими системами (внешние и внутренние коммуникации);

дисконтирования экономических показателей.

Естественно, что этот набор должен располагаться и использоваться в определенной последовательности, образующей типовые этапы (циклы) управления, привязанные к определенной технологии производства СМР (их специализации) и обеспечивающие непрерывность процесса управления.

Учитывая вышесказанное, цикл управления при принятии решений по снижению производственного травматизма при выполнении СМР, на наш взгляд, должен включать несколько этапов:

анализ условий труда и факторов производственного травматизма на рабочих местах с учетом информации о внешних условиях СМР, требованиях законодательства, включая санитарно-гигиенические нормативы;

конкретизация цели выбора, включающая уточнение перечня частных целей (целевых функций), а также степени их достижения. Последнее предполагает учет технико-экономических ресурсов предприятия (организации), времени на реализацию, а также состояния конкурентной среды;

принятие организационно-технических решений, предполагающее определение перечня возможных вариантов решений, критериев выбора, стратегии оптимизации и определение оптимального варианта;

реализация принятого решения с обязательной социально-экономической оценкой последствий его реализации.

При этом конечным этапом процесса принятия решений по снижению производственного травматизма является реализация принятого решения, а узловым — определение критериев выбора и стратегии оптимизации.

Стратегия оптимизации должна учитывать критерии выбора, внешние условия и выявить варианты решений, объективно лучшие в конкретных условиях СМР. Последнее возможно только при использовании методов системного анализа и теории принятия решений. При этом одним из основных требований применения методологии системного анализа в ситуации принятия решений является формализация его процедуры, направленная на обеспечение ее максимальной объективности. Формализация процедуры предполагает определение общей схемы процесса принятия организационно-технических решений по снижению производственного травматизма, заключение ее в жесткие структурно-логические рамки и возможность последующей автоматизации.

Принятие эффективных организационно-технических решений, направленных на снижение производственного травматизма, возможно только на основе всестороннего анализа причин, его обусловливающих. Исходными данными служит информация о факторах травматизма, причем не отдельные факты, а вся совокупность относящихся к рассматриваемому вопросу фактов без исключения.

Поскольку несчастный случай, связанный с производством, описывается значительным набором сведений, то возникает проблема систематизации информации и ее представления в форме, удобной для последующей обработки.

Так как травматизм представляется достаточно сложным явлением, обладающим различными внутренними свойствами и связями, а существующие в настоящее время методы его анализа часто субъективны, то информация зачастую приводится в виде словесного описания. Такая форма представления является естественной, поскольку она наиболее проста и доступна для понимания, но обладает весьма существенным недостатком — неоднозначностью. Поскольку для проведения расследования каждый раз привлекаются различные люди, в итоге наблюдается определенный «произвол» (вариации) как в описании картины каждого конкретного случая, так и в трактовке причин возникновения травмы. В соответствии с действующим законодательством в области охраны труда наиболее полная и объективная информация о состоянии условий труда на постоянных рабочих местах и рабочих зонах, факторах производственного травматизма и их последствиях содержится в данных об аттестации рабочих мест, актах формы Н-1 и результатах оценки травматизма.

В результате становится возможным проанализировать наилучший путь адаптации вариантов решений по снижению производственного травматизма к конкретным условиям СМР как на данный период времени, так и на перспективу.

Поскольку речь идет о систематизации и формализации значительного по своему объему информационно-расчетного массива, то наиболее приемлемым средством описания процесса принятия решений по снижению производственного травматизма является многофакторная математическая модель.

Такая модель должна представлять собой совокупность структурно-логических, расчетных схем и краевых условий, реализующую взаимосвязь исходной информации, критериев выбора, вариантов организационно-технических решений, процедуры их оптимизации, обеспечивающей, в свою очередь, наилучшее достижение частных целей. Многофакторный тип мате-

матической модели позволяет выявить закономерности, которые исходят из принципиальных условий функционирования систем, назначения и особенностей работы любого их элемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беспалов В. И., Страхова Н. А., Рудченко И. И.* Постановка задачи исследований по снижению уровня травматизма в строительной индустрии // Межвуз. сб. научн. трудов «БЖД. Охрана труда и окружающей среды». Вып. 9 (междунар.). Ростов н/Д : Изд-во РГАСХМ, 2005. С. 45—46.

2. *Кузнецов Е. С.* Управление техническими системами : учеб. пособ. М. : Изд-во МАДИ, 2003. 247 с.

1. *Bespalov V. I., Strakhova N. A., Rudchenko I. I.* Postanovka zadachi issledovani po snizheniyu urovnya travmatizma v stroitelnoy industrii // Mezhvuz. sb. nauch. trudov «BZhD. Okhrana truda i okruzhayushey sredy». Vyp. 9 (mezhdunar.). Rostov n/D : Izd-vo RGASKhM, 2005. S. 45—46.

2. *Kuznetsov Ye. S.* Upravleniye tekhnicheskimi sistemami : ucheb. posob. M. : Izd-vo MADI, 2003. 247 s.

© Беспалов В. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Беспалов В. И. Методические основы принятия решений по снижению производственного травматизма при выполнении строительно-монтажных работ // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 139—143.

УДК 628:511

В. И. Беспалов

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ТРУДА И ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассматривается проблема классификации причин производственного травматизма в условиях строительной отрасли. Предлагается классификация причин производственного травматизма в виде дерева систем, позволяющего выполнить более четкую систематизацию причин травматизма при упрощении классификационной схемы, ее конкретизации и уточнении адресности.

К л ю ч е в ы е с л о в а : строительная отрасль, причины производственного травматизма, классификация, дерево систем.

The classification problem of industrial injuries reasons in conditions of the building sector is considered. The reasons classification of the industrial injuries as the tree of the systems which is allowed to attend the crisper reasons systematizing of the injuries by the simplification of the classification scheme, its individualizing and specification of the addressness is offered.

K e y w o r d s : building sector, industrial injuries reasons, classification, tree of systems.

В строительных организациях и на предприятиях строительной индустрии примерно 80 % работающих заняты на работах с вредными и опасными условиями труда. Из-за неудовлетворительного состояния охраны труда на предприятиях строительного комплекса ежегодно получают травмы в среднем около 20 тыс. человек. Ряд различных обстоятельств, включая рост риска возникновения аварий и старение техники, выявил объективную необходимость проведения более глубокого анализа условий труда и факторов производственного травматизма в строительстве, включая методики расследования, математическое моделирование, прогнозирование травматизма и разработку предупредительных мер по его снижению.

Особо важное место в профилактике производственного травматизма занимают качественное расследование и учет несчастных случаев, связанных со строительным производством. Анализ причин производственного травматизма показывает, что при их установлении научные методы используются в недостаточной степени. В результате этого качество расследования часто не отвечает предъявляемым требованиям, а в области профилактики травматизма имеются серьезные упущения. В практике расследования допускаются ошибки, заключающиеся в том, что часто определяются лишь следствия подлинной причины случившегося, которые непосредственно повлекли за собой производственный несчастный случай, а причины этих нарушений не выясняются. Кроме того, нередко анализ последствий производственного травматизма в строительной отрасли, особенно если они не связаны с тяжелыми исходами, носит формальный характер, а разработанные мероприятия не согласуются с причинами возникновения вредных и опасных производственных факторов и являются малоэффективными.

В силу этого научные подходы к анализу, оценке и снижению уровня производственного травматизма в организациях и на предприятиях строительного

комплекса, без которых невозможно кардинально изменить сложившуюся ситуацию, должны базироваться на разработке:

всесторонней объективной классификации причин производственного травматизма;

современных методов анализа и оценки производственного травматизма в строительстве, а также моделирования процедуры выбора средств для его снижения.

Анализ известных классификаций причин производственного травматизма показывает, что единой общепринятой классификации до сих пор не существует, хотя первые попытки ее создания в нашей стране были сделаны еще в начале прошлого столетия. При этом проблема причинности была и остается одной из главных в изучении и профилактике травматизма.

В работе [1] за основу такой классификации взята схема из четырех групп факторов: социально-экономических, субъективных, производственно-технических и природных. При этом автор работы [1] предложил достаточно оригинальное направление анализа производственного травматизма — метод сетевого моделирования, который применяется при анализе производственных несчастных случаев, произошедших в сложной обстановке, как результат действия целого ряда разносторонних факторов. Суть метода заключается в четком разграничении элементарных событий, составляющих такое целостное явление, как производственный несчастный случай, и установлении последовательности взаимосвязей между ними.

Методика, предлагаемая авторами работы [2], предполагает рассмотрение каждого производственного несчастного случая как случайного события, вызванного встречей в пространстве двух независимых факторов: объективного и субъективного, движущимся по определенным траекториям.

Несколько иной подход предлагают авторы работы [3], которые в идеальном случае рассматривают классификацию причин производственных несчастных случаев многоуровневой, построенной по иерархическому признаку и содержащей классы по структуре производственного процесса.

Аттестация рабочих мест по условиям труда включает гигиеническую оценку существующих условий и характера труда, оценку травмобезопасности рабочих мест и учет обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты. План мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда в строительной организации разрабатывается в основном именно по результатам аттестации рабочих мест по условиям труда. Ключевым звеном в проведении аттестации рабочих мест является инструментальный контроль опасных и вредных факторов, к которым относят: физические факторы (микроклимат: температура, влажность, скорость воздуха в помещении; акустическое воздействие: шум, вибрация; электромагнитное излучение; ионизирующее излучение, световая среда), тяжесть и напряженность труда, биологический фактор, химический фактор (концентрация аэрозолей), травмобезопасность, средства индивидуальной защиты.

Систематизация сведений о производственных несчастных случаях (акты формы Н-1) свидетельствует о том, что любой из них неоднозначен, поскольку причин, его вызвавших, несколько. При этом одни причины вносят больший

вклад в травматизм и возникновение несчастного случая, другие — меньший. Одна группа причин является более существенной, другая — сопутствующей. Последние не всегда приводят к несчастному случаю. Определить долю вклада каждой существенной причины в конкретный несчастный случай не всегда представляется возможным. И тогда приходится ориентироваться на сведения об уже произошедших несчастных случаях (фонд данных о травматизме).

Таким образом, анализ условий труда и факторов производственного травматизма должен базироваться на иерархически упорядоченной совокупности причин травматизма, необходимых и достаточных для принятия обоснованных решений по его снижению. При этом речь идет не только о классификации причин производственного травматизма, но и о формализованном представлении этой классификации в виде системы, позволяющей впоследствии обеспечить альтернативность выбора решений.

В основу построения классификации причин производственного травматизма нами положен принцип, вытекающий непосредственно из цели настоящего исследования — разработки метода выбора средств снижения производственного травматизма как методологии управления системой человек — производственная среда. При таком подходе всю совокупность причин производственного травматизма целесообразно разделить на две группы:

1. Производственно-технические (объективные) причины, в рамках которых можно выделить: организационные; технические, включающие конструкторские и технологические; организационно-технические; санитарно-гигиенические.

2. Субъективные причины, учитывающие различия психо-физиологических и социально-экономических факторов.

В свою очередь, каждый из выделенных уровней предполагает дальнейшее деление (уточнение), которое целесообразно представить уже в виде формализованной схемы.

Наилучшим способом формализованного представления классификации причин производственного травматизма, на наш взгляд, является дерево систем (ДС), которое представляет упорядоченную иерархию причин травматизма, выражает их соподчинение и внутренние взаимосвязи. В отличие от обычной классификации, дерево систем позволяет произвести более четкую декомпозицию причин травматизма, предполагающую их упрощение, конкретизацию и уточнение адресности. При этом элементы одного уровня (ранга) дополняют друг друга, а элементы низшего уровня вносят конкретный вклад в реализацию (функционирование) элемента высшего уровня.

В предлагаемом нами дереве систем причин производственного травматизма определение весомости объектов различных рангов затруднено, а в большинстве случаев просто невозможно ввиду нечеткости исходной информации и трудности ее вероятностного прогноза.

Перечисленные объекты низшего ранга дерева систем причин производственного травматизма являются наиболее распространенными в строительной отрасли и не исчерпывают их абсолютно-возможного перечня. В тоже время они позволяют непосредственно перейти к формированию вариантов комплексных мероприятий (стратегий управления). В этом смысле объекты

низшего ранга дерева систем являются по сути вариантообразующими. Каждая из таких стратегий должна опираться на конкретные условия выполнения СМР с соответствующими им причинами травматизма и должна быть направлена на достижение основной цели — снижение уровня производственного травматизма. При этом, учитывая общую концепцию процесса управления, в которой помимо информации задействованы такие категории, как ресурсы, время и действия, основная цель нуждается в более детальной конкретизации.

Проведенные исследования показали, что проблему оптимизации выбора систем и средств предупреждения производственного травматизма в строительстве можно решить лишь при комплексном учете различных по природе факторов, многообразия отношений и связей между ними, внешних условий и т. п. Методологическим обоснованием решения такого рода задач является системный анализ. Привлечение нами методологических средств системного анализа для решения задачи выбора технических решений для индивидуальной и коллективной защиты работающих обусловлено, прежде всего, практической направленностью этих исследований, заключающихся в выработке решений по рациональному использованию технических средств для достижения поставленной цели в различных технологических условиях строительного производства. Применение системного анализа позволяет не только найти оптимальное для рассматриваемых производственно-технологических условий решение, но и оценить влияние множества различных факторов.

Таким образом, изучение современного состояния проблемы улучшения условий труда и снижения производственного травматизма в строительной индустрии дало возможность определить, что ее решение должно вестись по трем основным направлениям:

1. Создание эффективной организационной структуры системы управления охраной труда на предприятии, базирующейся на всей полноте информации о вредных и опасных производственных факторах, а также на объективном учете, контроле и снижении производственного травматизма. При этом очевидна целесообразность применения современных методов научного анализа и информационно-математического моделирования.

2. Разработка и организация технологических процессов с минимальным уровнем воздействия вредных и опасных производственных факторов. Технологические мероприятия рассматриваются как первичные и основные, так как всегда выгодно не допускать возникновения какого-либо опасного или вредного производственного фактора, чем применять дополнительные меры по его устранению. Однако для перевода всех предприятий и организаций строительного комплекса на принципы работы, обеспечивающие минимальный уровень опасности и вредного воздействия, требуются время и значительные материальные затраты.

3. Выбор комплекса систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работающих (технических решений по снижению воздействия вредных и опасных производственных факторов на организм человека) для поддержания параметров рабочей зоны на уровне действующих санитарно-гигиенических нормативов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ачин В. Л.* Системный анализ причин производственного травматизма. Л. : Изд-во ЛДНТП, 1973. 44 с.

2. *Зимин О. И., Кутанин А. Ф.* Объективные и субъективные факторы несчастных случаев на производстве // Технический прогресс и охрана труда : сб. науч. работ ин-тов охраны труда ВЦСПС. М. : Изд-во ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1986. С. 98—101.

3. *Аршава В. Г., Малов Б. Д., Саралидзе Б. Д.* Структурный системный подход к анализу причин травматизма // Безопасность труда в промышленности. 1974. № 11. С. 4—6.

1. *Achin V. L.* Sistemny analiz prichin proizvodstvennogo travmatizma. L. : Izd-vo LDNTP, 1973. 44 s.

2. *Zimin O. I., Kutanin A. F.* Obektivnyye i subektivnyye factory neschastnykh sluchayev na proizvodstve // Tekhnicheski progress i okhrana truda : sb. nauch. rabot in-tov okhrany truda VTsSPS. M. : VTsNIIOT VTsSPS, 1986. S. 98—101.

3. *Arshava V. G., Malov B. D., Saralidze B. D.* Strukturny sistemny podkhod k analizu prichin travmatizma // Bezopasnost truda v promyshlennosti. 1974. № 11. S. 4—6.

© Беспалов В. И., 2011

Поступила в редакцию

в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Беспалов В. И. Систематизация результатов анализа условий труда и факторов производственного травматизма в строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 144—148.

УДК 628:511

С. Л. Пушенко, Н. А. Страхова

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрен расчет производственных рисков, связанных с действием персонала, производимый на основе одного из методов статистического подхода. Получены регрессионные зависимости, позволяющие провести количественную оценку производственного риска.

К л ю ч е в ы е с л о в а : производственный риск, регрессионный анализ.

The calculation of industrial risks which are related with the human action which is produced on basis of one of statistical approach analysis is considered. Regression dependences which are allowed to make the quantitative assessment of the industrial risk are gotten.

K e y w o r d s : industrial risk, regression analysis.

Для количественной оценки различных видов производственного риска мы считаем целесообразным использовать статистический подход. Методом его реализации нами выбран метод нелинейного логистического регрессионного анализа.

Логистическая регрессия (логитрегрессионная модель) представляет собой разновидность множественной регрессии, используемой для расчета вероятности наступления некоторого события в зависимости от значений некоторого числа параметров [1].

Применительно к рассматриваемой задаче оценки рисков роль этих параметров выполняют ранее определенные нами факторы риска, а в качестве зависимой переменной выступает вероятность.

Использование программного комплекса «STATISTICA 6.0» позволило нам разработать уравнения регрессии и получить логит-преобразование риска как одномерной величины, описываемой вероятностью. Достоверность полученных результатов определяли по критерию Chi-square. За достоверный принимали результат, соответствующий $p \leq 0{,}05$ [1].

Рассмотрим расчет производственных рисков на примере наиболее трудно оцениваемых факторов соблюдения требований охраны труда, т. е. факторов, связанных с действиями персонала.

Уравнения логистической регрессии количественно определяют риск появления дефектов, а также риск простоя кранов, обусловленных действиями персонала, и имеют следующий вид:

1. *Риск появления дефектов крана*, обусловленный количеством: вновь принятых ИТР рабочих; рабочих, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний; ИТР и рабочих, отстраненных от работы по результатам ПК, — описывается следующей совокупностью регрессионных зависимостей:

$$P = \exp(1{,}71+(1{,}33)x) / (1+\exp(1{,}71+(1{,}33)x)), \quad (1)$$

где x — вновь принятые ИТР, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 19,86, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(1{,}79+(0{,}30)x) / (1+\exp(1{,}79+(0{,}30)x)), \quad (2)$$

где x — вновь принятые рабочие, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 13,55, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(1{,}84+(5{,}09)x) / (1+\exp(1{,}84+(5{,}09)x)), \quad (3)$$

где x — рабочие, показавшие неудовлетворительные результаты при проверке знаний, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 23,44, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(1{,}86+(12{,}47)x) / (1+\exp(1{,}86+(12{,}47)x)), \quad (4)$$

где x — ИТР, отстраненные от работы по результатам ПК, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = = 47,04, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(1{,}76+(3{,}95)x) / (1+\exp(1{,}76+(3{,}95)x)), \quad (5)$$

где x — рабочие, отстраненные от работы по результатам ПК, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = = 30,50, $p \leq 0{,}001$).

2. *Риск простоя крана (по техническим причинам)*, обусловленный количеством: ИТР, показавших неудовлетворительные результаты при аттестации; ИТР и рабочих, отстраненных от работы по результатам ПК; вновь принятых ИТР и рабочих; рабочих, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний, — описывается следующей совокупностью регрессионных зависимостей:

$$P = \exp(1{,}20+(3{,}44)x) / (1+\exp(1{,}20+(3{,}44)x)), \quad (6)$$

где x — ИТР, показавшие неудовлетворительные результаты при аттестации, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 13,32, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(1{,}05+(5{,}23)x) / (1+\exp(1{,}05+(5{,}23)x)), \quad (7)$$

где x — ИТР, отстраненные от работы по результатам ПК, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = = 41,79, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(1{,}04+(2{,}77)x) / (1+\exp(1{,}04+(2{,}77)x)), \quad (8)$$

где x — рабочие, отстраненные от работы по результатам ПК, $N_{чел.}/N_{кр.}$ (Chi-square = 39,37, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(0{,}42+(2{,}92)x) / (1+\exp(0{,}42+(2{,}92)x)), \quad (9)$$

где x — вновь принятые ИТР, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 95,04, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(0{,}71+(0{,}52)x) / (1+\exp(0{,}71+(0{,}52)x)), \quad (10)$$

где x — вновь принятые рабочие, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 66,91, $p \leq 0{,}001$);

$$P = \exp(0{,}99+(7{,}55)x) / (1+\exp(0{,}99+(7{,}55)x)), \quad (11)$$

где x — рабочие, показавшие неудовлетворительные результаты при проверке знаний, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 56,14, $p \leq 0{,}001$).

3. *Риск простоя крана (по персоналу)*, обусловленный количеством: вновь принятых ИТР и рабочих; ИТР, отстраненных от работы по результатам ПК; ИТР и рабочих, показавших неудовлетворительные результаты при аттеста-

ции и проверке знаний, — описывается следующими регрессионными зависимостями:

$$P = \exp(-2{,}01+(0{,}62)x)/(1+\exp(-2{,}01 + (0{,}62x)), \quad (12)$$

где x — вновь принятые ИТР, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 12,24, $p \le 0{,}001$);

$$P = \exp(-1{,}88+(1{,}92)x)/(1+\exp(-1{,}88 + (1{,}92)x)), \quad (13)$$

где x — ИТР, отстраненные от работы по результатам ПК, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = = 17,08, $p \le 0{,}001$);

$$P = \exp(-2{,}98+(0{,}37)x)/(1+\exp(-2{,}98 + (0{,}37)x)), \quad (14)$$

где x — вновь принятые рабочие, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 14,93, $p \le 0{,}001$);

$$P = \exp(-2{,}40+(1{,}93)x)/(1+\exp(-2{,}40 + (1{,}93)x)), \quad (15)$$

где x — ИТР, показавшие неудовлетворительные результаты при аттестации, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 16,72, $p \le 0{,}001$);

$$P = \exp(-2{,}52+(1{,}75)x)/(1+\exp(-2{,}52 + (1{,}75)x)), \quad (16)$$

где x — рабочие, показавшие неудовлетворительные результаты при проверке знаний, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = 12,04, $p \le 0{,}001$);

$$P = \exp(-2{,}60+(1{,}74)x)/(1+\exp(-2{,}60 + (1{,}74)x)), \quad (17)$$

где x — рабочие, отстраненные от работы по результатам ПК, $N/N_{кр.}$ (Chi-square = = 13,67, $p \le 0{,}001$).

Полученные регрессионные зависимости [выражения (1) — (17)] позволяют провести количественную оценку производственного риска, связанного с действием персонала.

Однако, учитывая значительный перечень факторов риска, некоторую громоздкость и большое количество уравнений, их практическое применение в инженерной практике достаточно затруднено. Поэтому для удобства оценки риска нами произведено табулирование полученных расчетных зависимостей с учетом группировки схожих факторов риска (таблицы 1—6).

Таблица 1

Зависимость риска простоя и дефектов крана от числа рабочих, показавших неудовлетворительные результаты при проверке знаний

Риск простоя и дефектов крана P, %	Рабочие, показавшие неудовлетворительные результаты при проверке знаний, $N_{чел.}/N_{кр.}$									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Простой крана по техпричинам	72,84	85,09	92,39	96,27	98,21	99,15	99,6	99,81	99,91	99,96
Простой крана по персоналу	7,46	8,76	10,25	11,98	13,94	16,17	18,68	21,47	24,56	27,93
Дефекты крана	86,26	91,26	94,56	96,65	97,96	98,76	99,25	99,55	99,73	99,84

Таблица 2

Зависимость риска простоя крана от числа ИТР, показавших неудовлетворительные результаты при аттестации

Риск простоя крана Р, %	ИТР, показавшие неудовлетворительные результаты при аттестации, $N_{чел.}/N_{кр.}$									
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
По техпричинам	76,86	86,86	92,94	96,32	98,12	99,05	99,52	99,76	99,88	99,94
По персоналу	8,31	11,76	16,38	22,37	29,76	38,38	47,8	57,39	66,44	74,43

Таблица 3

Зависимость риска простоя и дефектов крана от числа ИТР, отстраненных от работы по результатам ПК

Риск простоя и дефектов крана Р, %	ИТР, отстраненные от работы по результатам ПК, $N_{чел.}/N_{кр.}$									
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Простой крана по техпричинам	74,09	78,78	82,82	86,23	89,05	91,35	93,2	94,68	95,86	96,78
Простой крана по персоналу	13,28	14,42	15,65	16,96	18,36	19,84	21,41	23,08	24,82	26,66
Дефекты крана	86,48	92,27	95,7	97,65	98,73	99,31	99,63	99,8	99,89	99,94

Таблица 4

Зависимость риска простоя и дефектов крана от числа рабочих, отстраненных от работы по результатам ПК

Риск простоя и дефектов крана Р, %	Рабочие, отстраненные от работы по результатам ПК, $N_{чел.}/N_{кр.}$									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Простой крана по техпричинам	73,92	78,9	83,15	86,69	89,58	91,9	93,74	95,18	96,31	97,18
Простой крана по персоналу	6,96	8,18	9,58	11,19	13,03	15,13	17,5	20,15	23,08	26,31
Дефекты крана	85,33	89,62	92,76	95	96,57	97,67	98,41	98,93	99,27	99,51

Таблица 5

Зависимость риска простоя и дефектов крана от числа вновь принятых ИТР

Риск простоя и дефектов крана Р, %	Вновь принятые ИТР, $N_{чел.}/N_{кр.}$									
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
Простой крана по техпричинам	60,28	73,13	83	89,75	94,01	96,57	98,06	98,91	99,39	99,66
Простой крана по персоналу	11,83	13,19	14,69	16,32	18,09	20,02	22,09	24,31	26,67	29,18
Дефекты крана	84,64	87,78	90,36	92,43	94,09	95,4	96,44	97,24	97,87	98,36

Таблица 6

Зависимость риска простоя и дефектов крана от числа вновь принятых рабочих

Риск простоя и дефектов крана Р, %	Вновь принятые рабочие, $N_{чел.}/N_{кр.}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Простой крана по техпричинам	66,95	77,32	85,15	90,61	94,2	96,47	97,87	98,72	99,24	99,55
Простой крана по персоналу	4,84	6,86	9,65	13,41	18,33	24,55	32,05	40,61	49,78	58,96
Дефекты крана	85,62	88,97	91,62	93,67	95,25	96,45	97,36	98,03	98,54	98,92

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Реброва О. Ю.* Статистический анализ данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М. : Медиа Сфера, 2003. 312 с.

1. *Rebrova O. Yu.* Statisticheski analiz dannykh. Primeneniye paketa prikladnykh programm STATISTICA. M. : Media Sfera, 2003. 312 s.

© Пушенко С. Л., Страхова Н. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Пушенко С. Л., Страхова Н. А. Расчет производственных рисков в строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 149—153.

УДК 628:511

Н. А. Страхова, С. Л. Пушенко

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РИСКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассматриваются существующие противоречия терминологического подхода к определению категории «риск» при эксплуатации технических систем. На примере мостовых кранов предприятий стройиндустрии сформулирован подход к идентификации факторов производственного риска.

К л ю ч е в ы е с л о в а: профессиональный риск, производственный риск, опасный производственный фактор.

Existing contradictions of the terminological approaches for definition category “risk” under exploitation of technical systems are considered. The treatment to factors identification of the industrial risk is worded by the example of travelers on enterprises of the building industry.

K e y w o r d s: occupational risk, industrial risk, hazardous production factor.

В общем виде применительно к решению задач ОТ и СУОТ категория «риск» отражает некую величину, описывающую степень соответствия или несоответствия качества производственной среды установленным нормативам или политике предприятия. Если говорить о дальнейшей конкретизации, то на фоне достаточно широкого спектра формулировок, часть из которых закреплена в нормативных документах, единого подхода к понятию риска, с точки зрения управления качеством производственной среды, до сих пор не существует.

Содержательная часть понятия риска определяется в зависимости от направления его практического использования. Кроме того, концептуально-терминологические различия в представлении риска зависят от нормативного целеполагания. В определениях риска доминирует медико-гигиеническая оценка условий труда. Это объясняется тем, что до сих пор основным инструментом оценки влияния вредных производственных факторов (т. е. факторов риска) на здоровье работающих остаются гигиенические нормативы. Их превышение рассматривается как нарушение санитарного законодательства и учитывается при установлении защитных мер социального и экономического характера. При этом акцент делается не на профилактических мерах снижения факторов риска, а на мероприятиях компенсационного типа. Но льготы, какими бы они ни были, не в состоянии устранить вредного воздействия факторов профессионального риска, даже если они находятся в пределах нормативных значений. Поэтому все чаще можно слышать мнения специалистов о необходимости ограничения применения медико-гигиенических оценок условий труда. С этим же аспектом связан еще один не менее важный вопрос — противопоставление понятий «профессиональный» и «производственный» риск, наметившееся в последнее время.

Профессиональный риск обусловлен особенностями профессии работника (группы смежных профессий). В этом случае, так или иначе, понятие «про-

фессиональный» связано с работником, с личными интересами человека или определенного круга лиц, занятых определенным видом профессиональной деятельности. В то же время производственный риск связан с особенностями конкретного производства, применяемой технологии, системы управления, условий труда и т.п.

Действующие нормативные документы также страдают терминологической двойственностью. В частности, документ МОТ [1] оперирует понятием «профессиональный риск», в то время как международные стандарты [2, 3] используют термин «производственный риск».

В целом же понятия профессионального и производственного риска применительно к рабочему месту фактически отражают один и тот же предмет, только с различных точек зрения. Если понятие «профессиональный риск» чаще используется с точки зрения работника с целью характеристики его социальной защищенности (предоставления компенсаций) в связи с наличием на его рабочем месте вредных и опасных производственных факторов и носит пассивный характер, то понятие «производственный риск» отражает точку зрения менеджера, занятого решением проблемы уменьшения производственных рисков на рабочем месте работника с целью недопущения ущерба для его здоровья и жизни, и, соответственно, носит активный характер. В целом же управление рисками применительно к решению задач ОТ и СУОТ подразумевает контролирование не только вредных и опасных факторов, обусловленных технологическим процессом, но и состояние системы человек — производственная среда.

Мы считаем, что производственный риск характеризует зону неопределенности (нереализуемой полезности), в пределах которой существует возможность снижения технологической безопасности и обеспечения безвредных условий труда работающих при заданных уровнях надежности зданий, сооружений, оборудования, оснастки транспортных средств, других машин и механизмов. Под факторами производственного риска мы понимаем опасности, обусловленные производственным процессом, окружающей средой и действиями работников. Соответственно под их идентификацией — распознавание видов опасностей, установление причин их возникновения, пространственных и временных характеристик, вероятности их проявления и тяжести последствий. То есть речь идет о деятельности, направленной на выявление самого факта существования опасностей, превышающих некоторый уровень, и определение их природы.

Идентификация факторов производственного риска базируется на решении производственно-технологических и организационно-управленческих задач ОТ, характеризующих отношения в системе человек — машина или более широко — человек — производственная среда. В литературе достаточно широко представлен материал по риск-анализу эксплуатации технических систем. В частности, согласно [4], к основным факторам, влияющим на риск эксплуатации машин и механизмов, относятся:

1. Уровень организационно-технических возможностей организации по безаварийной эксплуатации объекта.

2. Уровень качества эксплуатации объекта.

3. Уровень и периодичность контроля технического состояния объекта.

4. Срок службы (остаточный ресурс) и соответствие состояния объекта требованиям действующих правил и норм по безопасности.

5. Уровень аварийности при эксплуатации объектов в составе организации.

6. Наличие нарушений требований надзорных органов, допущенных организацией при эксплуатации объектов.

7. Технологические особенности объекта.

8. Наличие и состояние систем и приборов безопасности, контроля и средств противоаварийной защиты.

9. Объем производства, уровень и состояние технологического процесса и основного технологического оборудования.

10. Наличие и состояние средств предотвращения аварий и борьбы с ними, средств автоматического и дистанционного управления технологическими процессами, средств связи, аварийной сигнализации и пожаротушения, систем аварийной вентиляции, освещения, энерго- и водоснабжения.

11. Месторасположение: подверженность внешним рискам, расстояние до близлежащих объектов (здания и сооружения соседних предприятий, жилые и общественные здания, железные и автомобильные дороги, лесные массивы, водоемы, котлованы и пр.).

12. Наличие соответствующих нормативных, технических и методических документов, правил, рабочих инструкций и качество их исполнения.

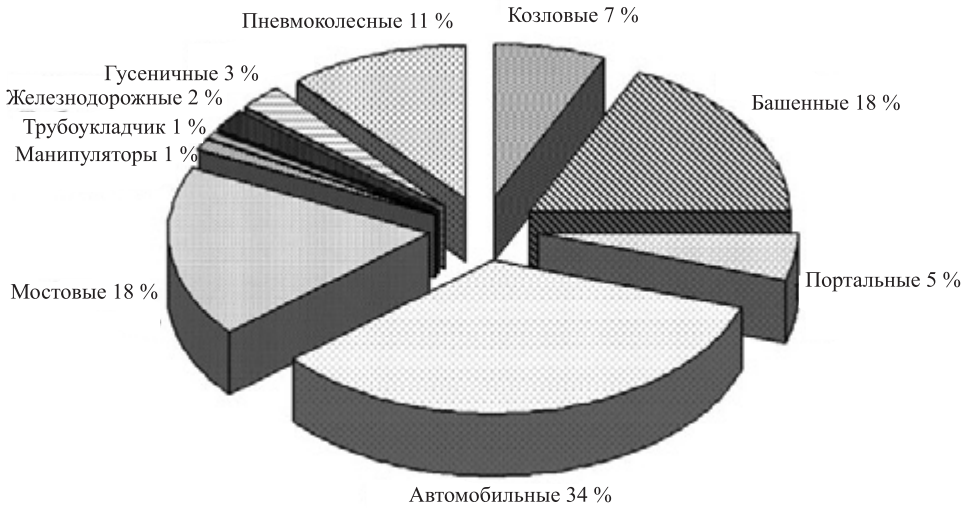
13. Соблюдение требований к содержанию и оформлению отчетных документов по охране труда.

Кроме того, специалисты отмечают, что к факторам производственного риска, помимо технических и организационных параметров (условий), необходимо отнести и психологические (поведенческие) опасности, характеризующие так называемый «человеческий» фактор, действующий в системе человек — производственная среда.

Поскольку факторы производственного риска охраны труда во многом определяются видом и особенностями технологического оборудования (машин, механизмов, инструмента и т.п.), дальнейшая детализация факторов риска предполагает конкретизацию вида рассматриваемого оборудования. С точки зрения различного рода производственных опасностей, одним из характерных для предприятий строительной отрасли видов технологического оборудования является грузоподъемное оборудование. Нормальная эксплуатация различных грузоподъемных механизмов сопряжена с решением технических, организационных, психологических задач. Помимо этого, грузоподъемное оборудование традиционно относится к аварийно опасному, связанному с высоким уровнем производственного травматизма.

Поскольку типовой состав грузоподъемного оборудования достаточно разнообразен, нами проведен анализ данных об аварийности грузоподъемного оборудования (рисунок).

Его результаты свидетельствуют о том, что из стационарного грузоподъемного оборудования наибольшего внимания с точки зрения решения задач ОТ заслуживают мостовые краны.



Аварийность грузоподъемных кранов (период 1993—2007 гг.)

Грузоподъемные краны мостового типа относятся к наиболее распространенному типу грузоподъемных кранов. По своему конструктивному исполнению мостовые краны являются более надежными в эксплуатации по сравнению с другими типами. На предприятиях стройиндустрии именно они занимают ведущее место в организации и осуществлении транспортно-технологических потоков. Если говорить о промышленности в целом, то доля мостовых кранов в промышленном секторе экономики РФ сегодня составляет более 30 % от общего количества грузоподъемных механизмов. Все это, на наш взгляд, позволяет рассмотреть комплекс вопросов, связанных с управлением производственным риском, на примере мостовых кранов как достаточно характерного и информативного для стройиндустрии технологического объекта.

Проведенный нами предварительный статистический анализ опасностей, присущих эксплуатации мостовых кранов, позволил разделить всю совокупность факторов производственного риска на два подкласса:

1.Организационный, включающий:

факторы организации труда, которые применительно к эксплуатации кранового оборудования характеризуют факторы окружающей среды;

факторы соблюдения требований охраны труда, т. е. факторы, связанные с действиями персонала («человеческий фактор»).

2. Технологический, образованный:

факторами технологичности производства, являющимися, по сути, факторами условий эксплуатации кранов;

факторами технологической опасности, т. е. факторами, характеризующими техническое состояние мостовых кранов.

Негативными последствиями воздействия выделенных групп факторов риска при эксплуатации мостовых кранов являются их отказ и простой. При этом мы исходили из условия, что отказы развиваются вследствие воздействия факторов риска, при наличии которых эксплуатация кранов запрещена требованиями нормативных документов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ILO-OSH-2001. Руководство по системам управления охраной труда МОТ-СУОТ. 2001. 32 с.

2. OHSAS 18001:2007. Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний : требования. 2007. 29 с.

3. BS 8800:2004. Occupational health and safety management systems : guide. 2004. 76 с.

4. Диагностика и риск-анализ металлических конструкций грузоподъемных кранов / В. С. Котельников, А. А. Короткий, А. Н. Павленко, И. И. Ерёмин. Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2006. 315 с.

1. ILO-OSH-2001. Rukovodstvo po sistemam upravleniya okhranoy truda MOT-SUOT. 2011. 32 s.

2. OHSAS 18001:2007. Sistemy menedzhmenta v oblasti okhrany truda i preduprezhdeniya professionalnykh zabolevani : trebovaniya. 2007. 29 s.

3. BS 8800:2004. Occupational health and safety management systems : guide. 2004. 76 с.

4. Diagnostika i risk-analiz metallicheskikh konstruktsi gruzopodemnykh kranov / V. S. Kotelnikov, A. A. Korotki, A. N. Pavlenko, I. I. Yeryomin. Novocherkassk : UPTs “Nabla” YuRGTU (NPI), 2006. 315 s.

© Страхова Н. А., Пушенко С. Л., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Страхова Н. А., Пушенко С. Л. Идентификация факторов производственного риска в строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 154—158.

УДК 628.518 : 539.16

О. П. Сидельникова

ОГРАНИЧЕНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИРОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Природные радионуклиды вносят основной вклад в эффективную дозу облучения населения. Радиационный контроль условий труда работников необходимо осуществлять в соответствии с принятыми в России законодательными и нормативными правовые акты. Мероприятия по снижению облучения работников природными радионуклидами должны проводиться во всех случаях, когда эта доза превышает 1 мЗв/год.

К л ю ч е в ы е с л о в а: природные радионуклиды, эффективная доза облучения, радиационный контроль, условия труда, законодательные и нормативные правовые акты, защитные мероприятия, мощность дозы, гамма-излучение, эквивалентная объемная активность.

The radionuclides of natural origin are contributed to the effective dose of the population irradiation. The radiation monitoring of the work condition must be realized in accordance with adopted the Russia legislative and regulatory legal acts. The measures to the workers' irradiation reduce of the radionuclides of natural origin must be taken in all cases when the dose is more than 1 mSv/year.

K e y w o r d s: radionuclides of natural origin, irradiation effective dose, radiation monitoring, work condition, legislative and regulatory legal acts, protection measures, dose rate, gamma emission, equivalent volumetric activity.

Одним из основополагающих положений нормирования радиационной защиты в России является соответствие их Международным стандартам радиационной безопасности, что подтверждено Законом РФ «О радиационной безопасности населения» (1996 г.). Это обусловлено необходимостью международной интеграции технологического развития, экономики и торговли [1].

Закон «О радиационной безопасности населения» стал правовой основой ряда постановлений Правительства РФ и федеральных целевых программ в области радиационной безопасности и получил дальнейшее развитие в новых Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009), Основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРТ-99/2009) и других нормативных и методических документах.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) наряду с Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2009) являются основными документами, регламентирующими воздействие ионизирующего излучения.

Нормативы имеют целью ограничение облучения работников, населения от естественных радионуклидов, содержащихся в строительных конструкциях и воздухе помещений производственного, социального и жилого назначения.

Трудами отечественных и зарубежных специалистов доказано, что природные источники ионизирующего излучения вносят основной вклад в дозу облучения населения. Средняя эффективная доза, обусловленная природными источниками, составляет около 70 % дозы от всех источников ионизирующего излучения, воздействующих в настоящее время на человека [2]. Не только содержание и активность радионуклидов в регионах меняется в широких преде-

лах, но и индивидуальные дозы в зданиях, построенных из различных материалов. В целом значения эффективных доз облучения населения для регионов изменяются от 2,6 до 20 мЗв/год [3].

Современная стратегия обеспечения радиационной безопасности работников и населения, получившая свое развитие в новой редакции системы нормативно-правовых актов, требует серьезного пересмотра основных практических подходов к оценке и обеспечению радиационного благополучия. Прежде всего, это необходимо в связи с введением в 1998 году Федеральной программы радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий России. С принятием концепции эффективной дозы как меры радиационного риска в корне изменились требования как к самой измерительной информации, так и условиям ее получения и интерпретации. Наконец, в современных условиях, когда потребительские качества товаров и услуг, в разряд которых перешли жилые и производственные здания, земля и ее недра (в разной степени), в силу целого ряда причин изменились, существенно ужесточились и требования к их радиационным характеристикам.

Требования по обеспечению радиационной безопасности при воздействии природных источников излучения в производственных условиях предъявляются к любым организациям, в которых облучение работников от природных радионуклидов превышает 1 мЗв/год. К ним, в частности, относятся организации, осуществляющие работы в подземных условиях (неурановые рудники, шахты и др.), а также добывающие и перерабатывающие минеральное и органическое сырье с повышенным содержанием природных радионуклидов. В проектной документации неурановых рудников и других подземных сооружений должны быть отражены вопросы радиационной безопасности.

Эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства).

Для составления перечня действующих организаций, цехов или отдельных рабочих мест, на которых должен осуществляться контроль радиационной обстановки, обусловленной природными источниками излучения, следует проводить их первичное обследование. Если в результате обследования в организации не обнаружено случаев превышения дозы облучения работников в 1 мЗв/год, то дальнейший радиационный контроль в ней не является обязательным. Однако при существенном изменении технологии производства, которые могут привести к увеличению облучения работников, следует провести повторное обследование. В организациях, в которых установлено превышение дозы 1 мЗв/год, но нет превышения дозы в 2 мЗв/год, следует проводить выборочный радиационный контроль рабочих мест с наибольшими уровнями облучения работников. В организациях, в которых дозы облучения работников превышают 2 мЗв/год, должны, кроме того, осуществляться постоянный контроль доз облучения и проводиться мероприятия по их снижению.

В случае обнаружения превышения установленного норматива (5 мЗв/год) администрация организации должна принимать все необходимые меры по снижению облучения работников. При невозможности соблюдения указанного

норматива допускается приравнивание соответствующих работников по условиям труда к персоналу, работающему с техногенными источниками излучения. О принятом решении администрация организации информирует органы государственного санитарно-эпидемиологического надзора. На лиц, приравненных по условиям труда к персоналу, работающему с техногенными источниками излучения, распространяются все требования по обеспечению радиационной безопасности, установленные для персонала группы А.

В нормативных документах: Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [4], Основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2009) [5] и др. содержатся требования к защите от природного облучения в производственных условиях.

Средние значения радиационных факторов в течение года, соответствующие при монофакторном воздействии эффективной дозы 5 мЗв за год при продолжительности работы 2000 ч/год, средней скорости дыхания 1,2 $м^3$/ч и радиоактивном равновесии радионуклидов уранового и ториевого рядов в производственной пыли, составляют:

мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте — 2,5 мкЗв/ч;

эквивалентная равновесная объемная активность радона в воздухе зоны дыхания — 310 Бк/$м^3$;

эквивалентная равновесная объемная активность торона в воздухе зоны дыхания — 68 Бк/$м^3$.

Радиационный контроль и мероприятия по снижению облучения работников должны проводиться во всех случаях, когда эффективная доза производственного облучения природными радионуклидами превышает 1 мЗв/год [4]. Индивидуальные эффективные дозы от природных источников в ряде случаев могут превышать допустимые уровни профессионального облучения категории А — 20 мЗв/год. Столь большой вклад природных источников в облучение населения в значительной мере обусловлен тем, что ранее это облучение не нормировалось и не контролировалось.

В настоящее время в соответствии с Порядком проведения аттестации рабочих мест по условиям труда [6], Руководством по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса Р 2.2.2006-05 [7] до настоящего времени параметры радиационного фона производственных зданий и сооружений не учитываются как факторы, подлежащие оценке при проведении аттестации рабочих мест.

Таким образом, необходима практическая реализация научных идей, нормативных требований в области радиационной безопасности для решения проблемы ограничения работников и населения от природных источников облучения, что позволит оптимизировать систему защиты населения и снизить радиационные риски.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рамзаев П. В., Комаров Е. И.* Нормативно-правовое регулирование в области радиационной безопасности в Российской Федерации и за рубежом // Актуальные проблемы ограничения облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Радон-2000. 18—20 апреля 2000 г., М. : материалы науч.-практ. конф.

2. *Сидельникова О. П.* Радиационный контроль в стройиндустрии : учеб. пособ. М. : АСВ, 2002.

3. Радиационная безопасность в зданиях : справочник / О. П. Сидельникова и др. М. : Энергоатомиздат, 2006.

4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). М., 2009.

5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2009). СП 2.6.1.799-99. М., 2009.

6. Порядок проведения аттестации рабочих мест по условиям труда : приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 31 августа 2007 г. № 569. М., 2007.

7. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. М., 2005.

1. *Ramzayev P. V., Komarov Ye. I.* Normativno-pravovoye regulirovaniye v oblasti radiatsionnoy bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii i za rubezhom // Aktualnyye problemy ogranicheniya oblucheniya naseleniya ot prirodnykh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya. Radon-2000. 18—20 aprelya 2000 g., M. : materialy nauch.-praktich. konf.

2. *Sidelnikova O. P.* Radiatsionny control v stroyindustrii : ucheb. posob. M. : ACB, 2002.

3. Radiatsionnaya bezopasnost v zdaniyakh : spravochnik / O. P. Sidelnikova i dr. M. : Energoatomizdat, 2006.

4. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009). M., 2009.

5. Osnovnyye sanitarnyye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti (OSPORB-99/2009). SP 2.6.1.799-99. M., 2009.

6. Poryadok provedeniya attestatsii rabochikh mest po usloviyam truda : prikaz Ministerstva zdravookhraneniya i sotsialnogo razvitiya RF ot 31 avgusta 2007 g. №569. M., 2007.

7. R 2.2.2006-05. Rukovodstvo po gigiyenicheskoy otsenke faktorov rabochey sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiya uslovi truda. M., 2005.

© Сидельникова О. П., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Сидельникова О. П. Ограничение облучения работников предприятий природными источниками ионизирующих излучений // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 159—162.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 621.92:666.3/.7

О. В. Душко

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОТВЕРДЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследований влияния полирования поверхности керамики на величину остаточных напряжений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: полирование, алмазно-абразивная обработка, шлифование.

The research results of the polishing influence of the ceramic surface on the unrelieved stress value are given.

K e y w o r d s : polishing, diamond abrasion, glazing.

Развитие современного машиностроения связано с разработкой и внедрением новых материалов и прогрессивных технологических процессов их обработки. Уникальные свойства керамики позволяют использовать ее в качестве режущего инструмента, деталей машин, приборов, радиоэлектронной аппаратуры и других областях техники. Из-за высокой твердости материала механическая обработка заготовок возможна лишь с использованием синтетических алмазов.

Совершенствование способов обработки керамики связано с изучением закономерностей сложного многофакторного процесса шлифования. Производительность, качество поверхности, износ и стойкость кругов, энергетические затраты определяются свойствами керамики, характеристиками алмазного инструмента, режимами и технологическими особенностями оборудования.

Обеспечение высокого качества поверхности у точных керамических деталей — сложная техническая задача. Наряду с низкой шероховатостью, ограничиваемой долями микрометров, специфическим требованием является отсутствие дефектов поверхности в виде сколов, микротрещин, микровыколов.

Поскольку все керамические детали являются хрупкими, то при нагрузках под воздействием режущего или шлифовального инструмента они имеют тенденцию к растрескиванию. Точечная нагрузка при достаточно малой пластической деформации приводит к тому, что под воздействием зерен алмаза керамика, испытывая сильные механические и термические нагрузки, выкрашивается; в результате этого возникает канавка, ширина которой превышает площадь соприкосновения алмазного зерна с материалом, и в областях, прилегающих к канавке, возникают трещины (продольные, радиальные, латеральные сколы и

другие дефекты хрупкого происхождения), что значительно влияет на качество обработанных изделий и ресурс их работоспособности у потребителей [1, 2].

Одним из наиболее эффективных способов снижения толщины дефектного слоя, образующегося на поверхности керамики в процессе шлифования, а также снижения остаточных напряжений нам представляется введение финишной обработки поверхности керамической детали — полирования.

Для проведения исследований по микрорезанию керамики единичным зерном, а также для исследования дефектного слоя микроидентированием были подготовлены образцы размером 10×18×100 мм, отполированные на поверхности 18×100 мм. Были также подготовлены образцы из керамики размером 6×10×80 мм, прошлифованные по поверхности 10×80 мм на режимах, половина которых была затем отполирована по указанной поверхности, и все образцы подвергли испытанию на остаточные напряжения (рис. 1).

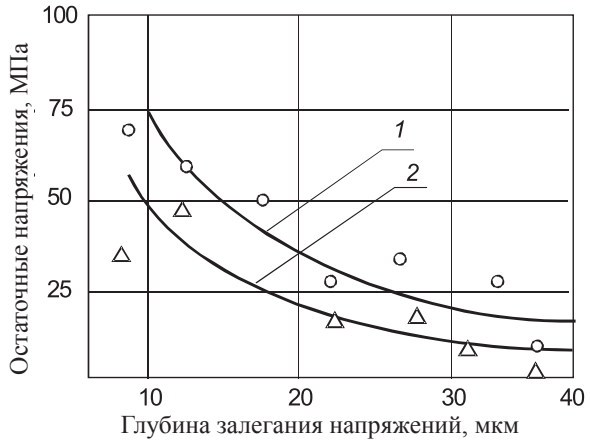


Рис. 1. Остаточные напряжения в образцах из карбидкремниевой керамики после различных способов обработки поверхности: *1* — после шлифования, *2* — после полирования

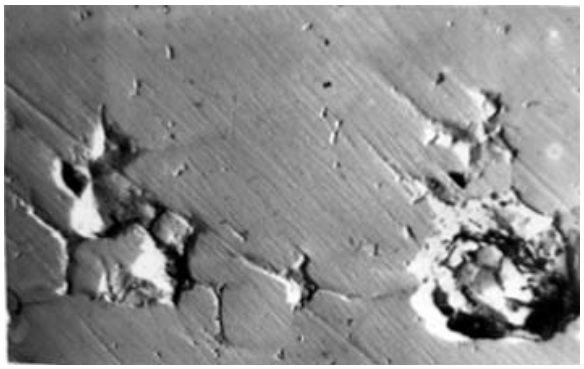
Была получена статистическая значимость влияния фактора способа обработки (шлифованием, полированием) поверхности керамики на величину остаточных напряжений. Из рис. 1 видно, что после полирования наблюдается снижение остаточных напряжений в поверхностном слое керамики.

Исследование поверхностного полированного слоя микроиндентированием показало, что его физико-механические свойства практически не отличаются от физико-механических свойств исходного материала, что говорит об отсутствии при этом дефектного слоя. На различные структуры поверхностных слоев прошлифованных и отполированных образцов указывают также результаты их электронномикроскопического исследования (рис. 2).

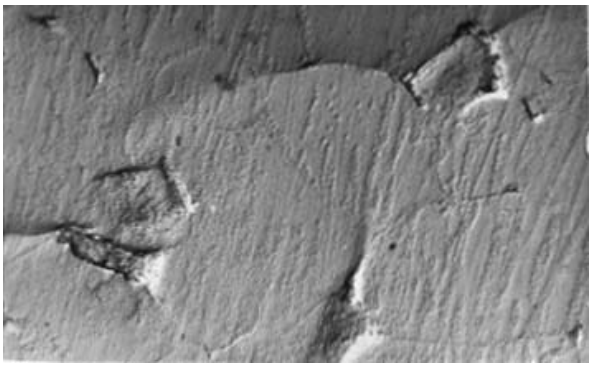
После шлифования формируется поверхность с развитым субмикрорельефом (см. рис. 2), содержащим участки со следами направленного резания и участками, напоминающими по внешнему виду следы интенсивного адгезионного схватывания. В то же время, есть участки, характерные для хрупкого разрушения, содержащие субмикротрещины и поверхности скола по зернам структуры. Полированная поверхность имеет совершенно отличный субми-

крорельеф сглаженного характера (рис. 2, *б*, *в*). На поверхности слабо просматриваются границы зерен и полосы, представляющие собой следы обработки. Идеально гладкой поверхности достигнуть не удалось, так как периодически в межзерновых узлах образовывались сколы.

а



б



в

Рис. 2. Поверхность карбидкремниевой керамики после различных способов обработки поверхности: *а* — после шлифования, ×7800; *б* — после полирования, ×7800; *в* — после полирования, ×7800

Проведенные исследования процесса полирования показали невозможность перевести растягивающие остаточные напряжения после шлифования в сжимающие после полирования.

В процессе снятия стружки при алмазном шлифовании керамики участвуют отдельные алмазные зерна в совокупности со связкой круга. Но в основном съем припуска при взаимодействии шлифовального круга с заготовкой определяется действием алмазных зерен, играющих главную роль в процессе диспергирования материала. Нами были проведены исследования резания-царапания единичным алмазным зерном в виде алмазной пирамиды, а также необработанным алмазным зерном естественной геометрии с исходным субмикрорельефом.

При изучении характера разрушения поверхности керамики алмазным зерном (рис. 3) установили, что зерно в начале и в конце царапины оставляет четкий след без явных сколов по краям следа. Зона скольжения, предшествующая внедрению алмазного зерна, отсутствует. Алмазное зерно, обладая достаточной твердостью, сразу же при контакте с материалом начинает срезать стружку. Средняя же часть царапины на всем протяжении имеет по краям значительные вырывы, так что края царапины в средней части очерчены ломаной линией.

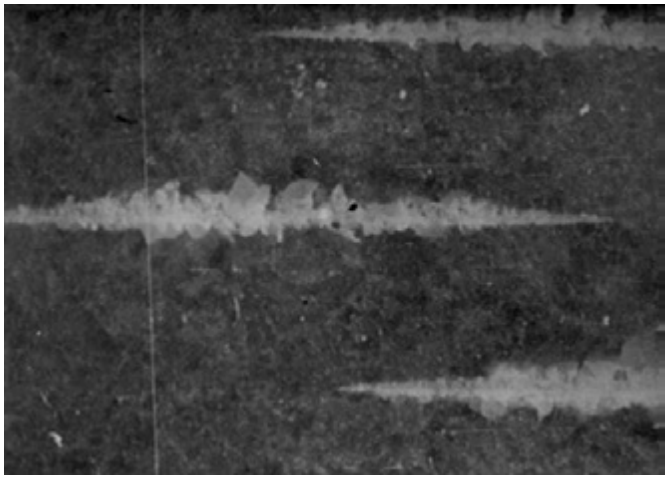


Рис. 3. Вид царапины на поверхности карбидкремниевой керамики при резании $V_{кр}$ = 38 м/с единичным алмазным зерном, ×300

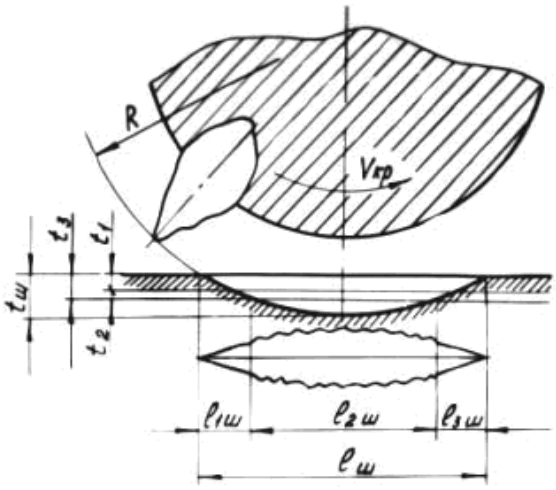
Появление сколов при достижении определенной глубины внедрения зерна объясняется тем, что, с увеличением глубины резания, в работу вступают все новые кромки алмазного зерна, в связи с чем возрастают силы микрорезания в зоне его контакта с материалом образца и наблюдаются наряду с образованием высокодисперсной стружки, возникновением крупных участков вырывов.

Глубина внедрения алмазного зерна, при которой начинают появляться сколы по бокам царапины, зависит от многих факторов. Она в основном определяется прочностными свойствами обрабатываемого материала и состоянием его рабочей поверхности при прочих равных условиях, т. е. при одинаковой скорости резания параметры обработки не должны зависеть от глубины резания, не считая ничтожного влияния незначительного изменения переднего угла при заходе и изменении угла резания. Для проверки этого положения про-

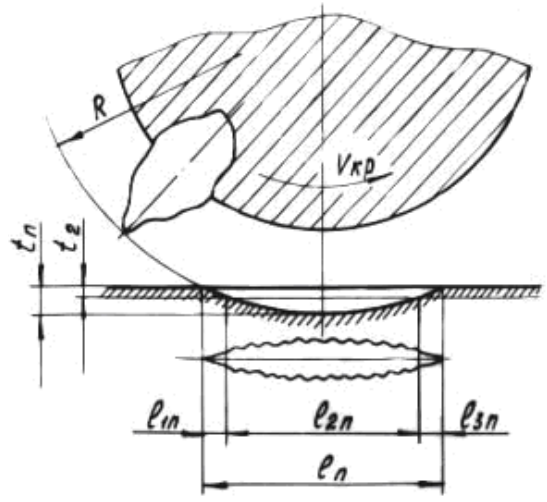
вели измерения длины рисок царапин $l_{ш}$ на предварительно прошлифованных образцах и $l_{п}$ на предварительно отполированных образцах и длины среднего участка рисок со сколами $l_{2ш}$ на предварительно прошлифованных и $l_{2п}$ на предварительно отполированных образцах (рис. 4) и по ним рассчитали фактические глубины риски $t_{ш}$ ($t_{п}$) и глубину внедрения зерна, при которой появляются сколы t_2 (t_3), по формулам

$$t_{ш,п} = R - \frac{\sqrt{4R^2 - l^2_{ш,п}}}{2};$$

$$t_{2,3} = \frac{\sqrt{4R^2 - l^2_{2ш,2п}} - \sqrt{4R^2 - l^2_{ш,п}}}{2}. \qquad (1)$$



а



б

Рис. 4. Схема резания-царапания единичным алмазным зерном, соответствующая плоскому шлифованию периферией алмазного круга: *а* — на предварительно прошлифованных образцах; *б* — на предварительно отполированных образцах

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Результаты определения бессколовой глубины рисок при микрорезании шлифованной поверхности керамики

Глубина риски-царапания, мкм	Глубина залегания бессколовой части риски-царапины	
	на входе, мкм	на выходе, мкм
1	*2*	*3*
13,1	12,3	11,3
22,2	6,4	12,7
20,1	17,6	13,3
25,3	19,9	17,9
20,6	9,9	20,2
20,8	9,5	16,9
32,7	23,6	12,3
21,8	14,5	13,2
11,0	8,1	9,2
16,0	7,4	7,6
24,0	9,1	23,2
17,9	11,1	12,9
15,2	14,7	9,5
38,2	9,3	17,2
45,6	18,2	4,5
57,8	4,8	30,1
50,4	20,0	23,2
44,2	24,1	20,2

Таблица 2

Результаты определения бессколовой глубины рисок при микрорезании полированной поверхности керамики

Глубина риски-царапания, мкм	Глубина залегания бессколовой части риски-царапины	
	на входе, мкм	на выходе, мкм
1	*2*	*3*
11,7	6,2	6,2
48,3	3,3	3,3
47,6	3,2	4,6
42,9	3,3	3,3
34,2	3,2	3,4
26,3	3,0	3,2
21,2	2,4	2,4
14,5	5,6	5,5
7,0	5,2	5,1
14,2	3,2	3,1

Окончание табл. 2

Глубина риски-царапания, мкм	Глубина залегания бессколовой части риски-царапины	
	на входе, мкм	на выходе, мкм
11,9	5,0	3,0
9,9	1,8	1,5
20,7	3,1	3,0
16,0	3,5	3,3
15,2	5,7	5,8
16,9	1,8	2,2
27,6	2,9	2,3
26,8	2,0	2,4

Для определения значимости полученных результатов провели дисперсионный анализ. Налицо действие двух факторов: первый — глубина микрорезания — глубина внедрения индентора в царапаемую поверхность (фактор A), второй — состояние царапаемой поверхности — шлифованная или полированная (фактор B). Фактор B имеет два уровня, для фактора A было принято 16 уровней — общий диапазон глубины рисок-царапин на шлифованной и полированной поверхностях. Значения глубины залегания бессколовой части рисок-царапин при входе и выходе зерна из контакта с царапаемой поверхностью считаем параллельными наблюдениями.

Таким образом, данная задача представляет собой классический образец для применения двухфакторного дисперсионного анализа, с оценкой эффекта взаимодействия факторов A и B.

Порядок сравнения дисперсий выполнили по критерию Фишера.

Проведенный анализ показал значимость фактора B при незначительном влиянии фактора A и их взаимодействия:

$$\frac{nS_0^2}{S_2^2} = 1{,}13 < 2{,}1,\ F\left(0{,}95;\ 15;\ 32\right) = 2{,}1;$$

$$\frac{S_A^2}{S_0^2} = 0{,}55 < 1{,}6,\ F\left(0{,}95;\ 15;\ 15\right) = 1{,}6;$$

$$\frac{S_B^2}{S_0^2} = 85 >> 1{,}8,\ F\left(0{,}95;\ 1;\ 15\right) = 1{,}8,$$

где S_0^2 — совместная дисперсия воспроизводимости и взаимодействия; S^2 — дисперсия воспроизводимости; S_A^2, S_B^2 — выборочные дисперсии.

Таким образом, получили статистическую значимость влияния фактора способа подготовки поверхности (шлифование или полирование) на бессколовую глубину риски-царапины.

Предельная глубина сколообразования t_2 в случае образца, у которого полированием удален внешний дефектный слой, в случае же шлифованных образцов она складывается из глубины дефектного слоя t_1, материал которого

в большей мере склонен к вязкому пластическому течению, нежели к хрупкому разрушению, и глубины внедрения в исходный материал t_3, соответствующей t_2 для полированного образца. Из этих соображений определили глубину дефектного слоя $t_1 = t_3 - t_2$, которая составила в среднем 10 мкм.

Таким образом, полированием удаляется внешний дефектный слой, глубина которого составляет в среднем 10 мкм, что способствует значительному повышению качества изделия и его эксплуатационных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Душко О. В., Пушкарев Д. О.* Износостойкие керамические торцовые уплотнения для нефтехимической промышленности // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2004 : сборник статей Международной научно-технической конференции. Волжский : ВИСТех (филиал) ВолгГАСУ, 2004. С. 61—63.

2. *Душко О. В., Шумячер В. М., Пушкарев Д. О.* Оптимизация параметров алмазной обработки карбидкремниевой керамики // Наука и технологии : труды XXIV Российской школы. СГТУ, 2004. С. 112—114.

1. *Dushko O. V., Pushkarev D. O.* Iznosostoykiye keramicheskiye tortsovyye uplotneniya dlya neftekhimicheskoy promyshlennosti // Protsessy abrazivnoy obrabotki, abrazivnyye instrumenty i materialy. Shlifabrasiv-2004 : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Volzhski : VISTekh (filial) VolgGASU, 2004. S. 61—63.

2. *Dushko O. V., Shumyacher V. M., Pushkarev D. O.* Optimizatsiya parametrov almaznoy obrabotki karbidkremniyevoy keramiki // Nauka i tekhnologii : trudy XXIV Rossiyskoy shkoly. SGTU, 2004. S. 112—114.

© Душко О. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Душко О. В. Пути снижения толщины дефектного слоя на поверхности высокотвердых керамических материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 163—170.

УДК 621.895:666.3/.7

О. В. Душко

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ПРОЦЕСС ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТВЕРДЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследований влияния поверхностно-активных веществ (ПАВ) в составе смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на эффективность шлифования керамических материалов.

К л ю ч е в ы е с л о в а : смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), поверхностно-активные вещества (ПАВ), алмазно-абразивная обработка, шлифование.

The research results of the surface active substances (SAS) influence as the part of the lubricating-cooling fluid (LCF) on the efficiency glazing of the ceramic materials.

K e y w o r d s : lubricating-cooling fluid (LCF), surface active substances (SAS), diamond abrasion, glazing.

Для обработки керамики на производстве в качестве смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) чаще всего используют проточную техническую воду. При проведении нами лабораторных исследований для всех экспериментов использовался 0,3%-й раствор кальцинированной соды. В сравнении с ним испытали три водных СОЖ: ВФ-3, В26, ИХП-45 — 10 %.

СОЖ ВФ-3 (Волжская финишная) представляет собой водный раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ), содержание которых не превышает 2,5 %. ВФ-3 обладает хорошими смазочными и моющими свойствами, антикоррозийна. Рекомендуется к применению при алмазно-абразивной обработке неметаллов и на финишных операциях при обработке металлов. Компоненты СОЖ доступны и выпускаются отечественной промышленностью. Готовится путем прямого смешивания компонентов.

СОЖ В26 (Волжская 26) имеет следующий состав, %:

натриевая соль карбоксиметилцеллозы — 1;

диэтиленглюколь — 0,5;

моноэтаноламин — 0,5;

нитрит натрия — 0,2;

сода кальцинированная — 0,3;

вода — остальное до 100.

Обладает хорошими моющими свойствами. Готовится путем прямого смешивания, но предварительно набухается натриевая соль карбоксиметилцеллозы в воде в течение 8—10 часов, а затем вводится в состав СОЖ. Применяется при алмазно-абразивной обработке. Все компоненты СОЖ выпускаются отечественной промышленностью.

СОЖ на основе ИХП-45 готовится путем прямого смешивания эмульсола ИХП-45 с водопроводной водой. Период стойкости 10—20 дней. Хорошо зарекомендовала себя при обработке металлов.

Испытания СОЖ проводили при наиболее тяжелом виде шлифования — шлифовании врезанием. Результаты испытаний представлены на рис. 1 и рис. 2.

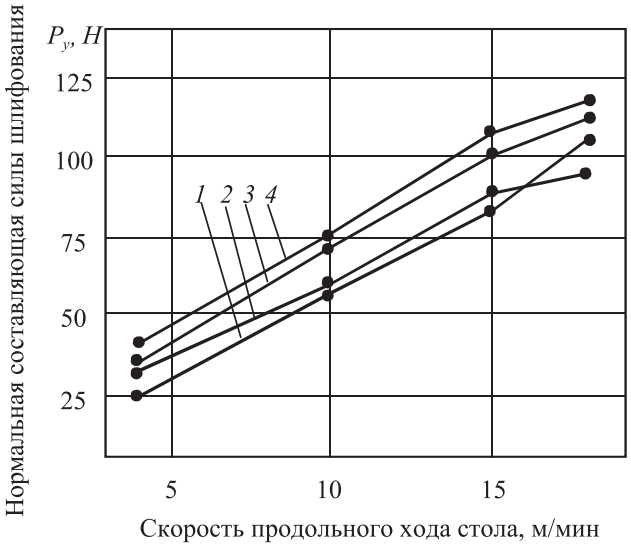


Рис. 1. Динамика процесса при шлифовании керамики с различными СОЖ: 0,3%-й содовый раствор (*4*); ИХП-45 — 10 % (*3*); В26 (*2*); ВФ-3 (*1*). Скорость круга 38 м/с; глубина шлифования 0,20 мм/ход; шлифование врезное, ширина образца 5 мм

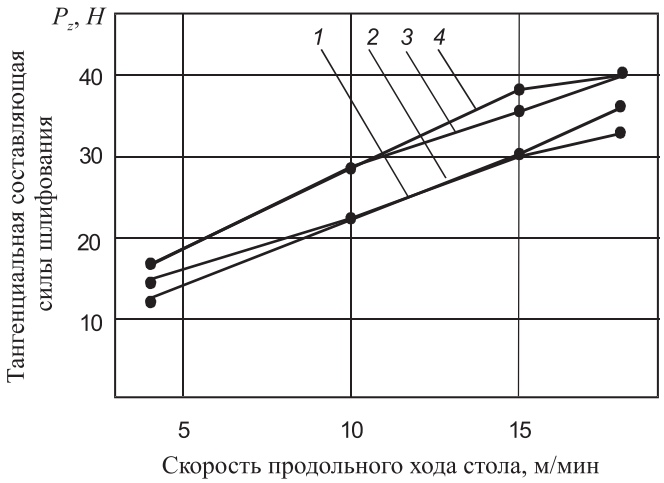


Рис. 2. Динамика процесса при шлифовании с различными СОЖ: 0,3%-й содовый раствор (*4*); ИХП-45 — 10 % (*3*); В26 (*2*); ВФ-3 (*1*). Скорость круга 38 м/с; глубина шлифования 0,25 мм/ход; шлифование врезное, ширина образца 5 мм

Лучшие результаты получены при шлифовании с ВФ-3, несколько уступает ей СОЖ В26. Установлено, что применение СОЖ ВФ-3 обеспечило снижение нормальной составляющей силы шлифования P_Y при скорости движения стола 15 м/мин на 30 %, при скорости стола 18 м/мин — на 20 %. Одновременно с этим снижается тангенциальная составляющая силы шлифования P_X на 27 % и 22 % соответственно. Применение ИХП-45 результата не дало.

Положительный эффект от использования СОЖ, содержащих ПАВ, достигнут за счет образования защитных пленок, экранирующих силы адгезии и снижающих коэффициент трения. Наблюдение за состоянием режущей по-

верхности круга при работе с разными СОЖ позволяет отметить образование белой пленки, плотно прикрывающей круг при работе с В26 и ВФ-3. В этом сказываются хорошо моющие свойства СОЖ, содержащих ПАВ, облегчающие удаление шлифовочного шлама, предотвращающие скапливание мелкодисперсных частиц керамики на металлической поверхности круга в межзеренном пространстве. Совокупное действие этих процессов и приводит к снижению усилий резания, облегчению диспергирования шлифуемого материала, уменьшению вероятности образования трещин, сколов и скрытых дефектов.

При исследовании зависимости изменения удельной нагрузки в зоне контакта при шлифовании кругом с конической заходной частью с углом 6° установлено незначительное изменение напряженности процесса при увеличении глубины шлифования более 1 мм. Для исследования влияния глубины шлифования на прочность было приготовлено по 35 образцов для каждой глубины шлифования. Испытания производили четырехточечным нагружением образца на изгиб до его разрушения. По величине разрушающей силы рассчитывали прочность на изгиб. Результаты эксперимента статистически обрабатывали (табл. 1).

Таблица 1

Статистическая обработка результатов испытаний изделий на механическую прочность после шлифования с разными глубинами

Глубина шлифования, мм	Среднее значение прочности, МПа	Среднее квадратичное отклонение измерения	Доверительный интервал, МПа
0,5	84,6	5,76	±2,0
0,75	78,9	8,34	±2,9
1,0	76,5	6,09	±2,1
1,5	76,5	9,21	±3,7

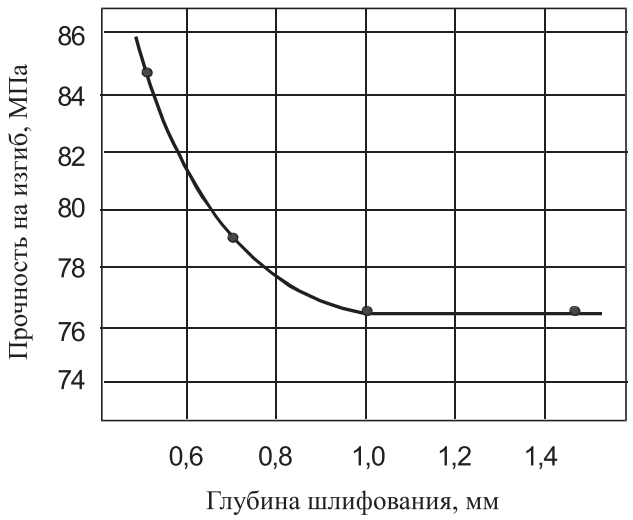


Рис. 3. Влияние глубины шлифования на прочность образцов из керамики. СОЖ — 0,3%-й содовый раствор. Скорость круга 38 м/с; скорость стола 15 м/мин; поперечная подача 1,0 мм/ход. Круг АСВ80/63АІ-100-МВІ с конической заборной частью под углом 6°

Полученные результаты позволяют отметить, что при увеличении глубины шлифования до 1 мм (рис. 3) прочность понижается, а дальнейшее увеличение глубины шлифования не отражается на прочности готовых изделий. Это положение справедливо для обработки кругом с заходной конической частью.

В ходе экспериментов были определены некоторые физико-химические свойства смазочно-охлаждающих жидкостей. Результаты этих исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели смазочно-охлаждающих жидкостей

СОЖ	d, кг/м^3	η, сст	Поверхностное натяжение $\sigma_{ж—г}$, Н/м	Работа адгезии к поверхности металла W_A, Дж		Краевой угол смачивания θ°	
				SiC	Чугун СЧ21	SiC	Чугун СЧ21
1	2	3	4	6	7	8	9
Керосин 85 %, масло индустриальное 20 —15 %	0,876	1,43	27,3	64,0	54,5	2	2
ОСМ-3	0,9	7	33,1	82,4	63,1	2	2
НСК-5У, 5%-й концентрации	1,007	1,32	40,4	85,0	78,6	15	12
ИХП-45Э, 5%-й концентрации	0,9972	1,13	39,5	83	71,3	29	34
ИХП-175Э, 5%-й концентрации	1,0034	1,23	33,1	73	61,4	19	26
В25	1,0096	1,4	40,4	83	71,6	20	32
Аквол-10, 3%-й концентрации	1,0046	1,12	53,3	92	93,4	29	35
0,2 % — $NaNO_3$, 0,3 % — Na_2NO_3, вода — остальное	1,000	1,000	72,3	73	—	—	—

Смачивающая способность СОЖ при абразивном диспергировании SiC предопределяет возможность ее поступления в зону контакта инструмент — деталь и образования в ней смазочной пленки. Определение этого показателя СОЖ имеет важное значение для прогнозирования технологической эффективности жидкости при обработке SiC абразивным инструментом. Как следует из табл. 2, наиболее высокой смачивающей способностью металлов обладают углеводородные жидкости, краевой угол смачивания которых на порядок меньше, чем у эмульсий и водных растворов. Смачивающая способность эмульсий ниже, чем у углеводородных СОЖ, но выше, чем у водных растворов. Смачивающая способность СОЖ зависит от характера межмолекулярного взаимодействия жидкости и SiC. Соотношение между работами адгезии и когезии для углеводородных, эмульсионных и водных жидкостей характеризуется достаточно широким диапазоном.

Углеводородные СОЖ, имеющие низкое поверхностное натяжение и маленький краевой угол смачивания, хорошо растекаются по поверхности SiC, смачивая его тонкой пленкой.

Эмульсиям, вследствие присутствия в них углеводородной фазы с ПАВ, присуще низкое поверхностное натяжение, однако краевой угол смачивания у них на порядок выше, чем у углеводородных СОЖ.

На избирательность смачивающего действия СОЖ чугуна СЧ21 и SiC указывают краевые углы смачивания (см. табл. 2).

Для эмульсионных жидкостей и водных растворов характерно увеличение краевого угла смачивания на чугуне СЧ21 по сравнению с SiC.

В процессе абразивного диспергирования SiC в контакте инструмент — деталь образуется суспензия, состоящая из СОЖ и продуктов диспергирования SiC, что видно при анализе СОЖ, взятой непосредственно из зоны обработки.

В случае обработки SiC абразивным бруском (суперфинишировании) давление в контакте меняется от отрицательного значения 130 Па до положительного (рис. 4).

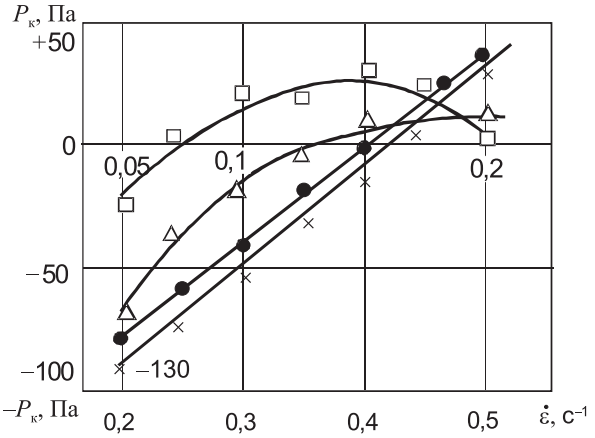


Рис. 4. Влияние скорости абразивного диспергирования SiC на давление в контакте брусок — деталь (СОЖ — керосино-масляная смесь) при суперфинишировании. СОЖ: □ — вода дистиллированная; × — ОСМ-3; ● — керосин — 85 %; масло индустриальное 20 —15 %; Δ — аквол-2

При непрерывном диспергировании металла, вследствие интенсивного выноса суспензии из зоны обработки, в контактной зоне создается разряжение (см. рис. 4), которое возрастает с течением времени.

В момент прекращения съема SiC происходит увеличение давления в контакте до 50 Па, которое затем падает до нуля.

Содержание твердой фазы в суспензии зависит от скорости диспергирования SiC. Увеличение объемного содержания твердой фазы в СОЖ, находящейся в зоне контакта инструмент — деталь, происходит с ростом интенсивности абразивного диспергирования SiC. Критическое содержание продуктов разрушения в контактной зоне, при котором происходит прекращение диспергирования SiC, для водных растворов находится в пределах 5...10 %, эмульсий — 7,5...12 %, углеводородных СОЖ — 18 %.

Объем седиментационных осадков продуктов диспергирования уменьшается при переходе от раствора электролита и синтетической СОЖ к эмульсиям и углеводородным жидкостям (рис. 5).

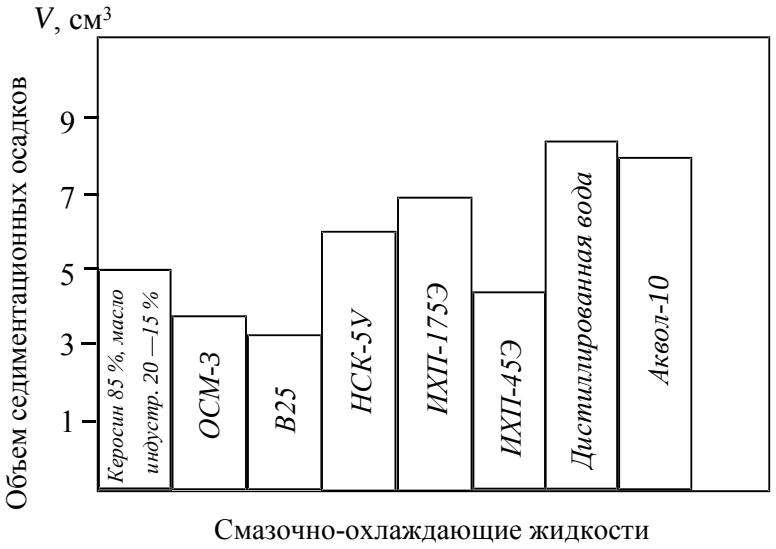


Рис. 5. Влияние состава СОЖ на объем седиментационных осадков продуктов абразивного диспергирования SiC

Механизм стабилизации лиофобных дисперсных систем заключается в лиофилизации частиц твердой фазы. Лиофилизация реализуется путем образования слоя молекул ПАВ, изменяющего природу поверхностей частиц твердой фазы или адсорбацией ионов и созданием ДЭС. На поверхности раздела фаз образуется двойной электрический слой, который обеспечивает положительное электростатическое отталкивание частиц твердой фазы.

Существенное различие в свойствах систем СПД с различной дисперсионной средой установлено при определении предельной прочности на сдвиг седиментационных осадов. Из рис. 6 видно, что предельная прочность на сдвиг коллоидных систем на основе углеводородной СОЖ ОСМ-3 значительно меньше, чем для систем, где дисперсионной средой является электролит (0,3 % Na_2CO_3 в воде) и синтетическая СОЖ Аквол-10. Системы с эмульсионной дисперсионной средой (НСК-5У и ИХП-45Э) и водной (В25) имеют несколько более высокую прочность, чем углеводородные.

Для систем СПД с углеводородной и эмульсионными средами характерна высокая стабильность в условиях уплотнения. Адсорбционные слои на частицах SiC обладают высокой упругостью. Конусный отпечаток на поверхности системы СПД в течение 2...3 мин исчезает вследствие релаксации напряжений в деформированном объеме.

Одним из необходимых условий обеспечения непрерывного диспергирования SiC является постоянная эвакуация продуктов разрушения из контакта брусок — деталь. Характер течения, его скорость определяются реологическими свойствами коллоидных систем СПД.

Таким образом, применение СОЖ с поверхностно-активными веществами позволяет снизить усилия резания, облегчить диспергирование шлифуемого материала, уменьшить вероятность образования трещин, сколов и скрытых дефектов.

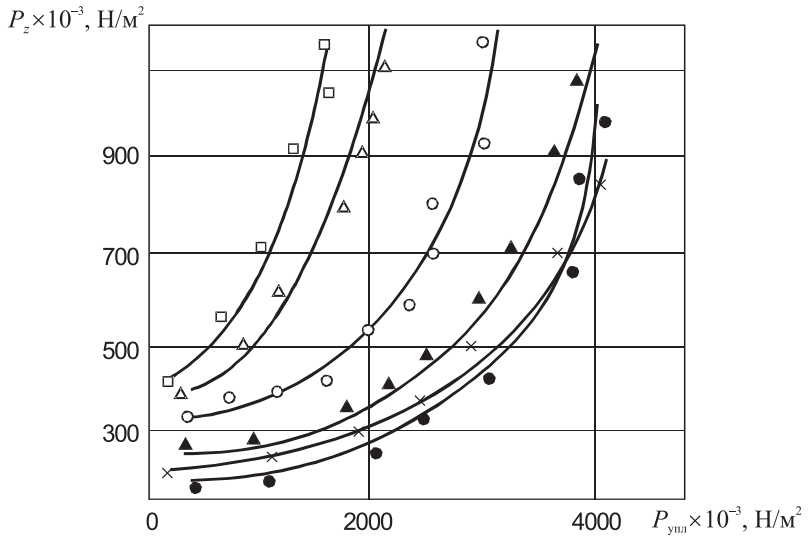


Рис. 6. Влияние состава СОЖ и степени уплотнения седиментационных осадков на предельную величину их сдвига. СОЖ: □ — вода дистиллированная; **x** — ОСМ-3; ● — керосин — 85 %; масло индустриальное 20 —15 %; ▲ — В25; ○ — 40К5У, 5%-й концентрации; Δ — аквол-2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Душко О. В., Шумячер В. М., Пушкарев Д. О.* Методология прогнозирования эффективности шлифования высокотвердых керамических материалов по энергетическому критерию их поверхностной хрупкости // Станки и инструменты. 2009. № 3. С. 22—24.

1. *Dushko O. V., Shumyacher V. M., Pushkarev D. O.* Metodologiya prognozirovaniya effektivnosti shlifovaniya vysokotverdykh keramicheskikh materialov po energeticheskomu kriteriyu ikh poverkhnostnoy khrupkosti // Stanki i instrumenty. 2009. № 3. S. 22—24.

© Душко О. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Душко О. В. Влияние состава смазочно-охлаждающей жидкости на процесс финишной обработки высокотвердых керамических материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 171—177.

УДК 621.921 : 621.892

Е. В. Славина, Ю. Н. Полянчиков

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОВОДКИ КВАРЦЕВЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В КОНТАКТЕ ПРИТИР — ЗАГОТОВКА

Рассмотрено влияние реологических и структурно-механических характеристик абразивных суспензий на производительность и качество доводки заготовок из кварца. Определены подходы к созданию абразивных суспензий для доводки, базирующейся на регламентации физико-химических процессов в контакте притир — заготовка.

К л ю ч е в ы е с л о в а: суспензия, структурно-механические и реологические свойства, кварц, режущая способность.

The influence of rheological and structurally-mechanical characteristics of the abrasive suspensions on productivity and quality development of the preparations from the quartz is considered. The approaches to the creation of the abrasive sus-pensions for the development which are based on the regulation of physical and chemical processes in abrading tool — blank part contact are defined.

K e y w o r d s: suspension, structurally-mechanical and rheological properties, quartz, cutting capacity.

Доводка кварцевых кристаллических элементов (ККЭ) характеризуется комплексом сложных механохимических процессов в контакте притир — заготовка. При доводке в слой абразивной суспензии непрерывно поступают частицы разрушения кварца (SiO_2), что приводит к росту концентрации дисперсной фазы. Возникающие при доводке ККЭ знакопеременные тангенциальные и нормальные силы вызывают колебания толщины абразивной прослойки под притиром. Производительность доводки снижается по мере роста количества абразивных зерен, перекатывающихся в слое суспензии под притиром [1]. Можно предположить, что уменьшение количества абразивных зерен, перекатывающихся под притиром при доводке, будет способствовать интенсификации съема обрабатываемого материала.

В этой связи эффективным методом повышения съема при доводке следует считать увеличение силы удержания абразивных зерен в слое суспензии под притиром. При доводке вращающийся притир оказывает на абразивные зерна в суспензии воздействия вибрационно-ударного характера.

При приложении к абразивной частице неопределенной формы и произвольных размеров, контактирующей с плоской поверхностью абсолютно жесткого тела, нормальной нагрузки максимальное напряжение σ_{max} на контактной площадке определяется по формуле Герца:

$$\sigma_{max} \approx 0{,}459 \sqrt[3]{\frac{E_z \cdot P_i}{R_i (1-\mu^2)^2}}, \qquad (1)$$

где E — модуль упругости абразивной частицы; μ — коэффициент Пуассона абразивной частицы; R_i — условный радиус частицы абразива в контакте с плоскостью; P_i — предельное значение нормальной нагрузки, которую выдерживает частица от разрушения контактирующего выступа.

Равномерное распределение абразивных частиц в слое суспензии под притиром при достаточной степени их закрепления может служить реальным резервом интенсификации диспергирования кварца. Из зависимости (1) следует, что при $P_i \to P_{i\max}$ и $R_i \to R_{i\min}$ в слое кварца на поверхности заготовки возникает максимальное напряжение σ_{max}, вызывающее развитие сети микротрещин.

При доводке в слой суспензии поступают частицы кварца, которые существенно влияют на ее структурно-механические и реологические характеристики. Частицы SiO_2 обладают избытком поверхностной энергии, что в условиях гетерокоагуляции интенсифицирует их слипание с абразивными частицами Al_2O_3, т. е. к росту R_i (1).

Положим, что концентрация частиц абразива в прослойке — $C_{абр}$, а концентрация частиц диспергированного кварца — $C_м$. Очевидно, что при доводке $C_м >> C_{абр}$ и согласно [2] при гетеростабилизации частицы $C_м$ концентрируются вокруг частиц $C_{абр}$, формируя своеобразную сферу, прочность которой P_i в выражении (1) зависит от глубины потенциальной ямы и радиусов частиц кварца и Al_2O_3. Свойства данной сферы из частиц диспергированного кварца предопределят устойчивость абразивной суспензии, что выражается в установлении некоторого порядка в расположении частиц Al_2O_3 в контакте притир — заготовка.

Согласно [2] абразивная прослойка из Al_2O_3 будет устойчива при выполнении следующих условий:

частицы Al_2O_3 и SiO2 имеют разноименные заряды:

$$\varphi_{абр} > 0 > \varphi_м,\ A > 0,$$

$\varphi_{абр}$ и $\varphi_м$ — заряды частиц Al_2O_3 и SiO_2 в дисперсионной среде; A — константа результирующего молекулярного взаимодействия между частицами Al_2O_3 и SiO_2;

между частицами дисперсной фазы существует потенциальная яма вследствие изменения знака результирующего Ван-дер-Ваальсового взаимодействия:

$$\varphi_{абр} \pm \varphi_м,\ A < 0.$$

Отсюда следует, что для повышения съема кварца при доводке ККЭ состав дисперсионной среды абразивной суспензии должен обеспечивать условия, что ξ-потенциал SiO_2 должен быть больше, чем ξ-потенциал Al_2O_3. При этом частицы диспергированного кварца образуют вокруг частицы абразива оболочку, стабилизируют абразивную суспензию в контакте притир — заготовка.

Поведение прослойки, состоящей из дисперсионной среды, частиц абразива, частиц кварца, наряду с процессами гетеростабилизации, зависящими от знаков и соотношения ξ-потенциалов Al_2O_3 и SiO_2, зависит и от ее реологических характеристик.

Реология высоконаполненных дисперсных систем, к которым можно отнести и абразивные суспензии для доводки, может рассматриваться как результат контактного взаимодействия частиц дисперсной фазы, образования и разрушения конгламератных структур любого типа.

Положим, что слой абразивной суспензии под притиром имеет ячеистую структуру с кубической упаковкой частиц Al_2O_3 с расстоянием между их центрами l:

$$l = 2R_{абр}\left(\frac{\pi}{6\varphi}\right)^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

где $R_{абр}$ — радиус частицы абразива; φ — объемная концентрация частиц.

Согласно [3] критическая концентрация дисперсной фазы в абразивной суспензии, соответствующая началу структурообразования, определится

$$\varphi_{кр} = \frac{\pi}{6}[e(1 + \bar{\delta})]^{-3}, \quad (3)$$

где $\bar{\delta}$ — среднестатический коэффициент близкодействия, учитывающий статистический характер активной части адсорбционно-сольватной оболочки.

$\bar{\delta}$ может быть найдена из зависимости (3):

$$\bar{\delta} = \frac{2}{3}\left(\frac{\rho^* - R_{абр}}{\rho^* + R_{абр}}\right)\left(\frac{\rho^*}{R_{абр}} + \frac{1}{2}\right), \quad (4)$$

где ρ* — радиус адсорбционно-сольватного слоя вокруг частиц абразива.

В соответствии с изложенным выше, коагуляционное взаимодействие частиц дисперсной фазы предопределяется знаком заряда в дисперсионной среде суспензии Al_2O_3 и SiO_2, критической концентрацией начала структурообразования. Сила сцепления между частицами дисперсной фазы суспензии имеет смысл ее предельного напряжения сдвига. Обеспечение определенного расстояния между центрами частиц дисперсной фазы (Al_2O_3) регламентируется вязкопластическими характеристиками суспензии. В связи с этим представляется возможным определять эксплуатационные свойства суспензий для доводки ККЭ по предельному напряжению сдвига и пластической вязкости. Этот подход был реализован автором [4]. Между тем при данном подходе существуют определенные трудности выбора состава дисперсионной среды, что необходимо при создании абразивной суспензии с определенными технологическими свойствами. В рамках развитых нами представлений о механизме явлений в контакте притир—заготовка при доводке ККЭ существует возможность целенаправленного подбора состава дисперсионной среды.

Учитывая, что наиболее эффективной дисперсионной средой при доводке ККЭ является состав: керосин — 70 %, масло «Индустриальное-20» — 25 %, кислота олеиновая — 5 %, который токсичен, пожаро- и взрывоопасен, была поставлена задача создать суспензию Al_2O_3 на водной основе.

Экспериментальными исследованиями предусматривалось определение структурно-механических и реологических характеристик опытных составов суспензий, где дисперсионными свойствами являлись:

1%-й водный раствор $NaNO_3$ (*состав 1*);

керосин — 70 %, масло «Индустриальное-20» — 25 %, кислота олеиновая — 5 % (*состав 2*);

олеат натрия — 0,3 %, бентонит — 2,5 %, сода кальцинированная — 0,6 %, триэтаналюмит — 1,0 %, вода — остальное (*состав 3*).

Стабилизационную способность дисперсионных сред в композиции SiO_2 — 5 %, Al_2O_3 — 15 % оценивали коэффициентом седиментационной устойчивости по отношению объема седиментационного осадка в эталонной среде (керосино-масляные смеси) к объему осадка в опытной среде. Динамику формирования структуры в абразивных суспензиях определяли для указанных составов путем замера статического напряжения сдвига $\sigma_{ст}$ на приборе СНС-2 в диапазоне временного промежутка 60...600 с. Предельное напряжение сдвига суспензий и пластическую вязкость замеряли на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Дисперсной фазой являлся микропорошок Al_2O_3 зернистостью М10.

Технологические испытания проводились на специальном приборе «Шлиф» в соответствии с методическими указаниями МУ-036-038-82 путем доводки диска из кварца Ø 50 мм и толщиной 10 мм.

Результаты экспериментов представлены в табл.

Влияние структурно-механических и реологических характеристик абразивных суспензий на их режущую способность

№ опыта	Состав абразивной суспензии	Статическое напряжение сдвига $\sigma_{ст}$, Н/м^2 (t = 600 с)	Предельное напряжение сдвига $\sigma_{пр}$, Н/м^2	Режущая способность, г/мин	Шероховатость обработанной поверхности R_a, мкм
1	*Состав 1* + 15 % Al_2O_3	0,87	7,2	0,003	0,2
2	*Состав 2* + 15 % Al_2O_3	2,3	21,2	0,0081	0,12
3	*Состав 3* + 15 % Al_2O_3	1,6	26,1	0,0068	0,11

Как видно из табл., между структурно-механическими, реологическими характеристиками абразивных суспензий *состав 1* обеспечивает образование защитных оболочек вокруг частиц дисперсной фазы Al_2O_3 и SiO_2 путем формирования двойного электрического слоя, регламентируемого соотношение ξ-потенциалов Al_2O_3 и SiO_2. В условиях значительных сдвиговых деформаций дисперсная фаза склонна к формированию конгломератов, что приводит к снижению режущей способности суспензии за счет перекатывания частиц Al_2O_3 и образованию грубых рисок на обрабатываемой поверхности кварца.

Состав 3 отличается от составов 1 и 2 тем, что стабилизация частиц Al_2O_3 и SiO_2 в суспензии осуществляется по смешанному механизму. Олеат натрия и сода кальцинированная при взаимодействии с водой диссоциируют с образованием ионов, создающих разноименные заряды Al_2O_3 и SiO_2, что способствует повышению стабилизации абразивной суспензии. Одновременно бентонит обеспечивает дополнительный фактор устойчивости суспензии за счет развития структуры, стабилизирующей частицы Al_2O_3 и SiO_2 путем создания структурно-механического барьера между ними.

За счет этого суспензия состава 3 обладает наиболее высокими показателями по режущей способности и качеству обработки (см. табл.). По своим технологическим свойствам водная суспензия состава 3 не уступает пожаро- и взрывоопасной суспензии состава 2.

Проведенные исследования показали, что режущая способность абразивных суспензий при доводке заготовок из кварца зависит от их структурно-механических и реологических характеристик. При этом максимальный эффект достигается за счет введения в дисперсионную среду компонентов, стабилизирующих дисперсную фазу путем образования вокруг их частиц разнозаряженных слоев, т.е. путем гетеростабилизации, а также создания структурно-механического барьера за счет формирования регулярной структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пушкарев О. И.*, *Шумячер В. М.* Режущая способность абразивной суспензии при доводке // Технология машиностроения. 2006. № 2. С. 18—19.

2. *Меркушев О. М.*, *Морозов О. А.*, *Лавров И. С.* О гетеростабилизации дисперсий // Коллоидный журнал. 1972. Т. XXXIV, № 1. С. 144—149.

3. *Урьев И. Б.* Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М. : Химия, 1988. 255 с.

4. *Шумячер В. М.* Физико-химические процессы при финишной абразивной обработке : монография. Волгоград : ВолгГАСУ, 2004. 161 с.

1. *Pushkarev O. I.*, *Shumyacher V. M.* Rezhushchaya sposobnost abrazivnoy suspenzii pri dovodke // Tekhnologiya mashinostroyeniya. 2006. № 2. S. 18—19.

2. *Merkushev O. M., Morozov O. A., Lavrov I. S.* O geterostabilizatsii dispersi // Kolloidny zhurnal. 1972. T. XXXIV, № 1. S. 144—149.

3. *Urev I. B.* Fiziko-khimicheskiye osnovy tekhnologii dispersnykh system i materialov. M : Khimiya, 1988. 255 s.

4. *Shumyacher V. M.* Fiziko-khimicheskiye protsessy pri finishnoy abrazivnoy obrabotke : monografiya. Volgograd : VolgGASU, 2004. 161 s.

© Славина Е. В., Полянчиков Ю. Н., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Славина Е. В., Полянчиков Ю. Н. Повышение производительности доводки кварцевых кристаллических элементов путем управления процессом структурообразования в контакте притир — заготовка // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 178—182.

УДК 699.841:691

Т. А. Белаш

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ДИССИПАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассматривается вопрос о возможности применения в системах сейсмозащиты конструкционных материалов, обладающих повышенной поглощающей способностью. Показано, что эффективность применения таких материалов может иметь место только в резонансной области. Во всех других случаях использование материалов с повышенной поглощающей способностью не дает необходимый уровень снижения колебаний, что свидетельствует о необходимости введения специальных дополнительных устройств.

К л ю ч е в ы е с л о в а : сейсмостойкое строительство, снижение сейсмических колебаний, конструкционные материалы с высокими поглощающими свойствами.

The suitabilities in the earthquake protection systems of the constructional materials which are kept the higher absorption are considered. The use efficiency of such materials can be only in the resonance region. At all other reasons the use of the materials with the higher absorbing capacity is prohibited the desired level of the vibrations draft that is indicated to introduce the special add-on devices.

K e y w o r d s : antiseismic construction, use of materials with higher absorbing capacity, seismic vibrations draft.

Повышение сейсмостойкости зданий и сооружений во время землетрясений может быть обеспечено различными способами. С одной стороны, это может быть комплекс мероприятий, направленных на повышение несущей способности строительных конструкций, с другой, создание определенных конструктивных систем зданий, обладающих значительной податливостью и тем самым при определенных сейсмических воздействиях способствующих снижению сейсмических нагрузок, а также введение в конструкцию здания, сооружения специальных устройств, направленных на уменьшение сейсмической энергии колебаний, передаваемых от основания к зданию, реализованных в виде систем сейсмоизоляции.

Важным фактором при оценке эффективности работы того или иного указанного решения является оценка степени поглощения энергии сейсмических колебаний строительных конструкций, которое может осуществляться, в частности, за счет использования специальных конструкционных материалов, обладающих повышенными диссипативными свойствами.

Для оценки этого влияния были выполнены расчетные исследования на различных строительных объектах. Критерием выбора объектов послужили характеристики горизонтальной жесткости здания, в зависимости от которых рассматривались здания с периодом собственных колебаний основного тона $T = 0{,}2$ с, решенное в сборно-монолитном варианте; средней жесткости с периодом собственных колебаний $T = 0{,}5$ с, решенное в сборном варианте; и гибкие с периодом собственных колебаний $T = 1$ с и $T = 2$ с, решенное в каркасно-сборном и каркасном вариантах. Расчетные модели принятых объектов рассматривались в виде консольных стержней с сосредоточенными

в узлах перекрытий массами. Взаимодействие с основанием учитывалось по гипотезе жесткой платформы. Воздействие задавалось акселерограммами трех землетрясений, частотный состав которых варьировался в широком диапазоне и соответствовал высокочастотным землетрясениям (№ 1), среднечастотным (№ 2) и низкочастотным (№ 3) воздействиям. На рис. 1 приведены спектры ускорений основания при различных землетрясениях. В расчетных исследованиях для оценки затухания колебаний вводился коэффициент потерь или неупругого сопротивления γ. Диапазон варьирования γ составлял от 0,1 до 2.

Уравнения движения представлены в виде

$$MY + \gamma M^{\frac{1}{2}} R^{\frac{1}{2}} Y + RY = - MY_0,$$

где M — диагональная матрица масс; R — матрица жесткости; Y — столбец обобщенных перемещений; γ — коэффициент неупругого сопротивления.

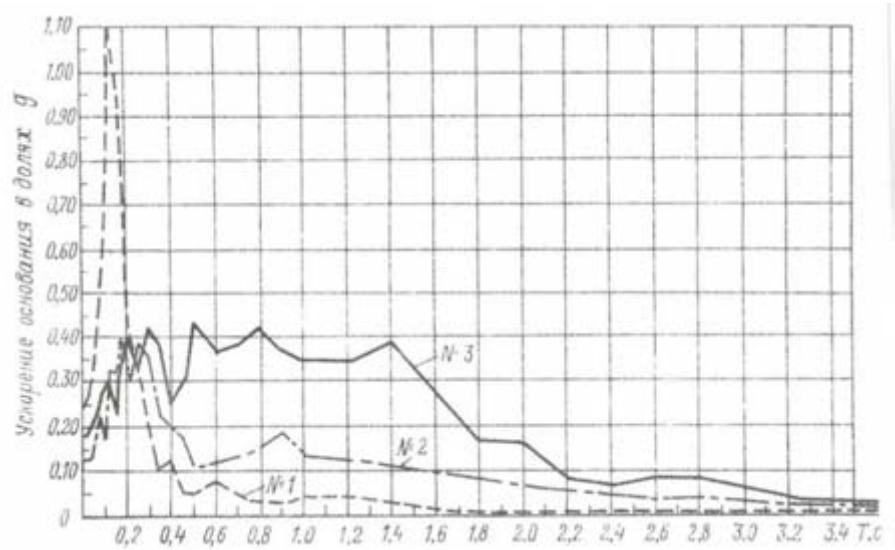


Рис. 1

Уравнения решались на ЭВМ численным методом Рунге — Кутта IV порядка. По результатам расчета определялись основные параметры движения: относительные смещения и абсолютные ускорения рассматриваемых зданий. Некоторые из результатов представлены на рис. 2.

Оценка полученных расчетных данных позволяет сделать следующие выводы.

Гашение сейсмических колебаний в зданиях различной этажности происходит во всем диапазоне изменения γ от 0,1 до 2. При этом ощутимый эффект снижения параметров колебаний наблюдается в зданиях, частотные характеристики которых близки к преобладающей частоте воздействия. Так, например, в зданиях относительно жестких (с T = 0,2 с) наилучший результат снижения происходит при воздействии высокочастотном (№ 1), для зданий средней жесткости и гибких — при низкочастотном воздействии № 3. Для обеспечения эффекта снижения параметров колебаний коэффициент неупругого сопротив-

ления должен быть $\gamma \geq 0{,}3$. Между тем, следует отметить, что анализ полученных расчетных результатов в других случаях свидетельствует о том, что если частотные характеристики зданий отличаются от преобладающей частоты воздействий, существенного снижения абсолютных ускорений и относительных смещений не происходит, даже при $\gamma \geq 0{,}5$.

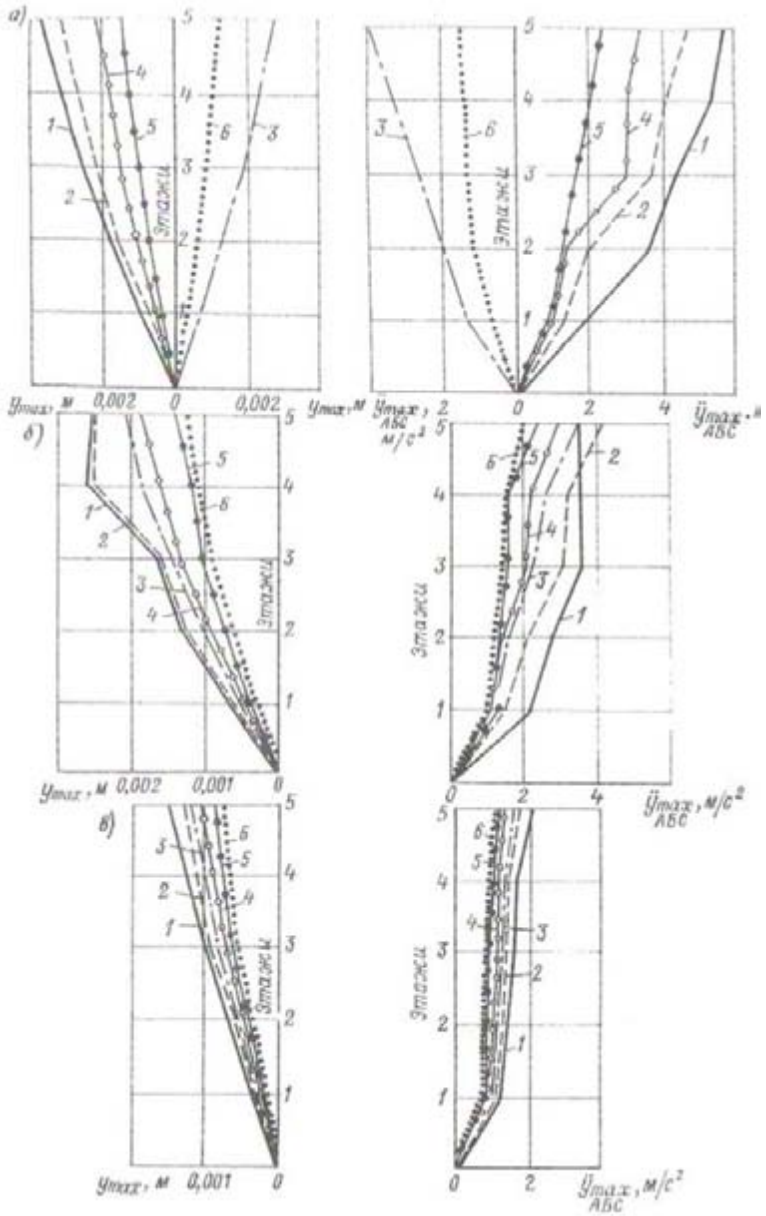


Рис. 2

Таким образом, применение конструкционных материалов с повышенной поглощающей способностью для обеспечения сейсмостойкости зданий может быть средством поглощения энергии только в том случае, когда колебания будут

происходить в резонансной области, при этом γ должен быть больше 0,3. Получение конструкционных материалов с такими высокими поглощающими свойствами и создание из них соответствующих конструкций возможно, по-видимому, при использовании современных нанотехнологий. Однако эти технологии пока еще не получили соответствующего широкого развития и внедрения.

Поэтому наиболее простым путем повышения энергопоглощения в конструкциях сейсмостойких зданий различного вида является введение в них тех или иных дополнительных элементов или устройств, работающих по принципу сухого или вязкого трения. Они могут быть реализованы с помощью достаточно простых средств и работать в широком частотном диапазоне сейсмического воздействия, тем самым существенно повышая надежность поведения здания при землетрясениях.

© Белаш Т. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Белаш Т. А. Об использовании конструкционных материалов с повышенными диссипативными свойствами в сейсмостойком строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 183—186.

УДК 537.266.33

А. И. Бурханов, А. В. Сопит

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ

При исследовании низкочастотного (НЧ) и инфранизкочастотного (ИНЧ) диэлектрического отклика не содержащих свинец керамик состава $(K_{0,5}Na_{0,5})$ $(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$ + 0,5 mol % MnO_2 было установлено, что положение температурных аномалий в виде «ступени» на ИНЧ и максимумов на НЧ, которые обусловлены наличием структурного фазового перехода в полярной фазе данного материала, смещается в область низких температур от T ~ 185 °C до T ~ 140 °C при изменении концентрации *x* от 0 % до 0,05 % соответственно.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бессвинцовая керамика, релаксоры, низко- и инфранизкочастотные диэлектрические свойства.

The research of low-frequency (LF) and very-low-frequency (VLF) dielectric response of the composition $(K_{0,5}Na_{0,5})$ $(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$ + 0,5 mol % MnO_2 unleaded ceramics is adapt that temperature anomalies state in term of "step" on VLF and maximums on LF which are caused of the structural phase change in the polar phase of this material is drifted in the area of the low temperature from T ~ 185 °C to T ~ 140 °C by the change of x concentrations from 0 to 0,05 % according.

K e y w o r d s: unleaded ceramic, relaxors, low-frequency and very-low-frequency dielectric properties.

Введение. Известно, что пьезоэлектрические керамики на основе оксида свинца, такие как Pb (Ti, Zr)O_3 (PZT) и многокомпонентные керамики на основе PZT широко используются в различных устройствах. Однако высокая токсичность содержащих свинец керамик приводит к необходимости поиска новых альтернативных материалов с конкурентоспособными свойствами, так как современные мировые тенденции направлены на полное исключение из промышленных производств объектов, загрязняющих окружающую среду [1, 2].

Наиболее подходящими в этом отношении материалами оказались материалы на основе ниобатов и их твердые растворы, лежащие на морфотропной границе [3]. Экологически чистая пьезоэлектрическая керамика с перовскитной структурой, такая как $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ (KNN)−, при равном соотношении компонент K : Na = 50:50 испытывает морфотропный фазовый переход между двумя орторомбическими фазами и демонстрирует высокие электромеханические свойства [3, 4], а также имеет высокую температуру Кюри (300—420 °C), что позволяет использовать данный материал в качестве актюаторов [5, 6].

Однако при получении щелочных ниобатов очень трудной задачей является синтез стехиометрического состава $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$, которую решают на основе экспериментального изучения различных технологических подходов и используя, в частности, различные добавки CuO, MnO_2 [2].

Целью данной работы являлось изучение поведения диэлектрического отклика не содержащей свинец керамики

$(K_{0,5}Na_{0,5})$ $(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$ + 0,5 mol % MnO_2

в слабых не возмущающих доменную структуру полях и получение новой (дополнительной) информации по влиянию дефектной структуры материала на характер низко- (НЧ) и инфранизкочастотных (ИНЧ) диэлектрических свойств данного состава керамик.

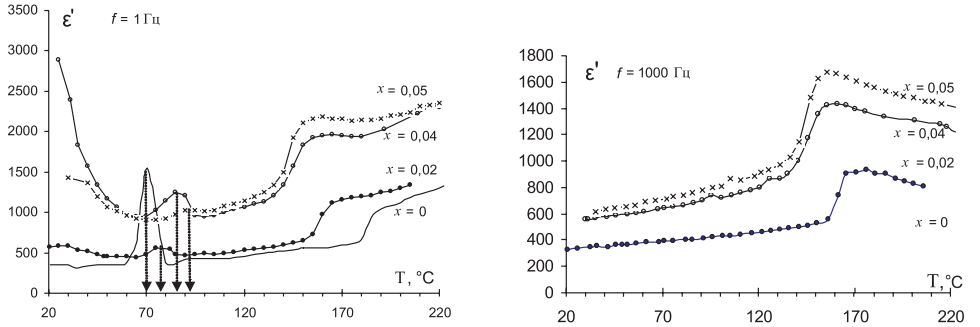
Методика измерений и образцы. Исследование диэлектрического отклика проводилось мостовым методом в слабых синусоидальных полях на частотах от 1 до 1000 Гц в динамическом режиме нагрев — охлаждение со скоростью 1 *K*/min в температурной области, где данная система испытывает морфотропный фазовый переход для исследованных компонентов состава.

Образцы горячепрессованной сегнетокерамики

$$(K_{0,5}Na_{0,5})\,(Nb_{1-x}Sb_x)O_3 + 0{,}5\ \text{mol \%}\ MnO_2$$

приготовлены двухстадийным твердофазным синтезом при 880 °С в течение 5 часов. Окончательный синтез керамики выполнялся в температурном режиме 1050—1170 °С.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Рис. 1 иллюстрирует поведение температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ε′(T) на частотах 1 и 1000 Гц, измеренных в режиме непрерывного нагрева до T = 300 °С при различных концентрациях сурьмы (*x*). Установлено, что положения температурных аномалий в виде «ступени» на ИНЧ (рис. 1, *а*) и максимумов на НЧ (рис. 1, *б*) кривой ε′(T) смещаются в область низких температур от T ~ 185 °С до T ~ 140 °С при изменении концентрации *x* от 0 % до 0,05 % соответственно.



а *б*

Рис. 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости горячепрессованной керамики $(K_{0,5}Na_{0,5})\,(Nb_{1-x}Sb_x)O_3 + 0{,}5$ mol % MnO_2 на частотах измерительного поля *f* = 1 и 1000 Гц: концентрации *x* = 0; *x* = 0,02; *x* = 0,04; *x* = 0,05 mol %

Из рис. 2 следует, что зависимость температуры (T_s), при которой наблюдается аномалия ε′(T), с увеличением концентрации *x* имеет тенденцию к насыщению (кривые *1* и *2*). При этом температурный интервал ΔT(*x*), соответствующий разнице температур положения аномалий ε′(T) на частотах 1000 и 1 Гц, составляет от 0,5 (при *x* = 0) до 2,5 градусов (при *x* = 0,05) — кривая *3*.

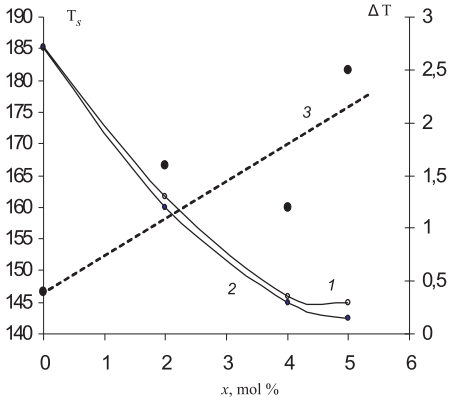


Рис. 2. Концентрационная зависимость температуры T_s, соответствующей аномалии ε′(T) на частотах: 1000 Гц — кривая *1*; 1 Гц — кривая *2* и ΔT — кривая *3* сегнетокерамики $(K_{0,5}Na_{0,5})(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$ + 0,5 mol % MnO_2

Появление «ступени» или максимумов на зависимостях ε′(T) (см. рис. 1) связано со структурным фазовым переходом между орторомбическими фазами [4], или, как отмечалось в [7], ротационным фазовым переходом, связанным с поворотами кислородных октаэдров, где подобные аномалии выявлялись как перегибы зависимости $\varepsilon^{-1}(T)$. Отметим, что проявление релаксорного характера данного фазового перехода в диапазоне частот 1000...1 Гц проявляется лишь при относительно больших значениях содержания Sb, несмотря на то что размытие фазового перехода является существенным. Это указывает на большое влияние на диэлектрические свойства материала таких дефектов, как, например, вакансии кислорода или щелочных металлов. Вероятно, это является одной из причин того, что образцы с концентрацией *x* меньшей, чем 0,05 %, характеризуются повышенной проводимостью, о чем свидетельствует значительный рост диэлектрических потерь на инфранизких частотах, который начинался практически сразу при превышении T_s.

В поведении температурно-концентрационных зависимостей ε′(T) при температурах ниже СФП на инфранизких частотах выявлена еще одна аномалия в виде максимума ε′(T). Температурное положение данного максимума, а также его величина (рис. 1, *a* — штриховые стрелки) зависят от концентрации *x*. При этом, в отличие от положения «ступени», здесь с увеличением *x* максимум ε′(T) смещается в сторону высоких температур с одновременным уменьшением своей величины, что согласуется с вышесказанным предположением об уменьшении проводимости материала при увеличении *x*. Заметим, что с увеличением частоты данный дополнительный максимум ε′(T) существенно уменьшается и на частотах выше 1000 Гц исчезает полностью.

Появление дополнительной аномалии при температуре T ~ 80 °C, по-видимому, свидетельствует о разрушении объемного заряда, который формируется в результате старения образца. Данное предположение подтверждает поведение эффективной глубины дисперсии Δε(T), температурная зависимость

которой представлена рис. 3. Так, учитывая, что данный параметр может характеризовать вклад различного типа объектов в релаксацию поляризации диэлектрики (сегнетоэлектрики) в определенном диапазоне частот, для исследуемой керамики при температурах существования сегнетоэлектрической фазы в интервале 1...1000 Гц наиболее вероятными релаксаторами могут быть или осциллирующие доменные границы, или объемный заряд. Так как нагрев образца до температур, не превышающих температуру Кюри, не мог существенно изменить доменную структуру, можно считать, что данная аномалия отражает влияние объемного заряда. Для разрушения объемного заряда, который мог сформироваться при старении образца, нагрев до температур порядка 100 °С вполне достаточен. В пользу этого объяснения служит и то, что положение температуры дополнительного максимума Δε(T) увеличивается (в отличие от положения температуры «ступени») с увеличением содержания сурьмы, которая, возможно, уменьшает вклад проводимости в диэлектрический отклик исследуемой керамики.

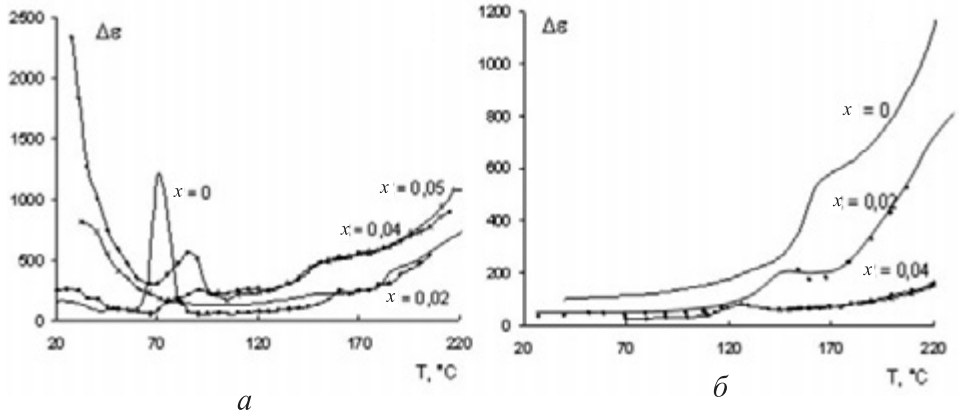


Рис. 3. Температурные зависимости эффективной глубины дисперсии диэлектрической проницаемости керамики $(K_{0,5}Na_{0,5})(Nb_{1-x}Sb_x)O_3$ + 0,5 mol % MnO_2: *а* — нагрев; *б* — охлаждение

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института физики твердого тела Латвийского университета — докторам К. Борманису и И. Смельтере за предоставленные для исследования образцы, плодотворные дискуссии и замечания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Directive 2002/95/ec of the European parliament and of the council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electronic equipment // Official Journal of the European Union. 2003. № 37. P. 19—23.

2. Бессвинцовая пьезоэлектрическая керамика и экологически безопасная технология ее получения / И. А. Вербенко, Л. А. Резниченко, О. Н. Разумовская, Л. А. Шилкина, В. П. Сахненко // Экология промышленного производства. 2007. № 4. С. 45—47.

3. Phase transition and electrical properties of $(Na_{1-x}K_x)(Nb_{1-y}Sb_y)O_3$ lead-free piezoelectric ceramics with a MnO_2 sintering aid / D. Lin, K.W. Kwok, H. Tian, and H. Wong // J. Am. Ceram. Soc. 2007. 90, 5. P. 1458—1462.

4. Lead-free piezoelectric / Y. Saito, H. Takao, T. Tani, T. Nohoyaama, K. Takatori, T. Homma et.al. // Nature. 2004. 432, 4. P. 84—87.

5. *Saito Y.* and *Takao H.* Nb-Perovskite Structured Piezoelectric Ceramics for Sensors and Actuators // The Twelfth US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics. November 6—9, 2005.

6. *Shrout T.R., Eitel R., Randall C*. High performance, high temperature perovskite piezoelectric ceramics // Piezoelectric Materials in Devices, Extensive Reviews on Current and Emerging Piezoelectric Materials, Technology, and Applications. Ed. by Neva Setter, Ceramics Laboratory, EPFL, 2002.

7. Формирование сегнетоэлектрических фазовых состояний в $KNbO_3$ и других ниобатах со структурой перовскита / М. П. Ивлиев, С. И. Раевская, И. П. Раевский, В. А. Шуваева, И. В. Пирог // Физика твердого тела. 2007. 49, вып. 4. С. 731—740.

1. Directive 2002/95/ec of the European parliament and of the council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electronic equipment // Official Journal of the European Union. 2003. № 37. P. 19—23.

2. Bessvintsovaya pezoelektricheskaya keramika i ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya yeye polucheniya / I. A. Verbenko, L. A. Reznichenko, O. N. Razumovskaya, L. A. Shilkina, V. P. Sakhnenko // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2007. № 4. С. 45—47.

3. Phase transition and electrical properties of $(Na_{1-x}K_x)(Nb_{1-y}Sb_y)O_3$ lead-free piezoelectric ceramics with a MnO_2 sintering aid / D. Lin, K.W. Kwok, H. Tian, and H. Wong // J. Am. Ceram. Soc. 2007. 90, 5. P. 1458—1462.

4. Lead-free piezoelectric / Y. Saito, H. Takao, T. Tani, T. Nohoyaama, K. Takatori, T. Homma et.al. // Nature. 2004. 432, 4. P. 84—87.

5. *Saito Y.* and *Takao H.* Nb-Perovskite Structured Piezoelectric Ceramics for Sensors and Actuators // The Twelfth US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics. November 6—9, 2005.

6. *Shrout T.R., Eitel R., Randall C*. High performance, high temperature perovskite piezoelectric ceramics // Piezoelectric Materials in Devices, Extensive Reviews on Current and Emerging Piezoelectric Materials, Technology, and Applications. Ed. by Neva Setter, Ceramics Laboratory, EPFL, 2002.

7. Formirovaniye segnetoelektricheskikh fazovykh sostoyani v $KNbO_3$ i drugikh niobatakh so strukturoy perovskita / M. P. Ivliyev, S. I. Rayevskaya, I. P. Rayevski, V. A. Shuvayeva, I. V. Pirog // Fizika tverdogo tela. 2007. 49, vyp. 4. S. 731—740.

© Бурханов А. И., Сопит А. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Бурханов А. И., Сопит А. В. Диэлектрические свойства экологически чистой сегнетокерамики // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 187—191.

УДК: 691

Д. А. Гусельников, В. М. Шумячер

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНОВ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ, ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Предложен состав бетона для производства дорожного бордюра на основе проведенных исследований механизма трещинообразования бетонов, с учетом влияния на него температурно-влажностных воздействий, агрессивной солевой среды. В ходе исследований были проведены эксперименты по изготовлению гранулированного заполнителя с вязкоупругими свойствами на основе техногенных отходов, подбору и технологии введения в состав бетона гидрофобизирующих добавок, блокирующих поровое пространство и укрепляющих границы раздела сред: цементный камень, заполнитель.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гранулированный заполнитель, изометричность гранул, гидрофобизация, состав бетона для производства дорожного бордюра.

The concrete composition for the production of the road curb is proposed based on the researches the crack formation mechanism of the concrete inclusive of temperature and moisture load, corrosion saline environment. The experiments for the production of the granulated aggregate with the viscoelastic properties were carried out on the researches based on industrial wastes, selection and introduction of the concrete allotment the water-repellent agents which are blocked the pore space and are stabilized the interface: cement stone, aggregate.

K e y w o r d s : granulated aggregate, isometric granules, water-repellency treatment, concrete composition for the production of the road curb.

Повышение эффективности производства изделий из бетона связано с совершенствованием их состава и технологий производства. Развитие сети автодорог в России, строительство транспортных магистралей в населенных пунктах требует применения высококачественных дорожных покрытий и элементов, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию автотранспорта. Условия эксплуатация бордюрного камня сочетают одновременное воздействие колес транспортных средств, перепада температур от 60 до –40 °С и антигололедных средств (солевых растворов, солепесочных смесей). При производстве бордюрного камня требуется значительное количество цемента и инертных заполнителей, играющих роль армирующих элементов в композите.

Многочисленные исследования в области создания бетонов на основе отходов металлургических производств позволят сформулировать научно обоснованные принципы их применения при приготовлении строительных изделий. Вмести с этим, недостаточно изучен вопрос о критериях создания изделий из бетона, эксплуатирующихся в жестких условиях, соответствующих функционированию бордюрного камня на городских магистралях. В этой связи нами была поставлена задача по разработке технологических принципов создания бетонов, успешно противостоящих перепаду температур, ударным знакопеременным нагрузкам и агрессивным антигололедным растворам. Для решения данной задачи проведены исследования механизма трещинообразования бетонов, с учетом влияния на него температурно-влажностных воздействий агрессивной солевой среды.

Анализ закономерности разрушения бетона под нагрузкой позволяет выделить следующие физико-механические процессы: образование зародышевых микротрещин, стягивание микротрещин (нестабильный рост), движение или торможение трещин в объеме образца, содержащего структурные элементы: заполнитель, поры, полости различного происхождения. Ю. В. Зайцевым описаны основные способы поведения трещины в бетоне, которые сводятся к распределению напряжений в неоднородном материале, которое существенно отличается от распределения напряжений в однородном теле, развитию трещин в разных зонах: в цементной матрице, заполнителе, в контакте заполнитель — цементный камень, в тенденции проникания трещины из более жесткого материала в менее жесткий. Исходя из вышеизложенного надежность изделий определяется не только условиями страта трещины, но и кинематикой ее роста. Влияние температурно-влажностного воздействия на разрушение бетона сводится к разрушению структуры изделия за счет миграции жидкой среды к основанию микротрещин с развитием последующим расклинивающего эффекта. Рассмотрим систему цементный камень — заполнитель — поры как композит, состоящий из матрицы, включений дисперсной среды (заполнителя и пор). В рамках теории разрушения композитов по Ф. Ф. Ленгу модуль упругости может быть рассчитан по зависимости

$$E_{\text{C}} = E_{\text{M}}\left[1+\frac{V_{\text{P}}}{\left[\frac{m}{m-1}\right]\sqrt[3]{V_{\text{P}}}}\right], \qquad (1)$$

где E_{M} — модуль упругости матрицы; V_{P} — объемное содержание дисперсной среды; m — отношение модулей упругости материала частиц дисперсной среды ($E_{\text{P}}/E_{\text{M}}$, где E_{P} — модуль упругости материала, частиц воздействующей среды).

Из (1) следует, что повышение модуля упругости композита возрастает с уменьшением соотношений $E_{\text{P}}/E_{\text{M}}$, т. е. снижения упругости частиц дисперсной среды.

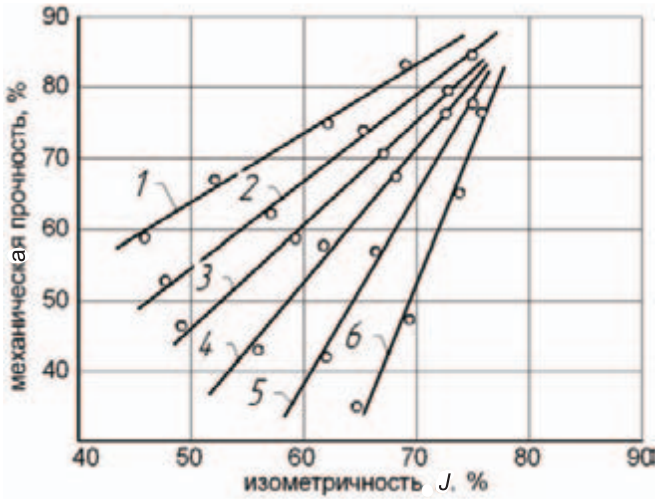
По Ф. Ф. Ленгу, влияние дисперсной среды на прочность композита выражается в действии трех факторов: энергии разрушения, модуля упругости компонентов, размера трещины. Эти факторы зависят от пяти параметров: размеров частиц дисперсной среды, объемного содержания дисперсной среды, степени связи по границе раздела сред, соотношения модуля упругости сред, различия в термических реагированиях сред.

Исходя из анализа вышеприведенных данных были изложены следующие подходы к реализации задачи по повышению эксплуатационных показателей изделий из бетона, работающих в условиях механических, температурно-влажностных и агрессивных воздействий. В ходе дальнейших исследований были проведены эксперименты по изготовлению гранулированного заполнителя с вязкоупругими свойствами на основе техногенных отходов, подбору и технологии введения в состав бетона гидрофобизирующих добавок, блокирующих поровое пространство и укрепляющих границы раздела сред: цементный камень, заполнитель.

Ранее выполненные нами исследования позволили разработать состав, технологию производства гранулированного заполнителя на основе отсевов песка и фенолформальдегидной смолы. С помощью разработанной нами методики, основанной на раздавливании гранул, валковом тензометрическом устройстве были определены следующие значения прочности гранул (табл.).

Физико-механические свойства гранул инертного заполнителя (d = 5—10 мм)

№ п/п	Состав по массе, %	Прочность гранулы, г/см^3	Пористость, %	Средняя прочность при сжатии, Н
1	Песок-кварц — 70 %, фенольная смола — 30 %	2,5	11	110
2	Песок-кварц — 75 %, фенольная смола — 25 %	2,62	9,5	127
3	Песок-кварц — 85 %, фенольная смола — 15 %	2,7	8,3	134
4	Песок-кварц — 95 %, фенольная смола — 5 %	2,73	7,2	160
5	Шлак — 90 %, цемент — 10 %	2,35	17	170
6	Шлак — 80 %, цемент — 20 %	2,28	15	165



Зависимости механической прочности от изометричности гранул и их состава: *1* — гранулы (песок кварцевый — 85 % + фенольные смолы — 10 %) диаметром 5 мм; *2* — гранулы (шлак — 90 % + цемент — 10 %) диаметром 5 мм; *3* — гранулы (песок кварцевый — 85 % + фенольные смолы — 15 %) диаметром 10 мм; *4* — гранулы (шлак — 90 % + цемент — 10 %) диаметром 10 мм; *5* — гранулы (песок кварцевый — 85 % + фенольные смолы — 15 %) диаметром 15 мм; *6* — гранулы (шлак — 90 % + цемент — 10 %) диаметром 15 мм

Как следует из табл., минимальную пористость при достаточно высокой прочности раздавливания имеют гранулы из 45 % песка кварцевого и 5 % фенольной смолы, при пористости 7,2 %. Максимальная прочность гранул из

электрометаллургического шлака 90 % и цемента 10 %, но при этом прочность их в 2,6 раза выше, чем у гранул состава 4 (см. табл.).

Было исследовано влияние формы гранул на их прочность. Гранулы глыбообразной формы, приближающиеся к сферической, имеют более высокие механические характеристики. С ростом изометричности гранул заполнителя возрастает их прочность на раздавливание.

Изометричность гранул оценивается по зависимости

$$J = \frac{1{,}206}{S}\sqrt[3]{\frac{M^2 N}{Q^2}}, \qquad (2)$$

где M — масса заданного количества гранул, г; N — число гранул; Q^2 — сумма площадей проекции; S — суммарная площадь проекции свободно рассыпанных на горизонтальной поверхности гранул.

Как следует из рисунка, механическая прочность является возрастающей функцией от изометричности гранул и их диаметра. Наиболее прочными являются гранулы диаметром 15 мм, что послужило обоснованием для их дальнейшего исследования. В ходе экспериментального исследования по ГОСТ 9757—90 определилась морозоустойчивость гранул путем попеременного замораживания и оттаивания гранул в перфорированных цилиндрических контейнерах.

Гранулы на основе песка и фенольных смол показали высокие морозостойкие свойства по сравнению с гранулами на основе песка и цемента. Объяснение этому — различность свойств поверхности этих компонентов. Гидрофильная шлако-цементная композиция способствует миграции молекул H_2O в микропоры и трещины, а гидрофобная поверхность фенольных смол с песком блокирует движение вглубь тела молекул воды.

На образцах восьмерках исследовалась адгезионная прочность композита гранула — цементный камень. Установлено, что прочность удерживания гранул в цементном камне составляет 6,9 МПа для состава песок — 95 %, смолы фенольные — 5 % и 6,5 МПа для состава шлак металлургический — 90 %, цемент — 10 %.

С целью повышения гидрофобных свойств бетонных изделий нами была разработана технология введения в цементный камень минерального гидрофобизатора — серы. Сущность технологии заключается в смешивании порошка серы с водным 10% раствором мочевины в шаровой мельнице с фарфоровыми шарами в течение 15 минут. Полученная суспензия добавляется в цемент. Образцы (кубики 100×100×100 мм) сушились при температуре t = 6 °С до полной потери влаги после термовлажностной обработки в пропарочной камере. После этого кубики термообрабатывались в печи при t = 119 °С. Результатом этой операции было покрытие раствором серы стенок микропор. Кубики замачивались в воде до набора постоянной массы и испытывались на сжатие на прессе с усилием 10 т. Анализ полученных данных показал, что замачивание в воде практически не отразилось на прочностных показателях образцов.

В результате проведенных исследований был предложен состав бетона для производства дорожного бордюра: цемент М300 — 0,25 м^3, вводная 25% суспензия серы — 0,18 м^3, заполнитель из гранул на основе песчано-фенольной

смеси с соотношением 9,5 : 0,5 — 0,9 м^3, песок кварцевый — 0,43 м. Бетон заливается в форму на вибростоле, изделие после формования помещается в пропарочную камеру, а затем в печь при $t = 119$ °С . Полученные бордюрные камни прошли натурные испытания на участке дороги, где одновременно были установлены стандартные бордюры. Проведенные испытания показали, что опытные бордюры после 2-летней эксплуатации сохранили исходные параметры, в то время как стандартные имели трещины и разрушения в виде сколов.

Проведенные исследования позволили разработать состав бетона для изготовления бордюрного камня с высокими эксплуатационными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зайцев Ю. В.* Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. М. : Стройиздат, 1982. 196 с.

2. *Ленг Ф. Ф.* Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице // Композиционные материалы. Т. 5. Разрушение и усталость. М., 1978. С. 11—57.

3. Гранулирование материалов из техногенного сырья — один из эффективных способов получения заполнителей и расширения сырьевой базы строительных композитов / Д. А. Гусельников, И. В. Надеева, А. К. Акчурин, В. В. Гузев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. № 13. С. 92—95.

4. *Пушкарев О. И., Шумячер В. М.* Методы и средства контроля физико-механических характеристик абразивных материалов : монография. Волгоград : ВолгГАСУ, 2004. 144 с.

1. *Zaytsev Yu. V.* Modelirovaniye deformatsi i prochnosti betona metodami mekhaniki razrusheniya. M. : Stoyizdat, 1982. 196 s.

2. *Leng F. F.* Razrusheniye kompozitov s dispersnymi chastitsami v khrupkoy matritse // Kompozitsionnyye materialy. T. 5. Razrusheniye i ustalost. M., 1978. S. 11—57.

3. Granulirovaniye materialov iz tekhnogennogo syrya — odin iz effektivnykh sposobov polucheniya zapolniteley i rasshireniya syrevoy bazy stroitelnykh kompozitov / D. A. Guselnikov, I. V. Nadeyeva, A. K. Akchurin, V. V. Guzev // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2009. № 13. S. 92—95.

4. *Pushkarev O. I., Shumyacher V. M.* Metody i sredstva kontrolya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik abrazivnykh materialov : monografia. Volgograd : VolgGASU, 2004. 144 s.

© Гусельников Д. А., Шумячер В. М., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Гусельников Д. А., Шумячер В. М. Повышение эксплуатационных показателей изделий из бетонов, функционирующих в условиях интенсивных механических, температурно-влажностных воздействий и агрессивных сред // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 192—196.

УДК 621.923

В. М. Шумячер, А. В. Славин, А. В. Кадильников

КОНТАКТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ ШЛИФОВАНИИ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены контактные взаимодействия пары абразив — металл при шлифовании, описаны процессы, сопровождающие стружкообразование, установлены энергетические параметры процесса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: шлифование, ударные импульсы, удельная энергия, врезание.

The contact interactions of ыabradant — metal pair are considered by the glazing. The processes which are tracked the chip formation are discussed. The energy parameters for the process are given.

K e y w o r d s: glazing, shock pulses, energy density, penetration.

Процесс шлифования характеризуется разрушением обрабатываемой поверхности и рабочего профиля инструмента, который протекает в виде износа, микроскалывания, вырыва абразивных зерен из связки. Преобладание одного из приведенных видов износа регламентируется характером физико-химических явлений в контакте абразивное зерно — металл. Взаимодействие абразивного зерна и обрабатываемого материала при шлифовании имеет характер пластического удара [1]. По данным [2], в момент врезания абразивного зерна в металл в нем возникают зоны текучести. Источником действующих при шлифовании сил являются волновые ударные импульсы [2]. В работе [2] было показано, что поверхность абразивного зерна испытывает давление, превышающее временное сопротивление обрабатываемого материала. Удельная мощность взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого металла при шлифовании может быть определена из зависимости

$$N_{уд} = K_{Vp}\sigma_{В}V \sin \alpha, \quad (1)$$

где K_{Vp} — коэффициент, учитывающий рост давления в контакте зерно — металл; $\sigma_{В}$ — временное сопротивление разрушению обрабатываемого металла; α — средний угол наклона контакта абразивного зерна к поверхности детали; V — скорость резания.

После преобразований (1) получим зависимость для расчета удельной энергии шлифования

$$E_{уд} = K_{Vp}\sigma_{В}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что удельная энергия шлифования снижается при уменьшении временного сопротивления разрушению обрабатываемого металла и коэффициента K_{Vp}.

Из (1) и (2) видно, что между K_{Vp} и V существует обратная пропорциональная зависимость.

Для экспериментальной проверки наших теоретических положений шлифовали сталь 65Г ($\sigma_{В}$ = 980 Н/мм^2) кругом 24А25СМ1К со скоростями 20 и 100 м/с на специальном стенде, обеспечивающем скорость вращения круга от 15 до 150 м/с.

В результате расчетов установлено, что при скорости шлифования 20 м/с $K_{Vp} = 20$, мощность шлифования $N = 235{,}2$ кВт, а удельная энергия шлифования $E = 19{,}6$ Дж/мм^3. При увеличении скорости шлифования до 100 м/с, $K_{Vp} = 4$, $N = 121{,}5$ кВт, $E = 3{,}92$ Дж/мм^3.

Ранее авторами [3] исследовалась режущая способность абразивных зерен 24А25 на приборе РСЗ-2 при шлифовании образца 65Г. Сущность метода заключалась в обработке образца уплотненным (центробежными) силами слоя абразивных зерен, т.е. полностью исключалось влияние связки, структуры инструмента.

Установлено, что удельная энергия шлифования для скорости 20 м/с равна 739 Дж/мм^3, что ~ на 3,73 больше, чем при работе шлифовальным кругом. Этому, на наш взгляд, служат следующие причины. При испытаниях на РСЗ-2 контакт абразивных зерен с образом характеризуется непрерывностью и стабильностью. При шлифовании взаимодействие абразивного зерна состоит из трех последовательных стадий: ударного врезания, перемещения, выхода из контакта. Время взаимодействия зерна и металла ~ 10^{-5} с, что соответствует реализации условий, при которых происходит реакция взрыва [1]. Согласно модели стружкообразования [1] удаление фрагмента обрабатываемого металла регламентируется соотношением h/ρ (h — глубина внедрения абразивного зерна, ρ — радиус закругления зерна) и V (скорость взаимодействия пары зерно — металл). Большая часть энергии взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого металла затрачивается на пластическое деформирование обрабатываемого материала, что приводит к его разогреву и, соответственно, изменению физико-механических свойств. Сопоставив данные расчетов, выполненных по результатам наших экспериментов, при шлифовании стали 65Г с данными [3], можно отметить, что повышение скорости взаимодействия пары зерно — металл приводит к снижению удельной энергии диспергирования обрабатываемого материала. Объяснением этому, на наш взгляд, служит эффект роста плотности энергии в микрообъеме перед зерном, что вызывает изменение (повышение пластичности) физико-механических свойств обрабатываемого металла. Проявление этого эффекта в уменьшении соотношений h/ρ, при котором отделяется микростружка с ростом скорости шлифования.

При повышении температуры у большинства материалов уменьшаются механические характеристики прочности. Например, у стали марки СТ3 при $T = 500$ °С $\sigma_т = 1400$ МПа, $\sigma_в = 250$ МПа, при $T = 600$ °С $\sigma_т = 40$ МПа, $\sigma_в = 150$ МПа, т. е. предел текучести $\sigma_т \rightarrow 0$ и при 600…650 °С наступает температурная пластичность.

С ростом давления затруднен процесс зарождения микротрещины, связанной с дисклокацией, в ОЦК металлах. Более того, для заданной величины внешнего сдвигового напряжения существует давление, выше которого зарождение дислокации по механизму Коттрелла в ОЦК кристалле невозможно.

Предполагая, что при высокоскоростных режимах абразивной обработки поверхностный слой пребывает в псевдоожиженном состоянии, рассмотрим процесс образования поверхности с энергетической точки зрения. Основываясь на рассуждениях А. С. Ахматова, введем понятие переходного слоя, т.е. тонкого поверхностного слоя, толщиной не превышающего радиуса молеку-

лярного действия. Согласно исследованиям эти слои имеют иную структуру и иные физические свойства, чем вещество внутри фазы. Преобразовываем уравнение Гиббса — Гельмгольца

$$U = H - T\frac{dS}{dT} \tag{3}$$

для определения полной энергии системы к виду

$$U = \sigma - T\frac{d\sigma}{dT}. \tag{4}$$

Величина $-\frac{d\sigma}{dT}$ может быть найдена из зависимости $\sigma = f(T)$, которая в широком интервале температур принимается линейной: $\sigma = \sigma_0 - \beta t$. Здесь σ_0 — поверхностное натяжение при 0 °С. Следовательно, с повышением температуры σ падает, в связи с тем, что ослабевает межатомное взаимодействие как следствие увеличения межатомного расстояния. Тогда

$$\frac{d\sigma}{dT} = -\beta \text{ и } U = \sigma + \beta T.$$

Таким образом, для изотермического образования 1 см^2 поверхности затрачивается механическая работа, равная свободной энергии поверхности σ и тепловая энергия, равная связанной энергии поверхности $-\frac{d\sigma}{dT}$.

Полная энергия поверхностного слоя не зависит от температуры. Поскольку $\frac{d\sigma}{dT} = -\beta$, соответственно $\frac{d^2\sigma}{dT^2} = 0.$ С другой стороны, из (4) следует $\frac{d\sigma}{dT} = -T\frac{d^2\sigma}{dT^2}$, следовательно, $\frac{dU}{dT} = 0,\ U = \text{const}.$

Обладая избыточной свободной энергией, псевдоожиженный поверхностный слой активно участвует во взаимодействиях, ключевая роль в которых принадлежит поверхностным явлениям.

Проведенные исследования показывают, что процесс стружкообразования регламентируется интенсивностью взаимодействия пары зерно — металл и является результатом накопления энергии перед абразивом, приводящим к развитию в деформируемом объеме зон текучести, имеющим существенно измененные физико-механические характеристики обрабатываемого металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шумячер В. М., Кадильников А. В.* Модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала при шлифовании. Схема стружкообразования // Технология машиностроения. 2007. № 4. С. 18—22.

2. *Репко А. В., Кирьянов А. Г.* Экспериментальное определение величины силы удара алмазного зерна при шлифовании // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы : сб. ст. Международной научно-технической конференции «Шлифабразив-2004». Волжский : ВИСТех (филиал) ВолгГАСУ, 2004. С. 238—242.

3. *Пушкарев О. И., Шумячер В. М.* Методы и средства контроля физико-механических характеристик абразивных материалов : монография. Волгоград : ВолгГАСУ, 2004. 144 с.

1. *Shumyacher V. M., Kadilnikov A. V.* Model vzaimodeystviya abrazivnogo zerna i obrabatyvayemogo materiala pri shlifovanii. Skhema ctruzhkoobrazovaniya // Tekhnologiya mashinostroyeniya. 2007. № 4. S. 18—22.

2. *Repko A. V., Kiryanov A. G.* Experimentalnoye opredeleniye velichiny sily udara almaznogo zerna pri shlifovanii // Protsessy abrazivnoy obrabotki, abrazivnyye instrumenti i materialy : sb. st. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferensii «Shlifabraziv-2004». Volgski : VISTekh (filial) VolgGASU, 2004. S. 238—242.

3. *Pushkarev O. I. Shumyacher V. M.* Metody i sredstva kontrolya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik abrazivnykh materialov : monografiya. Volgograd : VolgGASU, 2004. 144 s.

© Шумячер В. М., Славин А. В., Кадильников А. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Шумячер В. М., Славин А. В., Кадильников А. В. Контактные взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью при шлифовании металлов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 197—200.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 620.92: 697.7

В. М. Фокин, Е. В. Бодрова

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрена энергоэффективная схема альтернативного использования геотермальных источников энергии для системы теплоснабжения, описаны принцип работы тепловой сети и преимущества предложенной схемы по сравнению с традиционной системой теплоснабжения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: система теплоснабжения, тепловой насос, ветроэнергетическая установка, чистый дисконтированный доход, индекс рентабельности.

The energy-efficient scheme for the alternative uses of the geothermal energy resources for the heat supply system is described. The operating principle of the heating system and the advantages of the initiated system in comparison with traditional heat supply system are discussed.

K e y w o r d s: heat supply system, heat pump unit, aerogenerator, net present value, profitability index.

Современные системы теплоснабжения, отопления, горячего водоснабжения работают на традиционных ископаемых видах топлива — природный газ, нефть, уголь, — на долю которых приходится более 80 % производства энергии.

Основой современной энергетической политики стали меры, направленные на повышение эффективности использования энергии, энергосбережение, а также на сокращение или ослабление воздействия энергетических объектов на окружающую среду. Такая стратегия характерна для альтернативных источников энергии. В связи с этим в статье рассмотрены геотермальная энергетика и ветроэнергетика.

Практически на всей территории России имеются уникальные запасы геотермальной тепловой энергии с температурой теплоносителя (вода, двухфазный поток и пар) от 30 до 200 °С.

Геотермальная энергетика не зависит от наземного режима окружающей среды (солнце, ветер, океанические факторы и др.) и способна радикально на наиболее экономичной основе решить проблемы энергоснабжения и теплоснабжения, в первую очередь, отдаленных районов страны, которые пользуются дорогостоящим привозным топливом (мазут, уголь, дизельное топливо) и практически находятся на грани энергетического кризиса.

Геотермальная энергия имеет четыре выгодные отличительные черты. Во-первых, ее запасы практически неисчерпаемы. Во-вторых, геотермальная энергия довольно широко распространена. В-третьих, использование геотермальной энергии не требует больших издержек, т.к. это созданный самой природой источник энергии. В-четвертых, геотермальная энергия в экологическом отношении совершенно безвредна и не загрязняет окружающую среду.

Активно развиваются геотермальные системы теплоснабжения с тепловыми насосами, где в качестве источника теплоты используется низкопотенциальная геотермальная вода. Новейшие энергетические технологии отличаются экологической чистотой и по эффективности приближаются к традиционным.

Мероприятия по энергосбережению на территории Волгоградской области возможно осуществлять путем внедрения гидротермальных источников энергии и ветроэнергетических установок.

Учитывая актуальность АИЭ, предлагаем в качестве мероприятия по энергосбережению внедрение энергоэффективной схемы альтернативного использования геотермальных источников для систем теплоснабжения.

Энергоэффективная схема альтернативного использования геотермальных источников (рис. 1) в системах теплоснабжения может быть использована для теплоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства, административно-производственных корпусов, промышленных предприятий и т.п.

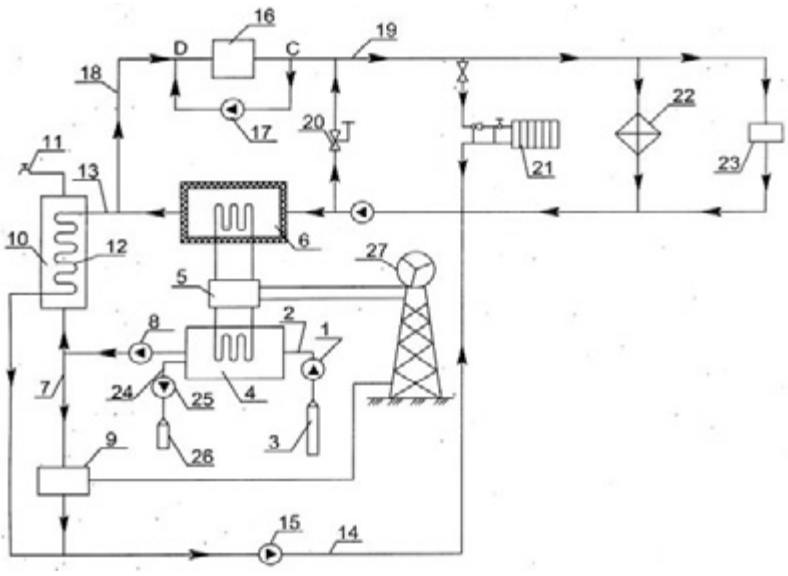


Рис. 1. Энергоэффективная схема альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения: *1* — погружной насос; *2*, *7*, *13*, *14*, *18*, *24* — трубопроводы; *3* — артезианская скважина; *4* — железобетонный резервуар; *5* — тепловой насос; *6* — промежуточный резервуар; *8* — сетевой насос; *9* — устройство химической водоочистки (ХВО); *10* — бак-аккумулятор; *11* — водоразборный кран; *12* — змеевик; *15* — подпиточный насос; *16* — водяной котел системы теплоснабжения с газовой горелкой; *17* — рециркуляционный насос; *19* — подающий трубопровод теплосети; *20* — регулятор температуры в системе теплоснабжения; *21* — радиаторы системы отопления; *22* — калориферы системы вентиляции; *23* — другие потребители систем теплоснабжения; *25* — погружной насос; *26* — поглощающая скважина; *27* — ветроэнергетическая установка; *CD* — циркуляционный контур

Энергоэффективная схема альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения содержит погружной насос, водогрейный котел с газовой горелкой, линию рециркуляции с рециркуляционным насосом, регулятор температуры, автономную ветроэнергоустановку с аккумулирующим устройством, поглощающую скважину, дополнительно содержит железобетонный резервуар, теплоизолированный резервуар, тепловой насос, соединенный трубопроводами с железобетонным и теплоизолированным резервуарами, при этом железобетонный резервуар соединен трубопроводами с сетевыми насосами с устройством химводоочистки, с погружной скважиной и с баком-аккумулятором, снабженным водоразборным краном, с размещенным внутри змеевиком, соединенным на входе трубопроводом с теплоизолированным резервуаром, а на выходе трубопроводом, снабженным подпиточным насосом, с системой теплоснабжения потребителей тепловой энергии, которая оснащена регулятором температуры, при этом регулятор температуры установлен в системе теплоснабжения.

Усовершенствованная схема альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения использует в качестве источника исходной воды воду артезианских скважин и установку химической водоподготовки, осуществляемой электромагнитным способом и предназначенной для удаления из воды солей жесткости Ca и Mg, что позволяет исключить накипеобразование на стенках водогрейного котла и снизить коррозию на трубопроводах и другом технологическом оборудовании.

Бак-аккумулятор, снабженный водоразборным краном и размещенным внутри змеевиком, используется для покрытия «пиковых нагрузок» и обеспечения потребителя горячей водой. Нагрев исходной воды, поступающей в бак, осуществляется за счет теплопередачи высокотемпературного теплоносителя, поступающего в змеевик из теплоизолированного промежуточного резервуара. Обеспечение потребителя горячей водой направлено на расширение технологических возможностей устройства и повышение эффективности его работы.

Использование регулятора температуры, установленного на подающем трубопроводе, позволяет осуществлять регулирование температуры воды в системе теплоснабжения потребителей тепловой энергии.

Энергоэфективная схема альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения обеспечивает снижение коррозии технологического оборудования, имеет возможность покрывать «пиковые» нагрузки с обеспечением потребителя горячей водой и регулированием температурных параметров в системе теплоснабжения потребителей тепловой энергии, что способствует повышению долговечности работы геотермального устройства.

Энергоэффективная схема использования геотермальных источников в системах теплоснабжения (геотермальное устройство) содержит (см. рис. 1): погружной насос *1* для подачи пластовой жидкости по трубопроводу *2* из артезианской скважины *3* в железобетонный резервуар *4*, предназначенный для хранения исходной воды, тепловой насос *5*, предназначенный для преобразования низкотемпературного теплоносителя (исходной воды) в

высокотемпературный, который соединен трубопроводами с железобетонным резервуаром *4* и теплоизолированным промежуточным резервуаром *6*, предназначенным для хранения и предотвращения охлаждения подогретого теплоносителя.

Железобетонный резервуар *4* соединен трубопроводом *7*, снабженным сетевым насосом *8*, с устройством химической водоочистки (ХВО) *9* и системой горячего водоснабжения, предназначенной для снабжения потребителя горячей водой, включающей бак-аккумулятор *10*, снабженный водоразборным краном *11*, с размещенным внутри змеевиком *12*, соединенным на входе трубопроводом *13* с теплоизолированным промежуточным резервуаром *6*, а на выходе трубопроводом *14*, снабженным подпиточным насосом *15*, с системой теплоснабжения потребителей тепловой энергии, предназначенной для отопления, вентиляции и на другие промышленные нужды.

Система теплоснабжения включает водяной котел *16* с газовой горелкой, предназначенный для нагрева воды, снабженный рециркуляционным контуром CD с рециркуляционным насосом *17* для поддержания заданной температуры в котле *16*, и соединенный трубопроводом *18* с теплоизолированным промежуточным резервуаром *6* и подающим трубопроводом *19* с регулятором температуры *20* в системе теплоснабжения потребителей тепловой энергии: радиаторами системы отопления *21*, калорифером системы вентиляции *22* и другими промышленными нуждами *23*.

Кроме того, железобетонный резервуар *4* соединен трубопроводом *24*, снабженным погружным насосом *25*, с поглощающей скважиной *26*, предназначенной для закачки излишка артезианской воды. Энергоснабжение геотермальной установки осуществляется от ветроэнергетической установки с аккумулирующим устройством *27*.

Геотермальная установка работает следующим образом.

Пластовая жидкость из артезианской скважины *3* погружным насосом *1* по трубопроводу *2* подается в железобетонный резервуар 4, откуда посредством сетевого насоса *8* по трубопроводу подается в бак-аккумулятор *10* системы горячего водоснабжения и по трубопроводу *7* в устройство химводоочистки *9*, а затем умягченная и очищенная от солей жесткости Са и Mg посредством подпиточного насоса *15* по трубопроводу *14* подается в теплоизолированный промежуточный резервуар *6*. С помощью теплового насоса *5* умягченная вода в теплоизолированном промежуточном резервуаре *6* нагревается до температуры 60—65 °С и поступает в систему горячего водоснабжения в змеевик *12*, где отдает свою теплоту холодной артезианской воде и обратно возвращается в теплоизолированный промежуточный резервуар *6* по трубопроводу *14*.

Так же нагретая вода из теплоизолированного промежуточного резервуара *6* по трубопроводу *18* поступает в водогрейный котел *16*. Циркуляционный контур СД с рециркуляционным насосом *17* обеспечивает на входе в котел заданную температуру, которая должна быть не ниже 70 °С, что позволяет исключить низкотемпературную коррозию в водогрейном котле *16*.

Из водогрейного котла *16* вода по подающему трубопроводу *19* поступает в радиаторы системы отопления *21*, калорифер системы вентиляции *22* и на другие промышленные нужды *23*.

Регулирование температуры в подающем трубопроводе *19* системы теплоснабжения обеспечивается с помощью регулятора температуры *20*. Из системы теплоснабжения отработанная вода возвращается по трубопроводу в теплоизолированный промежуточный резервуар *6*.

Таким образом, энергоэффективная схема альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения позволяет повысить долговечность и надежность геотермального устройства за счет использования устройства химводоочистки, позволяющего исключить накипеобразование на стенках водогрейного котла, снизить коррозию оборудования и повысить эффективность работы геотермального устройства.

Усовершенствованная схема альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения, ветроэнергетической энергии может быть использована для теплоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства, административно-производственных корпусов, промышленных предприятий, аграрно-промышленного комплекса и т. п.

Применение данной схемы системы теплоснабжения объектов подземного газового хранилища с использованием низкопотенциального источника теплоты и ветроэнергетической установки по сравнению с традиционной обладает следующими преимуществами:

использование низкопотенциальной тепловой энергии земли;

получение нагретой воды с использованием теплового насоса с коэффициентом преобразования энергии 4—6;

использование ветроэнергетической установки для работы теплового насоса;

предложенная схема теплоснабжения позволяет снизить расход природного газа на работу водогрейного котельного агрегата;

повышение эксергетического КПД системы теплоснабжения.

С целью технико-экономического обоснования применения усовершенствованной схемы рассчитаны показатели экономической эффективности альтернативных источников энергии в системах горячего водоснабжения.

Оценка эффективности использования средств, направляемых на реализацию энергосберегающих мероприятий, производится на основе следующей системы показателей: инвестиции, годовое сбережение от внедрения мероприятия, срок окупаемости и прибыльность мероприятия.

В статье рассмотрены три способа получения необходимого количества тепловой энергии на горячее водоснабжение для схемы, показанной на рис. 1:

1) приготовление горячей воды посредством водогрейного котла;

2) приготовление горячей воды за счет теплового насоса;

3) приготовление горячей воды за счет теплового насоса, снабжаемого электроэнергией посредством ветроэнергетической установки (ВЭУ).

Расчет показателей экономической эффективности сведен в таблицу. Для экономического обоснования номинальная процентная ставка принята равной 33 %, уровень инфляции 4,8 %. На рис. 2 приведен график зависимости чистого дисконтированного дохода *NPV* при внедрении оборудования от времени эксплуатации оборудования *t*.

Расчет показателей экономической эффективности

Год, t	Инвестиции I_0, тыс. руб.		Экономия B, тыс. руб.		Дисконтированная экономия, тыс. руб.		NPV при ТН, тыс. руб.	NPV при ТН и ВЭУ, тыс. руб.
	ТН	ТН и ВЭУ	ТН	ТН и ВЭУ	ТН	ТН и ВЭУ		
0	1289,4	4689,4	0	0	0,0	0,0	−1289,4	−4689,4
5	—	—	−221,1	1585,4	−66,9	479,9	−1860,6	−594,9
10	—	—	−221,1	1585,4	−20,3	145,2	−2033,4	644,4
15	—	—	−221,1	1585,4	−6,1	43,9	−2085,8	1019,6
20	—	—	−221,1	1585,4	−1,9	13,3	−2101,6	1133,1
25	—	—	−221,1	1585,4	−0,6	4,0	−2106,4	1167,5
Итого:					**−817,0**	**5856,9**	**−50 975,2**	**3177,9**

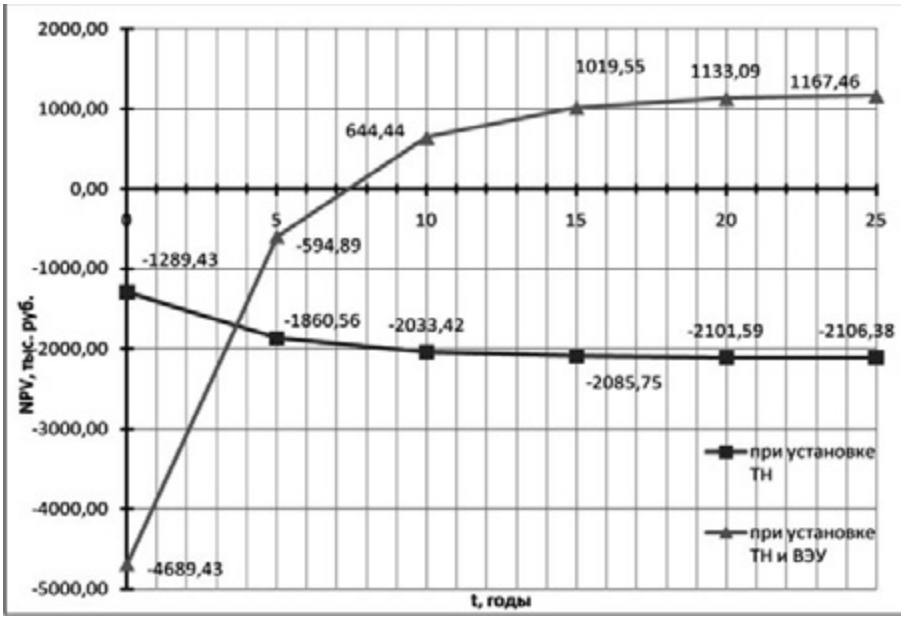


Рис. 2. График зависимости NPV при внедрении оборудования от времени t

На основе рассчитанных показателей экономической эффективности можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее рентабельным энергосберегающим мероприятием является установка теплового насоса для преобразования низкопотенциальной теплоты артезианской воды в высокопотенциальную теплоту, энергоснабжение которого осуществляется от ветроэнергетической установки.

2. Динамический срок окупаемости DPP = 6,7 лет, т. е. период времени, по окончании которого чистый объем поступлений (доходов) перекрывает объем инвестиций (с учетом первоначального капитала) в проект, необходимый для возмещения затрат, относительно невелик, а проект является прибыльным.

3. Индекс рентабельности PI = 1,25, т. е. доходность инвестиций является высокой и проект является прибыльным, уровень риска невелик.

Сравнительный анализ эффективности внедрения данных энергосберегающих мероприятий показывает, что наиболее экономически целесообразным является внедрение тепловых насосов, энергоснабжение которых осуществляется от ветроэнергетической установки. В связи с тем, что данный проект внедрения оборудования является прибыльным, его следует принять в системах теплоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алхасов А. Б.* Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М. : Физматлит, 2008. 376 с.

2. *Безруких П. П., Стребков Д. С.* Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2005. 264 с.

3. *Титова Е. В., Фокин В. М.* Энергетический потенциал гидротермальных альтернативных источников энергии // Малоэтажное строительство в рамках национального проекта «Доступное и комфортное жилье — гражданам России»: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области : материалы Междунар. науч.-практич. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 315—317.

4. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006. 256 с.

5. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ : принят ГД ФС РФ 11.11.2009.

1. *Alkhasov A. B.* Geotermalnaya energetika: problemy, resursy, tekhnologii. M. : Fizmatlit, 2008. 376 s.

2. *Bezrukikh P. P., Strebkov D. S.* Vozobnovlyayemaya energetika: strategiya, resursy, tekhnologii. M. : GNU VIESKh, 2005. 264 s.

3. *Titova Ye. V., Fokin V. M.* Energeticheski potentsial gidrotermalnykh alternativnykh istochnikov energii // Maloetazhnoye stroitelstvo v ramkakh natsionalnogo proekta «Dostupnoye i komfortnoye zhile — grazhdanam Rossii»: tekhnologii i materialy, problemy i perspektivy razvitiya v Volgogradskoy oblasti : materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. Volgograd : VolgGASU, 2009. S. 315—317.

4. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. M. : Mashinostroyeniye-1, 2006. 256 s.

5. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneni v otdelnyye zakonodatelnyye akty Rossiyskoy Federatsii : Feder. zakon Ros. Federatsii ot 23 noyabrya 2009 g. № 261-FZ : prinyat GD FS RF 11.11.2009.

© Фокин В. М., Бодрова Е. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Фокин В. М., Бодрова Е. В. Энергоэффективные схемы альтернативного использования геотермальных источников для систем теплоснабжения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 201—207.

УДК 536.24

В. М. Фокин, П. А. Рощин, А. В. Ковылин

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПИРАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА КИПЯЩЕГО СЛОЯ В ТЕПЛОВЫХ И ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ

Представлен спиральный теплообменный аппарат кипящего слоя для утилизации вторичных энергетических ресурсов. Рассмотрена технология работы теплообменного аппарата кипящего, псевдоожиженного слоя.

К л ю ч е в ы е с л о в а: кипящий слой, теплообменный аппарат кипящего слоя, псевдоожиженый слой, утилизация вторичных энергетических ресурсов.

The spiraling heat-exchange apparatus of the boiling bed for the utilization of the secondary energy resources is described. The work technique of the heat-exchange apparatus of the boiling, fluid bed is discussed.

K e y w o r d s: boiling bed, heat-exchange apparatus of boiling bed, fluid bed, utilization of secondary energy resources.

Энергосбережение и оптимизация систем производства и распределения тепловой энергии, корректировка энергетических балансов позволяют улучшить перспективы развития теплоэнергетики и повысить технико-экономические показатели. Неотложная задача настоящего времени — за счет энергосберегающих технологий существенно снизить удельное энергопотребление во всех отраслях производства, на транспорте и в ЖКХ.

Температура уходящих топочных газов от теплогенераторов и тепловых установок составляет 120—180 °С, считается рентабельной и во многом зависит от состояния внутренней и внешней поверхности нагрева труб теплогенераторов и хвостовых поверхностей. Отложения накипи на внутренней поверхности стенок труб котла, а также сажи (летучей золы) на внешней поверхности нагрева существенно ухудшают коэффициент теплопередачи от топочных газов к воде и пару. Увеличение поверхности экономайзера, воздухоподогревателя для более глубокого охлаждения дымовых газов не является целесообразным, так как при этом уменьшается температурный напор и увеличивается металлоемкость [1].

Размещение поверхностей нагрева в псевдоожиженном (кипящем) слое позволяет значительно интенсифицировать внешний теплообмен. Теплообменный аппарат кипящего слоя, устанавливаемый на источник вторичных энергетических ресурсов (нагретые уходящие газы технологических агрегатов, вентиляционные выбросы) позволяет значительно интенсифицировать внешний теплообмен, снизить металлоемкость, предотвратить отложение сажи (летучей золы), а также процесс низкотемпературной коррозии на внешних стенках поверхностей нагрева.

Основными трудностями, стоящими на пути широкого внедрения данной технологии, являются высокая внешняя эрозия, вызывающая необходимость частого обновления поверхностей нагрева и большое гидравлическое сопротивление распределительной решетки и самого кипящего слоя.

Согласно [2] интенсивность внешней эрозии поверхностей нагрева, размещенных в кипящем слое, неравномерна по поверхности труб. При горизон-

тальном расположении поверхностей нагрева (одиночной трубы), зоны максимального износа находятся симметрично слева и справа от ее нижней образующей под углом π/8, но если трубу устанавливать под разными углами к горизонту, то в диапазоне угла (0—π/8) происходит постепенное «стягивание» зоны максимального износа в прямую линию и под углом π/8 к горизонту зона максимального износа совпадает с нижней образующей поверхности трубы. При достижении трубой вертикального положения интенсивность внешней эрозии становится одинаковой. Это свидетельствует о том, что вертикальные тубы подвержены существенно менее интенсивной внешней эрозии, чем горизонтальные и наклоненные.

В существующих теплообменных аппаратах кипящего слоя [4, 5] преобладает лучистый теплообмен, однако, если использовать теплообменный аппарат кипящего слоя для утилизации вторичных энергетических ресурсов систем вентиляции и кондиционирования, а также уходящих дымовых газов теплогенерирующих установок, преобладать будет кондуктивно-конвективный теплообмен и предложенные конструкции теплообменных аппаратов будут менее эффективными. Так же велика интенсивность внешней эрозии при предложенном расположении поверхностей теплообмена.

На рис. 1 приведен продольный и поперечный разрез спирального теплообменника кипящего слоя.

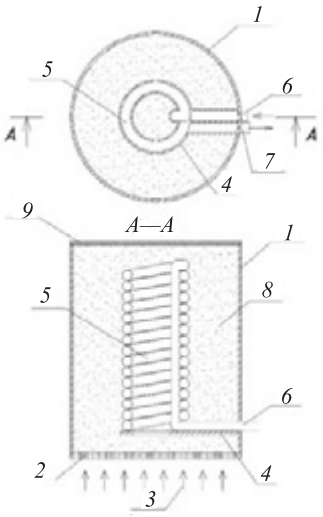


Рис. 1. Схема спирального теплообменника кипящего слоя: *1* — цилиндрический полый корпус; *2* — распределительная решетка; *3* — источник; *4* — стальная подставка; *5* — трубчатый цилиндрический змеевик; *6* — ввод; *7* — вывод; *8* — кипящий слой; *9* — заградительная решетка

Спиральный теплообменник кипящего слоя содержит цилиндрический полый корпус *1*, внутри которого размещены и жестко связаны с ним внизу распределительная решетка *2* с отверстиями диаметром 1,5—2,5 мм, к которой внизу присоединен источник *3* вторичного газообразного теплоносителя, на определенном расстоянии от решетки *2* стальная подставка *4*, на которой установлен соосно с корпусом и с отверстием в подставке *4* трубчатый цилиндри-

ческий змеевик *5*, ввод *6* и вывод *7* которого через боковое отверстие корпуса *1* выведены наружу с возможностью подачи в змеевик жидкости, нагреваемой кипящим слоем *8* со стеклянным шариками диаметром 2—3 мм, вверху корпуса *1* установлена заградительная решетка *9*.

Подача жидкости происходит через ввод *6* змеевика *5*, установленный на подставке *4*, защищающей горизонтальные участки змеевика от внешней эрозии, она нагревается, проходя через весь змеевик *5*, расположенный в кипящем слое *8* и выходит через вывод *7* змеевика *5*. Подача вторичного газообразного теплоносителя производится от источника *3* через распределительную решетку *2*. Заградительная решетка *9* препятствует выносу частиц кипящего слоя *8* за пределы корпуса *1*.

В настоящее время нет точных методик расчета теплообменников кипящего слоя. С целью разработки и определения методики расчета низкотемпературных теплообменников кипящего слоя разработана экспериментальная установка, представленная на рис. 2.

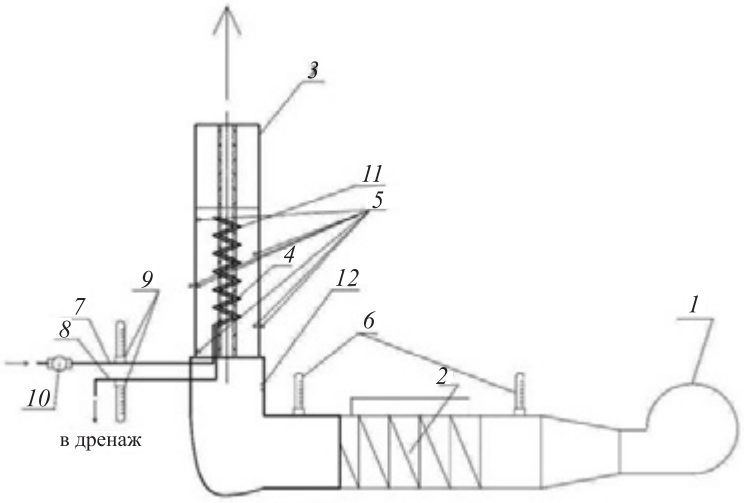


Рис. 2. Экспериментальная тепловая установка: *1* — вентилятор; *2* — электрический воздухонагреватель; *3* — корпус; *4* — смотровое стекло; *5* — термопары; *6* — термометры; *7* — подающий трубопровод; *8* — обратный трубопровод; *9* — термометры; *10* — водомер; *11* — спираль; *12* — точка измерения расхода воздуха

Экспериментальная установка состоит из высоконапорного вентилятора *1*, электрического воздухонагревателя *2*, корпуса *3*, состоящего из трубы круглого сечения Ду 100 мм и распределительной решетки внизу, для удобства наблюдения за кипящим слоем в корпус трубы вмонтировано смотровое стекло *4*, для измерения температуры по всей ширине слоя погружены термопары *5*, для измерения температуры наружного, нагретого воздуха применены термометры *6*, для измерения температуры теплоносителя на подающем *7* и обратном *8* трубопроводах установлены термометры *9*. Для учета расхода теплоносителя используется водомер *10*. Теплообменная поверхность, погруженная в кипящий слой, выполнена в виде спирали *11*. Расход воздуха измеряется в точке *12* при помощи трубки Пито и микроманометра.

Таким образом, при малой составляющей лучистого теплообмена, высокой интенсивности внешней эрозии оптимальной формой теплообменной поверхности, расположенной в кипящем слое, является спираль с защищенными горизонтальными поверхностями от внешней эрозии. Теплообменная поверхность в форме спирали позволяет значительно увеличить поверхность теплообмена, а также имеет малое количество горизонтальных поверхностей, подверженных высокой интенсивности внешней эрозии, при защите которых значительно повышается долговечность и надежность теплообменного аппарата кипящего слоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006.

2. *Воинов А. П.* Положение котельной трубы в кипящем слое и ее внешняя эрозия // Теплоэнергетика. 2003. № 8. С. 59—61.

3. *Красных В. Ю., Королев В. Н.* Оптимизация энергетических затрат на образование псевдоожиженного слоя при сохранении высокой интенсивности внешнего теплообмена // Промышленная энергетика. 2006. № 12. С. 30—33.

4. Инженерная методика и численные результаты расчетов топки котлоагрегата с циркулирующим кипящим слоем / А. Ю. Майстренко, Б. Б. Рохман, А. И. Топал, В. Г. Выфатюк, Н. В. Чернявский // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. № 5. С. 6—13.

5. Патент 914923 Союз Советских Социалистических Республик, МПК F 28 D 13/00//, F 23 C 11/02. Теплообменник / Н. В. Антонишин, В. А. Бородуля, В. С. Никитин, О. Г. Мартынов ; заявл. 27.06.80 ; опубл. 23.03.82.

6. Патент № 109835 РФ. Тепловая установка / В. М. Фокин, П. А. Рощин, А. В. Ковылин.

7. Патент № 109838 РФ. Спиральный теплообменник кипящего слоя / В. М. Фокин, П. А. Рощин, А. В. Ковылин.

1. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. M. : Mashinostroyeniye-1, 2006.

2. *Voinov A. P.* Polozheniye kotelnoy truby v kipyashchem sloye i yego vneshnyaya eroziya // Teploenergetika. 2003. № 8. S. 59—61.

3. *Krasnykh V. Yu., Korolev V. N.* Optimizatsiya energeticheskikh zatrat na obrazovaniye psevdoozhizhennogo sloya pri sokhranenii vysokoy intensivnosti vneshnego teploobmena // Promyshlennaya energetika. 2006. № 12. S. 30—33.

4. Inzhenernaya metodika i chislennyye rezultaty raschetov topki kotloagregata s tsirkuliruyushchim kipyashchim sloyem / A. U. Maystrenko, B. B. Rokhman, A. I. Topal, V. G. Vyfatyuk, N. V. Chernyavski // Energotekhnologii i resursosberezheniye. 2010. № 5. S. 6—13.

5. Patent 914923 Soyuz Sovetskikh Sotsialisticheskikh Respublik, MPK F 28 D 13/00//, F23 C 11/02. Teploobmennik / N. V. Antonishin, V. A. Borodulya, V. S. Nikitin, O. G. Martynov ; zayavl. 27.06.80 ; opubl. 23.03.82.

6. Patent № 109835 RF. Teplovaya ustanovka / V. M. Fokin, P. A. Roshchin, A. V. Kovylin.

7. Patent № 109838 RF. Spiralny teploobmennik kipyashchego sloya / V. M. Fokin, P. A. Roshchin, A. V. Kovylin.

© Фокин В. М., Рощин П. А., Ковылин А. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Фокин В. М., Рощин П. А., Ковылин А. В. Обоснование использования спирального теплообменника кипящего слоя в тепловых и теплогенерирующих установках // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 208—211.

УДК 699.86:691.175.5/.8

В. М. Фокин, М. А. Шило, В. Ф. Таранов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Приведены исследования теплофизических параметров многослойной полимерной системы теплоизоляции на ограждениях зданий и сооружений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ограждающие конструкции зданий; теплоизоляционный материал.

The researches of the rmophysical parameters of the multi-layer polymer system of the heat insulating for buildings fences are given.

K e y w o r d s: enclosure; thermal insulating material.

В связи с решением Правительства РФ [1, 2] о стимулировании энергосбережения и повышения энергетической эффективности были пересмотрены и приняты новые требования к тепловой защите зданий. Возникла необходимость в дополнительном утеплении зданий старой постройки, относящихся к низкому классу энергетической эффективности. Одними из основных видов утепления фасадов являются «мокрый» фасад (система крепления теплоизоляционного материала к поверхности стены с помощью клеевого состава и дюбелей, а также создание базового армированного слоя из декоративно-защитного штукатурного слоя) и «вентилируемый» фасад (система, состоящая из минераловатного утеплителя, прикрепленного стальным или алюминиевым каркасом к стене, снаружи облицованной декоративными панелями. В зазоре между утеплителем и панелями циркулирует воздух, который отстраняет конденсат и влагу от конструкции). В настоящее время появился новый тип теплоизоляции — «тонкопленочный» фасад, представляющий собой многослойную систему теплоизоляции, теплоизоляционный материал которой выбран из группы полимерных, отвердевающих на воздухе после нанесения на фасад. По заявлениям производителей, многослойная полимерная система теплоизоляции отвечает основным требованиям: нормируемому термическому сопротивлению; малой трудоемкости монтажа; она экономически эффективная, с низкой стоимостью материала и работ; создающая минимальные нагрузки на фундамент.

Многослойная полимерная система содержит последовательно расположенные слои: основание, в виде подготовленной поверхности; клеевой слой; основной слой теплоизоляции и защитно-декоративный слой.

В качестве клеевого слоя используется слой водно-дисперсной полиакриловой грунтовки толщиной 0,1...0,2 мм. В качестве основного слоя теплоизоляции применяется n количество тонких промежуточных слоев жидкого теплоизоляционного полимерного покрытия, а толщина одного тонкого слоя составляет (0,1±0,5) мм. Количество слоев определяется по формуле

$$n = R_{зад} / R_i, \quad (1)$$

где n — количество слоев; $R_{зад}$ — заданное термическое сопротивление; R_i — термическое сопротивление одного i-го слоя.

Многослойная полимерная система теплоизоляции приведена на рис. 1. Показана структура многослойной полимерной системы теплоизоляции ограждений, стен зданий и сооружений, которая содержит последовательно расположенные слои: *1* — основание в виде подготовленной поверхности, *2* — вспомогательный слой, состоящий из водно-дисперсионной полиакриловой грунтовки, *3* — основной слой теплоизоляции из жидкого теплоизоляционного полимерного покрытия, *4* — защитно-декоративный слой, выполненный из фасадной акриловой краски или из слоя гидрофобизатора.

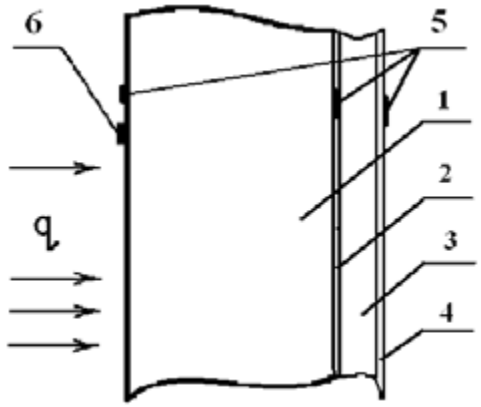


Рис. 1. Многослойная полимерная система теплоизоляции на стене здания: *1* — основание; *2* — вспомогательный слой; *3* — основной слой теплоизоляции; *4* — защитно-декоративный слой; *5* — датчики температуры; *6* — преобразователь тепловых потоков; *q* — удельный тепловой поток, Вт/м^2

Многослойную полимерную систему теплоизоляции наносят на фасад здания следующим образом. На подготовленную поверхность *1* наносится сплошным, равномерным слоем с помощью кисти, валика или краскопульта грунтовочный слой *2* из водно-дисперсионной полиакриловой грунтовки толщиной 0,1... 0,2 мм, с периодом сушки 2 часа. Затем происходит нанесение жидкого полимерного теплоизоляционного покрытия послойно в количестве слоев n и толщиной m, где $m = (0{,}4 \pm 0{,}1)$ мм, в зависимости от применяемого метода нанесения. Межслойная сушка полимерного покрытия при нормальных условиях составляет 24 часа. Количество слоев n вычисляется по формуле (1). Заключительным слоем служит защитно-декоративное покрытие *4* толщиной слоя 0,1...10 мм, направленное на решение повышения качества отделки поверхности и усиления атмосферостойчивости.

В работе была проведена серия испытаний в натурных условиях, определяющих коэффициент теплопроводности материала и эффективность снижения тепловых потерь ограждающей конструкции, которая достигается при использовании многослойной полимерной системы теплоизоляции. Объектом исследования послужило ограждение эксплуатируемого административного здания по адресу: г. Волгоград, ул. 25-летия Октября, дом № 1.

Продолжительность измерений в натурных условиях определяют по результатам предварительной обработки данных измерений в ходе испытаний,

при которых учитывают стабильность температуры наружного воздуха в период испытаний и в предшествующие дни и тепловую инерцию ограждающей конструкции.

Испытания проводят в периоды, когда разность среднесуточных температур наружного и внутреннего воздуха и соответствующий тепловой поток обеспечивают получение результата с погрешностью не более 15 %. Продолжительность измерений должна составлять не менее 15 суток.

Работа проводилась в соответствии с методическими рекомендациями [4, 5]. Эта методика основана на определении в ограждающей конструкции условий стационарного теплообмена и измерении температуры внутреннего и наружного воздуха, температуры поверхностей ограждающей конструкции, а также плотности теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию. По данным измерений вычисляют коэффициент теплопроводности и сопротивление теплопередаче наружного перекрытия.

Испытания по определению сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции проводились в угловой комнате на третьем этаже, ориентированной на северо-запад. Для испытаний выбраны две однотипные ограждающие конструкции, с внутренней стороны которых в помещениях поддерживают одинаковые температурно-влажностные условия.

С целью дополнительной изоляции наружного ограждения здания в январе 2010 г. было использовано полимерное покрытие (ТПП) «Астратек». Стена из силикатного кирпича толщиной 530 мм была покрыта четырьмя слоями ТПП общей толщиной 3 мм.

Замеры теплофизических параметров проведены с помощью:

прибора ИТП «Теплограф»;

цифрового термометра ТК 5.06;

измерителя универсального АТТ-9508.

В связи с невозможностью измерения температуры ограждающей конструкции с наружной стороны для выявления термических однородных участков были проведены измерения температуры внутренней поверхности. Преобразователи тепловых потоков закреплены на внутренней поверхности испытываемого ограждения не менее чем по два на каждой поверхности в соответствии с [4]. Инструментальные замеры параметров были произведены в двух выбранных точках стены до и после дополнительной изоляции.

В ходе работ были проведены измерения следующих теплофизических параметров:

плотность теплового потока стен, Вт/м^2;

температура поверхности стен внутри здания, °С;

температура поверхности стен снаружи здания, °С;

температура воздуха в помещении, °С;

температура окружающей среды, °С;

Результаты измерений приведены на графиках (рис. 2, 3). Длительность каждого испытания составила 16 дней, на рис. 2 и 3 представлена часть графика измерения температуры и теплового потока неизолируемой и изолируемой ограждающей конструкции здания.

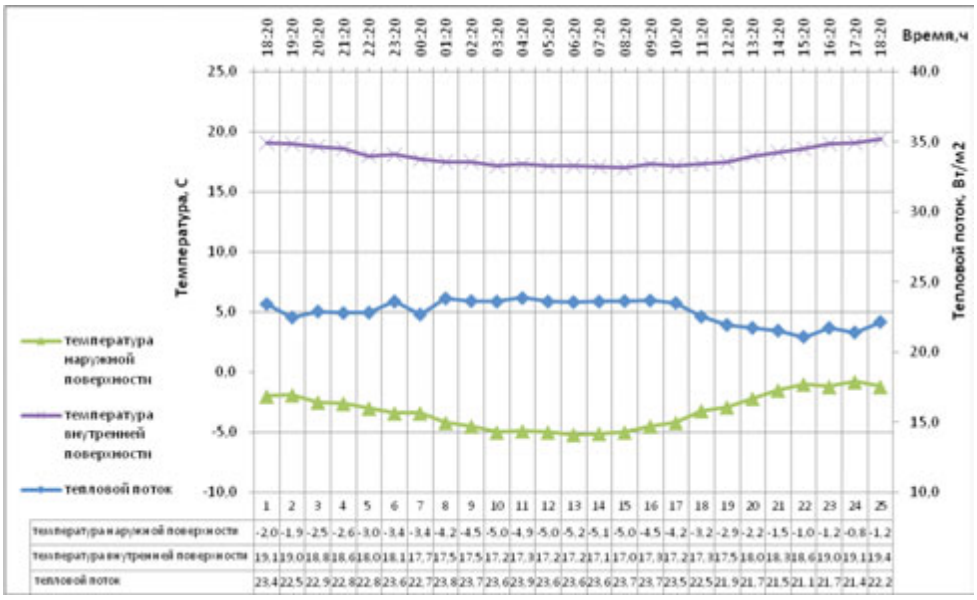


Рис. 2. График измерения температуры и теплового потока ограждения здания без дополнительной изоляции (02.11.2009 г.)

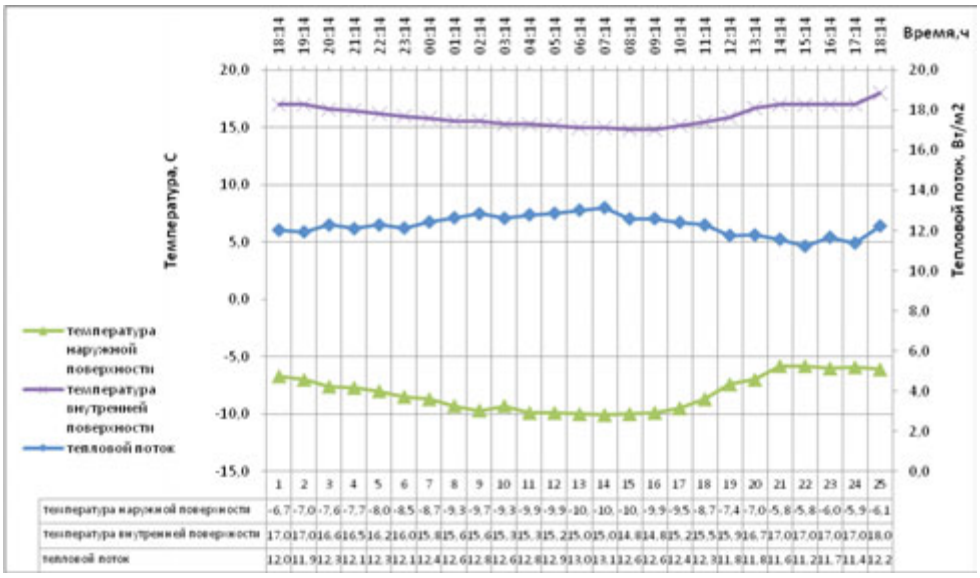


Рис. 3. График измерения температуры и теплового потока ограждения здания с дополнительной изоляцией (24.11.2009 г.)

На основании полученных данных произведен расчет:
изменений плотности теплового потока стен, Вт/м^2;
термического сопротивления участков стены, м^2 °С/Вт.
Термическое сопротивление стены без изоляции

$$R_1 = (t_{v1} - t_{n1})/q = (16-(-5))/31 = 0{,}68 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}, \quad (2)$$

где t_{v1} — температура поверхности стены внутренняя, °С; t_{n1} — температура поверхности стены наружная, °С; q — плотность теплового потока, Вт/м².

Термическое сопротивление стены с изоляцией

$$R_2 = (t_{v2}–t_{n2})/q = (16–(–6))/22 = 0{,}83 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}, \quad (3)$$

где t_{v2} — температура поверхности стены внутренняя, °С; t_{n2} — температура поверхности стены наружная, °С; q — плотность теплового потока, Вт/м².

Изменение термического сопротивления

$$R_3 = R_2 – R_1 = 0{,}83 – 0{,}68 = 0{,}15 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}. \quad (4)$$

Эффективный коэффициент теплопроводности стены без изоляции

$$\lambda_1 = \delta_1 / R_1 = 0{,}053 / 0{,}68 = 0{,}78 \text{ Вт/м °С}, \quad (5)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м °С); δ — толщина слоя, м; q — удельный тепловой поток, Вт/м².

Эффективный коэффициент теплопроводности стены с изоляцией

$$\lambda_2 = \delta_2 / R_2 = 0{,}533 / 0{,}83 = 0{,}64 \text{ Вт/м °С}, \quad (6)$$

где λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м °С); δ — толщина слоя, м; q — удельный тепловой поток, Вт/м².

Итоговые результаты проведенных замеров и вычислений приведены в табл.

Итоговые результаты проведенных замеров и вычислений

Параметры	Усредненные показатели	
	Стена без изоляции	Стена с изоляцией
1	2	3
Толщина стены, мм	530	533
Температура поверхности стены наружная, °С	–5	–6
Температура поверхности стены внутренняя, °С	16	16
Температура воздуха в помещении, °С	20	20,5
Градиент температур, °С	21	22
Плотность теплового потока, Вт/м²	31	22
Термическое сопротивление стены, м² °С/Вт	0,68	0,83
Изменение сопротивления стены, м² °С/Вт	0,15	
Эффективный коэффициент теплопроводности ограждающей конструкции здания, Вт/м °С	0,78	0,64

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение термического сопротивления стены при нанесении ТПП толщиной 3 мм составляет $\Delta R = 22$ %.

2. ТПП толщиной в 4 слоя (3±0,1 мм) обеспечивает эффективную тепловую защиту стен и может быть рекомендован к применению в качестве дополнительного теплоизоляционного материала ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Проведенные испытания показывают целесообразность применения ТПП «Астратек» в качестве дополнительной изоляции ограждающих конструкций здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. № 1234–р. «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года».

2. СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий : введен 01.10.2003 г. / Госстрой России.

3. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006.

4. ГОСТ 25380—82. Методы определения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции : введен 14.06.1982 г. / Государственный комитет СССР по делам строительства.

5. ГОСТ 26254—84. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций : введен 02.08.1984 г. / Государственный комитет СССР по делам строительства.

6. *Фокин В. М., Ковылин А. В.* Теплофизические исследования строительных материалов методом неразрушающего контроля с использованием тепломера // Теплофизические исследования и измерения в энергосбережении, при контроле, управлении и улучшении качества продукции и услуг : материалы Междунар. теплофиз. шк. Тамбов : ТГТУ, 2010. С. 23—26.

7. *Ковылин А. В., Михеев П. Ю.* Определение теплофизических свойств здания методом неразрушающего контроля // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., посвященной 80-летию строит. образ. и 40-летию архитектурного образ. Волгоградской обл. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. С. 180—183.

1. Rasporyazheniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 28 avgusta 2003 g. № 1234–r. «Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda».

2. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdani : vveden 01.10.2003 g. / Grosstroy Rossii.

3. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. M. : Mashinostroyeniye-1, 2006.

4. GOST 25380—82. Metody opredeleniya plotnosti teplovykh potokov, prokhodyashchikh cherez ograzhdayushchiye konstruktsii : vveden 14.06.1982 g. / Gosudarstvenny komitet SSSR po delam stroitelstva.

5. GOST 26254—84. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktsi : vveden 02.08.1984 g. / Gosudarstvenny komitet SSSR po delam stroitelstva.

6. *Fokin V. M., Kovylin A. V.* Teplofizicheskiye issledovaniya stroitelnykh materialov metodom nerazrushayushchego kontrolya s ispolzovaniyem teplomera // Teplofizicheskiye issledovaniya i izmereniya v energosberezhenii, pri kontrole, upravlenii i uluchshenii kachestva produktsii i uslug : materialy Mezhdunar. teplofiz. shk. Tambov : TGTU, 2010. S. 23—26.

7. *Kovylin A. V., Mikheyev P. Yu.* Opredeleniye teplofizicheskikh svoystv zdaniya metodom nerazrushayushchego kontrolya // Nauka i obrazovaniye: arkhitektura, gradostroitelstvo i stroitelstvo : materialy Mezhdunar. konf., posvyashchennoy 80-letiyu stroit. obraz. i 40-letiyu arkhitekturnogo obraz. Volgogradskoy obl. Volgograd : VolgGASU, 2010. S. 180—183.

© Фокин В. М., Шило М. А., Таранов В. Ф., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Фокин В. М., Шило М. А., Таранов В. Ф. Исследование теплофизических параметров многослойной полимерной теплоизоляции с целью обеспечения экологической безопасности // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 212—217.

УДК 628.511.13:697.98

В. Н. Азаров, А. Н. Богомолов, Н. М. Сергина, Н. А. Маринин, Н. И. Чижов

О ДИСПЕРСНОМ СОСТАВЕ ПЫЛИ В СИСТЕМАХ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОУБОРКИ

Произведена оценка дисперсного состава гипсовой пыли в инженерно-экологических системах с учетом колебания крупных частиц. Построены интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам. При проведении анализа использовался метод «рассечения», который позволяет оценить эффективность пылеулавливания.

К л ю ч е в ы е с л о в а : интегральная функция, пыль, гипсовый камень, диаметр, циклон.

The estimation of gypsum particle size distribution in engineering-ecological systems taking into account fluctuation of large particles is made. Integral functions of distribution of particles weight in the diameters are constructed. The “section” method which is allowed to estimate efficiency of the dust collecting is used at carrying out of the analysis.

K e y w o r d s : integral function, dust, gypsum rock, diameter, cyclone.

Для определения эффективности пылеулавливания аппаратов (ВЗП, циклон и т. д.) предложен метод «рассечения». В основе метода лежит идея о том, что поведение интегральной функции распределения в большей степени зависит от доли крупных частиц, а дисперсный состав мелких фракций постоянен. Это объясняется тем фактом, что даже одна крупная частица, единожды попавшая в пробу, способна изменить вид графика. Данный метод позволяет определить влияние на полученные результаты концентраций пыли, к примеру, d_{50}, $d_{84,1}$ и $d_{15,9}$ и т. д. Вследствие этого на основе рассмотрения функции прохода пыли как случайной предлагается построение графиков интегральных функций раздельно совокупности мелких и крупных фракций, что является основной задачей проведения метода «рассечения».

Для анализа эффективности работы циклона ЦН-15 на предприятии по производству гипса было проведено 12 анализов по 5 проб пыли, выделяющейся от источника пыления — дробилки гипсового камня. Результаты дисперсного анализа пыли гипсового камня представлены на рис. 1, 2.

В результате отобранных проб гипсовой пыли в инженерно-экологических системах выявлен значительный разброс частиц. Колебания интегральной функции распределения по диаметрам d_{50} составляют от 25 до 45 мкм при среднем значении 35 мкм.

Для применения метода «рассечения» [1] принимаем диаметр рассечения, равный критическому диаметру установленного циклона ЦН-15.

Определим критический диаметр:

$$d_{\text{крит}} = \sqrt{\frac{18\mu QR}{S\rho_{\text{п}}V_{\text{ц}}^2}}, \qquad (1)$$

где R — радиус вращения потока газа в циклоне, м; S — площадь осаждения, определяемая поверхностью корпуса циклона, м^2; $V_{\text{ц}}$ — скорость вращения запыленного газа, принимаемая равной скорости газа на входе в циклон, м/с; μ — динамическая вязкость газа, Па · с; Q — газовая нагрузка, м^3/с; $\rho_{\text{п}}$ — плотность пыли, кг/м^3.

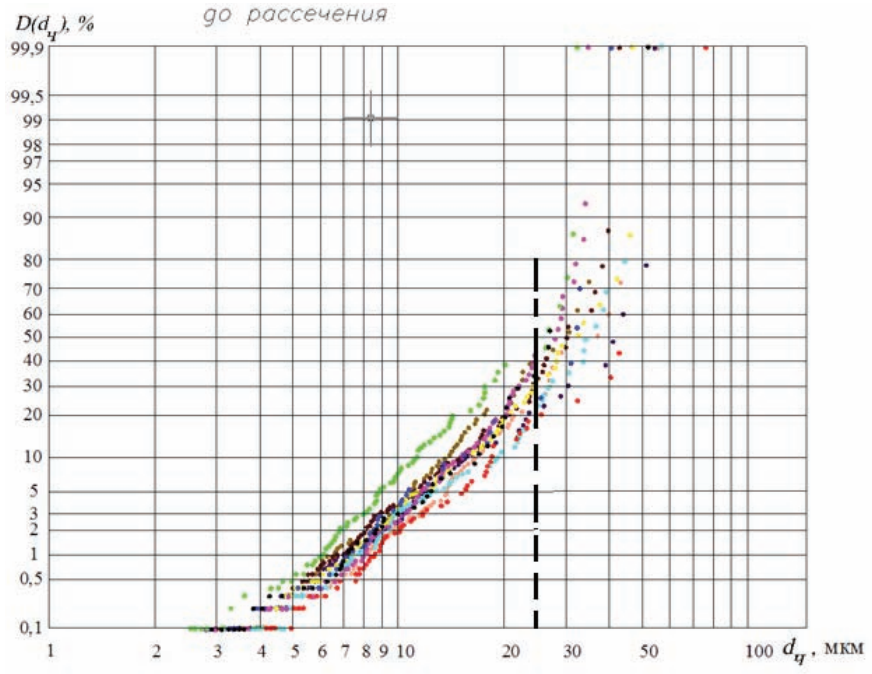


Рис. 1. Интегральные функции распределения массы частиц пыли по диаметрам. Пыль выделяется в воздух рабочей зоны от дробилки. Анализы пыли через каждые 15 мин

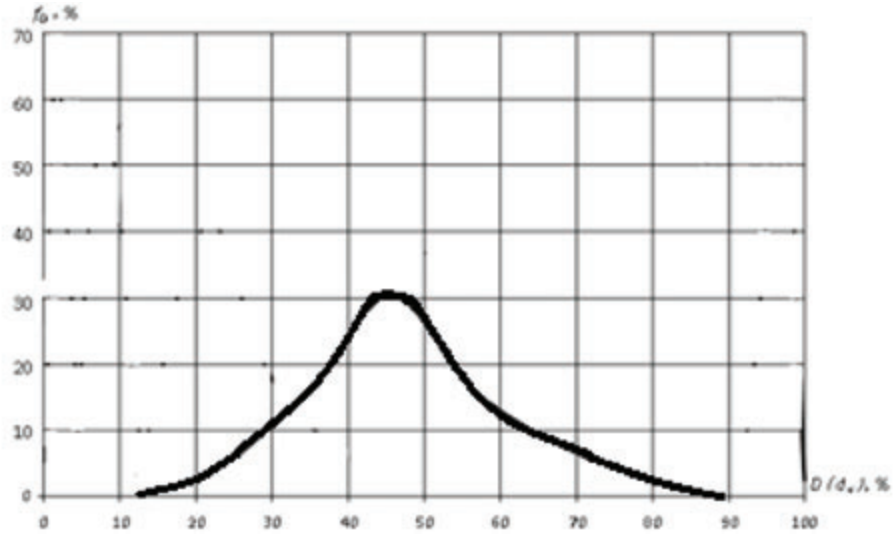


Рис. 2. Функция плотности распределения значений $D(d_ч)$ в сечениях случайной функции прохода $D(d_ч\omega)$ для гипсовой пыли 25 мкм

Подставляя все параметры, получаем критический диаметр, т. е. в нашем случае диаметр рассечения для ЦН-15 с диаметром 600 мм, равный 25 мкм. Всю совокупность частиц делим на две части: размеры менее критического диаметра $d_{кр}$ и более $d_{кр}$.

Проводим рассечение всех 12 проб на мелкие и крупные фракции, т. е. на фракции менее и более 25 мкм соответственно. Для мелких фракций определяем интегральную функцию распределения [1]:

$$D_{\text{м}}(d_{\text{ч}})\begin{cases}\dfrac{100}{D(d_p)}D(d_{\text{ч}}), \text{если } d_{\text{ч}} \le 25,\\ 0, \text{если } d_{\text{ч}} > d_p.\end{cases} \quad (2)$$

Соответственно для крупных фракций интегральная функция распределения имеет вид

$$D_{\text{кр}}(d_{\text{ч}})=\begin{cases}0, \text{если } d_{\text{ч}} \le d_p,\\ 100-(100\dfrac{100-D(d_{\text{ч}})}{100-D(d_p)}), \text{если } d_{\text{ч}} > 25.\end{cases} \quad (3)$$

Значения интегральной функции распределения мелких частиц (до 25 мкм) по диаметрам и вероятностный коридор распределения крупных фракций (более 25 мкм) после применения метода «рассечения» представлены на рис. 3.

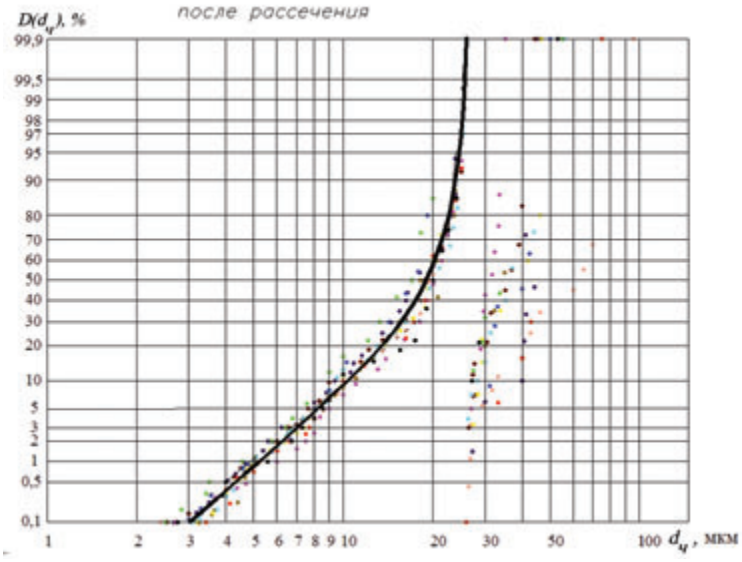


Рис. 3. Значения интегральных функций распределения для крупных и мелких частиц пыли (до 25 и более 25 мкм), выделяющейся в воздухе рабочей зоны от дробилки

Проведем расчет циклона. Приближенное определение эффективности улавливания пыли в циклоне может быть выполнено с помощью аналитического метода определения общей фракционной эффективности циклонов и представлено в виде [2]

$$\eta = 50[1 + \Phi(x)], \quad (4)$$

где $\Phi(x)$ — вероятностная функция;

$$x = \frac{\lg \dfrac{d_{50}}{d_{50ц} K 10^3 \sqrt{\dfrac{d_0 \mu}{\rho_m V_0}}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_ц + \lg^2 \sigma}}, \qquad (5)$$

где d_{50} — медианный размер исследуемой пыли; $d_{50ц}$, K, $\lg \sigma$ — расчетные параметры выбранного циклона; d_0 — диаметр циклона; μ — динамическая вязкость газа; ρ_m — плотность частиц; V_0 — скорость газа в плане циклона; σ — среднеквадратическое отклонение интегральной функции распределения массы частиц по параметрам.

Однако расчетная общая эффективность равна 96,25 % при средних значениях d_{50} = 35 мкм и σ = 1,9444 интегральных кривых распределения массы частиц пыли гипсового камня по диаметрам, представленным на рис. 1. Все остальные параметры, участвующие в расчете, являются неизменными: d_0 = 600 мм, ρ_m = 1400 кг/м^3, $\mu = 18{,}1 \cdot 10^{-6}$ Па · с, V_0 = 3,5 м/с и расчетные параметры данного циклона ЦН-15.

Проведем расчет с использованием результатов дисперсного состава пыли после проведения «рассечения». Полученные значения дисперсного состава пыли, поступающей в циклон (см. рис. 1) не показали устойчивую картину, из чего можно сделать вывод, что и эффективность циклона также не будет постоянной, так как напрямую зависит от изменения дисперсности пыли. В результате для более точной оценки эффективность работы пылегазоочистного оборудования предлагается рассматривать не как детерминированное число, а как диапазон изменений эффективности работы, который не позволяет высчитать ни одна стандартная методика расчета [3, 4].

Разделение генеральной совокупности пыли, поступающей в систему обеспыливания, на мелкие и крупные фракции позволило бы нам более точно оценить эффективность работы пылеочистного устройства, принимая, что крупные частицы (диаметр которых больше критического диаметра пылеочистного устройства, в нашем случае циклона, равного 25 мкм) улавливаются все, т. е. эффективность работы циклона для данных фракций равна 100 %.

Определяем эффективность работы циклона по формуле

$$\eta_{общ} = 100 - G_м(100 - \Phi(x_м)), \qquad (6)$$

где $G_м$ — доля мелких фракций в генеральной совокупности пыли; $\Phi(x_м)$ — эффективность работы пылегазоочистного оборудования для мелкодисперсной пыли, %.

Для определения эффективности работы циклона на мелких фракциях (менее 25 мкм) воспользуемся стандартной методикой [2] и подставим при тех же условиях параметры единой кривой распределения мелких фракций пыли гипсового камня (см. рис. 2) по диаметрам после применения метода «рассечения» d_{50} = 22 мкм и σ = 1,69. Получаем эффективность, равную 92,92 % (значение без учета повышенной концентрации). Функция прохода мелких фракций является постоянной и, как следствие из этого, является оценкой эффективности работы данного пылеочистного устройства для данных фракций.

Учитывая тот факт, что дисперсный состав пыли является случайной функцией, оценим содержание мелкодисперсных частиц $G_м$ (в нашем случае меньше критического диаметра циклона ЦН-15, равного 25 мкм) в общей массе пыли (рис. 3).

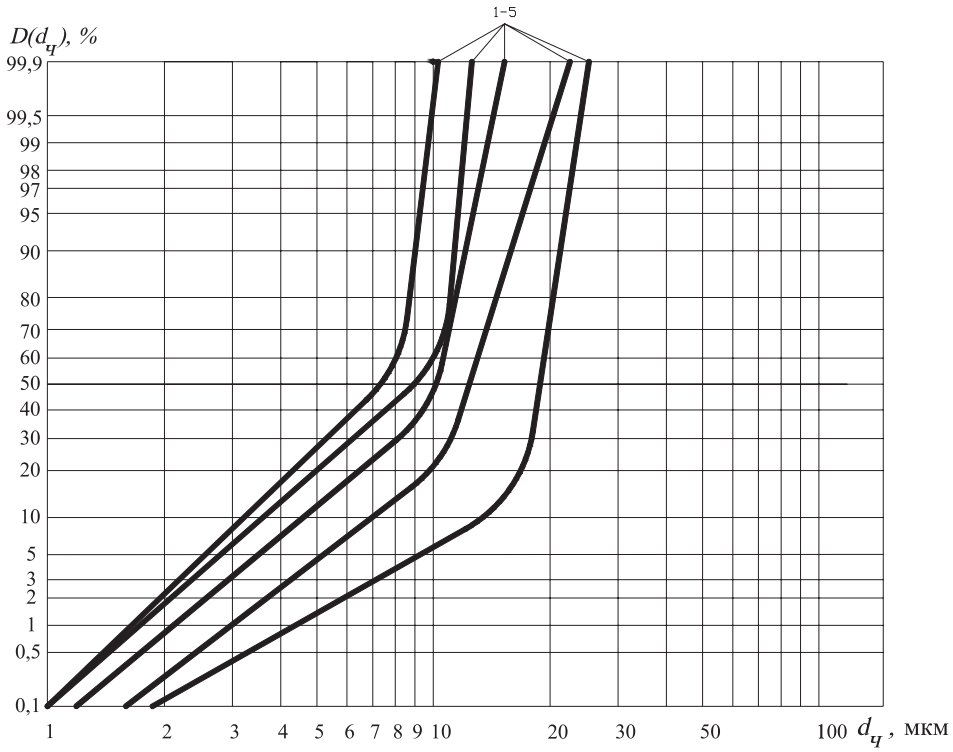


Рис. 3. Функции плотности распределения значений содержания мелких фракций пыли $D(d_ч)$, поступающей в систему обеспыливания (циклон). Результаты проведенных иследований после проведения очистки

Вывод. Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности применения и разработки метода «рассечения» с использованием методики микроскопического анализа с целью повышения эффективности пылеулавливания и улучшения качества воздуха для обеспечения экологической безопасности производственной и окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Азаров В. Н., Есина Е. Ю., Азарова Н. В.* Анализ дисперсного состава пыли в техносфере : учеб. пособ. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. 46 с.

2. *Шиляев М. И., Дорохов А. Р.* Методы расчета и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования. Томск : Изд-во ТГАСУ, 1999. 209 с.

3. *Азаров В. Н., Есина, Е. Ю.* О дисперсном составе пыли в системах обеспыливающей вентиляции строительных производств // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и арх. 2008. Вып. 11(30). С. 119—122.

4. *Азаров В. Н.* Анализ существующих методик расчета массы выбросов и концентрации пыли в атмосферном воздухе для источников предприятий стройиндустрии // Международная науч. конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». Волгоград, 2002. С. 1—7.

1. *Azarov V. N., Yesina Ye. Yu., Azarova N. V.* Analiz dispersnogo sostava pyli v tekhnosfere : ucheb. posob. Volgograd : VolgGASU, 2008. 46 s.

2. *Shilyayev M. I., Dorokhov A. R.* Metody rascheta i printsipy komponovki pyleulavlivayushchego oborudovaniya. Tomsk : Izd-vo TGASU, 1999. 209 s.

3. *Azarov V. N., Yesina Ye. Yu.* O dispersnom sostave pyli v sistemakh obespylivayushchey ventilyatsii stroitelnykh proizvodstv // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkh. 2008. Vyp. 11(30). S. 119—122.

4. *Azarov V. N.* Analiz sushchestvuyushchikh metodik rascheta massy vybrosov i kontsentratsii pyli v atmosfernom vozdukhe dlya istochnikov predpriyati stroyindustrii // Mezhdunar. nauch. konf. “Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy”. Volgograd, 2002. S. 1—7.

© Азаров В.Н., Богомолов А.Н., Сергина Н.М., Маринин Н.А., Чижов Н.И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

О дисперсном составе пыли в системах аспирации и пневмоуборки / В. Н. Азаров, А. Н. Богомолов, Н. М. Сергина, Н. А. Маринин, Н. И. Чижов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 218—223.

УДК 628.511.2:691.002

В. Н. Азаров, Н. И. Чижов, О. А. Мартынова, А. С. Сокольцова

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УБОРКИ ОСЕВШЕЙ ПЫЛИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ И ПРИ РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ

Статья посвящена анализу существующих методов уборки осевшей пыли в промышленных масштабах. Рассмотрен каждый из методов уборки, выявлены их достоинства и недостатки, предложен наиболее перспективный и рациональный способ уборки осевшей пыли с помощью системы пневмоуборки с аппаратами аэродинамического разделения пыли по фракциям (отвеивателями).

К л ю ч е в ы е с л о в а: осевшая пыль, фоновая концентрация, методы уборки, промышленные пылесосы, пневмоуборка, отвеиватель.

The analysis of the existing methods of settled dust cleaning in the industrial scale is made. Each of the methods of cleaning is considered. Their strengths and weaknesses are revealed. The most promising and efficient way of settled dust cleaning is proposed by the system of pneumocleaning with aerodynamic separation instrument of dust fractions (disengagers).

K e y w o r d s: settled dust, background concentration, methods of cleaning, industrial vacuum cleaners, pneumocleaning, disengager.

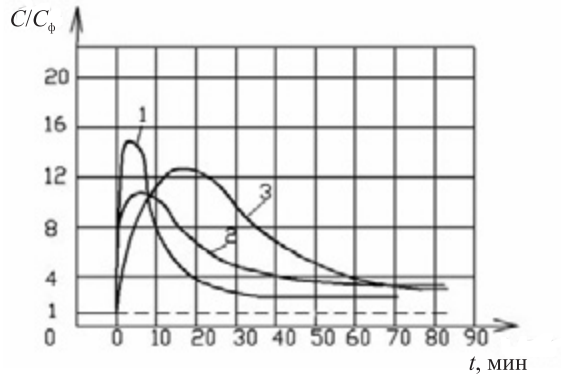
На предприятиях строительной отрасли при обработке, транспортировке, погрузке и разгрузке сыпучих материалов образуется большое количество мелких пылевидных частиц. В воздухе рабочей зоны пыль оседает на пол, стены, металлоконструкции и т. п. и негативно воздействует на здоровье человека, вызывая профессиональные заболевания. Концентрация и дисперсность определяют степень неблагоприятного воздействия пыли на организм. Наиболее серьезные заболевания — пневмокониозы — вызывают фракции размером менее 5 мкм. Относительно крупные пылинки при вдыхании задерживаются в верхних дыхательных путях и постепенно удаляются оттуда со слизью, мелкая пыль проходит в легкие и оседает на длительный срок, вызывая поражение легочной ткани. Мелкая пыль характеризуется большей активностью, т. к. имеет большую поверхность соприкосновения с легочной тканью.

В промышленных помещениях при хорошо действующей аспирации и герметизации источников пылевыделения на полу обычно оседает не более 1....5 г/м^2 пыли в час. В сильно запыленных помещениях при отсутствии аспирации пылеотложения составляют 5...20 г/м^2 в час. При удалении пыли из оборудования, не имеющего укрытия, за час выпадает несколько десятков граммов пыли. Количество пыли, скапливающейся у отдельных видов оборудования, может достигать 500....2000 г/м^2. Обычно на полу и прочих горизонтальных поверхностях, расположенных на высоте до 2 м от уровня пола, оседает от 4 до 12 г/м^2 в час твердых частиц, а на поверхностях, отстоящих от пола на большей высоте, — около 1 г/м^2 в час [1].

Вторичными источниками пылеобразования и выделения пыли в воздух рабочей зоны являются вибрация, движение воздуха, технологический транспорт, очистка воздуховодов, оборудования, полов и т. п. вручную щетками, метлами или путем обдувки сжатым воздухом. Концентрация пыли в воздухе

рабочей зоны уборщика, работающего метлой, превышает в 10...20 раз фоновую концентрацию до уборки.

Исследования динамики запыленности воздушной среды в ряде цехов позволили установить закономерность между концентрацией пыли, образующейся при уборке обычным подметально-уборочным инструментом, и фоновой концентрацией, измеренной до начала уборки (рис.).



Изменение концентрации пыли в воздушной среде рабочей зоны при уборке производственного помещения (цит. по [1]): *1* — в литейных цехах по замерам авторов; *2* — после ремонтно-строительных работ; *3* — в цехах производства ЖБИ

На графике представлена зависимость отношения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны C к фоновой концентрации пыли в помещении до уборки $C_ф$, от времени t.

Из графика видно, что до уборки (при $t = 0$) $C/C_ф = 1$. С момента начала уборки концентрация пыли в воздушной среде резко возрастает и превышает фоновую в литейных цехах (кривая *1*) приблизительно в 15 раз [2], в помещениях после ремонтно-строительных работ — приблизительно в 10 раз (кривая *2*), а в цехах по производству ЖБИ — приблизительно в 13 раз (кривая *3*). После завершения процесса уборки пылевые частицы оседают и концентрация снижается, скорость оседания частиц зависит от фракционного состава осевшей пыли и от массы. Наиболее мелкие частицы (менее 2 мкм) продолжают витать в воздухе, вследствие этого остаточная концентрация превышает фоновую, диапазон такого превышения колеблется в пределах 1,2...2,1 раз [3]. Последующее сметание осевшей пыли приводит к еще большему увеличению количества пылевых частиц в воздухе рабочей зоны. Твердые частицы пыли, сметаемые с поверхности пола, распределяются следующим образом: собирается и удаляется из помещения около 50...60 % первоначальной массы пыли; остается неубранной примерно 40...50 %, в том числе в воздушную среду поднимается около 10 % [2]. Исходя из этого можно сделать вывод, что средствами сухой уборки пыли невозможно обеспечить требований нормативов по охране труда.

Используя предварительное смачивание, можно повысить эффективность уборки, однако это полностью не решает проблемы, поскольку значительное количество пыли не убирается с помощью влажной уборки.

Уборка пыли мокрым способом, посредством смывания, почти полностью предупреждает вторичное пылеобразование, но ее применение ограничено, на-

пример, в холодное время года для уборки неотапливаемых помещений. К тому же этот способ сопровождается образованием сточных вод, которые требуют дополнительных затрат и сооружений. Кроме того, в отраслях, где возможен возврат пыли в производство либо использование ее в другом технологическом процессе как ценного компонента сырья, этот способ не применим, поскольку после смачивания многие свойства пыли теряются. Тем не менее, в ряде производств, особенно там, где возможно образование взрывоопасной пыли, мокрый способ уборки помещении предпочтителен.

В современных условиях наиболее перспективен вакуумный способ удаления пыли. Он является наиболее рациональным, поскольку лишен недостатков предыдущих методов, кроме того, он обеспечивает полное отсасывание пыли, удаление ее из труднодоступных мест при любых температурах и на самых разнообразных поверхностях, вследствие чего концентрация пыли в воздухе рабочей зоны во время уборки не отличается от фоновой, обеспечивает полное удаление собранной пыли из обслуживаемого помещения.

В ряде работ показано, что до применения пневмоуборки производственных помещений средняя фоновая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны была $C_ф$ = 11,6 мг/м^3, а во время сметания пыли концентрация ее достигала 161 мг/м^3. После ввода в эксплуатацию пылесосной установки средняя фоновая концентрация пыли в помещениях снизилась в 1,45...1,5 раза и не изменялась во время уборки помещений и оборудования [1].

Существуют две основные разновидности вакуумной пылеуборки:

с помощью промышленных пылесосов;

посредством централизованных систем.

Промышленные пылесосы целесообразно применять на производствах с небольшим количеством осевшей пыли, а также когда внедрение системы централизованной вакуумной уборки невозможно. На крупных промышленных предприятиях, где образуется большой объем пыли в рабочих помещениях, используют, как правило, централизованные системы пневмоуборки, которые имеют высокую производительность, надежны и удобны в эксплуатации, не требуют большого числа обслуживающего персонала и уменьшают или полностью устраняют вторичное пылеобразование. В результате достигаются гигиенические нормативы воздуха рабочей зоны, сокращается время уборки и повышается долговечность технологического оборудования.

Эти системы имеют один существенный недостаток: уловленный материал содержит не только смет с рабочих поверхностей технологического оборудования, пола и т. д., но и ценный продукт. Для возможности возврата ценных компонентов в производство необходимо использовать системы пневмоуборки с аппаратами разделения продукта и смета. Кроме того, такие системы уменьшают количество образующихся твердых отходов, тем самым снижая негативное воздействие на окружающую среду. В настоящее время для разделения твердых частиц используются методы магнитной, акустической, электростатической, центробежной и гравитационной сепарации. Из всех известных методов наиболее перспективным представляется метод аэродинамического разделения, поскольку он позволяет разделить пылевые частицы по фракциям с достаточной эффективностью, является экономичным и простым в аппаратурном

оформлении. Аппаратами аэродинамического разделения пыли по фракциям являются отвеиватели [4]. Разработана схема пневмоуборки с использованием отвеивателя и аппарата ВЗП [5]. Такая система пневмоуборки позволяет эффективно очистить воздух перед выбросом в атмосферу, повышает надежность систем очистки воздуха и систем пневмоуборки, увеличивает эффективность работы системы пневмоуборки, дает возможность возврата большей части уловленного материала в производство, вследствие чего снижается негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Курников А. А., Курников В. А.* Пневматическая пылеуборка машиностроительных заводов. М. : Машиностроение, 1983. 152 с.

2. *Калинушкин М. П., Грачев Ю. Г.* Вакуумная пылеуборка на предприятиях легкой промышленности. М. : Легпром-бытиздат, 1987. 69 с.

3. *Азаров В. Н., Бессараб О. И.* Теоретические исследования скорости оседания мелкодисперсной пыли для предприятий машиностроения и стройиндустрии // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XVI Международной науч.-технич. конф. Донецк : ДонНТУ, 2009. Т. 1. С. 30—33.

4. *Кузнецова Н. С.* О методах разделения сыпучих материалов на фракции // Науч.-практич. конф. «Проблемы охраны производственной и окружающей среды». Волгоград, 2001. С. 114—119.

5. *Азаров В. Н.* Пылеуловители со встречными закрученными потоками: опыт внедрения. Волгоград : РПК «Политехник» ВолгГТУ, 2003. 133 с.

6. О совершенствовании системы пневмоуборки на предприятиях строительной индустрии / Н. С. Кузнецова, А. С. Лукъянсков, Н. И. Чижов, О. А. Мартынова, А. С. Сокольцова // SWorld : сб. науч. тр. : по материалам Международной науч.-практич. конф. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011». Т. 5. Технические науки. Одесса : Черноморье, 2011, С. 3—8.

1. *Kurnikov A. A., Kurnikov V. A.* Pnevmaticheskaya pyleuborka mashinostroitelnykh zavodov. M. : Mashinostroyeniye. 1983. 152 s.

2. *Kalinushkin M. P., Grachev Ju. G.* Vakuumnaya pyleuborka na predpriyatiyakh legkoy promyshlennosti. M. : Legprom-bytizdat, 1987. 69 s.

3. *Azarov V. N., Bessarab O. I.* Teoreticheskiye issledovaniya skorosti osedaniya melkodispersnoy pyli dlya predpriyati mashinostroyeniya i stroyindustrii // Mashinostroyeniye i tekhnosfera XXI veka : sb. tr. XVI Mezhdunarod. nauch.-tekhnich. konf. Donetsk : DonNTU, 2009. T.1. S. 30—33.

4. *Kuznetsova N. S.* O metodakh razdeleniya sypuchikh materialov na fraktsii // Nauch.-praktich. konf. «Problemy okhrany proizvodstvennoy i okruzhayushchey sredy». Volgograd, 2001. S. 114—119.

5. *Azarov V. N.* Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami: opyt vnedreniya. Volgograd : RPK «Politekhnik» VolgGTU, 2003. 133 s.

6. O sovershenstvovanii sistemy pnevmouborki na predpriyatiyakh stroitelnoy industrii / N. S. Kuznetsova, A. S. Lukyanskov, N. I. Chizhov, O. A. Martynova, A. S. Sokoltsova // SWorld : sb. nauch. tr. : po materialam Mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konf. «Nauchnyye issledovaniya i ikh prakticheskoye primeneniye. Sovremennoye sostoyaniye i puti razvitiya 2011». T. 5. Tekhnicheskiye nauki. Odessa : Chernomore, 2011. S. 3—8.

© Азаров В. Н., Чижов Н. И., Мартынова О. А., Сокольцова А. С., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Анализ существующих методов уборки осевшей пыли на предприятиях стройиндустрии и при ремонтно-строительных работах / В. Н. Азаров, Н. И. Чижов, О. А. Мартынова, А. С. Сокольцова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 224—227.

УДК 628.511

В. П. Батманов, О. К. Барсуков, Н. С. Барикаева

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Рассматривается метод дистанционного определения дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны на предприятиях стройиндустрии в режиме реального времени для обеспечения безопасных условий труда. Обосновано применение лазерного зондирования как высокоточного метода измерений и контроля качества воздуха рабочей зоны.

Ключевые слова: пыль, взвешенные вещества, дисперсный состав, рабочая зона, лазерное зондирование, безопасные условия труда.

The remote identification method of the distribution of dust particles in the workplace air at the construction industry enterprises is analyzed in real time format for the provision of the occupational safety. The usage of the laser probing as the high-precision method of the measurement and control of the quality of the workplace air is based.

Key words: dust, suspended substances, distribution of particles, workplace, laser probing, occupational safety.

Пылевую обстановку на промышленных предприятиях можно рассматривать в частном и общем случаях. В частном случае, как правило, понимают оценку пылевой обстановки только в рабочих зонах, которая включает: замеры концентраций пыли в воздухе рабочей зоны, исследование свойств пыли (физико-химических, дисперсный состав), составление пылевого баланса для изолированных помещений в целом и оценку такой важной его составляющей, как мощность пылевыделений от технологического оборудования в рабочую зону, а также оценку эффективности средств обеспыливания, пылеудаления, пылеподавления и пр.

Для рабочих зон, расположенных в изолированных помещениях, в достаточной степени апробированы методы анализа пылевой обстановки, основанные на составлении пылевого баланса помещений. Присутствуют два взаимно противоположных процесса, происходящих в изолированных помещениях [1]: накопление пыли в воздушной среде рабочего помещения (при рециркуляции вентиляционного воздуха, взмете осевшей пыли, выбивании пыли из находящихся под давлением элементов систем пылеудаления и пр.) и оседание на пол и оборудование.

Наиболее интенсивными источниками пылеобразования считают места перегрузки материала, где создаются повышенные давления под воздействием падающего материала и эжектируемого им воздуха (перегрузка сыпучего материала с конвейера на конвейер; дробильно-помольные операции; транспортирование сыпучих материалов; заполнение материалом емкостей и силосов; работа основного технологического оборудования).

В особую группу предприятий следует отнести те, у которых рабочие зоны находятся не только внутри производственных помещений, но и на территории предприятия. На пылевую обстановку в этом случае могут оказывать влияние не только пылевыделения от технологического оборудования и процессов, но и от организованных и неорганизованных источников.

В России нормативами качества воздуха определены допустимые пределы содержания вредных веществ как в производственной, так и в селитебной зоне населенных пунктов. И те, и другие нормативы относятся к санитарно-гигиеническим [2—6]. Нормирование нацелено на всесторонний учет всех источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, что, как правило, приводит к охвату весьма широкого перечня загрязняющих веществ.

До настоящего времени в России нормировалось общее содержание взвешенных веществ как в атмосферном воздухе, так и в рабочей зоне предприятий. В июне 2010 года введены в действие гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604—10 с 21.06.2010 г.: дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338—03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [5], нормирующим концентрации взвешенных веществ по фракциям PM_{10} и $PM_{2,5}$. Однако необходимо отметить отсутствие нормативов на содержание в воздухе рабочей зоны пыли данного размера, которая является наиболее опасной для человека.

Таким образом, для организации контроля воздуха рабочей зоны одной из важнейших характеристик пылевой обстановки — фракционной концентрации пыли — необходимо проводить:

совершенствование методики выполнения измерений дисперсного состава пыли;

разработку систем контроля содержания мелкодисперсных частиц в воздухе рабочей зоны и атмосферного воздуха;

разработку системы непрерывного мониторинга воздуха в помещениях и на территории предприятий, с одновременной обработкой полученных данных на персональном компьютере, с автоматическим воздействием на технологические источники загрязнения.

Наиболее оперативно контроль экологической обстановки осуществляется средствами дистанционного зондирования Земли и ее атмосферы в оптическом и радиодиапазонах спектра. Важнейшими являются оптические методы, вследствие высокой информативности таких эффектов взаимодействия оптической волны со средой. Для локального контроля воздуха рабочей зоны на основе этой технологии предложен прибор, использующий лазерное излучение для целей зондирования исследуемого воздуха.

Данный метод основан на косвенном определении размера частиц путем измерения величины отраженной от частиц энергии, интерпретированной в электрическую величину, которая характеризует размер и форму частицы [7, 8]. Источником энергии, в общем случае, является точечный источник света, приемником — фотоэлектрический усилитель (ФЭУ). Измерения могут проводиться как в видимой области спектра, так и инфракрасной. Для задач дисперсного анализа твердых частиц размером 0,1—20 мкм наиболее подходит область спектра с длиной волны в диапазоне 0,55—0,69 мкм, источниками излучения на данной длине волн могут служить лазерные светодиоды, которые наиболее перспективны ввиду малых габаритов и низкой энергоемкости.

Интенсивность отраженного светового потока прямо пропорциональна площади отражающей поверхности частиц. Чувствительность данного метода выше, чем у других, и может достигать 0,1 нм.

Принцип данного метода [9] позволяет сконструировать систему непрерывного (в режиме реального времени) контроля дисперсного состава, концентрации, наличия примесей в пылегазовой смеси, не требующую обслуживающего лабораторного персонала, которая совместно с персональным компьютером позволит обрабатывать информацию в автоматическом режиме.

Учитывая высокую точность и непрерывность измерений по данному методу, после непродолжительных измерений и обработки данных можно выявить закономерности изменения дисперсного состава и концентрации загрязняющих веществ. Выявить зависимость изменения пылевой обстановки от известных факторов (погодные условия, влажность и т. д.), а также выявить закономерности, зависящие от технологических особенностей производства, и отразить взаимодействие всех факторов.

На основании вышеизложенных предпосылок создан прибор для определения дисперсного состава и контроля концентрации пыли в воздухе рабочей зоны.

Для получения достоверных данных в ходе мониторинговых исследований на Михайловском заводе силикатного кирпича в течение 60 дней непрерывно проводились измерения, позволяющие определить содержание взвешенных частиц размером менее 10 и 2,5 мкм, оказывающих наиболее опасное влияние на здоровье человека. Измерения проводились в воздухе рабочих зон, находящихся на территории предприятия. Результаты проведенных обследований приведены на рис. 1 и 2.

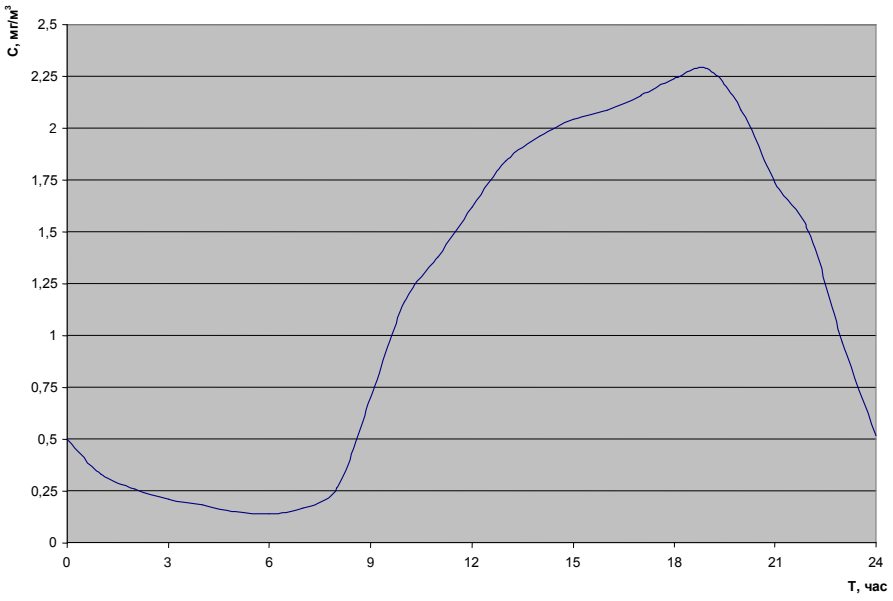


Рис. 1. Средние за время измерений концентрации PM_{10} в воздухе рабочей зоны в течение 24 часов

На рис. 1 приведен среднестатистический график изменения среднечасовой концентрации PM_{10} в воздухе рабочей зоны. Как видно из графика, максимум концентрации PM_{10} приходится на конец рабочей смены, а минимальное

достигается к началу смены. Остаточная концентрация 0,5 мг/м^3 свидетельствует о неполном оседании мелких фракций ввиду подвижности воздуха. Отметим, что при скорости движения воздуха, близкой к нулю, остаточная концентрация тоже стремится к околонулевому значению, а при относительной влажности свыше 95 % скорость оседания мелких фракций резко возрастает и концентрация PM_{10} достигает нулевого значения за 2—3 часа с момента остановки оборудования. Это обусловлено тем, что пылинки являются центрами конденсации водяного пара и при значительной влажности стремятся к агрегации, вследствие чего приобретают большую массу и оседают со значительно большей скоростью. Рассчитана средняя по расходу общая концентрация пыли в воздухе рабочих зон.

Одновременно с концентрацией был определен дисперсный состав пыли в воздухе рабочей зоны. На рис. 2 приведены результаты дисперсного анализа пыли с открытой площадки складирования известняка одного из цехов кирпичного производства и дисперсный анализ известковой пыли из воздуха рабочей зоны загрузочного бункера в рабочее и ночное время. Графическое изображение результатов дисперсного анализа представлено в виде интегральных кривых распределения $D(d_ч)$ массы по диаметрам $d_ч$ частиц (рис. 2).

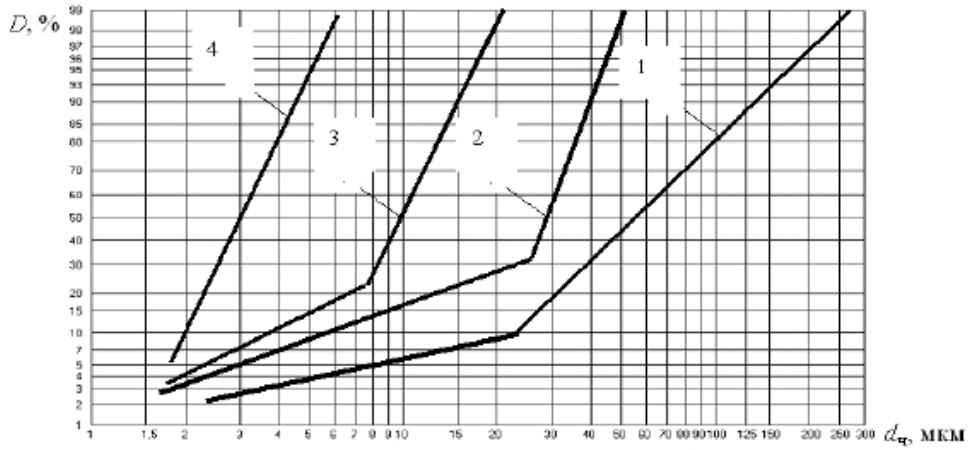


Рис. 2. Интегральные кривые распределения массы по диаметрам частиц $D(d_ч)$ в логарифмической координатной сетке для пылей: *1* — на открытой площадке складирования известняка в рабочее время; *2* — в рабочей зоне загрузочного бункера в рабочее время; *3* — на открытой площадке складирования известняка в ночное время; *4* — в рабочей зоне загрузочного бункера в ночное время

Результаты замера показали, что случайный процесс появления наблюдаемых максимумов концентраций стационарен, т.е. корреляция между измеряемыми концентрациями не зависит от выбора начала наблюдения. Кроме того, распределение концентраций стремится к нормальному закону. Величины объема частиц пыли малы по отношению к объему пространства, в котором пыль находится и распространяется. Поэтому распределения массы частиц пыли слабо различаются между собой для различных концентраций пыли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коптев Д. В.* Обеспыливание на электродных и электроугольных заводах. М. : Металлургия, 1980. 128 с.: ил.

2. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования : ГОСТ 12.1.005—88. ССБТ.

3. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности : ГОСТ 1.007—76. ССБТ.

4. Доклад о состоянии окружающей природной среды г. Волгограда в 1998 г. / под общ. ред С. В. Косенковой. Волгоград : Волжский полиграф. комб., 1999. 319 с.

5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест : ГН 2.1.6.2604—10 от 21.06.2010 г. : дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338—03.

6. Сборник законодательных, нормативных и методических документов для экспертизы природоохранных мероприятий / Госкомгидромет ; сост. Р. Н. Кузнецов, Н. С. Филимонова, А. М. Шишкин, В. В. Храмович. Л. : Гидрометеоиздат, 1986. 317 с.: ил.

7. *Авдеев Н. Я.* Расчет гранулометрических характеристик полидисперсных систем. Ростов н/Д : Изд-во Ростов. гос. ун-та, 1966. 54 с.

8. *Азаров В. Н.* Анализ существующих методик расчета массы выбросов и концентрации пыли в атмосферном воздухе для источников предприятий стройиндустрии // Междунар. науч. конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». Волгоград, 2002.

9. *Назаров И. М.*, *Николаев А. Н.*, *Фридман Ш. Д.* Основы дистанционных методов мониторинга загрязнений природной среды. Л. : Гидрометеоиздат, 1983. 283 с.

1. *Koptev D. V.* Obespylivaniye na elektrodnykh i elektrougolnykh zavodakh. M. : Metallurgiya, 1980. 128 s.

2. Vozdukh rabochey zony. Obshchiye sanitarno-gigiyenicheskiye trebovaniya : GOST 12.1.005—88. SSBT.

3. Vrednye veshchestva. Klassifikatsiya i obshchiye trebovaniya bezopasnosti : GOST 1.007—76. SSBT.

4. Doklad o sostoyanii okruzhayushchey prirodnoy sredy g. Volgograda v 1998 g. / pod obshch. red. S. V. Kosenkovoy. Volgograd : Volzhski poligraf. komb., 1999. 319 s.

5. Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukhe naselennykh mest : GN 2.1.6.2604—10 ot 1.06.2010 g. : dopolneniye № 8 k GN 2.1.6.1338—03.

6. Sbornik zakonodatelnykh, normativnykh i metodicheskikh dokumentov dlya expertizy prirodookhrannykh meropriyati / Goskomgidromet ; sost. R. N. Kuznetsov, N. S. Filimonova, A. M. Shishkin, V. V. Khramovich. L. : Gidrometeoizdat, 1986. 317 s.: il.

7. *Avdeyev N. Ya.* Raschet granulometricheskikh kharakteristik polidispersnykh sistem. Rostov n/D : Izd-vo Rostov. gos. un-ta, 1996. 54 s.

8. *Azarov V. N.* Analiz sushchestvuyushchikh metodik rascheta massy vybrosov i kontsentratsii pyli v atmosfernom vozdukhe dlya istochnikov predpriyati stroyindustrii // Mezhdunar. nauch. konf. «Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy». Volgograd, 2002.

9. *Nazarov I. M.*, *Nikolayev A. N.*, *Fridman Sh. D.* Osnovy distantsionnykh metodov monitoringa zagryazneni prirodnoy sredy. L. : Gidrometeoizdat, 1983. 283 s.

© Батманов В. П., Барсуков О. К., Барикаева Н. С., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Батманов В. П., Барсуков О. К., Барикаева Н. С. Организация контроля концентрации пыли в воздухе рабочей зоны с помощью оптических методов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 228—232.

УДК 628.8:628.5.11.1

О. К. Барсуков, Н. С. Барикаева, В. П. Батманов

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

В статье рассматривается влияние параметров микроклимата на изменение концентрации пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ в воздухе рабочей зоны. Выявлены закономерности изменения концентрации пыли в зависимости от относительной влажности воздуха и скорости его движения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пыль, взвешенные вещества, дисперсный состав, рабочая зона, влажность, скорость движения воздуха.

The influence of the microclimate parameters on the change of the dust PM10 and PM2,5 concentration in the workplace air is analyzed. The change principles between the dust concentration and the relative air humidity as well as its movement velocity are revealed.

K e y w o r d s: dust, suspended substances, distribution of particles, workplace, humidity, air movement velocity.

Анализ данных изменения концентрации частиц пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$, полученных при помощи прибора лазерного зондирования в ходе мониторинга воздуха рабочей зоны на открытой площадке загрузочного бункера мельницы, проводимый в течение 60 дней на Заводе силикатного кирпича, позволил отследить динамику изменения контролируемого параметра и выявить зависимость от внешних факторов.

Технологический процесс получения извести для производства силикатных изделий характеризуется достаточным постоянством, а работа машин и механизмов имеет строгую цикличность включения в процесс.

Графики изменения концентрации частиц PM_{10} за весь период обследования имеют примерно одинаковый вид (рис. 1). Значения максимумов и минимумов менялись не более чем на 6—8 %. За весь период обследования преобладала теплая погода с температурой воздуха 20—28 °С, относительной влажностью 40—60 % и скоростью ветра не более 2,5 м/с.

Однако на фоне повторяющихся ежесуточных рядов данных в определенные дни значения максимумов и минимумов могли изменяться до 50 % от среднестатистических, что позволяет делать выводы о влиянии стороннего фактора, не относящегося к технологическому процессу. Так, например, при повышении относительной влажности воздуха до 85—90 % график имеет вид, представленный на рис. 2.

Из графика видно, что остаточная концентрация частиц пыли PM_{10} в интервале времени от 0 до 7 часов снизилась по отношению к среднестатистическому почти на 20 %, а во время техпроцесса дробления значение концентрации достигло уровня 2,6 мг/м^3 и перестало увеличиваться, на графике нет явного максимума, что свидетельствует о максимальной возможной концентрации в данном процессе при относительной влажности 85—90 % и невозможности дальнейшего ее роста вследствие конденсации влаги из воздуха и последующей агломерации пылинок до более крупных фракций.

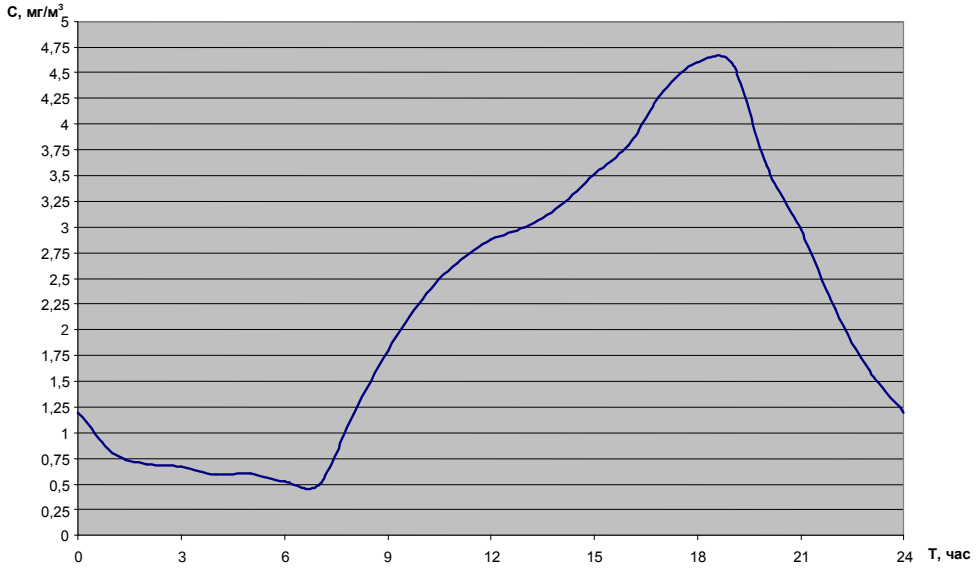


Рис. 1. Суточный среднестатистический график изменения концентрации PM_{10}

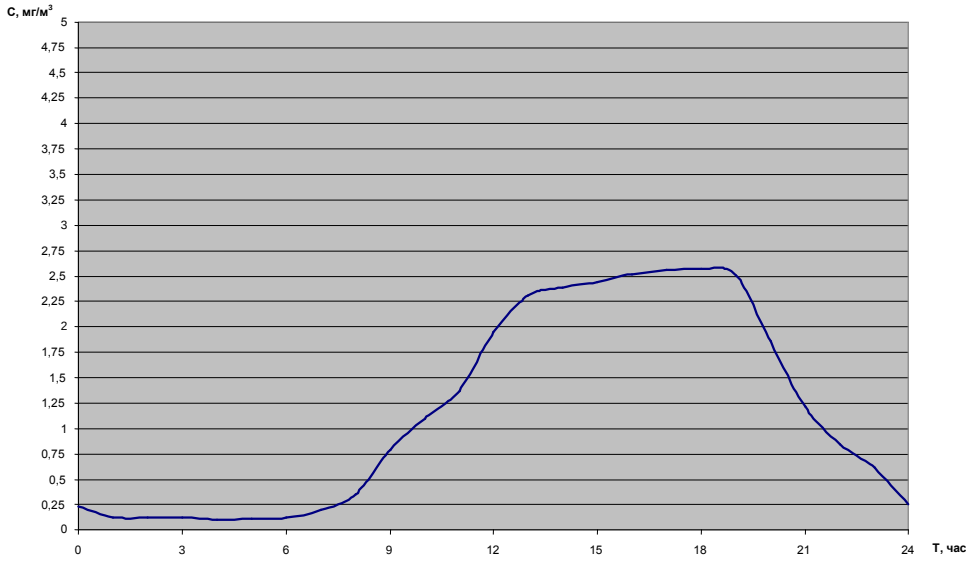


Рис. 2. Суточный график изменения концентрации PM_{10} при относительной влажности 85—90 %

Такие данные были получены в течение всего измерения 4 раза, в дни со значительными атмосферными осадками.

С повышением скорости движения воздушных масс до 4 м/с для частиц PM_{10} отмечался значительный рост остаточной концентрации, причем в рабочее время значение концентрации не выходило за рамки максимальной среднестатистической, но максимальное значение достигалось практически сразу после включения в работу основного оборудования (рис. 3).

Причем снижение концентрации после остановки оборудования идет достаточно интенсивно, до достижения определенного значения, а затем замедляется.

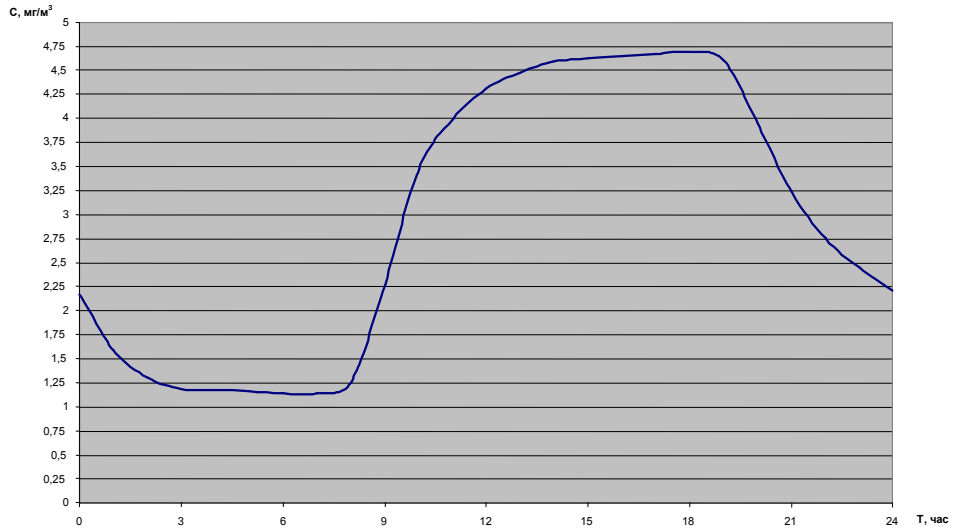


Рис. 3. Суточный график изменения концентрации PM_{10} при скорости ветра 3,5—4 м/с

На основании проведенного эксперимента и обработки непрерывной цепи данных, полученных при мониторинге концентрации частиц пыли PM_{10} на открытой площадке загрузочного бункера мельницы, выявлены закономерности изменения наблюдаемого параметра от факторов, не относящихся к технологическому процессу, таких как скорость движения воздушных масс и относительная влажность воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Барсуков О. К., Азаров В. Н., Круглов А. Г.* О нормировании качества воздуха рабочей зоны // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2009. Вып 16(35). С. 162—165.

2. *Барсуков О. К.* Методы исследования дисперсного состава пыли PM_{10}, $PM_{2,5}$ в воздухе рабочей зоны на предприятиях стройиндустрии // Проблемы промышленной экологии : сб. материалов и науч. тр. молодых инженеров-экологов. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. Вып. 3. С. 25—30.

3. *Барсуков О. К.* Метод контроля концентрации и дисперсного состава аэрозоля в воздухе рабочей зоны с помощью лидара // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : матер. VIII Международной науч. конф., Самарканд. Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2010. С. 510—513.

4. *Барсуков О. К., Батманов В. П.* Лазерно-оптический прибор для определения концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны // Экологические проблемы минерально-сырьевого комплекса : матер. Межвузовск. интернет-конференции, СПб. URL:http://www.spmi.ru/node/2833.

1. *Barsukov O. K., Azarov V. N., Kruglov A. G.* O normirovanii kachestva vozdukha rabochey zony // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh. 2009. Vyp 16(35). S. 162—165.

2. *Barsukov O. K.* Metody issledovaniya dispersnogo sostava pyli PM_{10}, $PM_{2,5}$ v vozdukhe rabochey zony na predpriyatiyakh stroyindustrii // Problemy promyshlennoy ekologii : sb. materialov i nauch. tr. molodykh inzhenerov-ekologov. Volgograd : VolgGASU, 2009. Vyp. 3. S. 25—30.

3. *Barsukov O. K.* Metod kontrolya kontsentratsii i dispersnogo sostava aerozolya v vozdukhe rabochey zony s pomoshchyu lidara // Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy : mater. VIII Mezhdunarodnoy nauch. konf., Samarkand. Volgograd : VolgGASU, 2010. S. 510—513.

4. *Barsukov O. K., Batmanov V. P.* Lazerno-opticheski pribor dlya opredeleniya kontsentratsii i dispersnogo sostava pyli v vozdukhe rabochey zony // Ekologicheskiye problemy mineralno-syrevogo komplexa : mater. Mezhvuzovsk. internet-konferentsii, SPb. URL:http://www.spmi.ru/node/2833.

© Барсуков О. К., Барикаева Н. С., Батманов В. П., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Барсуков О. К., Барикаева Н. С., Батманов В. П. Влияние параметров микроклимата на изменение концентрации пыли в воздухе рабочей зоны // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 233—236.

УДК 628.511.2:621.928.9

В. Г. Диденко, О. В. Шубин, С. И. Голубева

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВНУТРИЦЕХОВОЙ АТМОСФЕРЫ ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ ЛОКАЛИЗУЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕСТНЫХ ОТСОСОВ

Рассмотрены основные факторы, определяющие закономерность формирования микроклиматических условий рабочей зоны сварочных производств предприятий стройиндустрии во взаимосвязи с локализующей эффективностью местных отсосов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: внутрицеховая атмосфера, рабочая зона, микроклиматические условия, локализующая эффективность, местные отсосы.

The basic factors which are determined the regularity of the microclimatic conditions formation of the welding production working zone of the enterprises in the construction industry with the isolate efficiency of the local exhausts are considered.

K e y w o r d s: interplant atmosphere, working zone, microclimatic conditions, isolate efficiency, local exhausts.

Современные сварочные производства отличаются достаточной интенсивностью воздействия продуктов выделения сварочного процесса на состояние воздушной среды как в местах его осуществления, так и на значительных расстояниях от источников выделений. Последнее обусловлено технологическими особенностями процесса сварки, составом и свойствами сварочного аэрозоля, но также, в значительной степени, и подвижностью воздушной среды в рабочей зоне осуществления сварочных процессов.

Исследования и практика показывают, что аэродинамические характеристики потоков, формирующихся в местах размещения сварочных постов или производстве сварочных процессов, являются основными определяющими факторами переноса дисперсной фазы сварочного аэрозоля. При этом характер движения аэрозольных частиц прежде всего связан с размерами, формой и плотностью составляющих их веществ. Для оценки закономерностей их влияния необходимо иметь достаточно приближенное представление о траектории движения частиц аэрозоля. Последнее может быть получено на основе расчета траектории движения одиночной частицы, обладающей характерными признаками всей аэрозольной дисперсии. При этом принимается, что такая частица не взаимодействует с другими частицами дисперсии и сохраняет постоянными свои свойства на протяжении всего процесса движения.

Начальным условием оценки особенностей движения такой единичной частицы является дифференциальное уравнение движения центра ее массы

$$(1 + \varsigma)\cdot m\cdot d\vartheta_ч/dt = \Sigma P, \qquad (1)$$

где ς — коэффициент присоединенной массы; m — масса частицы; $\vartheta_ч$ — вектор абсолютной скорости частицы; ΣP — сумма векторов сил, действующих на частицу.

Входящее в уравнение (1) значение массы частицы представляет формула

$$m = \pi\delta^3\rho_ч/6, \quad (2)$$

где δ — седиментационный диаметр частицы, т. е. диаметр шара с такими же плотностью и скоростью оседания, как у реальной частицы; $\rho_ч$ — плотность вещества частицы, кг/м^3.

Коэффициент присоединенной массы ς учитывает результирующую аэродинамических сил, зависящих от ускорения частицы. Для условий несжимаемости несущей среды, при потенциальном безотрывном обтекании сферической частицы, эти силы учитываются в теоретическом анализе путем введения кажущегося повышения массы частицы на величину, равную половине массы вытесненного ею газа

$$\varsigma \cdot m = 0{,}5\rho_г\,(m/\rho_ч);\ \varsigma = 0{,}5\rho_г/\rho_ч,$$

где $\rho_г$ — плотность газа, кг/м^3.

Для характерных условий течения реальных аэродисперсных систем соотношение плотности газа и частиц аэрозоля чрезвычайно мало (10^{-3}). Вследствие этого величиной ς можно пренебречь. Тогда, в общем случае, сумму действующих на частицу сил можно представить формулой

$$\Sigma P = P_a + (P_G + P_A) + P_p + P_{пр}, \quad (3)$$

где P_a — сила аэродинамического сопротивления движению частицы в газовом потоке; $P_G + P_A$ — равнодействующая силы тяжести и архимедовой силы; P_p — сила, действующая на частицу при прохождении ее в неравномерном поле давлений; $P_{пр}$ — равнодействующая прочих сил.

Для сферической частицы сила аэродинамического сопротивления обычно принимается направленной против скорости $\overline{\vartheta}$ ее движения относительно газа

$$P_a = -\xi \cdot 0{,}25\,\pi\delta^2 \cdot 0{,}5\rho_г \cdot \overline{\vartheta}^2(\overline{\vartheta}_ч/\overline{\vartheta}_г), \quad (4)$$

где ξ — коэффициент сопротивления.

Если известны $\vartheta_ч$ и $\vartheta_г$ — абсолютные скорости частицы и газа, то при обтекании частицы газом значение ее относительной скорости будет равно

$$\overline{\vartheta} = \vartheta_ч - \vartheta_г.$$

При относительных скоростях движения частицы в условиях, когда сжимаемостью газа можно пренебречь, коэффициент сопротивления зависит от числа Рейнольдса

$$\xi = A \cdot \mathrm{Re}^{-n}, \quad (5)$$

где A и n — эмпирические константы [1].

С учетом сказанного сила аэродинамического сопротивления будет определяться выражением

$$P_a = (\pi/8)A\rho_г\vartheta^n(\delta\,\overline{\vartheta})^{2-n}. \quad (6)$$

При оценке пределов реализуемости уравнения (6) пренебрегаем действием поперечной подъемной силы и вращательным движением частицы диспер-

сии, проявление которых имеет значение только при соударении частиц, а в принятых условиях анализа изменяет значение коэффициента ξ в пределах, не превышающих ±10 %.

Для установившегося течения газа допустимо не учитывать влияние турбулентности потока на сопротивление движению частицы. Также, основываясь на известных результатах, можно считать, что при возникновении и развитии турбулентности значение ξ возрастает относительно значений ламинарного течения на величину 5 % при $\mathrm{Re} \approx 200$, на 15 % при $\mathrm{Re} \approx 600$ и на 20—25 % при $\mathrm{Re} \geq 1000$ (развитая турбулентность).

Влиянием стенок канала на коэффициент сопротивления также пренебрегают, так как оно заметно сказывается только в пристенном слое толщиной менее 5δ. Поэтому в реальных условиях частицы дисперсии не могут перемещаться продолжительное время в этом тонком слое, не осаждаясь на стенках каналов, образуемых вихревым отсосом. При небольшом содержании частиц пренебрегают их обратным воздействием на движение газа, так как объем частиц дисперсии составляет незначительную часть в двухфазном потоке.

Для определения силы аэродинамического сопротивления необходимо знать распределение скоростей газа. Поэтому вторым исходным условием при моделировании движения частиц в каналах устройства является расчет скоростей движения газа.

По сравнению с силой аэродинамического сопротивления все другие силы, указанные в формуле (3), малы, что подтверждают и результаты оценочных расчетов. В реальных условиях архимедова сила приводит к незначительному уменьшению равнодействующей $P_G + P_A$ вследствие малости отношения плотностей газа и частиц аэрозоля. Сила тяжести (в рассматриваемых условиях движения частиц) на несколько порядков меньше силы аэродинамического сопротивления. Если, например, плотность вещества частицы $\rho = 1000$ кг/м^3; $\delta = 10$ мкм $= 10^{-5}$ м, $\overline{\vartheta} = 1$ м/с, плотность газа-носителя $\rho_г = 1{,}2$ кг/м^3, а его кинематическая вязкость составляет $\nu = 15{,}1\ 10^{-6}$ м^2/с при 20 °С, то с учетом анализа зависимости ξ от Re получим соотношение $P_G/P_a = 0{,}3 \cdot 10^{-2}$.

Для дальнейшего анализа существенным является оценка сил, действующих на частицу, в характерном при течении газа через локализующие устройства неравномерном поле давлений. К этим силам прежде всего отнесены силы аэродинамического взаимодействия между частицами. Силами их взаимодействия при столкновениях, вследствие малой концентрации частиц в двухфазном потоке аэрозольной дисперсии, можно пренебречь. Исходя из ранее проведенных оценок, считаем незначительным влияние рассмотренных сил по сравнению с силой аэродинамического сопротивления. Тогда, для течения газа через местный отсос, уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$m d\vartheta_ч/dt = P_a. \qquad (7)$$

В общем случае для движения частицы в местном отсосе осесимметричной формы векторы обеих частей уравнения (7) могут быть спроектированы на неподвижные прямоугольные оси координат. В результате получим систему уравнений

$$m d\vartheta_{чx}/dt = P_{ax};\ m d\vartheta_{чy}/dt = P_{ay};\ m d\vartheta_{чz}/dt = P_{az}. \qquad (8)$$

Соответственно проекции силы P_a имеют вид

$$P_{ax} = -P_a\, \vartheta_{чx}/\overline{\vartheta};\ P_{ay} = -P_a\, \vartheta_{чy}/\overline{\vartheta};\ P_{az} = -P_a\, \vartheta_{чz}/\overline{\vartheta}. \qquad (9)$$

Скорость перемещения частицы относительно газа и проекции этой скорости соответственно составят

$$\vartheta_{чx} = \vartheta_{чx} - \vartheta_{гx};\ \overline{\vartheta}_{чy} = \vartheta_{чy} - \vartheta_{гy};\ \overline{\vartheta}_{чz} = \vartheta_{чz} - \vartheta_{гz};\ \overline{\vartheta} = (\overline{\vartheta} = (\overline{\vartheta}_x^2 + \overline{\vartheta}_y^2 + \overline{\vartheta}_z^2)^{1/2}). \qquad (10)$$

Система уравнений движения частицы в проекциях на оси неподвижной цилиндрической системы координат

$$m\,(d\vartheta_{чr}/dt - \vartheta^2_{чψ}/r) = P_{aψ};\ m\,(d\vartheta_{чz}/dt + \vartheta_{чψ}/r) = P_{aψ};\ md\vartheta_{чz}/dt = P_{az}, \qquad (11)$$

где r — радиальная координата частицы аэрозоля; индексы r и ψ означают радиальные и тангенциальные составляющие скорости и силы. Проекции силы P_a в цилиндрической системе координат будут аналогичными (9) и (10).

Тогда систему уравнений (11) можно представить в окончательном виде

$$md\vartheta_{чr}/dt = P_{ar} + m\vartheta^2_{чψ}/r;\ md\vartheta_{чψ}/dt = P_{aψ} - m\vartheta_{чr}\vartheta_{ψ}/r;\ md\vartheta_{чz}/dt = P_{az}. \qquad (12)$$

При плоском движении частицы векторы уравнений (8) проецируют на оси полярной системы координат. В последнем случае движению частицы соответствуют два первых уравнения системы (12).

Уравнения (8) и (12) позволяют определить проекции абсолютного ускорения $d\vartheta/dt$ частицы в неподвижных системах координат. Таким образом, полученные системы дифференциальных уравнений движения твердофазной дисперсии в газовом потоке образуют модель локализующего воздействия местных отсосов на распространение пыли в воздушной среде помещения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Стернин Л. Е.* Двухфазные моно- и полидисперсные течения газа с частицами. М. : Машиностроение, 1980. 172 с.

2. *Диденко В. Г., Голубева С. И., Шубин О. В.* Особенности движения газового потока с дисперсией сварочного аэрозоля // Сборник материалов VI Международной науч. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. С. 288—292.

1. *Sternin L. Ye*. Dvukhfaznyye mono- i polidispersnyye techeniya gaza s chastitsami. M. : Mashinostroyeniye, 1980. 172 s.

2. *Didenko V. G., Golubeva S. I., Shubin O. B.* Osobennosti dvizheniya gazovogo potoka s dispersiyey svarochnogo aerozolya // Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauch. konf. Volgograd : VolgGASU, 2008. S. 288—292.

© Диденко В. Г., Шубин О. В, Голубева С. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Диденко В. Г., Шубин О. В., Голубева С. И. Улучшение качества внутрицеховой атмосферы за счет повышения локализующей эффективности местных отсосов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 237—240.

УДК 621.928.94

В. Г. Диденко, Т. А. Кисленко, С. В. Беломутенко

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ ЦИКЛОННОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

Рассматриваются вопросы движения обеспыливаемого потока в центробежных пылеуловителях и зависимости, позволяющие установить аналитическую связь между минимальным размером отделяемых частиц и расстоянием до наружной поверхности кольцевой циклонной камеры аппарата.

Ключевые слова: центробежный пылеуловитель, центробежные силы, пылегазовый поток.

The problems of remove dust stream movement in centrifugal air filters and laws which are permitted to fix the analytic relation between the minimum measurement of the separate species and the distance to the face of the ring cyclone chamber mechanism are considered.

K e y w o r d s: centrifugal dust collector, centrifugal force, dust and gas flow.

Движение обеспыливаемого потока в центробежных пылеуловителях определяется весьма сложным совместным действием ряда неоднородных сил. Поэтому для математического описания закономерностей движения частиц пыли в поле действия центробежных сил приходится принимать допущения, позволяющие формально представить процесс в виде типизированной модели, исключающей влияние определенного ряда сил.

В большинстве случаев при теоретическом анализе не учитываются силы тяжести, подъемная и электростатическая силы, влияние сил трения при скольжении пылинок по стенкам, движение потока считается стационарным с усредненной скоростью и отсутствием интенсивного турбулентного обмета. Также не учитывается взаимное влияние радиального стока и вторичных вихрей, увлекающих мелкие частицы к центру вращения. Предполагается, что центробежная сила инерции доминирующе действует на пылинки в радиальном направлении, а тангенциальные скорости частиц и среды в каждый момент времени равны между собой [1]. В общем случае, согласно закону Стокса, из условия доминирующего воздействия на частицы центробежных сил инерции и вязкого сопротивления среды величина центробежной силы инерции, действующей на частицы, определяется формулой

$$P_{\text{ц.б}} = m_{\text{ч}} \frac{\vartheta^2_{r(u)}}{R}, \qquad (1)$$

где $m_{\text{ч}}$ — масса частиц, кг; $\vartheta_{r(u)}$ — тангенциальная скорость частицы, м/с; R — радиус вращения потока, м.

С учетом этого в настоящем анализе дополнительно принималось, что траектории движения частиц мало отличаются от условий движения газа. Тогда для частиц, подчиняющихся вязкому режиму обтекания, определяемому законом Стокса, при

$$\text{Re}_{(\delta)} = \frac{\vartheta_{r(p)} \delta \rho_1}{\mu} \le 0{,}1 \qquad (2)$$

можно считать, что коэффициент аэродинамического сопротивления ξ изменяется обратно пропорционально критерию Рейнольдса $1/\text{Re}_{(\delta)}$ и определяется равенством

$$\frac{K}{\mathrm{Re}_{(\delta)}} = \frac{K\mu}{\vartheta_{r(p)}\delta\rho_1}, \tag{3}$$

где K — постоянная величина, зависящая от формы частиц.

Исходя из полученного выражения (2) с учетом вывода [2] можно показать

$$\frac{\vartheta^2_{r(u)}}{R} = \frac{\vartheta_{r(p)}\max}{T}. \tag{4}$$

Входящий в равенство (3) так называемый параметр течения

$$T = \frac{2\delta\rho_2 V}{K\mu F} = \frac{2\delta m_{\text{ч}}}{K\mu F}, \tag{5}$$

где V и F — объем и площадь миделева сечения частиц.

Из условия однозначности величина T характеризует частицы по составу и не зависит во времени от их движения. Отсюда если на частицу с массой $m_{\text{ч}}$ действует центробежная сила инерции $m_{\text{ч}}\left(\vartheta^2_{r(p)}\right)/R$, а ее радиальная скорость $\vartheta_{r(p)}$ мала, то в период $\tau = 0$ абсолютное значение $\vartheta_{r(p)}$ также будет равно нулю. Тогда, проектируя ее на радиус кривизны траектории, имеем

$$m_{\text{ч}}\frac{d\vartheta^2_{r(u)}}{dt} = m_{\text{ч}}\frac{\vartheta^2_{r(u)}}{R} - m_{\text{ч}}\frac{\vartheta_{r(p)}}{T}, \tag{6}$$

где $m_{\text{ч}}\left(\vartheta_{r(p)}\right)/T$ — сила вязкого сопротивления среды.

Уравнение (6) можно представить в следующем виде:

$$\frac{d\vartheta_{r(p)}}{dt} = \frac{1}{T}\left(\frac{\vartheta^2_{r(u)}T}{R} - \vartheta_{r(p)}\right) = \frac{1}{T}\left(\vartheta_{r(p)\max} - \vartheta_{r(p)}\right). \tag{7}$$

Преобразуем равенства (7) подобно решению уравнений при перемещении частиц с относительной скоростью $\vartheta_{r(p)}$ в однородном потоке газа того же направления.

Если данный момент времени $\tau = 0$ и $\vartheta_{r(p)} = 0$, тогда уравнение (3) приводится к виду

$$\vartheta_{r(p)} = \frac{\vartheta^2_{r(u)}T}{R}\left(1 - e^{-\frac{1}{T}}\right) = \vartheta_{r(p)\max}\left(1 - e^{-\frac{1}{T}}\right), \tag{8}$$

а пройденный путь частицы в относительном движении составит

$$x = \int_0^t \vartheta_{r(u)}dt = \vartheta_{r(u)\max}\left[\tau + T\left(e^{-\frac{1}{T}} - 1\right)\right]. \tag{9}$$

Из уравнений (9) следует, что так называемый параметр течения T представляет собой постоянную по времени и позволяет оценивать динамику, с которой относительная скорость частиц в радиальном направлении $\vartheta_{r(p)}$ при-

ближается к предельному значению $\vartheta_{r(p)\max}$. Следовательно, проблема улавливания мелкодисперсных частиц пыли теоретически сводится к определению параметра их течения T. Абсолютные значения параметра течения характеризуют степень улавливаемости пыли. Однако теоретический расчет параметра течения T может быть выполнен только в простых случаях, для приближенной оценки пыли. Количественное значение параметра течения T для различных пылей можно установить только экспериментальным путем.

В рассматриваемой модели течения двухфазного закрученного пылегазового потока механизм улавливания частичек пыли определяется условиями их соприкосновения с наружной поверхностью кольцевой камеры аппарата [3]. При этом время τ, необходимое для достижения частицей наружной поверхности кольцевой камеры, находящейся на расстоянии R_1 от оси вращения, должно быть меньше τ_0, за которое она пройдет путь ℓ в осевом направлении.

Преобразуя уравнение (3) с учетом равенства $\vartheta_{r(p)} = \dfrac{dR}{d\tau}$, имеем

$$\tau = \frac{1}{T}\int_{R_1}^{R_2} \frac{R}{\vartheta_{r(u)}^2} dR, \tag{10}$$

или, подставляя $x = R_1/R_2$ и вводя коэффициент формы частиц φ, получим

$$\tau = \left(\frac{R_2^2}{T\vartheta_{r(u)}^2}\right)\int_{x_1}^{1} \frac{x}{[\varphi(x)]dx}. \tag{11}$$

Для постоянного значения осевой скорости ϑ_0 время равно

$$\tau_0 = \frac{\ell}{\vartheta_0}. \tag{12}$$

Тогда условия улавливания частиц пыли в прямоточных аппаратах можно представить

$$\frac{R_2^2}{T\vartheta_{r(u)}^2}\int_{x}^{1} \frac{x}{[\varphi(x)]^2 dx} \le \frac{\ell}{\vartheta_0}, \text{ или} \tag{13}$$

$$\int_{x}^{1} \frac{x}{[\varphi(x)]^2 dx} \le \frac{L}{R_2}\frac{\vartheta_{r(u)}}{\vartheta_0}\frac{\vartheta_{r(u)}T}{R_2}. \tag{14}$$

Величины ℓ / R_2 и $\vartheta_{r(u)}/\vartheta_0$ зависят от геометрических размеров аппарата и кинематики движения газа, а параметр $\vartheta_{r(u)}T/R_2$ характеризует собой аэродинамическое воздействие потока на частицы.

Для шарообразных частиц пыли при $K = 24$ уравнение (14):

$$\int_{x}^{1} \frac{x}{[\varphi(x)]^2 dx} \le \frac{1}{18}\frac{\vartheta_{r(u)}}{\vartheta_0}\frac{\delta^2}{R_2^2}\frac{\rho_2}{\rho_1}\frac{\vartheta_{r(u)}\ell}{\vartheta}. \tag{15}$$

Эффективность пылеулавливания на прямоточных течениях в циклонных аппаратах определяется исходя из условия, что все частицы, находящиеся в кольцевой зоне между R_1 и R_2, улавливаются с эффективностью

$$\eta = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2} = 1 - x^{(1)^2}. \qquad (16)$$

Вычисляя интеграл $H = \int_{x'}^{1} \frac{x}{\left[\varphi(x)\right]^2 dx}$ и принимая закон распределения тангенциальной скорости $\omega = \frac{\vartheta_г}{R^\alpha} = \text{const}$, получим

$$\eta_1 = 1 - \left[1 - 2\beta \frac{\ell T_1 \vartheta_{r(u)}^2}{R_2^2 \vartheta_0}\right]^{1/\beta}, \qquad (17)$$

где $\beta = \alpha + 1$ — число между 1 и 2.

Эффективность пылеотделения на прямоточных участках циклонных аппаратов равна единице, если

$$2\beta = \frac{\ell T_1 \vartheta_{r(u)}^2}{R_2^2 \vartheta_0}. \qquad (18)$$

По уравнению (18) можно определять размер частиц, полностью улавливаемых в аппарате, с параметром течения, равным

$$T_1 = \frac{R_2^2 \vartheta_0}{2\beta \ell \vartheta_{r(u)}^2}. \qquad (19)$$

Частицы пыли с параметрами $T_i > T_1$ и $\delta_i > \delta_1$ будут соответственно полностью или частично уловлены.

Подобный расчет можно сделать для частиц с параметрами течения T_2, T_3,… и получить η_2, η_3, …, а затем и полную эффективность установки.

Для шарообразных частиц диаметром δ и плотностью $\rho_ч$ уравнение (15) имеет следующий вид:

$$\eta = 1 - \left[1 - \frac{\beta}{9} \frac{\vartheta_{r(u)}^2}{\vartheta_0} \left(\frac{\delta_1}{R_2}\right)^2 \frac{\rho_ч}{\rho_г} \frac{L}{\nu}\right]^{\frac{1}{\beta}}. \qquad (20)$$

Критический диаметр улавливаемых частиц определяется по уравнению

$$\delta_1 = R_2 \sqrt{\frac{9}{\beta} \frac{\vartheta_0}{\vartheta_{r(u)}^2} \frac{\rho_ч}{\rho_г} \frac{\nu_1}{L}}. \qquad (21)$$

Все частицы диаметром $\delta_i > \delta_1$ будут уловлены в пылеотделителе.

Рассмотренные зависимости позволяют установить аналитическую связь между минимальным размером отделяемых частиц и расстоянием до наружной поверхности кольцевой циклонной камеры аппарата.

Рассмотренные аналитические зависимости показывают, что эффективность центробежного пылеотделения в кольцевых циклонных камерах является комплексной функцией параметров кинематики движения газа, геометриче-

ских размеров аппарата, характеристики пыли и условий аэродинамического воздействия потока на частицы. Однако условия их получения базируются на принятии достаточного числа формализующих процесс допущений. Поэтому теоретические формулы дают достаточно приближенные, но качественные характеристики процесса. Конкретные зависимости между аппаратурно-режимными параметрами определенных конструкций пылеотделителей могут быть получены только из сопоставительного анализа данных экспериментальных исследований.

Рассмотренные результаты анализа закономерностей проявления определяющих факторов центробежной сепарации пылевых частиц в кольцевых камерах аппаратов циклонного типа позволяют выделить следующие основные условия их эффективности:

повышение скорости движения обеспыливаемого потока в объеме кольцевой камеры циклонного сепаратора;

увеличение времени движения обеспыливаемого потока в кольцевом канале за счет увеличения его высоты;

сокращение времени и пути радиально направленного дрейфа к поверхности корпуса сепаратора за счет уменьшения ширины кольцевого канала.

Принимая во внимание, что возможности повышения эффекта сепарации за счет увеличения скорости потока в кольцевом канале ограничены определенным ее значением, превышение которого уже не вызывает роста сепарации частиц, варьирование геометрическими параметрами представляется основным направлением совершенствования центробежной сепарации циклонных пылеуловителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бердт Р., Стьюарт В., Лайтфут Е.* Явления переноса. М. : Химия, 1974. 688 с.

2. *Диденко В. Г., Беломутенко С. В.* Упрощенная модель сепарации пыли в кольцевой камере вихреинжекционных пенных скрубберов // Научные концепции повышения жизненного уровня населения на современном этапе развития России : Всерос. межвуз. сб. науч. тр. Кисловодск, 2005. С. 70—75.

3. *Диденко В. Г, Беломутенко С. В.* Оценка определяющих факторов сепарационного разделения закрученных запыленных потоков аспирационного воздуха // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Технические науки. 2004. Вып. 3(13). С. 107—109.

1. *Berdt R., Styuart V., Laytfut E.* Yavleniya perenosa. M. : Khimiya, 1974. 688 s.

2. *Didenko V. G., Belomutenko S. V.* Uproshchennaya model separatsii pyli v koltsevoy kamere vikhreinzhektsionnykh pennykh skrubberov // Nauchnyye kontseptsii povysheniya zhiznennogo urovnya naseleniya na sovremennom etape razvitiya Rossii : Vseros. mezhvuz. sb. nauch. tr. Kislovodsk, 2005. S. 70—75.

3. *Didenko V. G., Belomutenko S. V.* Otsenka opredelyayushchikh faktorov separatsionnogo razdeleniya zakruchennykh zapylennykh potokov aspiratsionnogo vozdukha // Vestnik VolgGASU. Ser.: Tekhnicheskiye nauki. 2004. Vyp. 3 (13). S. 107—109.

© Диденко В. Г., Кисленко Т. А., Беломутенко С. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Диденко В. Г., Кисленко Т. А., Беломутенко С. В. Определяющие факторы циклонного обеспыливания вентиляционных выбросов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 241—245.

УДК 662.91

О. В. Бурлаченко, Н. В. Мензелинцева, И. В. Кабаева

АНАЛИЗ РАССЕИВАНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Представлены результаты мониторинговых исследований выбросов предприятий строительной отрасли.

К л ю ч е в ы е с л о в а: взвешенные частицы, источники промышленных выбросов, граница санитарно-защитной зоны.

Results of surveillance study of enterprise emissions in the construction industry are presented.

K e y w o r d s: suspended particles, sources of industrial emissions, border of sanitary protection area.

Пылевые выбросы производств строительной индустрии загрязняют не только промышленную площадку, но и прилегающие территории, зачастую селитебную зону.

Распространение твердых частиц зависит от многих факторов, в том числе от особенностей источника выброса, метеорологических условий, подстилающей поверхности, от особенностей самих загрязняющих веществ.

Для исследования особенностей распространения в атмосфере выбросов строительных производств в ходе мониторинговых исследований в течение 170 дней ежедневно производилось несколько серий замеров в воздушных потоках систем аспирации, пневмотранспорта, в воздухе рабочих зон, находящихся на территории предприятия и на границах санитарно-защитной зоны. Обследования проводились на 16 предприятиях строительной индустрии Волгоградской области (асфальтобетонные заводы, железобетонные заводы, предприятия по производству плит минеральной ваты и деревянных конструкций). Одновременно производился отбор проб для дисперсного анализа состава пылевоздушной смеси методом микроскопии [1]. Для контроля полученных данных параллельно проводились замеры приборами фирмы MINI Wall, позволяющими определить содержание взвешенных частиц размером менее 10 мкм, оказывающих наиболее опасное влияние на здоровье человека.

На рис. 1 приведены значения средних концентраций пыли в выбросах на границе санитарно-защитной зоны. Каждая точка соответствует средним показателям одного предприятия за весь период обследования. Как видно из рис. 1, ни для одной из трех групп выбросов пыли (щебень, цемент, песок) тесной стохастической зависимости между концентрацией пыли на источнике выброса и концентрацией пыли на границе санитарно-защитной зоны нет даже для однотипных предприятий (например, асфальтобетонных заводов одинаковой производительности). И одна из главных причин этого — различие в дисперсном составе пыли, выделяющейся от технологического оборудования. Например, на рис. 2 приведены результаты замеров дисперсного состава пыли для мельниц малой мощности. Содержание ТВЧ-10 в выбросах в атмосферу для однотипных производств колеблется от 60 до 95 %, а на границе санитарно-защитной зоны доля ТВЧ-10 достигает 100 %.

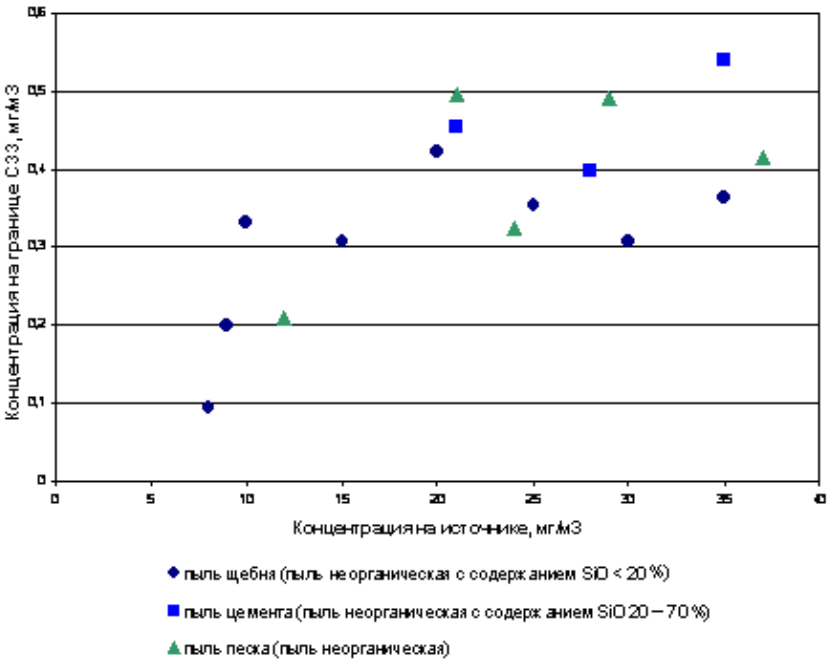


Рис. 1. Средние концентрации выбросов вредных веществ на предприятии и на границе санитарно-защитной зоны

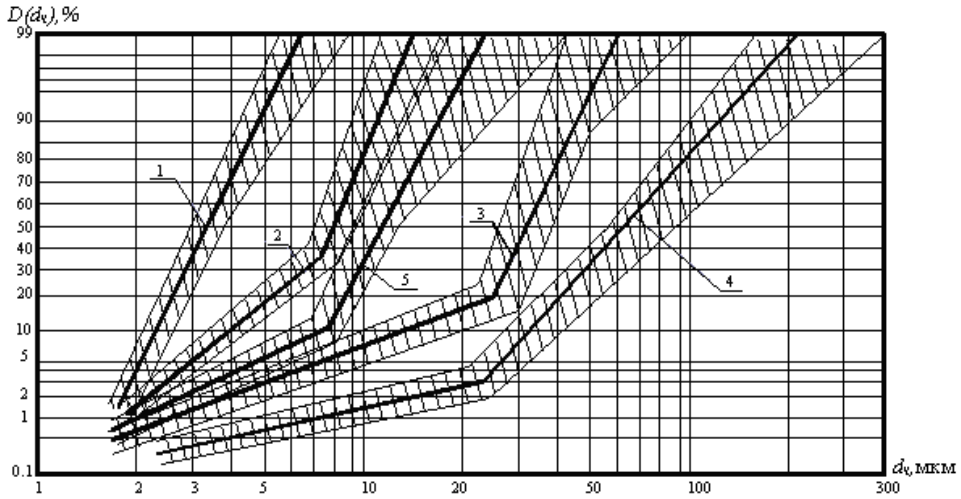


Рис. 2. Интегральные кривые распределения массы по диаметрам частиц $D(d_ч)$ в логарифмической координатной сетке для зерновой и мучной пылей: *1* — на границе санитарно-защитной зоны; *2* — на выходе в атмосферу из системы аспирации; *3* — система аспирации после пылеуловителя первой ступени; *4* — в системе аспирации до уловителя; *5* — в рабочей зоне на промышленной площадке

На основании проведенных исследований можно заключить, что при нормировании выбросов в атмосферу пользоваться только техническим регламентом нельзя. В зависимости от мощности производства пыль в выбросах в

атмосферу имеет различный дисперсный состав и, следовательно, нельзя по концентрации ТВЧ-10 на источнике выброса прогнозировать концентрацию ТВЧ-10 на границе СЗЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кабаева И. В.* Совершенствование методов расчета рассеивания пылевых выбросов на предприятиях стройиндустрии : дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2007. 168 с.

1. *Kabayeva I. V.* Sovershenstvovaniye metodov rascheta rasseivaniya pylevykh vybrosov na predpriyatiyakh stroyindustrii : diss... kand. tekhn. nauk. Volgograd, 2007. 168 s.

© Бурлаченко О. В., Мензелинцева Н. В., Кабаева И. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Мензелинцева Н. В., Кабаева И. В. Анализ рассеивания выбросов в атмосферу строительных производств // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 246—248.

УДК 628.551

Н. В. Мензелинцева, Н. Ю. Карапузова, С. И. Стефаненко, Е. О. Фомина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ЦЕМЕНТНОЙ ПЫЛИ СИСТЕМАМИ АСПИРАЦИИ

Рассматривается актуальный вопрос улучшения качества воздушной среды рабочей зоны оператора упаковочной машины цемента посредством разработки новой установки с рукавным фильтром и подвижным зонтом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пыль цемента, воздух рабочей зоны, местный отсос.

The actual question of the quality improvement of the air on the worker zone of the packing machine operator of the cement is considered by means of new installation development with bag filter and portable bonnet.

K e y w o r d s: dust of cement, air on worker zones, captor hood.

Основные технологические процессы производства цемента сопровождаются выделением большого количества пыли. Источниками пылевыделения служат печные агрегаты, мельницы, сушильные и дробильные установки, упаковочные машины цемента, узлы пересыпок и сброса пылящих материалов при их транспортировании.

Для обеспыливания выбрасываемых в атмосферу отходящих газов и аспирационного воздуха применяют специальные пылеулавливающие установки, которые предотвращают загрязнение воздуха и потери перерабатываемых материалов. При неудовлетворительной работе пылеулавливающего оборудования пыль рассеивается вне завода на площади радиусом до 20 км [1]. При неудовлетворительной аспирации транспортирующего, дробильно-размольного и другого оборудования в цехах завода возможно выделение пыли, ухудшающей условия труда и ускоряющей износ машин и контрольно-измерительных приборов. Эта пыль, попадая в органы дыхания, может являться причиной возникновения профессиональных заболеваний, таких как пневмокониоз.

Одним из источников выделения пыли являются упаковочные машины цемента. С целью улучшения качества воздушной среды была разработана установка для улавливания и очистки газовых выбросов от технологического оборудования, в частности от карусельных упаковочных машин [2].

Установка обеспечивает высокоэффективное удаление и очистку неорганизованных газовых выбросов от технологического оборудования и надежную регенерацию входящего в ее состав рукавного фильтра.

Установка для улавливания и очистки газовых выбросов содержит подвижный зонт, который соединяется гибким участком с газоходом и рукавным фильтром. Установка зонта непосредственно на местах фасовки цемента предотвращает распространение неорганизованных выбросов по цеху, позволяет снизить расход воздуха, поступающего на очистку. Привод зонта выполнен в виде поршневого пневмопривода, корпус которого жестко закреплен на вертикальной опоре. Шток поршня соединен с зонтом. Рукавный фильтр содержит корпус, пылевой бункер и фильтровальные рукава. Корпус разделен на камеры

загрязненного и очищенного газа. Верхние открытые концы фильтровальных рукавов неподвижно закреплены в корпусе и сообщены с камерой очищенного газа. Нижние закрытые концы фильтровальных рукавов прикреплены к металлической перфорированной пластине, установленной подвижно на пружинах в нижней части камеры загрязненного газа. Пластина соединена с размещенной снаружи корпуса площадкой, на которой расположен вибратор. По оси фильтровальных рукавов размещены электромагнитные катушки. В камерах загрязненного и очищенного газа установлены датчики давления, подключенные к блоку управления, который соединен с вибратором и источником питания электромагнитных катушек.

Для определения основных параметров процесса пылеулавливания и оценки эффективности улавливания цементной пыли были проведены экспериментальные исследования, при проведении которых использовался симметричный план для трех факторов B_3 [3]. План B_3 при небольшом числе опытов ($N = 14$) имеет хорошие статистические характеристики, по своим свойствам близок к D — оптимальным планам, обеспечивающим максимальную точность в оценке коэффициентов регрессии.

В качестве функции отклика была принята эффективность улавливания η. В качестве определяющих факторов были выбраны: $\overline{V}$ — средняя по площади скорость движения воздуха в живом сечении зонта; $\overline{c}$ — концентрация пылевых выбросов; h — расстояние от места фасовки до середины зонта.

Данный выбор обусловливается значимостью этих параметров, возможностью их регулировки и контроля.

В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномами второй степени с учетом значимости вычисленных коэффициентов на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$, принятом для технических экспериментов, получены следующие уравнения регрессии:

$$\eta = 98{,}46 - 0{,}3074\overline{c}^2 - 12{,}649\overline{V} + 1{,}5317\overline{c} + 0{,}0637\overline{h}.$$

Значимость коэффициентов проверяли, сопоставляя табличные значения критерия Стьюдента с расчетными при доверительной вероятности $p = 95$ % и числе степеней свободы $f = 28$, $t_т = 2{,}048$.

Адекватность уравнений регрессии проверялась сопоставлением расчетного и табличного значений критерия Фишера F, представляющего собой отношение дисперсии адекватности к ошибке опыта [3]. При уровне доверительной вероятности $\alpha = 0{,}05$ расчетное значение критерия Фишера составляет $F_p = 2{,}57$, что меньше табличного значения $F_т = 5{,}75$, следовательно, уравнения адекватны [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексеев Б. В.* Технология производства цемента : учебник для сред. проф.-тех. училищ. М. : Высш. шк., 1980 226 с.

2. Положительное решение о выдаче патента РФ на изобретение к заявке № 2009132228/15(045263) от 26.08.2009.

3. *Голикова Т. И., Панченко Л. И., Фридман Н. В.* Каталог планов второго порядка. Ч. 2. М. : МГУ, 1976. 392 с.

1. *Alekseyev B. V.* Tekhnologiya proizvodsva tsementa : uchebnik dlya sred. prof.-tekh. uchilishch. M. : Vyssh. shk., 1980. 226 c.

2. Polozhitelnoye resheniye o vydache patenta RF na izobreteniye k zayavke № 2009132228/15(045263) ot 26.08.2009.

3. *Golikova T. I., Panchenko L. I., Fridman N. V.* Katalog planov vtorogo poryadka. Ch. 2. M. : MGU, 1976. 392 c.

© Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Стефаненко С. И., Фомина Е. О., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Экспериментальные исследования эффективности улавливания цементной пыли системами аспирации / Н. В. Мензелинцева, Н. Ю. Карапузова, С. И. Стефаненко, Е. О. Фомина // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 249—251.

УДК 697.98

Н. В. Мензелинцева, Н. Ю. Карапузова, С. Б. Дьякова

АППАРАТЫ НА БАЗЕ ЗЕРНИСТЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Рассмотрена актуальная задача повышения эффективности очистки выбросов промышленных предприятий от твердых частиц с применением аппаратов на базе зернистых фильтров.

К л ю ч е в ы е с л о в а: циклон, зернистый фильтр, снижение запыленности воздуха.

The actual problem of efficiency upgrading of emissions cleaning from industrial enterprise from particulate matter with using the devices on the basis of granular-bed filters is considered.

K e y w o r d s: cyclone, granular-bed filter, dust reduction of air.

Для обеспыливания выбрасываемых в атмосферу отходящих газов и аспирационного воздуха строительного производства применяют специальные пылеулавливающие установки, которые предотвращают загрязнение воздуха и потери перерабатываемых материалов. На систему аспирации возлагаются две задачи: обеспечение благоприятной пылевой обстановки на рабочих местах и вблизи технологического оборудования, когда концентрация пыли в воздухе рабочей зоны не превышает ПДК, а также обеспечение минимального выброса пыли в атмосферу. В зависимости от выполнения этих задач можно говорить об эффективности работы систем аспирации.

В соответствии с санитарными нормами допустимая концентрация пыли строительного производства в воздухе рабочих помещений не должна превышать 6 мг/м^3. При неудовлетворительной работе систем вентиляции и аспирации зачастую происходит выделение пыли в воздух рабочей зоны помещений, что приводит к ухудшению условий труда рабочих и ускоряет износ машин и контрольно-измерительных приборов. Эта пыль, попадая в органы дыхания, может являться причиной возникновения различных профессиональных заболеваний, например таких, как пневмокониоз.

В настоящее время для очистки аспирационного воздуха все чаще применяют многоступенчатые системы обеспыливания, включающие в качестве первой ступени циклоны различных конструкций или вихреинерционные пылеуловители на встречных закрученных потоках, а в качестве второй и третьей — рукавные фильтры или электрофильтры.

Повышения эффективности улавливания твердых частиц можно достичь применением аппаратов с пористыми средами, среди которых для улавливания твердых частиц выбросов строительной отрасли целесообразно использовать аппараты на базе зернистых фильтров, которые обладают стойкостью к большим температурам и агрессивным средам при достаточно высокой степени очистки, что предопределяет перспективность использования этих аппаратов. Зернистый слой фильтров регенерируется путем перемешивания, обратной продувкой. Регенерация фильтров обратной продувкой слоев требует значительного количества газа с более низкой температурой, что в условиях высоко-

температурного фильтрования приводит к конденсации влаги, из-за чего снижается эффективность очистки в аппаратах.

Для улавливания выбросов строительного производства разработан аппарат на базе зернистого фильтра, где в качестве первой ступени может использоваться циклон либо жалюзийный пылеуловитель [1, 2].

На рис. 1 представлен двухступенчатый пылеуловитель, где в качестве первой ступени используется циклон. Аппарат включает в себя фильтр (*2*), содержащий зернистый фильтрующий материал, циклон (*1*), пылевыгрузочное устройство (*3*), патрубки подвода запыленного (*4*) и отвода очищенного (*5*) воздуха. Циклон выполнен в прямоточном исполнении и расположен над фильтром. Аппарат позволяет использовать крупные и средние фракции пыли, уловленной циклоном, в качестве зернистого фильтрующего материала.

Процесс очистки воздуха от пыли осуществляется ступенчато. Запыленный поток воздуха подается через входной патрубок в циклон, где происходит I ступень очистки; под действием сил гравитации крупные и средние фракции пыли оседают между коаксиально расположенными жалюзийными решетками (*6* и *7*) фильтра и, накапливаясь, образуют зернистый фильтрующий слой с размером частиц от 100 до 25 мкм, обусловливающих высокую насыпную плотность за счет увеличения объема пор и пустот между частицами пыли. II ступень очистки воздуха осуществляется в фильтре. Поток с тонкодисперсными фракциями пыли проходит через зернистый фильтрующий слой, при этом очищенный воздух проходит через отверстия в наружной жалюзийной решетке, скапливается в зазоре (*9*) и затем отводится через патрубок (*5*), а фильтрующий зернистый материал с уловленной тонкодисперсной пылью под действием сил гравитации опускается вниз и скапливается в конусе пылевыгрузочного устройства (*3*), откуда удаляется по мере необходимости при срабатывании весового дозатора (*11*).

На рис. 2 представлен двухступенчатый аппарат, где первой ступенью очистки является жалюзийный пылеуловитель [2, 3]. Основным элементом жалюзийного пылеуловителя (*1*) является жалюзийная решетка (*2*), жалюзи которой располагаются под углом естественного откоса к направлению движения воздуха. Данный аппарат снабжен патрубком ввода запыленного (*3*) и отвода очищенного (*4*) воздуха. Жалюзийный пылеуловитель соединен с зернистым фильтром воздухоприемным устройством (*5*), которое представляет собой разделительный конус с жалюзи и переходной втулкой.

Процесс очистки воздуха осуществляется ступенчато. Запыленный воздух подается через входной патрубок в жалюзийный пылеуловитель, где происходит первая ступень очистки воздуха от пыли. Поток запыленного воздуха, обтекая жалюзийную решетку разбивается на тонкие струйки, каждая из которых совершает поворот, при этом крупные и средние фракции пыли оседают в направлении щелей (*6*), соединяющих жалюзийный пылеуловитель с фильтром (*7*). Под действием сил гравитации они оседают между коаксиально расположенными жалюзийными решетками (*8* и *9*) фильтра (*7*). Поток воздуха с тонкодисперсными фракциями пыли попадает во внутреннюю полость жалюзийной решетки и, проходя через жалюзи воздухоприемного устройства, поступает в центральную часть фильтра. Оттуда поток воздуха проходит через отверстия во внутренней жалюзийной решетке, затем через зернистый фильтрующий

слой. Очищенный воздух, проходя через отверстия в наружной жалюзийной решетке, отводится через патрубок (*4*), а фильтрующий материал с уловленной тонкодисперсной пылью опускается в пылевыгрузочное устройство (*10*), откуда удаляется.

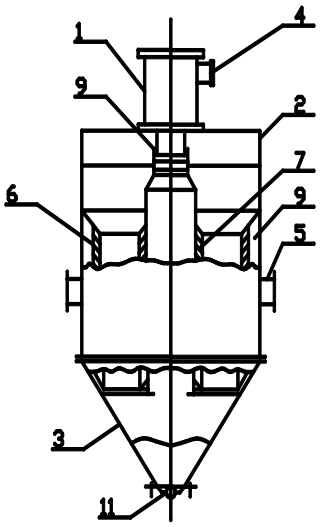


Рис. 1. Фильтр-циклон

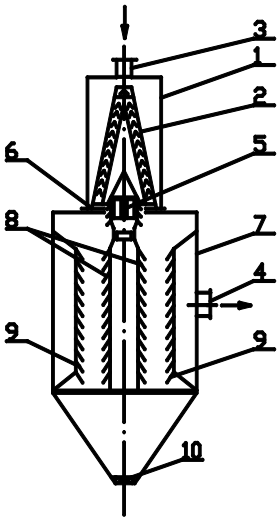


Рис. 2. Зернистый фильтр

Регенерация фильтра осуществляется путем постоянной или периодической подачи свежей зернистой загрузки, что обеспечивает непрерывность работы устройства без необходимости установки дополнительных секций для регенерации.

Использование рассмотренных конструкций пылеуловителей на базе зернистого фильтра позволяет повысить эффективность очистки выбросов различных производств строительной отрасли до 99,6 %, а также снизить уровень запыленности воздуха в рабочей зоне производственных помещений за счет более устойчивой работы в условиях изменения расходов воздуха в системах вентиляции и аспирации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Плеханова Л. И.* Аппарат для высокоэффективной очистки промышленных выбросов от твердых частиц // Вестник ВолгГАСУ Сер.: Стр-во и архит. 2007. Вып. 7(26) С. 161—163.

2. Зернистый фильтр-циклон для очистки выбросов сушильного барабана асфальтобетонных заводов от твердых частиц / В. Ф. Желтобрюхов, Н. В. Мензелинцева, Е. С. Круподерова, Н. Ю. Карапузова, В. А. Артамонов // Всероссийск. науч.-практич. конф. «Аэрозоли в промышленности и атмосфере». Пенза, 2001. С. 58.

3. Аппарат двухступенчатый для очистки воздуха от пыли / В. Ф. Желтобрюхов, Н. Ю. Карапузова, Е. С. Круподерова, В. А. Артамонов : материалы 3-й Междунар. науч.-технич. конф. «Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций» (Волгоград, 27—29 марта 2003). Ч. 4. С. 179.

1. *Menzelintseva N. V., Karapuzova N. Yu., Plekhanova L. I.* Apparat dlya vysokoeffektivnoy ochistki promyshlennykh vybrosov ot tverdykh chastits // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhit. 2007. Vip. 7(26) C. 161–163.

2. Zernisty filtr-tsiklon dlya ochistki vybrosov sushilnogo barabana asfaltobetonnykh zavodov ot tverdykh chastits / V. F. Zheltobryukhov, N. V. Menzelintseva, E. S. Krupoderova, N. Yu. Karapuzova, V. A. Artamonov // Vserossiysk. nauch.-praktich. konf. «Aerozoli v promyshlennosti i atmosfere». Penza, 2001. S. 58.

3. Apparat dvukhstupenchaty dlya ochistki vozdukha ot pyli // V. F. Zheltobryukhov, N. Yu. Karapuzova, E. S. Krupoderova, V. A. Artamonov : materialy 3-y Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. «Nadezhnost i dolgovechnost stroitelnykh materialov i konstruktsi» (Volgograd, 27—29 marta, 2003). Ch. 4. S. 179.

© Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Дьякова С. Б., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Дьякова С. Б. Аппараты на базе зернистых фильтров для очистки промышленных выбросов от твердых частиц // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 252—255.

УДК 697.92:665.6

В. Н. Азаров, А. Н. Богомолов, Т. Б. Гадаборшева

АНАЛИЗ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА РАБОЧИХ ЗОН ЦЕХОВ С МНОГОУРОВНЕВЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Рассматривается состояние воздушной среды рабочих зон на предприятиях строительной индустрии на примере цементного производства.

К л ю ч е в ы е с л о в а: воздух рабочих зон, запыленность, дисперсный состав.

The state of the workplace air at enterprises of construction industry is described by the example of cement production.

K e y w o r d s: workplace air, dust content, size distribution.

Состояние воздушной среды в цехах предприятий строительной индустрии, особенно в цехах с многоуровневым расположением оборудования, не соответствует требуемым нормам. Так, запыленность воздуха в рабочей зоне может в 2...5 раз превышать ПДК. Одной из главных причин этого является неудовлетворительная работа систем общеобменной и обеспыливающей вентиляции.

Обследование существующих систем общеобменной и местной вентиляции в цехах цементного производства позволило выявить целый ряд причин их неэффективной работы: неудовлетворительная схема организации воздухообмена и неточный расчет его величины, несоответствие оптимальным объемам воздуха, удаляемого аспирационными установками (они могут быть как недостаточные, так и завышенные), неправильные конструкции местных отсосов, неэффективная работа систем пылеочистки.

Одной из причин такого положения является то, что при расчете воздухообмена цеха по пыли из-за отсутствия ряда исходных данных (дисперсного состава и аэродинамических характеристик пыли; массового расхода пыли, выбивающейся из технологического оборудования; величины повторного взмучивания) невозможно рассчитать величину воздухообмена. Ввиду отсутствия данных о дисперсном составе и аэродинамических характеристиках пыли, поступающей в систему аспирации, также невозможно правильно рассчитать объемы воздуха, удаляемого аспирационными установками, и подобрать конструкции местных отсосов и систем пылеочистки.

Выделение частиц пыли из технологического оборудования происходит при загрузке и разгрузке, через неплотности и свободные проемы. Ввиду наличия общеобменной вентиляции, тепловых потоков, местных отсосов распределение скоростей воздушного потока имеет сложную пространственную структуру.

Одной из причин неудовлетворительной работы систем аспирации в цехах цементного производства является неправильный подбор местных отсосов и завышенные или заниженные значения требуемых объемов воздуха, удаляемого аспирационными установками от технологического оборудования. Завышенные значения приводят к большому уносу пыли из технологического

оборудования, и в результате неэффективной очистки аспирационные установки выбрасывают в атмосферу значительное количество пыли. Заниженные значения приводят к тому, что от технологического оборудования поступает в рабочую зону значительное количество пыли. Снижение объемов воздуха, удаляемого аспирационными установками от технологического оборудования, на 15...20 % сопровождается повышением запыленности до 1,5...2,5 ПДК

Закономерность распространения пыли в производственных помещениях цехов по производству цемента и оценки технологического оборудования как источника пылевыделения можно описать на основании вероятностно-стохастического подхода уравнением Понтрягина — Богуславского

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = W_x \frac{\partial P}{\partial X} + W_y \frac{\partial P}{\partial Y} + W_z \frac{\partial P}{\partial Z} + 0,5 \sum_{i=1}^{3} b_i \frac{\partial^2 P}{\partial X_i^2}.$$

Во многих исследованиях на основании этого уравнения описывается распространение пыли от одиночного источника.

На основании ранее проведенных исследований были получены значения максимальной интенсивности пылеоседания и мощности пылевыделений, при этом исследования зависимости скорости оседания от эквивалентного диаметра частицы пыли позволили сделать вывод о том, что при скорости восходящего воздушного потока от 0,1 до 0,17 м/с во взвешенном состоянии в рабочей зоне могут находиться частицы с медианным размером от 2,5 до 10 мкм (рис. 1, 2).

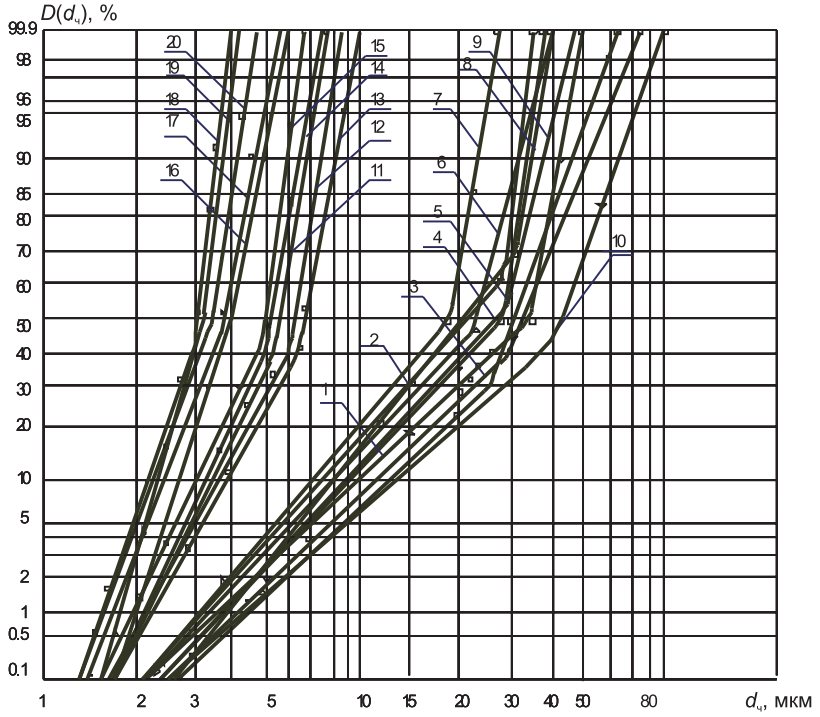


Рис. 1. Интегральная функция распределения массы частиц по диаметрам: *1—10* — у мест пересыпки цемента на высоте 1,5 м; *11—15* — на высоте 4 м; *16—20* — под потолком цеха

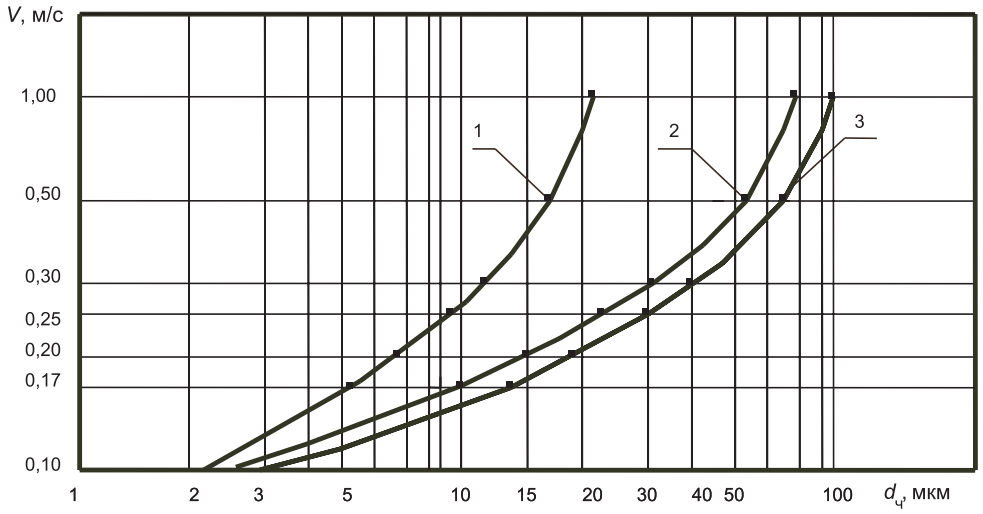


Рис. 2. Зависимость скорости оседания частиц пыли от эквивалентного диаметра частицы в логарифмической сетке: *1* — минимальные эквивалентные диаметры; *2* — медианные эквивалентные диаметры; *3* — максимальные эквивалентные диаметры

При этом частицы такого размера составляют 5...7 % от общего количества пыли, выбивающейся из технологического оборудования.

Следовательно, исследование запыленности воздуха рабочих зон и дисперсного состава выбивающейся пыли необходимо при разработке технических решений по совершенствованию конструкций оборудования и расчете параметров вентиляционных и аспирационных систем.

© Азаров В. Н., Богомолов А. Н., Гадаборшева Т. Б., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Азаров В. Н., Богомолов А. Н., Гадаборшева Т. Б. Анализ запыленности воздуха рабочих зон цехов с многоуровневым расположением оборудования на предприятиях строительной индустрии // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 256—258.

УДК 697.92:665.6

А. Н. Богомолов, Т. Б. Гадаборшева

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕТЕКАНИЯ ВОЗДУХА РАБОЧИХ ЗОН В ЦЕХАХ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОГРАНИЧЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛОЩАДОК СТРОИТЕЛЬНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Рассматриваются течения воздушных масс в отдельных аэродинамических объемах в зависимости от ограниченности строительными конструкциями, наличия источников теплопылевыделений и других факторов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вентиляция, воздухообмен, аэродинамические объемы.

The stream of air masses in separate aerodynamic volumes is considered depending on the limitation of building constructions and on the availability warmparticulate emission source and other factors.

K e y w o r d s: ventilation, air exchange, aerodynamic balance.

Вопросы рационального распределения приточного воздуха приобретают тем большее значение, чем выше санитарно-гигиенические и технологические требования к однородности воздушной среды помещений. В настоящее время в целом ряде производств для обеспечения требований технологического процесса необходимо строгое поддержание заданных параметров воздушной среды по всему объему рабочей зоны помещения.

Сегодня при проектировании предприятий строительной индустрии организация воздухообмена корпусов с многоярусными технологическими площадками происходит в соответствии с общепринятыми нормами, не учитывающими специфику производства каждой подотрасли, многоярусное расположение производственного оборудования, различный характер пыле- и тепловыделений от источников, которые, располагаясь неравномерно по площади и по высоте корпусов, могут быть протяженными, объемными и точечными. Оценкой состояния санитарно-гигиенических условий труда и разработкой мероприятий по их улучшению на рабочих местах в цехах занимались В. Д. Кононенко, В. Н. Азаров и др. Были проведены замеры температуры, запыленности и подвижности воздуха. Замеры проводились в летний, зимний и переходный периоды года с использованием общепринятой методики и оборудования. Было установлено, что происходит значительное изменение измеряемых параметров по всему объему цеха, особенно в так называемом «стволе» цеха. Неравномерность распределения температуры, скорости и концентраций вредных выделений в рабочую зону помещения обусловлена компоновкой источников, наличием и герметичностью местной вытяжной вентиляции, схемой организации притока, формой и количеством приточных струй. Все эти факторы в конечном счете определяют взаимодействие приточных струй с внутренним, более нагретым и загрязненным воздухом. Струи приточного воздуха встречают на своем пути различные препятствия в виде оборудования, могут настилаться на их поверхность или обтекать, что связано с дополнительным образованием завихрений или застойных (менее подвижных) зон и областей. Неравномерность

распределения параметров как по высоте, так и по длине наблюдается и в самих приточных струях. Поэтому добиться абсолютной равномерности распределения параметров воздуха в рабочей зоне практически невозможно. Все это осложняет принятие правильных решений по организации воздухообмена.

Применяемые методы оценки качества воздухораспределения, предложенные Г. Штаубом, П. Фангером, не обеспечивают полного и детального изучения воздухообмена. Наибольшее распространение в зарубежной практике нашел метод, предложенный Р. Невинсом, получивший название стандарта ADPJ. Связь между перепадом температуры и скоростью движения воздуха

$$\theta = t_x - t_b - 7,66(v - 0,15), \quad (1)$$

но и этот расчет не учитывает точного распределения *t* и *v* воздушных масс по высоте многоярусных предприятий.

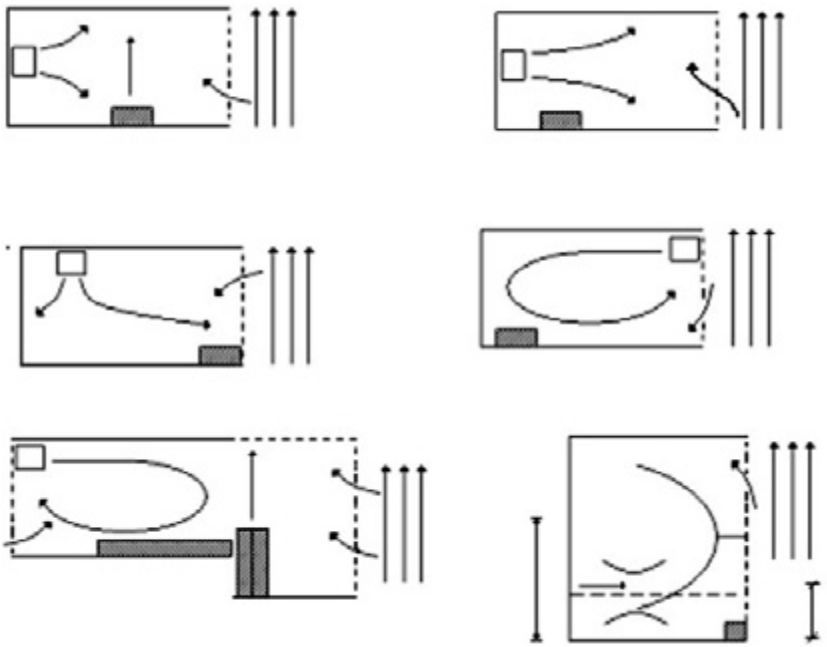
В России проблемами организации воздухообмена в цехах с технологическими площадками или проемами в межэтажных перекрытиях занимались И. И. Полосин, Е. И. Богуславский, В. Д. Кононенко, В. Н. Азаров и др. Ими были предложены различные схемы организации воздухообмена и его расчета.

Опыт показывает, что из-за неудачной организации воздухообмена в помещении и, в первую очередь, неправильного выбора и расчета воздухораспределительных устройств не удается обеспечить в рабочей зоне помещения заданных параметров воздушной среды. При работе систем в режиме охлаждения в местах внедрения приточных струй могут создаваться повышенные скорости и перепады температуры, сопровождающиеся, как уже отмечалось, неприятным ощущением сквозняка и повторным введением уже осажденной пыли в воздухообмен цеха. Неправильный расчет систем воздухораспределения может приводить к образованию застойных (невентилируемых) зон, в которых происходит повышение температуры воздуха или концентрации вредных примесей. В связи с этим необходимо уделять большое внимание выбору способа воздухораздачи, конструкции и мест расположения воздуховыпускных устройств, а также определению начальных параметров подаваемого в помещение воздуха.

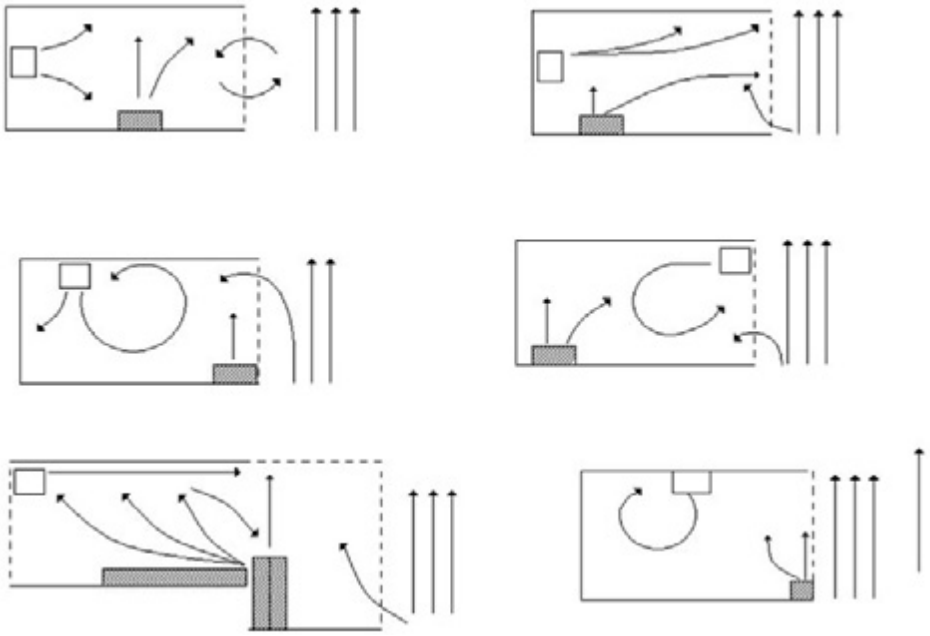
Именно поэтому большое значение приобретают методы, основанные на принципах разделения помещения на определенные зоны, течение в которых описывается значительно более простыми уравнениями с достаточной для вентиляционных задач точностью.

Существуют различные методы разделения производственных помещений с технологическими площадками на аэродинамические объемы (рис.), которые рассматриваются как модули.

Модуль можно взять за основу для расчета воздухообмена. Расчет воздухообмена производится не для всего объема цеха в целом, а для каждого аэродинамического объема в отдельности. Расчет воздухообмена для каждого аэродинамического объема осложняется перетеканием воздуха, а вместе с ним и вредностей из одного объема в другой через боковые границы и через отверстия в площадках. Поэтому расчет следует производить последовательно снизу вверх. При этом параметры потоков из нижних объемов оказывают существенное влияние на параметры воздуха в рабочей зоне верхних объемов. Очевидно, следует перераспределить расчетные воздухообмены в сторону увеличения для верхних объемов цехов.



а



б

Аэродинамические схемы многоярусного помещения с выделениями пыли (*а*) и с теплоизбытками (*б*)

В рассматриваемой группе цехов схема движения воздуха во внутреннем объеме помещения предусматривает наличие восходящего конвективного потока от одного или нескольких источников тепла [1]. Как правило, тепловыделения от них с конвективным потоком сразу уходят из рабочей зоны и частично возвращаются в нее через зону нисходящего конвективного потока с приточными струями. Однако в любом цехе имеется достаточное количество источников выделения тепла, конвективный поток над которыми имеет скорость, соизмеримую с подвижностью воздуха в рабочей зоне, и поэтому размывается до того, как выйдет за ее пределы. Тепловыделения от таких источников можно считать ассимилированным воздухом рабочей зоны.

Для расчета воздухообмена каждой из технологических площадок необходимо знать количество воздуха, затекающего на площадку из ствола, его запыленность и температуру. Причинами перетекания могут быть возрастающие расходы в восходящих потоках ствола, эжектирующее влияние приточного воздуха на площадке, дебаланс воздухообмена на площадке. Поэтому приток на площадку должен превышать объем воздуха, удаляемого аспирационными системами и местной вытяжной вентиляцией.

Зависимость между величиной воздухообмена и способом организации его для цехов с многоярусными технологическими площадками как со значительными тепловыделениями, так и со значительными выделениями вредностей (пыли) может быть применена для расчета величины воздухообмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Азаров В. Н.* Расчет оптимальных схем воздухообмена в цехах с многоярусным расположением технологического оборудования // Международ. науч. симпозиум «Экология и безопасность жизнедеятельности». Волгоград, 1996. С. 86—87.

1. *Azarov V. N.* Raschet optimalnykh skhem vozdukhoobmena v tsekhakh s mnogoyarusnym raspolozheniyem oborudovaniya // Mezhdunarod. nauch. simpozium «Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti». Volgograd, 1996. S. 86—87.

© Богомолов А. Н., Гадаборшева Т. Б., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Богомолов А. Н., Гадаборшева Т. Б. Особенности перетекания воздуха рабочих зон в цехах строительного производства в зависимости от ограниченности технологических площадок строительными конструкциями // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 259—262.

УДК 621.644.8

Ю. Г. Лапынин

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены различные методы контроля герметичности трубопроводов при эксплуатации газотранспортных систем. Предложены принципы построения стендового оборудования для определения утечек из газопроводов, которое позволит сравнить различные методы определения утечек и даст возможность определить наиболее эффективные методы для различных условий эксплуатации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: газотранспортная система, трубопровод, утечка, герметичность.

The different control methods of the pipeline pressurization by the operation of the gas transmission systems are described. The construction principles of the bench equipment are proposed for determining the leakages from the gas pipes which will be matched the different methods of leaks detection and will be defined the most effective methods for the varied application environment.

K e y w o r d s: gas pipeline network, pipeline, leak, hermiticity.

Основным фактором, определяющим надежность и безопасность эксплуатации газотранспортных систем, является сохранение их герметичности, поскольку в результате нарушения герметичности вместе с потерей продукта возникает опасность взрыва, пожара, загрязнения окружающей среды. В этой связи своевременное обнаружение и устранение утечек является актуальной проблемой, позволяющей оптимизировать проведение ремонтно-восстановительных работ. Все это диктует настоятельную необходимость развития оперативных методов контроля герметичности газопроводов.

В практике эксплуатации газотранспортных систем используются разнообразные методы контроля герметичности трубопроводов, среди которых представляется целесообразным выделить две группы: методы, основанные на контроле технологических параметров, и методы, основанные на физических явлениях, сопровождающих возникновение нарушения герметичности трубопровода.

Контроль герметичности осуществляют:

патрулированием (пешим, на транспорте, из воздуха, из космоса);

внутритрубным зондированием;

непрерывно с помощью стационарных систем;

гидроиспытанием остановленного трубопровода.

Магистральные газопроводы имеют охранную зону, которая наряду с самим объектом подлежит контролю и обслуживанию. Эти функции осуществляются либо службой линейных обходчиков, либо при такой значительной протяженности газопроводов, как в России, мобильной наземной или авиационной службой линейного контроля [1, 2, 10].

При визуальном контроле охранной зоны опытный оператор по косвенным признакам (характер поверхности почвы, наличие и цвет растительности) в некоторых случаях в состоянии обнаружить место утечки. Однако это справедливо

только для достаточно мощных и долговременных процессов утечек. Вероятность и чувствительность обнаружения можно повысить путем применения телевизионной (ТУ) аппаратуры с последующей обработкой и накоплением информации для выделения характерных дефектов и признаков их развития во времени. Кроме того, в данном случае решается задача документирования визуальной информации о состоянии охранной зоны и технологического оборудования.

Одним из перспективных методов выявления утечек является тепловизуальный. В этом случае дистанционное обнаружение утечки основано на визуализации или установлении температурной аномалии почвы над местом свища [1].

Методы тепловой съемки для обеспечения безаварийной эксплуатации трубопроводных систем можно рассматривать более широко, чем непосредственный поиск мест разгерметизации по температурным аномалиям. Тепловые радиометрические «портреты» земной поверхности принципиально позволяют диагностировать сейсмически опасные районы, геологические аномалии и экологическое состояние земной поверхности. Эти факторы зачастую являются либо причиной, либо следствием плохого технического состояния трубопровода [1, 2].

Для безопасной эксплуатации газотранспортных систем необходимо патрулирование газопровода с целью своевременного обнаружения утечек газа. В городских условиях о герметичности газовой сети судят по концентрации газа, накапливающегося в подземных инженерных сооружениях (подвалах, колодцах, коллекторах). Немало колодцев расположено на проезжей части дорог и улиц, вдоль которых обычно и прокладываются распределительные газопроводы. В этих случаях незаменимы автомобильные лаборатории-искатели на основе лазерных газоанализаторов, способные вести непрерывный контроль на ходу [11]. Достоинства лабораторий-искателей на основе лазерных газоанализаторов проявляются при решении следующих задач:

обнаружения утечек из подземных газопроводов городских газовых сетей, а также из магистральных и распределительных трубопроводов с помощью автолаборатории, осуществляющей измерения на ходу;

обнаружения утечек из подземных, наземных и воздушных газопроводов с помощью ручной тележки, осуществляющей измерения на ходу;

обнаружения утечек из магистральных газопроводов с помощью авиалаборатории;

измерения вариаций метанового (углеводородного) фона на больших площадях (углеводородная съемка) с помощью авиалаборатории с целью поиска месторождений нефти и газа и экологического контроля состояния атмосферы.

Применение усовершенствованных методов на действующих газопроводах позволит дистанционно осуществлять непрерывный контроль состояния газопровода, оперативно обнаруживать местоположения появляющихся утечек перекачиваемого продукта, визуально оценивать масштабы аварии и быстро локализовывать аварийный участок.

Для повышения достоверности в обнаружении утечек необходимо создание эталонных изображений тепловых полей. Для этого создаются стенды для моделирования утечек газа. Однако на данный момент они имеют недостатки,

связанные с тем, что выполняются со сменными блоками с эталонными отверстиями. Данные блоки с установкой в вырезы (выполненные вдоль и по периметру трубы) плохо уплотняются, что значительно снижает достоверность экспериментов. Кроме того, необходимость частого извлечения трубы из грунта снижает сопоставимость экспериментов и увеличивает время их проведения.

Разработано стендовое оборудование (рис. 1), которое имеет хотя бы одно отверстие *1* в оболочке *2* участка трубопровода *3*.

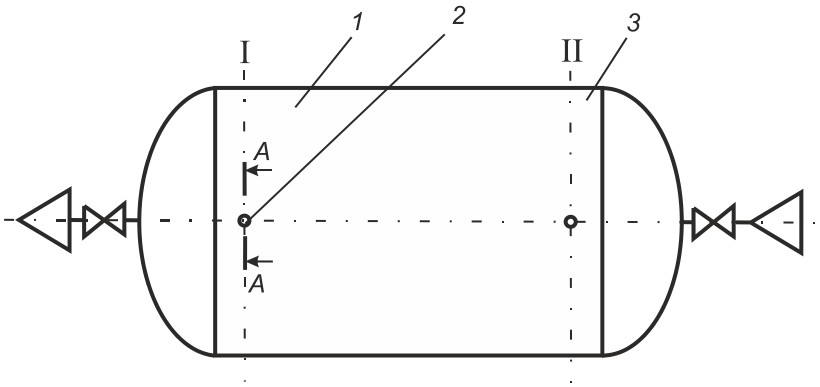


Рис. 1. Фрагмент стенда для моделирования утечек газа

Внутри оболочки *1* (рис. 2) выполнено кольцо *2* с эталонными отверстиями *3* и механизмом поворота (на рисунке не показан), причем группа отверстий может состоять из одного или нескольких отверстий.

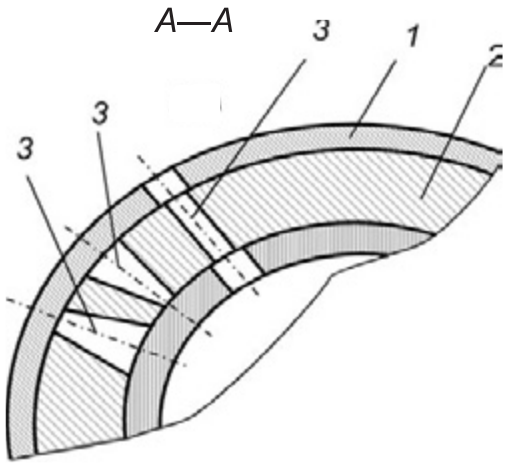


Рис. 2. Фрагмент сечения трубы

Для имитации количественного и качественного повреждения газопровода отверстия в оболочке могут располагаться в несколько рядов по длине трубопровода (например, I и II, см. рис 1) и *A*, *B*, *C*, *D* (рис. 3) в поперечном сечении. Для организации утечки через одно отверстие в ряду (I или/и II) угол β между осью первого отверстия первой группы *1* и первым отверстием второй группы *2* должен составлять 180° + δ, причем угол δ должен быть больше угла θ

между осями первого и последнего отверстий второй группы отверстий. Для организации утечки через два отверстия в ряду угол γ между осью первых отверстий первой и третьей группы должен быть больше 90°.

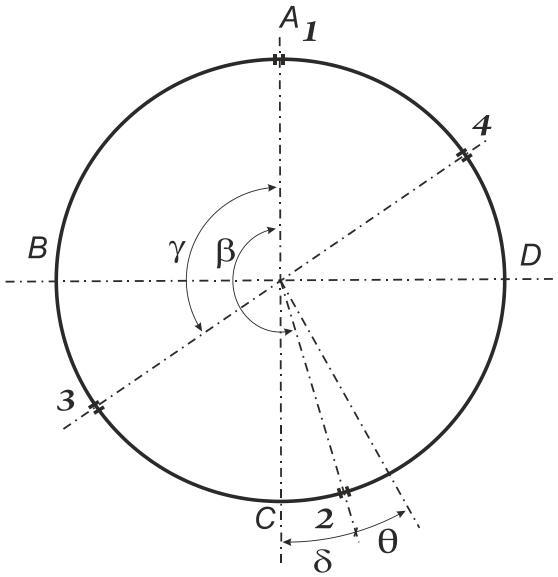


Рис. 3. Схема расположения групп эталонных отверстий

Предлагаемый стенд для определения утечек из газопроводов (имитирующий различные повреждения трубопроводов как качественные, так и количественные и различные параметры грунта) позволит сравнить различные методы определения утечек и даст возможность определить наиболее эффективные методы в различных условиях эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бутиков Ю. А., Чура Н. И., Широченский С. И.* Современные дистанционные методы и аппаратура контроля утечек, ОИ. Сер.: Автоматизация, телемеханизация и связь в газовой промышленности. М. : ИРЦ Газпром, 1995.

2. *Ионин Д. А., Яковлев Е. И.* Современные методы диагностики магистральных газопроводов. Л. : Недра, 1987. С. 69—71.

3. Трубопроводный транспорт нестабильного газового конденсата / А. А. Коршак, А. И. Забазнов, В. В. Новоселов, В. И. Матросов, Б. А. Клюк. М. : ВНИИОЭНГ, 1994. С. 153—161.

4. Моделирование задач эксплуатации систем трубопроводного транспорта / Е. И. Яковлев, В. Д. Куликов, А. В. Шибнев, В. А. Поляков, Н. С. Ковалевич, Ю. К. Шарабудинов. М. : ВНИИОЭНГ, 1992. С. 77—107.

5. Патент на изобретение РФ № 2119611. Способ обнаружения утечки перекачиваемого продукта из магистрального трубопровода / И. А. Каменских, В. Г. Гришин. 27.09.1998.

6. Патент на изобретение РФ № 2119610. Способ обнаружения утечек газа из магистральных газопроводов бортовыми диагностическими системами и стенд моделирования утечки газа / В. Ф. Янишевский, В. Т. Дедеш, В. В. Цыплаков, Н. А. Данковцев, Ю. И. Калинин, П. Г. Филиппов. 27.03.2003.

7. *Гришин В. Г., Каменских И. А., Иванов В. А.* Система обнаружения утечек газа на магистральных газопроводах // Известия вузов. Нефть и газ. 1999. № 1. С. 62—67.

8. *Алеев Р. М., Овсянников В. А., Чепурский В. Н.* Воздушная тепловизионная аппаратура для контроля нефтепродуктопроводов. М. : Недра, 1995. 160 с.

9. *Сколовский С. А., Бабаянц П. А., Керцман В. М.* Дистанционный экологический мониторинг крупных промышленных центров // Международная геофизическая конференция и выставка : сб. тез. докл. М., 1997.

1. *Butikov Ju. A., Chura N. I., Shirochenski S. I.* Sovremennyye distantsionnyye metody i apparatura kontrolya utechek, OI. Ser.: Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz v gazovoy promyshlennosti. M. : IRTs Gazprom, 1995.

2. *Ionin D. A., Yakovlev E. I.* Sovremennyye metody diagnostiki magistralnykh gazoprovodov. L. : Nedra, 1987. S. 69—71.

3. Truboprovodny transport nestabilnogo gazovogo kondensata / A. A. Korshak, A. I. Zabaznov, V. V. Novoselov, V. I. Matrosov, B. A. Klyuk. M. : VNIIOENG, 1994. S. 153—161.

4. Modelirovaniye zadach expluatatsii sistem truboprovodnogo transporta / E. I. Yakovlev, V. D. Kulikov, A. V. Shibnev, V. A. Polyakov, N. S. Kovalevich, Ju. K. Sharabudinov. M. : VNIIOENG, 1992. S. 77—107.

5. Patent na izobreteniye RF № 2119611. Sposob obnaruzheniya utechki perekachivayemogo produkta iz magistralnogo truboprovoda / I. A. Kamenskikh, V. G. Grishin. 27.09.1998.

6. Patent na izobreteniye RF № 2119610. Sposob obnaruzheniya utechek gaza iz magistralnykh gazoprovodov bortovymi diagnosticheskimi sistemami i stend modelirovaniya utechki gaza / V. F. Yanishevski, V. T. Dedesh, V. V. Tsyplakov, N. A. Dankovtsev, Ju. I. Kalinin, P. G. Filippov. 27.03.2003.

7. *Grishin V. G., Kamenskikh I. A., Ivanov V. A.* Sistema obnaruzheniya utechek gaza na magistralnykh gazoprovodakh // Izvestiya vuzov. Neft i gaz. 1999. № 1. S. 62—67.

8. *Aleyev R. M., Ovsyannikov V. A., Chepurski V. N.* Vozdushnaya teplovizionnaya apparatura dlya kontrolya nefteproduktoprovodov. M. : Nedra, 1995. 160 s.

9. *Skolovski S. A., Babayants P. A., Kertsman V. M.* Distantsionny ekologicheski monitoring krupnykh promyshlennykh tsentrov // Mezhdunarodnaya geofizicheskaya konferentsiya i vystavka : sb. tez. dokl. M.,1997.

© Лапынин Ю. Г., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Лапынин Ю. Г. Обеспечение экологической безопасности газотранспортных систем // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 263—267.

УДК 502.17:628.312

Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, С. И. Мойжес

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В АЭРОТЕНКИ

В условиях увеличения нагрузки на очистные сооружения и повышения выплат по штрафам за сброс загрязнений в водоемы большое значение имеет величина эксплуатационных затрат, обеспечивающих эффективность процесса. Для решения этой проблемы была поставлена задача определения при помощи математического аппарата минимальной концентрации растворенного кислорода в аэротенках, при которой обеспечивается максимальная эффективность процесса очистки. При применении данной модели к показателям реальной сточной воды московских очистных сооружений экономия электроэнергии составила до 10 %.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вода, экология, очистка сточных вод, математическая модель.

The value of operating costs to ensure the effectiveness of the process is mattered with increasing the load on wastewater treatment plants and increasing fine payments for dumping pollutants into the pond. The task of determining the minimum concentration of dissolved oxygen in the aeration tanks which is provided a maximum efficiency of the cleaning process is set with the help of mathematical apparatus in response to this problem. Applying this model to values of real waste water of Moscow treatment plants is saved up to 10 % of electrical power.

K e y w o r d s: water, ecology, wastewater treatment, mathematical model.

Современные экономические условия ставят перед эксплуатационными службами канализационных очистных сооружений задачу обеспечения требуемого качества очищенной воды при минимальных эксплуатационных затратах. Одним из основных подходов к решению данной проблемы является недопущение перерасхода воздуха, подаваемого в аэротенки на реализацию процессов нитрификации.

Большинство сооружений биологической очистки в нашей стране были в свое время запроектированы только на окисление органических соединений. Перевод аэротенков в режим глубокой нитрификации позволяет в 1,7...2,5 раза снизить экологические платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоемы. Однако процессы глубокого окисления аммонийного азота требуют иного кислородного режима по сравнению с процессами окисления органических веществ.

Перед нами стояла задача определения минимальной концентрации растворенного кислорода в аэротенках, обеспечивающей максимальную эффективность процесса нитрификации, то есть необходимо было решить оптимизационную задачу. Оптимизация любого процесса заключается в нахождении оптимума рассматриваемой функции или оптимальных условий данного процесса. Для оценки оптимума необходимо выбрать критерий оптимизации (в том числе и технологический). На основании выбранного критерия оптимизации составляется целевая функция, представляющая собой зависимость критерия оптимизации от параметров, влияющих на его значение. Задача оптимизации сводится к нахождению экстремума (максимума или минимума) целевой функции.

При решении указанной выше задачи оптимизации — нахождения минимальной концентраций растворенного кислорода, обеспечивающей макси-

мальную эффективность процесса нитрификации, — критерием оптимизации является максимальная эффективность процесса нитрификации.

Известно [1], что гидродинамику потока реальных сооружений очистки сточных вод можно описать соответствующим количеством ячеек идеального смешения. Реактор идеального смешения описывается одной ячейкой ($m = 1$), количество ячеек реактора идеального вытеснения стремится к бесконечности ($m \to \infty$). Гидродинамический профиль аэротенков, как правило, представляет собой промежуточное положение между идеальным смесителем и идеальным вытеснителем, и число ячеек подбирается таким образом, чтобы отразить существующую гидродинамику.

На практике количество ячеек идеального смешения, соответствующее реальному гидродинамическому режиму сооружения, определяют экспериментально.

Дифференциальное уравнение, описывающее соответствующий биохимический процесс в ячейке идеального смешения, определяется из уравнения материального баланса:

$$\left\{\begin{array}{c}\text{скорость}\\ \text{изменения}\\ \text{количества}\\ \text{вещества}\\ \text{в}\\ \text{реакторе}\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c}\text{количество}\\ \text{поступающего}\\ \text{вещества}\\ \text{в}\\ \text{реактор}\end{array}\right\} - \left\{\begin{array}{c}\text{количество}\\ \text{выходящего}\\ \text{вещества}\\ \text{из}\\ \text{реактора}\end{array}\right\} - \left\{\begin{array}{c}\text{количество}\\ \text{удаленного}\\ \text{вещества}_1\end{array}\right\}. \qquad (1)$$

Для процесса нитрификации дифференциальное уравнение, следующее из (1), будет выглядеть так:

$$\left\{V\frac{dS_{NY}}{dt}\right\} = \left\{qS_{NH,0}\right\} - \left\{qS_{NH,t}\right\} - \left\{V\rho\left(S_{NH,t}\right)_1 X\right\}, \qquad (2)$$

где V — объем ячейки идеального смешения, м^3; $S_{NH,0}$ — концентрация аммонийного азота на входе в ячейку, мг/л; $S_{NH,t}$ — концентрация аммонийного азота на выходе из ячейки, мг/л; $\rho(S_{NH,t})$ — скорость процесса нитрификации в рассматриваемой ячейке идеального смешения, мг/г · ч; X — доза активного ила, г/л; q — расход сточной воды, м^3/ч.

Разделив левую и правую часть уравнения (2) на объем ячейки V, получаем:

$$\frac{dS_{NH}}{dt} = \frac{1}{T_h}\left(S_{NH,0} - S_{NH,t}\right) - \rho(S_{NH,t_j})X \qquad (3)$$

или

$$\frac{1}{T_h}\left(S_{NH,0} - S_{NH,t}\right) - \rho(S_{NH,t_j})X = \frac{dS_{NH}}{dt}, \qquad (4)$$

где T_h — время нахождения сточной воды в одной ячейке, ч.

С учетом того что гидродинамика потока реального аэротенка описывается m последовательно соединенными ячейками идеального смешения, уравнение, описывающее одну из этих ячеек, например j-ю, будет иметь вид

$$\frac{1}{T_{h,j}}\left(S_{NH,0,j}-S_{NH,t,j}\right)-\rho(S_{NH,t,j_j})X=\frac{dS_{NH,j}}{dt}, \tag{5}$$

где $S_{NH,\,0,\,j}$ — концентрация аммонийного азота на входе в j-ю ячейку, мг/л; $S_{NH,\,t,\,j}$ — концентрация аммонийного азота на выходе из j-й ячейки, мг/л; $T_{h,j}$ — время нахождения сточной воды в j-й ячейке, ч; $\rho(S_{NH,\,t,\,j})$ — удельная скорость процесса нитрификации в рассматриваемой ячейке, мг/(г · ч).

Для решения уравнения (5) нами был использован аппарат преобразования Лапласа, который позволяет заменить достаточно сложное решение дифференциальных уравнений относительно простым решением алгебраических. Нами были определены передаточные функции для ячеек идеального смешения при реализации в них процесса нитрификации $W(p)$, которые определяются как отношение преобразования Лапласа выходной переменной к преобразованию Лапласа входной переменной при условии, что все начальные условия равны нулю. Для получения передаточной функции j-й ячейки идеального смешения для процесса нитрификации преобразуем уравнение (5) по Лапласу относительно времени t, полагая выполнение всех необходимых условий:

$$\left(\overline{S}_{NH,0,j}-\overline{S}_{NH,t,j}\right)-\rho(S_{NH,t,j_j})XT=\overline{S}_{NH,t}pT. \tag{6}$$

Если $\rho(S_{NH,t,j_j})=kS_{NH,t}$, то

$$\left(\overline{S}_{NH,0,j}-\overline{S}_{NH,t,j}\right)-k\overline{S}_{NH,t}XT_{h,j}=\overline{S_{NH,t}}pT_{h,j}, \tag{7}$$

$$T_{h,j}p\overline{S}_{NHt,j}+\left(1+k_{NH}XT_{h,j}\right)\overline{S}_{NHt,j}=\overline{S_{NH_{0,j}}}. \tag{8}$$

Из (5)

$$\frac{\overline{S}_{NHt,j}}{\overline{S_{NH,0,j}}}=\frac{1}{T_{h,j}p+\left(1+k_jXT_{h,j}\right)}. \tag{9}$$

Тогда передаточная функция j-й ячейки будет иметь вид

$$W_{j_j}(p)=\frac{1}{1+T_{h,j}p+k_jXT_{h,j}}. \tag{10}$$

Нам необходимо решить следующую задачу оптимизации: при разбиении аэротенка на ячейки идеального смешения определить такой кислородный режим в каждой ячейке, который давал бы максимальную эффективность процесса в этой ячейке. Определяем эффективность процесса как отношение разности концентраций аммонийного азота на входе в ячейку и выходе из нее к входной концентрации:

$$Э=\frac{S_{NH,0,j}-S_{NH,t,j}}{S_{NH,0,j}}=1-\frac{S_{NH,t,j}}{S_{NH,t,j}}. \tag{11}$$

Решая данную задачу для онлайн регулирования кислородным режимом, примем необходимость поддерживать расчетную концентрацию растворенного кислорода в ячейке в зависимости от конкретного значения концентрации

аммонийного азота в данный момент времени. То есть для определения в оптимизационной задаче целевой функции примем в уравнении (11) $\frac{dS_{NH,j}}{dt} = 0.$

Тогда из уравнения передаточной функции при $p = 0$

$$Э = 1 - W(0) = 1 - \frac{1}{(1 + T_{h,j} \cdot 0 + k_j XT_{h,j})} = 1 - \frac{1}{(1 + k_j XT_{h,j})}. \quad (12)$$

Из уравнения скорости нитрификации (модель ASM2d [2]) получаем:

$$\rho = S_j k_j = \rho_{\max} \frac{S_j}{K_S + S_j} \frac{O_2}{K_0 + O_2}. \quad (13)$$

Подставляя в уравнение для эффективности k_j, получаем:

$$Э = 1 - \frac{1}{1 + \rho_{\max} \frac{1}{K_S + S_j} \frac{O_2}{K_0 + O_2} XT_{h,i}}. \quad (14)$$

Чтобы определить максимальную эффективность в зависимости от концентрации кислорода, необходимо исследовать функцию Э(O_2) на наличие экстремумов. Экстремум — это минимальное или максимальное значение функции на заданном промежутке, следовательно, для определения максимальной эффективности необходимо определить точку максимума данной функции. Отметим, что экстремумы функции могут существовать только на том участке, на котором эта функция является непрерывной. Непрерывной является функция, сколь угодно малые изменения аргумента которой приводят к малым изменениям ее значения. Таким образом, непрерывной является функция без «скачков». Данная функция является непрерывной на том промежутке, где она определена, то есть где ее знаменатель не равен 0. Определим область определения функции, приравняв знаменатель дроби к 0:

$$1 + \rho_{\max} \frac{1}{K_S + S_j} \frac{O_2}{K_0 + O_2} XT_{h,i} = 0. \quad (15)$$

Это уравнение имеет единственное решение:

$$O_2 = -\frac{(K_S + S_j)K_0}{\rho_{\max} XT_{h,i} + K_S + S_j}. \quad (16)$$

Соответственно функция Э(O_2) определена и непрерывна на промежутке

$$\left(-\infty; -\frac{(K_S + S_i)K_0}{\rho_{\max} XT_{h,i} + K_S + S_i}\right) \cup \left(-\frac{(K_S + S_i)K_0}{\rho_{\max} XT_{h,i} + K_S + S_i}; +\infty\right). \quad (17)$$

Для исследования функции Э(O_2) найдем первую производную функции:

$$\frac{\partial Э}{\partial O_2} = \left(1 - \frac{1}{1 + \rho_{\max} \frac{1}{K_S + S_i} \frac{O_2}{K_0 + O_2} XT_{h,i}} \right)' =$$

$$= \left(1 - \frac{1}{\frac{(K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} O_2 XT_{h,i}}{(K_S + S_i)(K_0 + O_2)}} \right)' =$$

$$= \frac{\rho_{\max} XT_{h,i} ((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} O_2 XT_{h,i})}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} O_2 XT_{h,i})^2} -$$

$$- \frac{\rho_{\max} O_2 XT_{h,i} ((K_S + S_i) + \rho_{\max} XT_{h,i})}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} O_2 XT_{h,i})^2} =$$

$$= \frac{\rho_{\max} XT_{h,i} K_S + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} + \rho_{\max} XT_{h,i} K_0 + \rho_{\max} XT_{h,i} O_2 - \rho_{\max} S_i O_2 XT_{h,i} K_S}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} O_2 XT_{h,i})^2} -$$

$$- \frac{\rho_{\max} S_i^2 O_2 XT_{h,i}}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} O_2 XT_{h,i})^2}.$$

Чтобы определить точку экстремума, приравниваем производную к нулю:

$$\rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_S + \rho_{\max} S_i^2 XT_{h,i} + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_0 + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} O_2 -$$

$$- \rho_{\max} S_i O_2 XT_{h,i} K_S - \rho_{\max} S_i^2 O_2 XT_{h,i} = 0.$$

$$(\rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_S + \rho_{\max} S_i^2 XT_{h,i} + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_0) + O_2 (\rho_{\max} S_i XT_{h,i} -$$

$$- \rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_S - \rho_{\max} S_i^2 XT_{h,i}) = 0.$$

$$O_2 = \frac{\rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_S + \rho_{\max} S_i^2 XT_{h,i} + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_0}{\rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_S + \rho_{\max} S_i^2 XT_{h,i} - \rho_{\max} S_i XT_{h,i}}.$$

$$O_2 = \frac{K_S + S_j + K_0}{K_S + S_j - 1}. \qquad (18)$$

Согласно достаточному условию существования экстремумов, данная точка будет являться точкой максимума, если $f'(O_2) = 0$ и $f''(O_2) < 0$. Покажем это:

$$\frac{\partial Э}{\partial O_2} = \frac{\rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_S + \rho_{\max} S_i^2 XT_{h,i} + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} K_0 + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} O_2}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} S_i O_2 XT_{h,i})^2} -$$

$$- \frac{\rho_{\max} S_i O_2 XT_{h,i} K_S - \rho_{\max} S_i^2 O_2 XT_{h,i}}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} S_i O_2 XT_{h,i})^2} =$$

$$= \rho_{\max} S_i XT_{h,i} \frac{(K_S + S_i + K_0 + O_2 - O_2 K_S - O_2 S_i)}{((K_S + S_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} S_i O_2 XT_{h,i})^2}.$$

Преобразуя, получаем:

$$\frac{\partial^2 Э}{\partial O_2^2} = \rho_{\max} C_i XT_{h,i} \frac{(K_S + C_i + \rho_{\max} C_i XT_{h,i})(O_2 K_S + O_2 C_i - O_2 - 2K_S - 2C_i - 2K_0)}{((K_S + C_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} C_i O_2 XT_{h,i})^3} +$$

$$+ \rho_{\max} C_i XT_{h,i} \frac{K_0 (K_S + C_i)(1 - K_S - C_i)}{((K_S + C_i)(K_0 + O_2) + \rho_{\max} C_i O_2 XT_{h,i})^3}.$$

Подставляем в получившееся выражение для второй производной найденное значение $O_2 = \frac{K_S + S_j + K_0}{K_S + S_j - 1}$:

$$\frac{\partial^2 Э}{\partial O_2^2} = \rho_{\max} S_i XT_{h,i} \frac{((K_S + S_i - 1)^4 K_0 (K_S + S_i)}{((K_S + S_i)(K_s K_0 + S_i K_0 + K_S + S_i) + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} (K_0 + K_S + S_i))^3} +$$

$$+ \rho_{\max} S_i XT_{h,i} \frac{(K_S + S_i + \rho_{\max} S_i XT_{h,i})(K_0 + K_S + S_i)(K_S + S_i - 1)^3}{((K_S + S_i)(K_s K_0 + S_i K_0 + K_S + S_i) + \rho_{\max} S_i XT_{h,i} (K_0 + K_S + S_i))^3}. \quad (19)$$

Так как область определения параметров, входящих в это уравнение, ограничена физическими и технологическими условиями, то очевидно, что из всех входящих в данное уравнение множителей отрицательным может быть только множитель $(K_S + S_j - 1)$, но областью возможных значений K_S будут являться неотрицательные значения, а областью возможных значений S_i являются значения концентраций загрязнений, поступающих в аэротенк, т. е. $S_j > 1$, тогда получаем, что при любых возможных значениях $(K_S + S_j) > 1$. Отсюда следует, что весь числитель дроби будет положительным, также весь знаменатель дроби будет положительным. Следовательно, значение второй производной будет отрицательно при данном значении O_2. Следовательно, данная точка будет являться точкой максимума функции Э.

Соответственно, можем рассчитать минимальные значения кислорода при различных концентрациях аммония, которые обеспечивают максимальную эффективность процесса нитрификации. Для расчета нами были приняты реальные кинетические коэффициенты процесса нитрификации, определенные для реальных сточных вод, поступающих на аэротенки старого блока Люберецких очистных сооружений ЛОС$_{ст}$: $\rho_{max,nitri}$ = 4,6 мг/г · ч; K_{NH} = 0,5 мг/л; K_0 = 0,3 мг/л.

Доза активного ила в рассчитываемых аэротенках составляет $X = 2$ г/л, время нахождения сточной воды в одной ячейке $T_{h,i} = 1{,}08$ ч. Результаты расчета представлены в табл.

Концентрация $N\text{-}NH_4$, мг/л	Концентрация O_2, мг/л
30	1,04
20	1,07
15	1,09
10	1,14
5	1,29
4	1,37
3	1,52
2	1,87
1	3,6

Предлагаемый подход позволяет регулировать концентрацию растворенного кислорода по длине аэротенка, добиваясь максимальной эффективности процесса нитрификации в каждой зоне сооружения без перерасхода электроэнергии на аэрацию. Данная методика была использована при оптимизации аэротенков Люберецких очистных сооружений, работающих по технологии биологического удаления азота и фосфора. В результате экономия электроэнергии составила 7...10 % при обеспечении качества очищенной воды по аммонийному азоту менее 1 мг/л.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мойжес О. В.* Динамическая модель OxiD сооружений биологической очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 10. С. 52—57.

2. Activated Sludge Model № 2d, ASM2D / M. Henze, W. Gujer, T. Mino, T. Matsuo, M. C. Wentzel, G.v.R. Marais, M.C.M. Van Loosdrecht // Water Science and Technology. 1999. Vol. 39. № 1. P. 165—182(18).

1. *Moyzhes O. V.* Dinamicheskaya model OxiD sooruzheni biologicheskoy ochistki stochnykh vod // Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika. 2008. № 10. S. 52—57.

3. Activated Sludge Model № 2d, ASM2D / M. Henze, W. Gujer, T. Mino, T. Matsuo, M. C. Wentzel, G.v.R. Marais, M.C.M. Van Loosdrecht // Water Science and Technology. 1999. Vol. 39. № 1. P. 165—182(18).

© Москвичева Е. В., Доскина Э. П., Мойжес С. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Москвичева Е. В., Доскина Э. П., Мойжес С. И. Применение теории оптимизации для снижения расхода воздуха, подаваемого в аэротенки // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 268—274.

УДК 620.193.92

В. Н. Ткаченко

О ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ И ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Предложена методика расчета поля токов катодной защиты в частично экранированом пространстве и оценена возможность и целесообразность защиты трубопровода тепловой сети в непроходном канале при его частичном заиливании.

К л ю ч е в ы е с л о в а: теплопроводная сеть, катодная защита.

The field calculating procedure of cathodic protection currents in the partially shielded area is offered. The possibility and desirability of protection of the pipeline heating system in the crawlway by it partial silting is evaluated.

K e y w o r d s: pipeline heating system, cathodic protection.

Методика расчета распределения потенциала и тока электрохимической защиты (ЭХЗ) вдоль неоднородного подземного металлического сооружения, каковым является трубопровод тепловой сети в непроходном канале, нам не известна. Численный анализ поля токов защиты такого теплопровода является проблемой из-за того, что он резко неоднороден по своим электрическим и электрохимическим параметрам, что обусловлено наличием скользящих и мертвых опор, переменной по величине вдоль продольной координаты такого важнейшего параметра, как электропроводность слоя изоляция — земля, который, к сожалению, еще и меняется во времени. Трубопровод при прокладке в непроходных каналах, даже при подозрении о наличии коррозионно-опасных участков, поддается лишь малоубедительной инструментальной диагностике.

Существующие нормативные документы по защите теплопроводов от коррозии носят скорее декларативный характер, без какой-либо конкретизации в части применения ЭХЗ [1, 2]. Вопрос применения ЭХЗ, возможно, был бы снят вообще, если бы отечественная промышленность и потребители освоили давно известный в мире метод бесканальной укладки трубопроводов, когда наружную поверхность стального трубопровода защищает пластмассовая труба с подстилающим слоем тепловой изоляции, а внутреннюю — деаэратор, откачивающий из горячей воды (по выходе из котельной) кислород — активнейший коррозионный агент.

Автор много лет занимается расчетом и проектированием ЭХЗ газо- и водопроводных сетей, т.е. сетей, аналогичных теплопроводным сетям при их бесканальной прокладке [3—11]. Задача ЭХЗ тепловых сетей при канальной прокладке до сих пор не рассматривалась ввиду отсутствия какой-либо методики расчета. Нет никакой уверенности, что железобетонный короб не вызывает существенного искажения поля токов защиты в поперечной плоскости.

Но теплопровод неоднороден и по продольной координате: расставленные вдоль трассы скользящие и мертвые опоры, а также участки с частичным затоплением (заиливанием) вызывают электрическую неоднородность как заземлители трубопровода при ЭХЗ. Неизвестно, насколько велик вклад таких

неоднородностей в суммарном токе защиты, но к тому же вдоль трассы могут быть и гальванические неоднородности, вызывающие появление коррозионных макропар и, следовательно, токов коррозии.

Основы использованного ниже метода расчета поля токов коррозии и защиты неоднородных трубопроводных сетей представлены в книге [12]. Этот метод решения задач ЭХЗ как трехмерных краевых, получивший название «метод дискретизации», позволяет исследовать сложные трехмерные конструкции из проводников с утечкой с учетом поля токов в земле и на проводниках. Представляется, что еще много вопросов можно было бы решить с помощью предложенного метода дискретизации.

Следует заметить, что задачи ЭХЗ с существенно трехмерными металлическими сооружениями, такими как резервуары горизонтальные или вертикальные, можно решать методом дискретизации с использованием теории двойного электрического слоя, что обосновано и проиллюстрировано в работах [13, 14].

Для решения задач ЭХЗ методом дискретизации разработан комплекс компьютерных программ серии АРМ-ЭХЗ. Последняя версия этой серии — АРМ-ЭХЗ-11 — эксплуатируется с 2009 г., первая — с 1987 г. При этом в последней версии приведен отработанный алгоритм расчета задач ЭХЗ трехмерных подземных или надземных металлических сооружений, заполненных электролитом полностью или частично.

Таким образом, разработан и широко апробирован метод, позволяющий решать новые задачи ЭХЗ. Для примера рассмотрим некоторые из них, относящиеся к теме данной статьи.

Пусть теплотрасса при канальной прокладке на некотором участке заилена (рис. 1), в то время как трубопровод в основной своей части непосредственно не касается земли, поскольку он уложен на сухих бетонных столбиках скользящих опор. Можно предположить, что активная коррозия возникнет на заиленном участке, который и потребует электрохимической защиты в первую очередь.

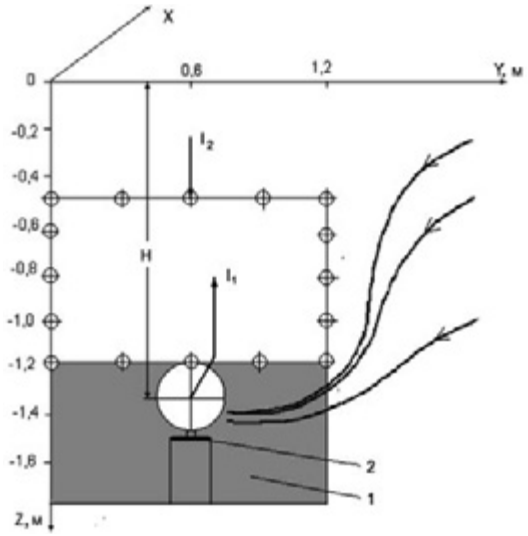


Рис. 1. Поле токов катодной защиты вблизи канала теплотрассы: *1* — заиленная часть; *2* — пластина скользящей опоры

Подключим к трубопроводу катодную станцию с анодным заземлителем, расположенным за пределами железобетонного короба, и зададим защитный ток I_1. Будем искать величину смещения потенциала труба — земля $\Delta U_{т—з}$, вызванного током I_1.

Для создания эффекта экранирования, вызываемого коробом, представим короб металлической сеткой в соответствии с расчетной схемой (см. рис. 1) и зададим на ней некоторый «отталкивающий» потенциал, противоположный по знаку защитному, наведенному током I_1. Для этого к сетке подключим источник I_2 с противоположным по знаку току I_1. При выборе величины тока I_2 будем руководствоваться требованием создания величины «отталкивающего» потенциала сетки на предельно низком уровне вблизи нуля, но с положительным знаком. Так, в данном примере расчета при среднем значении защитного смещения потенциала вдоль трубопровода $\Delta U_{т—з} = -0{,}21$ В смещение «отталкивающего» потенциала узлов сетки оказалось достаточным в пределах 0…0,006 В. Это было обеспечено токами $I_1 = -10$ А, $I_2 = 5{,}5$ А соответственно. Шаг дискретизации сетки вдоль продольной оси $0X$ был принят равным 25 м, но в плоскости $Y0Z$ — с целью надежности экранирования — сетку выполнили существенно более густой.

Характерное искривление линий тока защиты на графиках (см. рис. 1) свидетельствует о том, что шаг дискретизации и ток I_2 выбраны приемлемыми и экранирование обеспечено.

Для проектной практики целесообразно было бы подобрать упрощенную расчетную модель теплопровода, руководствуясь реально допустимыми погрешностями задач ЭХЗ.

В табл. приведены значения смещения потенциала трубопровода при защите в соответствии с расчетной схемой (см. рис. 1) в трех вариантах расчета:

вариант 1 — $I_2 = 5{,}5$ А;

вариант 2 — $I_2 = 0$;

вариант 3 — короб отсутствует.

X, м	Смещение потенциала трубопровода, $\Delta U_{т—з}$, В		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
0	−0,230	−0,234	−0,338
25	−0,206	−0,205	−0,169
50	−0,209	−0,207	−0,176

Исходные данные для расчета: диаметр трубопровода $D = 0{,}3$ м; удельное электрическое сопротивление изоляции $R_{из} = 2$ Ом·м^2; длина $L = 100$ м; глубина укладки до оси трубопровода $H = 1{,}37$ м; удельное электрическое сопротивление грунта $\rho = 20$ Ом·м; координаты анодного заземлителя $X_а = 50$ м, $Y_а = 50$ м; ось $0X$ — продольная; начало координат — в начале трубопровода.

Из таблицы следует, что нет смысла уделять большое внимание точности подбора величины тока I_2. Его влияние сказывается лишь на конфигурации поля токов защиты вблизи короба, но не отражается на искомых значениях защитного потенциала трубопровода.

Можно даже отказаться от методики расчета с использованием короба совсем (вариант 3), представив теплопровод аналогичным газопроводу и допустив погрешность 17 %. При этом погрешность пойдет в запас надежности: проектировщик вынужден будет повысить ток защиты на 17 %, чтобы обеспечить приемлемые −0,2 В.

Согласившись с той или иной расчетной схемой, проектировщик будет в затруднении при выборе расчетной величины так называемого удельного электрического сопротивления изоляции трубопровода $R_{из}$, которое определяется формулой

$$R_{из} = \Delta U_{т—з} / j_{защ}, \text{ Ом·м}^2,$$

где $\Delta U_{т—з}$ — смещение потенциала при защите на границе труба — земля, В; $j_{защ}$ — плотность защитного тока, А/м^2.

Трубопровод тепловой сети при канальной прокладке уложен на бетонных столбиках, в верхние части которых замоноличены стальные опорные пластины как основа скользящих опор. Если канал сухой, то трубопровод можно считать электрически изолированным от земли и значение $R_{из}$ при этом бесконечно велико. Если же бетонные столбики влажные, например за счет грунтовых вод, внутриканальных испарений, случайных заводнений, то опорные пластины резко снижают величину $R_{из}$.

Сопротивление опорной пластины токам защиты $R_{пл}$ определяется удельным поляризационным сопротивлением стали в электролите P

$$P = \Delta U_{пл—з} / j_{защ}, \text{ Ом·м}^2;$$

$$R_{пл} = P / S_{пл}, \text{ Ом},$$

где P — удельное электрическое сопротивление слоя металл — электролит, Ом·м^2; $\Delta U_{пл—з}$ — смещение потенциала в этом слое за счет внешнего тока; $S_{пл}$ — площадь поверхности пластины, м^2.

Не следует путать $R_{пл}$ с сопротивлением растеканию $R_{раст}$, часто и ошибочно используемого при расчете токов с заземленных электродов различной конфигурации. $R_{раст}$ есть сопротивление металлического тела относительно бесконечно удаленной точки земли, что нас мало интересует.

Величина удельного поляризационного сопротивления P зависит от свойств электролита и определяется экспериментально.

Так, для металлической пластины при катодной поляризации обычно $P = 0{,}5…2$ Ом·м^2. Известно, чем выше удельное электрическое сопротивление грунта, тем выше значение P. Так как катодный процесс тормозится дефицитом кислорода, то пластина, вделанная во влажный бетон, будет обладать повышенным поляризационным сопротивлением P, а находящаяся в затопленном канале, наоборот, пониженным P.

Для трубы тепловой сети при сравнении P опорной пластины можно отметить ряд особенностей. Так, чем больше всевозможных наслоений на поверхности трубы, тем больше величина P. Даже полуразрушенный и пористый слой грунтовки на трубе теплопровода увеличивает P. Кроме того, при высокой температуре металлической поверхности трубы слой грунта, прилегающий к ней, подсыхает и образующаяся корка увеличивает значение P.

Таким образом, можно ожидать, что значение P для горячей трубы значительно превышает значение P для голого и холодного металла: для горячей трубы $P > 2$ Ом·м^2.

Исходя из сказанного, рассмотрим количественный эффект влияния скользящих опор на качество ЭХЗ. Пусть первая половина трубопровода общей длиной $L = 200$ м и диаметром $D = 0{,}3$ м находится в нормальном состоянии, а другая — в заиленном.

В первой половине трубопровода за счет внутрикамерной влаги, грунтовых вод и периодического попадания ливневых вод пластины скользящих опор, контактирующих с бетоном, не сухие, хотя сам трубопровод можно считать сухим, поскольку непосредственный контакт между ним и землей отсутствует. Для первой половины трубопровода можно будет выбрать верхний предел значений P, т.е. принять $P = 5$ Ом·м^2.

Для второго — заиленного — участка примем более жесткие условия. В летних условиях эксплуатации как пластины, так и трубопровод находятся практически в равных условиях — неизолированные и плохо изолированные металлические поверхности в одной и той же коррозионной среде. Тогда для них можно принять: для пластин $P = 2$ Ом·м^2, для трубопровода — немного больше: $P = 4…5$ Ом·м^2.

Зимой активность коррозионных процессов на голой горячей поверхности возрастает и по приведенным выше причинам поляризационное сопротивление P трубопровода токам защиты увеличивается. Для расчета в зимних условиях примем $P = 5…10$ Ом·м^2.

Для упрощения расчета, не снижая при этом достоверности, будем рассматривать один трубопровод диаметром $D = 0{,}3$ м, т.е. заменим два параллельно уложенных трубопровода теплотрассы одним, эквивалентным по площади защищаемой поверхности.

По типовым чертежам теплопровода размеры опорной пластины для труб диаметром $D < 0{,}4$ м обычно 640×660 мм и их площадь $S_{пл} = 0{,}42$ м^2. Для выбранного трубопровода достаточно одной скользящей опоры на участок $L_1 = 12$ м трассы. Тогда при $P = 5$ Ом·м^2 следует, что трубопровод с шагом 12 м заземлен через сопротивление $R_{пл} = 12$ Ом (см. формулу выше). Поставим в соответствие трубопроводу с заземлением 12 Ом участок той же длины, но с равномерно распределенным сопротивлением заземления. Это обеспечивается при удельном электрическом сопротивлении изоляции равном $R_{из} = R_{пл} \cdot \pi D L_1 = 135{,}6$ Ом·м^2. Это и есть расчетное значение $R_{из}$ первого, т. е. незаиленного участка трубопровода.

На заиленном участке значение P распределено вдоль трассы равномерно и поэтому можно принять в качестве расчетного параметра для трубопровода $R_{из} = P = 2…10$ Ом·м^2.

Увеличением площади поверхности трубопровода на 0,84 м^2 за счет двух поверхностей опорных пластин на каждые 12 м трубопровода можно пренебречь или же увеличить расчетный диаметр трубопровода до $D = 0{,}322$ м.

На рис. 2 представлен график смещения потенциала трубопровода на незаиленном (слева) и заиленном (справа) участках при катодной защите трубопровода током $I = 10$ А.

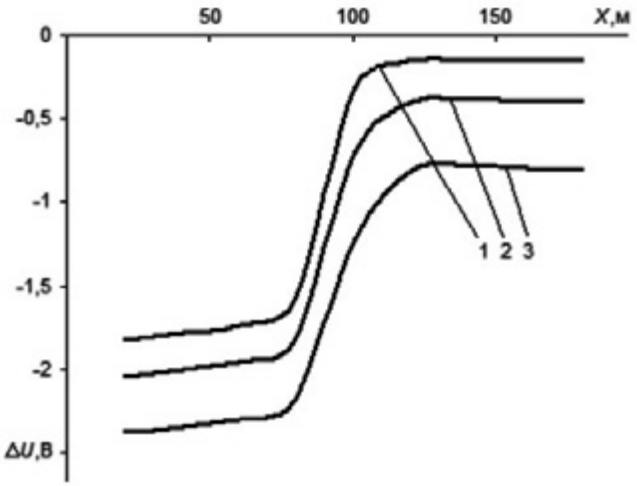


Рис. 2. Снижение эффекта защиты за счет заиливания участка при $R_{из}$, Ом·м^2: *1* — 2; *2* — 5; *3* — 10

Трудности защиты теплопровода очевидны. Прежде всего, мал защитный потенциал там, где нужно, и чрезмерно велик там, где нет необходимости вообще тратить защитный ток. Так, в рассмотренном диапазоне $R_{из}$ ненужные затраты по току составили от 17 до 20 %. Но все же катодная защита вполне целесообразна. Решение этой же задачи в оптимизационном режиме показало, что для защиты заиленного участка трубопровода длиной 100 м при $R_{из}$ = 10 Ом·м^2 достаточен ток всего лишь 2,54 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловой сети от наружной коррозии. РД 153-34.0-20.518-2003. М. : Новости теплоснабжения, 2002.

2. Унифицированная документация на конструкции и узлы зданий и сооружений. Серия 5.903-13. Изделия и детали трубопроводов для тепловых сетей. Вып. 8-95. Опоры подвижные. Вып. 7-95. Опоры неподвижные.

3. *Ткаченко В. Н.* Поле токов защиты в плохо изолированной трубопроводной сети // Практика противокоррозионной защиты. 2005. № 3.

4. *Ткаченко В. Н.* Токи коррозии и защиты подземных железобетонных сооружений // Практика противокоррозионной защиты. 2006. № 1.

5. *Ткаченко В. Н.* Анализ поля токов катодной защиты заземленной трубопроводной сети // Защита металлов. 2006. Т. 42. № 5.

6. *Ткаченко В. Н.* Analysis of the Field of Currents of a Grounded Cathodically Protected Pipe-Line System // Protection of Metals. 2006. Vol. 42. № 5.

7. *Ткаченко В. Н.* О несовершенстве нормативных требований к оценке коррозионной опасности для трубопроводных сетей // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 4.

8. *Ткаченко В. Н., Кущ Л. Р.* Исследование поля токов коррозии гальванически неоднородного подземного трубопровода // Практика противокоррозионной защиты. 2007. Т. 46. № 4.

9. *Ткаченко В. Н.* Количественная интерпретация результатов измерений при оценке качества изоляции подземных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 10.

10. *Ткаченко В. Н.* Некоторые закономерности электрохимической защиты трубопровода в стальном футляре // Практика противокоррозионной защиты. 2009. Т. 53. № 3.

11. *Ткаченко В. Н.* Расчет электрохимической защиты подземных металлических сооружений, ЭХЗ-11 : свид. о гос. рег. программ ЭВМ № 20106115203 ; зарег. 12 августа 2010.

12. *Ткаченко В. Н.* Электрохимическая защита трубопроводов : учеб. пособ. Волгоград : НП ИПД «Авторское перо», 2005.

13. *Ткаченко В. Н.* Метод дискретизации для расчета электрохимической защиты трубопроводных сетей от коррозии // Электричество. 2007. № 12.

14. *Ткаченко В. Н.* Метод расчета электрохимической защиты резервуаров // Практика противокоррозионной защиты. 2008. Т. 52. № 4.

1. Tipovaya instruktsiya po zashchite truboprovodov teplovoy seti ot naruznoy korrozii. RD 153-34.0-20.518-2003. M. : Novosti teplosnabzheniya, 2002.

2. Unifitsirovannaya dokumentatsiya na konstrutstii i uzly zdani i sooruzheni. Seriya 5.903-13, Izdeliya i detali truboprovodov dliya teplovikh setey. Vip.8-95. Opory podvizhnyye. Vip.7-95.Opory nepodvizhnyye.

3. *Tkachenko V. N.* Pole tokov zashchity v plokho izolirovannoy truboprovodnoy seti. Praktika protivokorrozionnoy zashchity. 2005. № 3.

4. *Tkachenko V. N.* Toki korrozii i zashchity podzemnykh zhelezobetonniykh sooruzheni. Praktika protivokorrozionnoy zashchity. 2006. № 1.

5. *Tkachenko V. N.* Analiz polya tokov katodnoy zashchity zazemlennoy truboprovodnoy seti. Zashchita metallov. 2006. T. 42. № 5.

6. *Tkachenko V. N.* Analysis of the Field of Currents of a Grounded Cathodically Protected Pipe-Line System // Protection of Metals. 2006. Vol. 42. № 5.

7. *Tkachenko V. N.* O nesovershenstve normativnykh trebovani k otsenke korrozionnoy opasnosti dlya truboprovodnykh setey // Bezopasnost truda v promyshlennosti. 2007. № 4.

8. *Tkachenko V. N., Kushch L. R.* Issledovaniye polya tokov korrozii galvanicheski neodnorodnogo podzemnogo truboprovoda // Praktika protivokorrozionnoy zashchity. 2007. T. 46. № 4.

9. *Tkachenko V. N.* Kolichestvennaya interpretatsiya rezultatov izmereni pri otsenke katchestva izolyatsii podzemnykh truboprovodov // Bezopasnost truda v promyshlennosti. 2007. № 10.

10. *TkachenkoV. N.* Nekotoryye zakonomernosti elektrokhimicheskoy zashchity truboprovodov v stalnom futlyare // Praktika protivokorrozionnoy zashchity. 2009. T. 53. № 3.

11. *Tkachenko V. N.* Raschet elektrokhimicheskoy zashchity podzemnykh metallicheskikh sooruzheni, EkHZ-11 : svid. o gos. registratsii program EVM № 20106115203, zareg. 12 avgusta 2010.

12. *Tkachenko V. N.* Elektrokhimicheskaya zashchita truboprovodov : ucheb. posob. Volgograd : NP IPD ”Avtorskoye pero”, 2005.

13. *Tkachenko V. N.* Metod diskretizatsii dlya rascheta elektrokhimicheskoy zashchity truboprovodnykh setey ot korrozii // Electrichestvo. 2007. № 12.

14. *Tkachenko V. N.* Metod rascheta elektrokhimicheskoy zashchity rezervuarov // Praktika protivokorrozionnoy zashchity. 2008. T. 52. № 4.

© Ткаченко В.Н., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Ткаченко В.Н. О возможности и целесообразности катодной защиты трубопроводов тепловых и водопроводных сетей // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 275—281.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.316.69.1

В. Т. Фомичев, Д. Н. Лебедев, И. А. Куликова, Н. А. Филимонова, С. В. Камкова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХЛОРИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

С целью снижения образования хлорорганических соединений в воде при ее хлорировании рассматривается методика дробного введения реагента в процессе обеззараживания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: хлорирование, реагент, обеззараживание.

In order to reduce the formation of organochlorine compounds in water by chlorination is considered the method of fractional introduction of the reagent in the process of decontamination.

K e y w o r d s: chlorination, reagent, disinfection.

Использование жидкого хлора в целях дезинфекции природной воды [1, 2] ведет к образованию вторичных хлорорганических соединений, которые попадают в водные объекты, отравляя воду в концентрациях, в сотни раз превышающих предельно допустимые. Они способны не разрушаться длительное время, что приводит к образованию канцерогенных и мутагенных веществ, опасных для здоровья человека. Кроме этого, использование жидкого хлора требует обеспечения повышенных мер безопасности при перевозках и хранении, так как его высокая реакционная способность и коррозионная активность водных растворов служат дополнительным источником экологической опасности в жилой зоне городов.

Таким образом, снижение количества хлорорганических соединений посредством совершенствования технологии хлорирования за счет дробного введения реагента на протяжении водоразводящей сети является исключительно актуальным.

Современная техника позволяет осуществлять хлорирование воды газообразным хлором или веществами, содержащими активный хлор: хлорной известью, гипохлоритами, хлораминами, двуокисью хлора и др. [3, 4, 2]. Во всех случаях расход этих реагентов рассчитывается на активный хлор. Наиболее распространены в практике хлорирования воды газообразный хлор, хлорная известь, гипохлориты и хлорамины.

Количество хлора, поглощаемое примесями, характеризует хлоропоглощаемость воды. Она определяется концентрацией хлора, мг/дм^3, расходуемого при 30-минутном контакте его с исследуемой водой на окисление и хлориро-

вание содержащихся в ней органических и неорганических веществ. Обычно хлорпоглощаемость речных и озерных вод составляет 2...2,5 мг/дм^3 Cl_2, в водах прудов и болот она повышается до 4...5 мг/дм^3 Cl_2. Резкое повышение хлорпоглощаемости свидетельствует о понижении качества воды и возможном ухудшении ее санитарно-бактериальных показателей.

В случае продления времени контакта хлора с водой хлорпоглощаемость ее увеличивается, а концентрация остаточного хлора соответственно падает. Продолжительность сохранения остаточного хлора в воде при дозах хлора 1...3 мг/дм^3 не превышает нескольких часов.

Наличие взвешенных в воде примесей как органического, так и минерального происхождения снижает эффект хлорирования.

Изучено взаимодействие сильных окислителей (хлора, озона, двуокиси хлора) с органическими веществами, которые содержатся в поверхностных водоемах и относятся ко второй и третьей группам классификации примесей по их фазово-дисперсному состоянию [4]. В таких водах находятся коллоидные, минеральные и органоминеральные примеси, недиссоциированные и нерастворимые формы гумусовых веществ, придающих воде окраску.

По результатам исследования качества питьевой воды установлено, что в процессе первичного хлорирования волжской воды образуются галогенорганические соединения (ГОС) в концентрации 209,4 мг/л при их содержании в Волге 0,9 мг/л. После вторичного хлорирования содержание ГОС в резервуаре чистой воды достигает 170,1 мг/л.

В период проведения экспериментальных испытаний в питьевой воде (после II хлорирования) обнаружено 130,7 мг/л ГОС, а после первичного хлорирования 175,1 мг/л.

Интенсивный рост ГОС, как показывает опыт, зависит от режимов первичного и вторичного хлорирования (дозы хлора) и от качества обрабатываемой воды (ПМО, цветности, содержания органических примесей техногенного и природного генезиса).

Исследования проводились по хлорированию различными дозами хлора природной воды различного качества. Испытания проводились в апреле, когда температура воды в Волге колебалась от 3 до 4,5 °С, на опытно-промышленной установке ОПУ-В.

Установка представляет собой макет водоочистной станции производительностью 0,25 м^3/сут. Ее основные элементы: смеситель, отстойник, песчаный фильтр, фильтр с гранулированной загрузкой и узел ультрафиолетового облучения (УФО) в виде лампы низкого давления марки 40-82/1, которая работает в проточном режиме. Производитель лампы НПО «ЛИТ», г. Москва.

Установлено: процесс образования ГОС при хлорировании зависит от показателя цветности и ПМО. При хлорировании воды дозой хлора 4 мг дм^3 при температуре 3,2 °С цветность воды не должна превышать 30 градусов, а ПМО 7 мгO_2/дм^3. Увеличение значений этих показателей хлорируемой воды или дозы хлора приводит к токсичности обработанной воды. При первичном хлорировании воды, с температурой 3,2 °С, цветностью 30 градусов и с ПМО 7,04 мгO_2/дм^3, увеличение дозы хлора на 1 мг/дм^3 приводит к росту ΣГОС в среднем на 54 мкг/дм^3. По сравнению с содержанием ГОС

в волжской воде концентрация этих соединений повысится после обработки хлором: дозой 3 мг/л — в 24 раза (до 42 мкг/дм^3 ГОС), дозой 4 мг/л — в 59 раз (до 102,7 мкг/дм^3 ГОС), дозой 5 мг/л — в 86 раз (до 150 мкг/дм^3 ГОС).

Образование ГОС при вторичном хлорировании воды происходит менее интенсивно. При увеличении дозы хлора при вторичном хлорировании воды на 1 мг/л концентрация продуцируемых ГОС увеличивается в среднем на 30 мкг/дм^3. Это связано с тем, что хлорированию подвергается очищенная вода с более низкими значениями ПМО и цветности. Установлено: при двухстадийном хлорировании воды с целью уменьшения концентрации ГОС в питьевой воде следует применять оптимальные дозы при первичном хлорировании за счет увеличения доз вторичного хлорирования.

Отсутствие пролонгирующего действия озона и ультрафиолетовых лучей не позволяет использовать данный метод в качестве альтернативы вторичного хлорирования. Замена первичного хлорирования на озонирование с последующим хлорированием дозой 2 мг/л позволяет снизить коэффициент токсичности питьевой воды на 14 % по сравнению с традиционной схемой водоподготовки, что превышает ПДК в 2,83 раза. Замена первичного хлорирования на ультрафиолетовое облучение способствует сокращению концентрации галогенорганических соединений практически до нуля. На стадии вторичного обеззараживания воды хлором происходит дополнительное образование токсичных примесей, прирост которых составляет 56,3...197,4 мкг/л в зависимости от дозы вторичного хлора и качества воды, поступающей на вторичное хлорирование. Снижение дозы вторичного хлорирования с 5 до 3 мг/л при одинаковом качестве хлорируемой воды уменьшает концентрацию образующихся галогенорганических соединений с 197,4 до 89,54 мкг/л. Сокращение дозы вторичного хлорирования и, как следствие, галогенорганических соединений может быть достигнуто за счет внедрения метода добавочного хлорирования наиболее удаленных участков водопроводной сети. Это позволит снизить дозу вторичного хлорирования на очистных сооружениях с 3 до 1 мг/л.

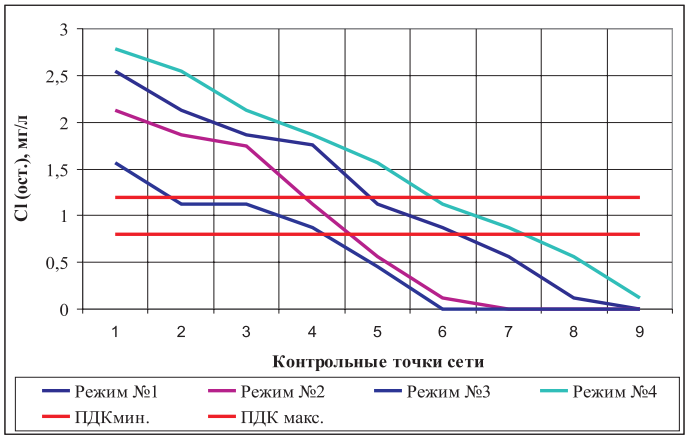


Рис. 1. Содержание остаточного хлора в питьевой воде в зависимости от ее протяженности (на участках сети 1—9) при различных концентрациях остаточного хлора на выходе из очистных сооружений

В условиях действующего водопровода г. Волгограда установлено время пролонгирующего действия хлора, выраженного в виде коэффициента снижения содержания хлора в питьевой воде от времени пребывания воды в системе $K_t = 0{,}148$ и коэффициента снижения содержания хлора в питьевой воде от протяженности трубопровода $K_L = 0{,}07$.

Опытным путем (рис. 1) установлен оптимальный режим хлорирования (режим № 3) с содержанием остаточного хлора в питьевой воде на выходе из очистных сооружений $Д_{Cl\ ост.} = 1{,}56$ мг/дм^3. При этом коэффициент токсичности питьевой воды по галогенорганическим соединениям в контрольной точке № 2 (ближайшие абоненты) составлял $K_{токс} = 0{,}97 < 1$ (рис. 2). Точкой дополнительного хлорирования определена контрольная точка № 4 с остаточной концентрацией хлора $Д_{Cl} = 0{,}56$ мг/дм^3.

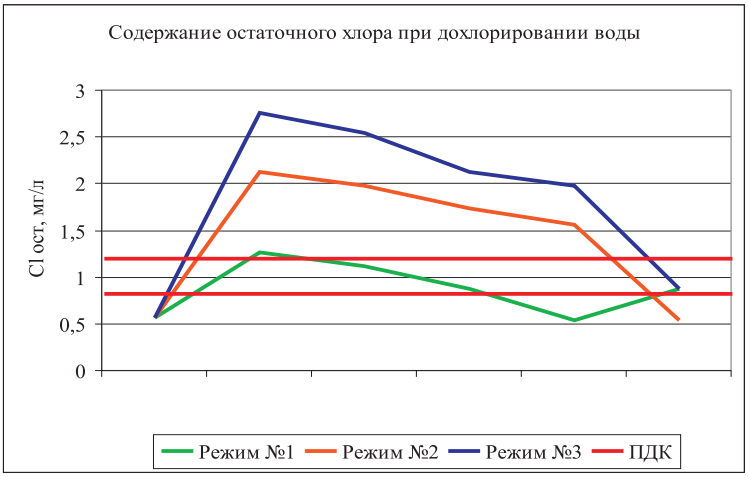


Рис. 2. Содержание остаточного хлора в питьевой воде в зависимости от ее протяженности (на участках 4—9) при начальной концентрации хлора в контрольной точке № 4 магистрального водовода, равном 0,56 мг/дм^3 и различных дозах дробного хлорирования

Опытным путем установлены точки дополнительного хлорирования питьевой воды (контрольные точки № 4 и № 9) при оптимальном режиме хлорирования (режим № 1) (рис. 2). При условии остаточного содержания хлора в питьевой воде в контрольной точке № 4 $Д_{Cl\ ост.} = 0{,}56$ мг/дм^3 коэффициент токсичности по галогенорганическим соединениям составлял $K_{токс.} = 0{,}36 < 1$. Оптимальным режимом хлорирования в точке № 4 принята доза хлора 1 мг/дм^3. При этом коэффициент токсичности составил $K_{токс.} = 0{,}64 < 1$.

Оптимальная доза хлорирования в контрольной точке № 9 составила $Д_{Cl} = 1$ мг/дм^3. Коэффициент токсичности питьевой воды в точке № 9 $K_{токс.} = 0{,}68 < 1$.

Таким образом, опытным путем в условиях действующей системы водоснабжения определены оптимальные режимы хлорирования питьевой воды дробным методом, обеспечивающим соблюдение стандартов качества по галогенорганическим соединениям (рис. 3).

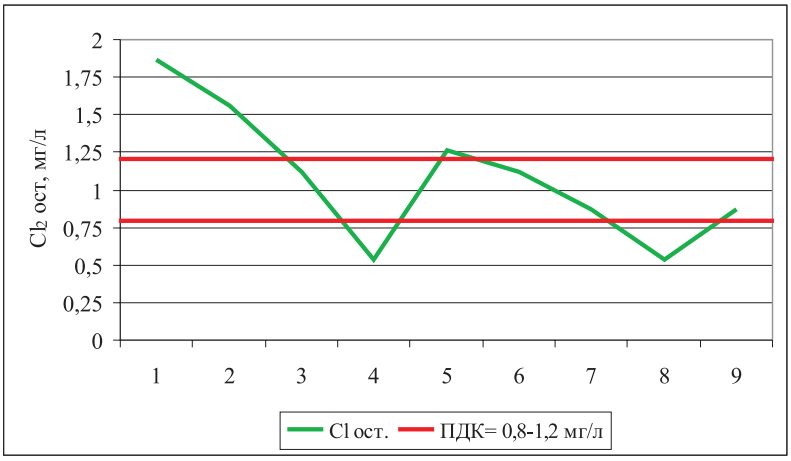


Рис. 3. Оптимальный режим хлорирования питьевой воды при $K_{токс.} \leq 1$

На основании полученных практических данных предложены алгоритмы методики сокращения коэффициента токсичности питьевой воды до значений $K_{токс.} \leq 1$ для действующих, реконструируемых и вновь проектируемых систем водоснабжения. Данный алгоритм может быть использован при выполнении проектных и пусконаладочных работ на вновь проектируемых и строящихся системах водоснабжения, а также предлагается для руководства к действию для действующих водопроводов с целью обеспечения нормативов качества и сокращения негативного воздействия на человека и окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кульский Л. А., Строкач П. П.* Технология очистки природных вод. 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Вища шк., 1986. 352 с.

2. *Кульский Л. А.* Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Процессы и аппараты. Киев : Наукова думка, 1983. 528 с.

3. *Киреев В. А.* Краткий курс физической химии. М. : Высш. шк., 1969. С. 362.

4. *Кульский Л. А.* Обеззараживание и очистка воды хлором : учеб. для вузов. М. : М-во коммун. хоз-ва РСФСР, 1957. 314 с.

1. *Kulski L. A., Strokach P. P.* Tekhnologiya ochistki prirodnykh vod. 2-e izd., pererab. i dop. Kiev : Vishcha shk., 1986. 352 s.

2. *Kulski L. A.* Teoreticheskiye osnovy i tekhnologiya konditsionirovaniya vody. Protsessy i apparaty. Kiev : Naukova dumka, 1983. 528 s.

3. *Kireyev V. A.* Kratki kurs fizicheskoy khimii. M. : Vyssh. shk., 1969. S. 362.

4. *Kulski L. A.* Obezzarazhivaniye i ochistka vody khlorom : ucheb. dlya vuzov. M. : M-vo kommun. khoz-va RSFSR, 1957. 314 s.

© Фомичев В. Т., Лебедев Д. Н., Куликова И. А., Филимонова Н. А., Камкова С. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Совершенствование технологии хлорирования природных и сточных вод / В. Т. Фомичев, Д. Н. Лебедев, И. А. Куликова, Н. А. Филимонова, С. В. Камкова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 282—286.

УДК 628.35

В. Т. Фомичев, Н. А. Филимонова, И. А. Куликова, С. В. Камкова

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ИНФИЦИРОВАННЫХ СТОКОВ ПРЕПАРАТОМ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ БИШОФИТА

Рассмотрены вопросы использования продуктов электролиза раствора минерала бишофита волгоградского месторождения в процессах обеззараживания инфицированных стоков.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бишофит, фунгициды.

The use of products electrolysis of the mineral bischofite solution of Volgograd deposit in the sterilizing processes of the infected sewages is considered.

K e y w o r d s: bishofite, fungicides.

Инфицированные сточные воды предприятий по переработке сельхозпродукции (мясокомбинаты, молокозаводы и пр.) обладают угнетающим действием на окружающую среду и, особенно, на поверхностные воды. Неочищенные стоки данных объектов являются источником накопления угнетающей окружающую среду микрофлоры, микроорганизмов, гельминтов, патогенных грибов. Изменились свойства возбудителей — повысилась их вирулентность и устойчивость к воздействию внешней среды в результате широкого применения антибиотиков в ветеринарии, селекции более вирулентных штаммов. Использование жидкого хлора в целях дезинфекции сточных вод приводит к дополнительному образованию ядовитых хлорорганических соединений, которые, попадая в водные объекты в концентрациях, превышающих предельно допустимые, способны накапливаться, создавать дополнительные проблемы [1].

Таким образом, изыскание веществ, снижающих негативное воздействие токсичных продуктов хлорирования на качество природных вод, а также повышающих уровень бактерицидности хлорсодержащих препаратов при снижении их дозовых характеристик, является актуальным.

Ряд исследователей [2—4] указали на высокую бактерицидную активность ионов меди (II) в отношении санитарно-показательных микроорганизмов E.coli. Ионы меди, подобно ионам серебра, придают содержащей их воде способность длительно сопротивляться повторному бактериальному загрязнению, что определяет целесообразность проведения исследований бактерицидных, бактериостатических, овицидных и фунгицидных свойств гипохлорит-иона и ионов меди (II), получаемых электролизом раствора бишофита в концентрациях ниже ПДК.

Использование ионов меди, полученных электролитическим методом, — анодным растворением металла в солевом растворе сложного раствора бишофита — способствует возникновению синергического эффекта окислительного действия, образованию гипохлорита и гипобромита магния и меди: $Mg(ClO)_2$, $Cu(ClO)_2$, $Mg(BrO)_2$, $Cu(BrO)_2$. Это связано с тем, что ионы меди обладают альгицидным эффектом (в отличие от хлора и других дезинфектантов), а также способствуют проникновению антимикробных агентов внутрь клеточной структуры микроорганизмов. Научные исследования показали, что примене-

ние хлора в форме гипохлорита снижает содержание хлорорганики в стоках, особенно при их первичной обработке с большим количеством органических примесей. Для установления бактерицидной активности и определения эффективности обеззараживания высокоинфицированных вод, параллельно были проведены серии бактериологических анализов с использованием различных дезинфектантов (рис. 1, 2).

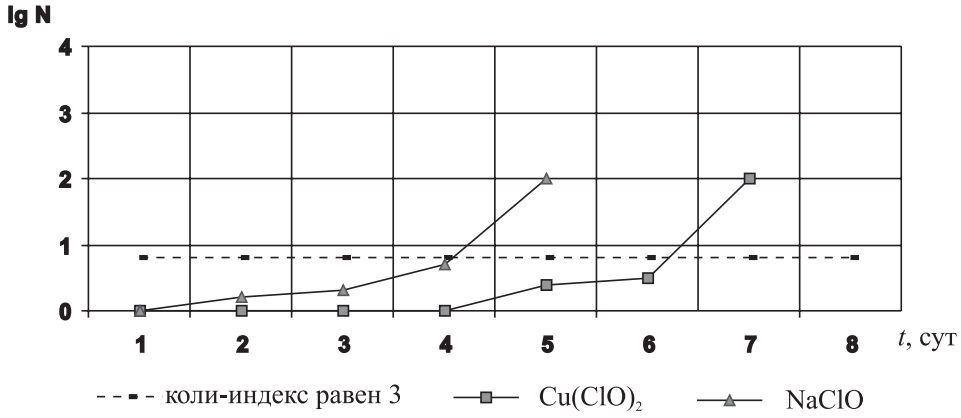


Рис. 1. Антибактериальная устойчивость сточной воды во времени при обработке разными дезинфектантами

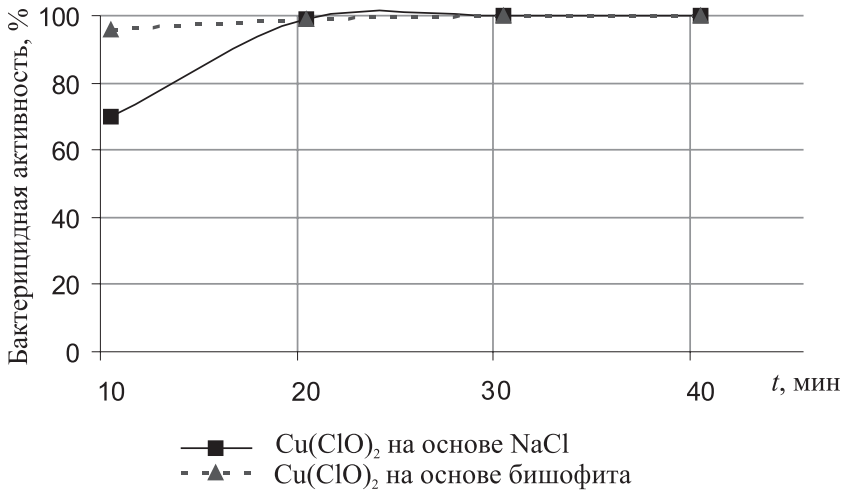


Рис. 2. Зависимость бактерицидной активности гипохлорита меди (II), полученного из разного сырья, от времени обработки сточной воды

Эффективность дегельминтизации сточных вод составила 98,8—99,8 % при введении продукта $Cu(ClO)_2$ в инфицированные стоки (рис. 3). Для изучения окислительной способности полученного дезинфектанта проводились исследования на видах микроорганизмов типа Protozoa, E.coli.

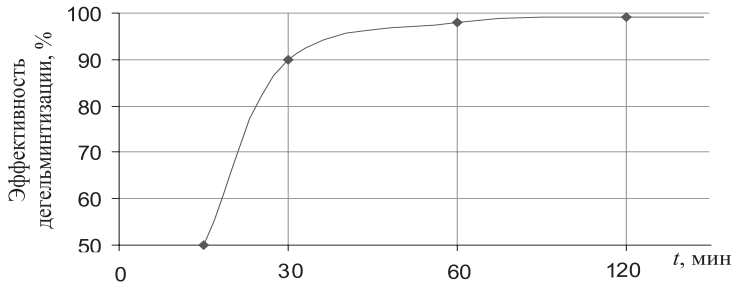


Рис. 3. Эффективность дегельминтизации сточной воды от времени контакта

Полученные данные позволяют сделать вывод, что дезинфектант на основе природного бишофита обладает высокой бактерицидной, овицидной активностью. Это может быть связано с наличием мицеллярных структур сложного состава, содержащих как ионы магния, так и ионы меди наряду с гипохлорит-ионами, что дало синергетическое действие, обусловленное размерным фактором частиц, позволяющих проводить комплексное взаимодействие поверхности клеточных структур и способствующих проникновению частиц, несущих данные ионы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О состоянии охраны окружающей природной среды Волгоградской области в 2003 году : гос. докл. / НИА-Природа ; РЭФИА. М., 2003. 300 с.

2. *Беэр С. Н.* Подходы к паразитологическому мониторингу // Окружающая среда и проблемы паразитарного загрязнения : сб. М. : РАН, 1994. С. 12—29.

3. *Элышнер Л. И.* Влияние геологической обстановки на санитарные условия жизни и состояние здоровья населения // Региональные проблемы здоровья населения. М., 1993. С. 50.

4. *Элышнер Л. И.* О влиянии водного фактора на состояние здоровья населения России // Водные ресурсы. 1995. Т. 22, № 4.

5. *Черкинский С. Н., Трахман Н. Н.* Обеззараживание питьевой воды. М. : Медгиз, 1962. 182 с.

1. O sostoyanii okhrany okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2003 godu : gos. dokl. / NIA-Priroda ; REFIA. M., 2003. 300 s.

2. *Beer S. N.* Podkhody k parazitologicheskomu monitiringu // Okruzhayushchaya sreda i problemy parazitarnogo zagryazneniya : sb. M. : RAN, 1994. S. 12—29.

3. *Elyshner L. I.* Vliyaniye geologicheskoy obstanovki na sanitarnyye usloviya zhizni i sostoyaniye zdorovya naseleniya // Regionalnye problemy zdorovya naseleniya. M., 1993. S. 50.

4. *Elyshner L. I.* O vliyanii vodnogo faktora na sostoyaniye zdorovya naseleniya Rossii // Vodnyye resursy. 1995. T. 22, № 4.

5. *Cherkinski S. N., Trakhman N. N.* Obezzarazhivaniye pitevoy vody. M. : Medgiz, 1962. 182 s.

© Фомичев В. Т., Филимонова Н. А., Куликова И. А., Камкова С. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Обеззараживание инфицированных стоков препаратом на основе местного минерального сырья бишофита / В. Т. Фомичев, Н. А. Филимонова, И. А. Куликова, С. В. Камкова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 287—289.

УДК 514.841.242.001.5.628.543.2

В. Н. Азаров, А. В. Воробьев

О СОСТАВЕ СТОЧНЫХ ВОД И ПРИЧИНАХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОЙИНДУСТРИИ

Описан состав сточных вод предприятий стройиндустрии. Проведен анализ причин возникновения взрывопожароопасных ситуаций на канализационных очистных сооружениях предприятий стройиндустрии.

К л ю ч е в ы е с л о в а : сточные воды, канализационные очистные сооружения, нефтепродукты, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, концентрация.

The waste waters composition of enterprises in the construction industry is described. The analysis of the causes of the explosive situations on the sewage treatment plant of enterprises in the construction industry is made.

K e y w o r d s : wastewater, sewage treatment plant, oil products, combustible and flammable liquids, concentration.

Опыт эксплуатации канализационных сооружений по очистке производственных сточных вод показывает, что они работают в условиях поступления большого количества различных легковоспламеняющихся и горючих веществ. Кроме того, сточные воды в результате испарения, химических и биохимических реакций выделяют газы и пары, поэтому канализационные системы, включая очистные сооружения, могут явиться источником пожаров и взрывов. Особенно большое количество пожаро- и взрывоопасных газов и паров выделяют химически загрязненные производственные сточные воды.

Многие исследователи, занимающиеся проблемами обеспечения надежности работы канализационных сетей, в особую группу выделяют аварии, произошедшие от взрывов газов и паров, попадающих в коллекторы и очистные сооружения:

из почвы — из-за негерметичности расположенных вблизи газопроводов и неплотности стенок сооружений канализаций;

при выделении паров из поступающих со сточными водами горючих жидкостей (бензина, бензола, керосина и др.);

в результате выделения метана и сероводорода сточными водами из осадков, образующихся в результате их гниения.

Реальная пожаровзрывоопасность очистных сооружений определяется, в первую очередь, свойствами веществ, поступающих в сточные воды и вместе с ними в очистные сооружения. Результаты проведенных исследований и анализ данных авторов позволили выявить основные загрязняющие вещества, содержащиеся в промстоках предприятий стройиндустрии [1, 2].

Например, на предприятиях по производству стройпластмасс в различных производственных процессах применяется этиловый спирт, фенол, диактилфталат, циклогексанон, бензин и ацетон. В стоках содержатся, мг/л: фенолы — до 9, формальдегиды — до 26, нефтепродукты — до 25, эфирорастворимые вещества — до 120.

По условиям технологии производства в сточные воды заводов ЖБИ попадают в небольших количествах керосин, масла — компоненты смазки для форм, а также бензин и дизтопливо от автотранспорта. Содержание эфирорастворимых веществ в сточных водах перед поступлением в очистные сооружения достигает 210 мг/л.

На территории управлений механизации размещаются механические мастерские, склады, места стоянки автомобилей. В сточные воды попадают бензин, дизельное топливо, различные масла, ацетон и керосин в небольших количествах. Общее содержание перечисленных горючих веществ перед очистными сооружениями доходит до 38200 мг/л.

В очистные сооружения деревообрабатывающих предприятий попадают сточные воды, загрязненные примесями масляных красок и лаков (до 260 мг/л) и формальдегидом (до 400 мг/л).

Производственные сточные воды комбинатов стройматериалов и стройконструкций в основном загрязнены нефтепродуктами, маслами, бензином, керосином, дизельным топливом. Содержание эфирорастворимых веществ в сточных водах на входе в очистные сооружения не превышает 352 мг/л. Содержание горючих веществ в сточных водах заводов древесно-волокнистых плит на входе в очистные сооружения составляет 42...51 мг/л. Это, в основном, керосин и масла, которые применяются для промывки и смазки станков и другого механического оборудования.

Промышленные стоки площадок и полигонов строительных организаций, где размещаются ремонтно-механические мастерские, места стоянок грузовых и легковых автомобилей, склады легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, характеризуются содержанием бензина, дизельного топлива, смазочного масла, керосина и ацетона [3].

Производственные и ливневые стоки предприятий строительной индустрии очищаются на станциях механической и, реже, биохимической очистки. В состав станций механической очистки сточных вод входят решетки, песколовки, отстойники — бензиноуловители, нефтеловушки, самоотстойники. Далее, в зависимости от загрязнений, стоки направляются для сброса в канализацию или на доочистку во вторую группу очистных сооружений — химической и биологической очистки, в которых происходит окисление оставшихся после механической очистки органических загрязнений [3].

Поступающие от цехов, установок, промплощадок стоки подаются на очистку по трубам, закрытым или открытым лоткам и т. п. Скорость движения стоков в этих сооружениях более 1 м/с. При этом небольшая часть легких фракций переходит из жидкой фазы в газопаровоздушную.

В песколовках производственные стоки движутся с меньшей скоростью — порядка 0,15...0,3 м/с, с открытой поверхностью испарения. При этом некоторая часть легких фракций успевает испариться. Для полного испарения всех легких фракций требуется большее время (примерно 40...70 с), чем время прохождения стоков в песколовке.

В нефтеловушках и отстойниках скорость течения стоков уменьшается до 3...10 мм/с. При такой скорости течения легкие фракции нефти, нефтепродуктов и других горючих веществ поднимаются на поверхность, образуя пленку,

и интенсивно испаряются. По мере нахождения стоков в нефтеловушках и отстойниках количество испаряющихся фракций будет снижаться, т. к. основное количество легких фракций успеет испариться, и к концу сооружения на поверхности стоков будут оставаться только тяжелые фракции горючих веществ. Таким образом, можно предположить, что в начальной части нефтеловушек и отстойников концентрация паровоздушной смеси будет выше, чем в конце.

После прохождения станции механической очистки стоки поступают на сооружения биохимической очистки, где в аэротенках, вторичных радиальных отстойниках происходит их доочистка. Практически в этих сооружениях не должны создаваться условия для образования паровоздушных смесей горючих веществ.

Таким образом, предварительный анализ показывает, что из всего комплекса очистных сооружений песколовки, нефтеловушки и отстойники характеризуются повышенной опасностью возникновения пожара.

Для выявления возможности образования пожаровзрывоопасных концентраций паровоздушных смесей определялось содержание паров ЛВЖ и ГЖ в различных зонах канализационных очистных сооружений. Замеры концентраций проводились в теплый и холодный периоды года.

Максимальные концентрации паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в очистных сооружениях предприятий стройиндустрии по обобщенным результатам измерений составляют:

производство ЖБИ и ЖБК: бензин — в холодный период 22...45 мг/м^3, в теплый период 110...142 мг/м^3;

деревообрабатывающие предприятия: ацетон — в холодный период 56...100 мг/м^3, в теплый период 85...200 мг/м^3;

предприятия по производству ДВП: ацетон — в теплый период 20...50 мг/м^3;

предприятия по производству стройпластмасс: ацетон — в холодный период 50...90 мг/м^3, в теплый период 80...300 мг/м^3;

гаражи, стоянки, места мойки машин на территории предприятий: бензин — в холодный период 100...150 мг/м^3, в теплый период 150...500 мг/м^3.

Кроме того, были отобраны пробы ПВС в колодцах производственной и ливневой канализации предприятий стройиндустрии. По полученным результатам установлено, что концентрации паров ЛВЖ и ГЖ не превышают 140 мг/м^3.

При перекачке производственных стоков, содержащих горючие вещества, на канализационных насосных станциях возможно их испарение с поверхности в приемных резервуарах, а также возможна утечка легковоспламеняющихся и горючих жидкостей через неплотности соединений труб, фланцев, сальников насосов и т. д. Для определения реальной картины загазованности воздушной среды насосных станций были проведены исследования по оценке содержания ЛВЖ и ГЖ в воздухе. Замеры осуществлялись в различных точках по высоте, длине и ширине сооружений в различные периоды года, при разных температурах воздушной среды и стоков, различных количественных и качественных показателях сточных вод.

Полученные результаты показали, что максимальные концентрации в воздухе составляют:

в помещениях насосных: нефтепродукты — 105 мг/м^3, ацетон — 100 мг/м^3;

у приемных резервуаров: нефтепродукты — 500 мг/м^3, ацетон — 200 мг/м^3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Яковлев Б. Н.* Научные основы взрывопожарной безопасности канализационных очистных сооружений. Саратов : Саратовск. гос. техн. ун-т, 2008. 188 с.

2. *Воробьев А. В.* О пожароопасности канализационных очистных сооружений предприятий стройиндустрии // Проблемы охраны производственной и окружающей среды. Волгоград, 2011. С. 13—14.

3. *Молоков М. В., Шифрин В. Н.* Очистка поверхностных стоков с территорий и промышленных площадок. М. : Стройиздат, 1977. 104 с.

1. *Yakovlev B. N.* Nauchnyye osnovy vzryvopozharnoy bezopasnosti kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheni. Saratov : Saratovsk. gos. techn. un-t, 2008. 188 s.

2. *Vorobyev A. V.* O pozharoopasnosti kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheni predpriyati stroyindustrii // Problemy okhrany proizvodstvennoy i okruzhayushchey sredy. Volgograd, 2011. S. 13—14.

3. *Molokov M. V., Shifrin V. N.* Ochistka poverkhnostnykh stokov s territori i promyshlennykh ploshchadok. M. : Stroyizdat, 1977. 104 s.

© Азаров В. Н. , Воробьев А. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Азаров В. Н., Воробьев А. В. О составе сточных вод и причинах возникновения взрывопожароопасных ситуаций на канализационных очистных сооружениях предприятий стройиндустрии // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 290—293.

УДК 628.316.12:691.57

Р. В. Потоловский, А. А. Болеев, Е. В. Москвичева, О. Ю. Акимов, О. П. Радченко

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫЕ АКРИЛОВЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (ВД ЛКМ)

Рассмотрены основные виды дисперсий акриловых сополимеров, способы их получения. Освещен процесс образования сточных вод при производстве ЛКМ. На основе полученных результатов выбран оптимальный метод очистки производственных сточных вод.

К л ю ч е в ы е с л о в а : водные дисперсии полимеров, очистка сточных вод, электрохимический метод.

The principal dispersions views of the acrylic copolymers and ways of their reception are considered. The formation process of the sewage by the production of the paint-and-lacquer materials (PLM) is covered. On the basis of the received results the optimum method of the industrial sewage purification is chosen.

K e y w o r d s : water dispersions of polymers, sewage purification, electrochemical method.

В связи с крайне неблагоприятной экологической ситуацией все большее значение приобретают водно-дисперсионные (ВД) ЛКМ, производство и применение которых не связано с использованием токсичных и пожароопасных органических веществ.

К их основным преимуществам относятся низкая токсичность, быстрое высыхание, возможность окрашивать влажные поверхности и проводить окрасочные работы при повышенной влажности воздуха.

Применение таких материалов позволяет исключить использование токсичных и пожароопасных растворителей, которые при отверждении ЛКМ безвозвратно испаряются в атмосферу. Кроме того, при работе с этими материалами снижаются требования к охране труда, пожаро- и взрывоопасность окрасочных работ, не требуется применение оборудования для производства и нанесения во взрывозащищенном исполнении. Таким образом, использование ВД ЛКМ приводит к экономии на себестоимости безвозвратно теряемых растворителей, вентиляции и мероприятиях по технике безопасности, позволяет сделать процесс окрашивания безвредным и пожаробезопасным.

В последнее время ВД ЛКМ широко применяют в строительстве для наружной и внутренней отделки. В Европе более 600 тыс. т водных дисперсий полимеров ежегодно используют для производства строительных ЛКМ различного назначения. Такие материалы должны решать задачи не только декоративной отделки зданий и сооружений, но и защищать постройки от действия влаги, солнечного света, механических или химических повреждений. Наиболее перспективны в этом отношении материалы на основе водных дисперсий акриловых сополимеров. Рецептуры этих ЛКМ достаточно сложны и могут содержать 10—20 различных компонентов, каждый из которых при попадании в сточные воды или твердые отходы теряется безвозвратно, что крайне расточительно и небезопасно для окружающей среды.

На предприятиях, занимающихся приготовлением различных рецептур водно-дисперсионных ЛКМ на основе готового сырца, образование производственных сточных вод происходит на стадии мойки оборудования, после получения конкретного товарного продукта. С одной стороны, объемы таких сточных вод невелики по сравнению с объемами получаемой продукции (менее 10 %), но с другой, содержание в сточных водах основных компонентов ЛКМ от 30 до 47 %.

Отстаивание обозначенных стоков не приводит к желаемому результату — возможности слива водной фракции в городскую канализацию, так как эта часть раствора содержит значительное количество загрязнений, способных в виде устойчивой пленки осаждаться на внутренней поверхности канализационной системы, что было доказано опытным путем. Поэтому на сегодняшний день существует проблема очистки и, прежде всего, тонкой очистки сточных вод, содержащих компоненты ВД ЛКМ.

Проведены исследования, посвященные изучению факторов, влияющих на степень очистки обычным отстаиванием, а также поиску эффективного метода доочистки, который позволил бы выделить компоненты-загрязнители из водной фракции, образованной после отстаивания, применив их в качестве вторичного сырья в строительной отрасли, а очищенную воду использовать повторно, тем самым реализовав схему оборотного водоснабжения на рассматриваемых предприятиях.

На первой стадии исследования потребовалось провести изучение физико-химических особенностей сред на модельных растворах.

Как известно, полимеры в воде могут существовать в виде раствора или дисперсии. Для растворения в воде макромолекулы полимера должны содержать ионные группы (карбоксильные, аммониевые) или значительное количество неионных гидрофильных групп либо сегментов (гидроксильные, карбонильные, аминнные, амидные группы и/или полиэфирные цепи) [2, 3].

Если гидрофильность полимерной молекулы недостаточна для образования истинных растворов (гидрозолей), несколько полимерных макромолекул ассоциируются в крупные агрегаты и образуют вторичные коллоидные системы-гидрогели. Еще более крупные агрегаты полимерных частиц образуют дисперсии (эмульсии). Основные свойства водных систем полимеров, используемых в технологических процессах, приведены в табл. 1 [1, 2].

Дисперсия — многофазная система, в которой, по крайней мере, одна фаза существует в виде микроскопических частиц (дисперсная фаза, жидкая или твердая) внутри однородной фазы (дисперсионной среды, жидкой или газообразной).

В водных дисперсиях полимеров дисперсная фаза состоит из сферических полимерных частиц диаметром менее 1 мкм, а дисперсионной средой является вода. Водные дисперсии полимеров представляют собой молочно-белые жидкости с *различной вязкостью*. В 1 мл дисперсии полимера содержится около 1015 частиц, каждая из которых состоит из 1—10 000 макромолекул, а каждая макромолекула включает около 108 блоков (мономерных единиц) [3].

Дисперсии полимеров *термодинамически неустойчивы*. Полимерные частицы имеют тенденцию к минимизации внутренней площади поверхности путем агломерации, коагуляции или оседания. Для предотвращения этих явлений используют разные стабилизаторы, но, несмотря на это, различные внешние воздействия (встряхивание, сильное перемешивание и т. п.) могут дестабилизировать дисперсии, что приводит к их коагуляции.

Таблица 1

Основные свойства водных систем полимеров

Система	Внешний вид	Молекулярная масса	Размер частиц, мкм	Тип частиц	Добавка
Раствор (гидрозоль)	Прозрачная жидкость	20 000	0,01	Ионные молекулы	Нейтрализующий агент (амин, кислота)
Вторичная коллоидная дисперсия	Почти прозрачная жидкость	10 000	0,1	Клубок из большого числа молекул	Незначительное количество нейтрализующего агента
Эмульсия (суспензия)	Жидкость от прозрачной до молочно-белого цвета	20 000—50 000	0,1	Капли или гранулы	Эмульгатор
Первичная дисперсия	Жидкость молочно-белого цвета	10 0000	0,05—5	Почти сферические полимерные частицы	Эмульгатор, стабилизатор

Полимерные дисперсии делятся на первичные и вторичные. Первичные получают полимеризацией мономеров в жидкой фазе (эмульсионная полимеризация в воде), вторичные — путем эмульгирования при перемешивании готового полимера, например раствора олигомерного пленкообразователя в жидкой среде [4].

Наибольший интерес для лакокрасочной промышленности представляют первичные дисперсии, получаемые методом эмульсионной полимеризации.

Наиболее распространенными являются водные дисперсии акриловых сополимеров (чистые акрилаты), акрилстирольных сополимеров (стиролакрилаты), а также гомо- и сополимеров винилацетата (с этиленом, этиленвинилхлоридом, эфирами акриловой или метакриловой кислоты).

Мономеры, наиболее часто используемые для получения дисперсий сополимеров, применяемых в ВД ЛКМ, приведены в табл. 2.

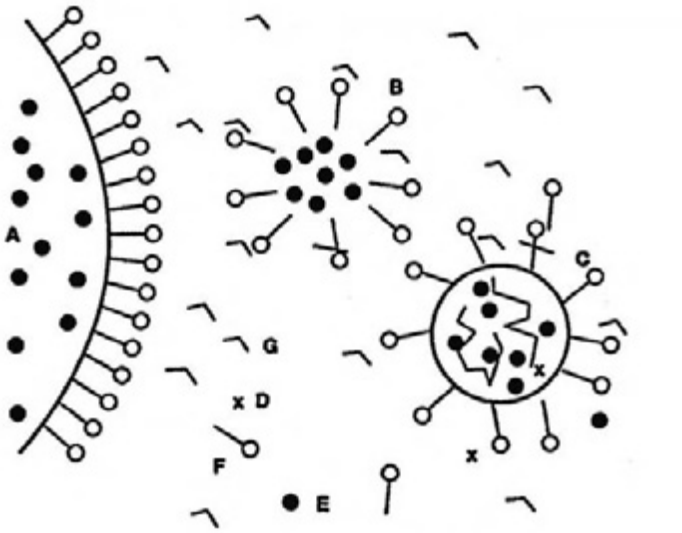
При проведении эмульсионной полимеризации взаимодействие мономеров протекает в воде в присутствии ПАВ (эмульгаторов) или полимеров (защитных коллоидов) при добавлении водорастворимого инициатора и нагревании.

Эмульгированные мономеры полимеризуются и образуют дисперсию макромолекул (рис. 1).

Таблица 2

Мономеры, используемые для получения дисперсий сополимеров

Производная кислот		Другие
акриловой	метакриловой	
Н-Бутилакрилат	Метилакрилат	Стирол
2-Этилгексилакрилат	Н-Бутилметакрилат	Винилацетат
Этилакрилат	Метакриловая кислота	Акрилонитрил
Акриловая кислота	Метакриламид	Винилхлорид
Акриламид		Винилэтилен



A: капли с молекулами мономера (E) ● и ПАВ (F) —○;
B: мицелла с молекулами мономера и ПАВ;
C: полимерная частица, стабилизированная ПАВ, с макромолекулами, некоторые из которых имеют реакционноспособный радикал на конце (x) и мономеры (A);
D: водорастворимый инициатор (x);
E: мономер в водной фазе;
F: молекулы ПАВ;
G: молекулы воды

Рис. 1. Схема протекания эмульсионной полимеризации

Согласно мицеллярному механизму реакции, предложенному Harkins [5], Smith Ewart [6], мономеры, находясь в реакторе, до введения инициатора распределяются между каплями эмульгированного мономера (диаметром 1—10 мкм) и мицеллами-агрегатами из 20—100 эмульгированных молекул диаметром 5—15 нм. Количество мономера, растворенного в воде, очень мало. При нагревании инициатор в водной фазе распадается с образованием радикалов, инициирующих рост цепи при взаимодействии с растворенным в воде мономером. При этом образуются олигомерные радикалы. Так как количество мицелл в реакторе на единицу объема ($\approx 10^{18}$/см³) значительно выше, чем капель мономера ($\approx 10^{10}$/см³), и общая площадь их поверхности также значительно превышает суммарную площадь капель мономера, олигомерные радикалы проникают, как

правило, внутрь мицелл, в результате чего содержание мономера в мицеллах должно значительно снижаться. Однако этого не происходит благодаря поступлению молекул мономера из мономерных капель через водную фазу в мицеллы: концентрация мономера в водной фазе остается постоянной до тех пор, пока в реакторе присутствуют капли мономеров [2, 3].

Из описания механизма реакции эмульсионной полимеризации следует, что необходимым условием для ее проведения является, по крайней мере, слабая растворимость полимера в воде. В частности, такие мономеры, как стирол или 2-этилгексилакрилат, достаточно легко подвергаются эмульсионной полимеризации. Дисперсии полимеров очень гидрофобных, длинноцепных и нерастворимых в воде мономеров, таких как лаурилметакрилат или стеарилакрилат, нельзя получить традиционной эмульсионной полимеризацией.

Для синтеза полимерных дисперсий в промышленном масштабе мономеры предварительно эмульгируют в воде. Эмульсия мономера и раствор инициатора по отдельным линиям поступают в реактор. Такой полунепрерывный способ проведения эмульсионной полимеризации позволяет получать очень высокую конверсию (до 90 %), несмотря на разную реакционную способность и параметры сополимеризации мономеров.

Изложенное позволило изучить рассматриваемые системы вода — ВД ЛКМ с целью максимального извлечения содержащихся компонентов при различных температурах водной среды в диапазоне концентрации общего загрязнения от 12 до 45 %. Учитывались: структура, свойства акриловых сополимеров, содержание летучих веществ (мономера); наличие гелей и микрогелей (крупинок); вязкость; значение pH; коллоидная стабильность; поверхностное натяжение; плотность исходных смесей; водопоглощение извлеченных компонентов (за 24 часа при температуре 23 °С).

Полученные результаты позволили осуществить выбор метода глубокой очистки рассмотренных стоков. За основу взят электрохимический метод. Учитывая дефицитность и стоимость источников постоянного тока, на первом этапе рассматривались устройства, выпускаемые отечественной промышленностью. Исследовали процесс на основе электрофлотаторов и электрокоагуляторов с алюминиевыми анодами.

Выявлено: эффективность тонкой очистки может достигнуть 92—95 % при обработке раствора постоянным током. С целью исключения образования отходов, далее проведены были исследования процессов, протекающих на анодной и катодной поверхностях, что позволило предложить такие параметры электрообработки, при которых образующиеся продукты могут быть использованы как вторичное сырье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Brock T.* European Coatings Handbook Hannover Vincentz Veriag, 2000. 410 p.

2. Эмульсионная полимеризация и ее применение в промышленности / Елисеева В. И. [и др.] М. : Химия, 1976. 240 с.

3. *Warson H.* The application of synthetic resin emulsions. London : Benn Publishers, London, 1972.

4. *Вольфкович С. И.*, *Егоров А. П.*, *Эпштейн Д. А.* Общая химическая технология. М. : Высш. шк., 1953. 632 с.

5. *Harkins W. J.* Am. Chem. Soc. 1947. V. 69. 1428 p.
6. *Smith W.*, *Ewart R. J.* Chem. Phys. 1948. V. 16. 592 p.

1. *Brock T.* European Coatings Handbook Hannover Vincentz Veriag, 2000. 410 p.
2. Emulsionnaya polimerizatsiya i yeye primeneniye v promyshlennosti / Yeliseyeva V. I. [i dr.] M. : Khimiya, 1976. 240 c.
3. *Warson H.* The application of synthetic resin emulsions. London : Benn Publishers, London 1972.
4. *Volfkovich S. I., Yegorov A. P., Epshteyn D. A.* Obshchaya khimicheskaya tekhnologiya. M. : Vyssh. shk. , 1953. 632 c.
5. *Harkins W. J.* Am. Chem. Soc. 1947. V. 69. 1428 p.
6. *Smith W., Ewart R. J.* Chem. Phys. 1948. V. 16. 592 p.

© Потоловский Р. В., Болеев А. А., Москвичева Е. В., Акимов О. Ю., Радченко О. П., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности очистки сточных вод, содержащих водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения (ВД ЛКМ) / Р. В. Потоловский, А. А. Болеев, Е. В. Москвичева, О. Ю. Акимов, О. П. Радченко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 294—299.

УДК 628.147.22:620.193/.197

А. А. Болеев, Р. В. Потоловский, О. П. Радченко, Е. В. Москвичева, Т. Ф. Рыльцева

ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассмотрены вопросы внутренней коррозии трубопроводов нетоксичными компонентами (сахарозой), содержащимися в сточных водах. Определены эффективные способы предотвращения разрушающего эффекта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: коррозия, бактерии, канализационный трубопровод.

The questions of the internal corrosion of the pipelines by the non-toxic components (sucrose) which are contained in sewage are considered. The prevention effective ways of the destroying effect are defined.

K e y w o r d s: corrosion, bacteria, sewer pipeline.

Необходимым условием длительной и надежной эксплуатации системы канализационных трубопроводов различных отраслей промышленности является эффективная защита их от коррозии, вызываемой повышенными температурами, влажностью, контактом с химическими и биологически активными средами (кровью, кисломолочными продуктами, пищевыми кислотами, штаммами различных микроорганизмов) [1].

При совместном действии агрессивных сред, температурных и механических воздействий традиционные чугунные трубопроводы, непосредственно контактирующие с пищевыми продуктами, разрушаются, вследствие чего срок службы оборудования без капитального ремонта сокращается до 18—20 лет вместо предусмотренных 40—42 [1]. Ущерб от коррозии металлоконструкций, оборудования и инвентаря предприятий может быть снижен путем рационального выбора металла или защиты металлов от коррозии лакокрасочными материалами.

Научные школы, занимающиеся в России и за рубежом вопросами коррозии, проводили независимые исследования по определению эффективности современных методов, снижающих внутреннюю коррозию трубопроводов системы канализации [2], и установили, что природа первопричины коррозионных разрушений заключается в образовании на внутренней поверхности трубы «удачного» союза материала трубы и отдельных компонентов сточной воды.

Установлено, что на некоторых «инертных», с точки зрения химической активности, материалах могут возникать центры коррозии [3]. В статье приведены данные исследований среды сточных вод, относящихся к пятому классу опасности, — наименее опасных для окружающей среды, а именно содержащих сахарозу и пищевые красители, которые при соприкосновении с поверхностью, содержащей ионы железа (II), редуцируют сульфатные бактерии.

Данное предположение подтвердилось исследованиями, проводимыми в лаборатории кафедры «Водоснабжение и водоотведение» на базе ВолгГАСУ.

На первом этапе выявлялись недостатки существующих устройств, способных снизить коррозию канализационных трубопроводов.

Для решения проблемы коррозии в канализационных трубопроводах на сегодняшний день обычно применяют флокулирующие устройства.

Флокулирующие устройства обеспечивают противонакипные и антикоррозионные процессы, поэтому их используют в системах канализации. Устройства защищают или всю систему, или значительную ее часть.

Антикоррозионный эффект основан на эффекте пассивирования: внутренняя поверхность трубопроводов обедняется электронами — поле устройства оттягивает их к наружной стенке трубы. В результате обедненный электронами металл не может вступить в химическую реакцию [4].

Одновременно устройства убивают некоторые бактерии и вызывают эффект флокуляции с образованием взвешенных флоков небольшого размера. Развитая поверхность флоков адсорбирует на себя споры бактерий и микроскопических водорослей, затрудняя их размножение, а также адсорбирует на себя и органические вещества, лишая бактерии пищи.

Комплексное воздействие оказывается за счет: пассивирования металла, удаления отложений (СВБ нуждаются в «щите»), прямого уничтожения некоторых бактерий (СВБ живут в симбиозе с другими бактериями), блокирования механизма размножения, блокирования механизма питания симбионтов [4].

Но обозначенные флокулирующие устройства обладают рядом недостатков:

частично (до 30 %) удаляют отложения из систем канализации;

медленно (до 48 часов) подавляют рост бактерий, в том числе СВБ;

оказывают слабый эффект пассивирования (5 %) на металл трубопроводов;

эффект на действующих системах проявляется через несколько месяцев эксплуатации.

С целью повышения эффективности работы систем канализации, в частности уменьшения коррозии канализационных трубопроводов, далее, на втором этапе, изучались системы, в которых в качестве сточной воды использовались вещества, традиционно не относящиеся к токсичным. А именно: 2 % NaCl, 3 % сахароза ($C_6H_{12}O_6$).

Необходимо было получить базу данных, позволившую далее усовершенствовать существующие применяемые флотаторные устройства или предложить новое, более эффективное.

Прежде всего, изучались анодные коррозионные процессы.

Электродные процессы изучались методом снятия анодных поляризационных потенциостатических кривых в растворах состава: 2 % NaCl + 3 % $C_6H_{12}O_6$ с использованием потенциостата ПИ-50-1.1 в комплексе с программаметром ПР-8 и двухкоординатным регистрирующим прибором ПДА 1. В опытах применялась ячейка электрохимическая импульсная ЯЭ-И. Анодные потенциостатические кривые регистрировались при скорости развертки потенциала в 2 мВ/с [3].

По данным серии измерений были построены графики зависимости электродных потенциалов от величины поляризующего тока.

Анализ анодных поляризационных кривых показал, что скорость коррозии образца чугуна в среде сточной воды с добавлением 3 % $C_6H_{12}O_6$ выше по сравнению со скоростями аналогичного образца чугуна в среде сточной воды без добавления $C_6H_{12}O_6$.

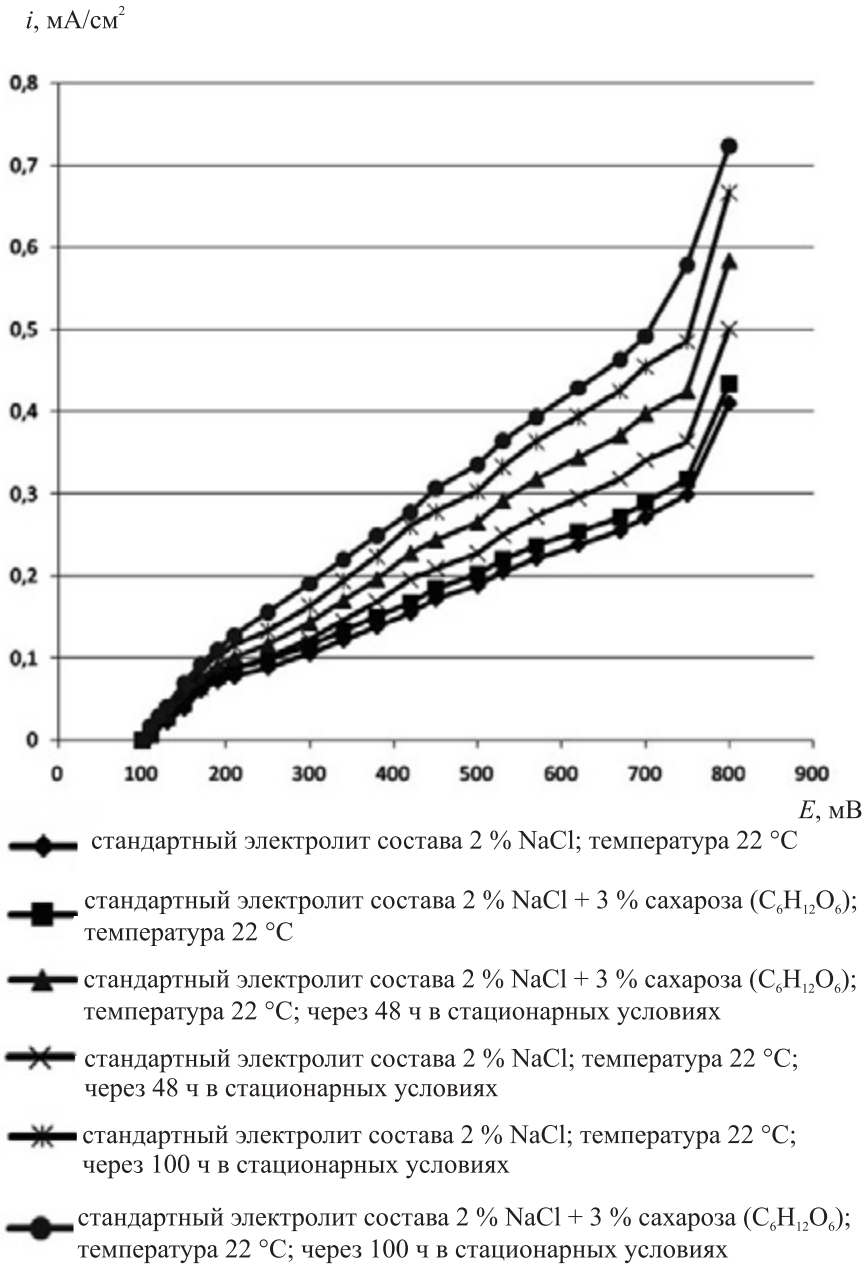


Рис. 1. Анодные поляризационные кривые чугуна

Согласно данным исследований, коррозия протекает наиболее сильно, если в процессе участвуют микроорганизмы. Причем при участии микроорганизмов скорость коррозии возрастает в 1,5—4 раза. Одна из самых распространенных групп таких микроорганизмов — сульфатвосстанавливающие (или сульфатредуцирующие) бактерии (СВБ или СРБ).

СВБ — это группа анаэробных бактерий, которые, контактируя с металлом, выделяют сероводород и органические кислоты. Эти продукты жизнедеятельности СВБ сами по себе очень агрессивны по отношению к углеродистой

стали. В системах, где есть кислород, СВБ живут под слоем отложений или под пленками, которые создают для них другие бактерии; таким образом, если возник очаг коррозии, то он будет только увеличиваться, так как будет происходить увеличение коконов СВБ.

Но это только начало разрушения внутренней поверхности трубопроводов. В результате химической реакции взаимодействия сероводорода с металлом происходит осаждение сульфида железа. Возникает катодно-анодная пара: на аноде (металле) окисляется железо, а на катоде (сульфиде) — восстанавливается водород. Напряжение в этой паре может достигать 0,4 В, при этом скорость коррозии стремительно возрастает. В металле развиваются глубокие язвы, что приводит к преждевременному снижению прочностных характеристик трубопровода. Особенно интенсивно под действием СВБ протекает коррозия чугуна, который может рассыпаться от легкого прикосновения.

Для борьбы с СВБ обычно применяется как обработка бактерицидами, озоном, УФ- и гамма-лучами, так и пассивация металла трубы.

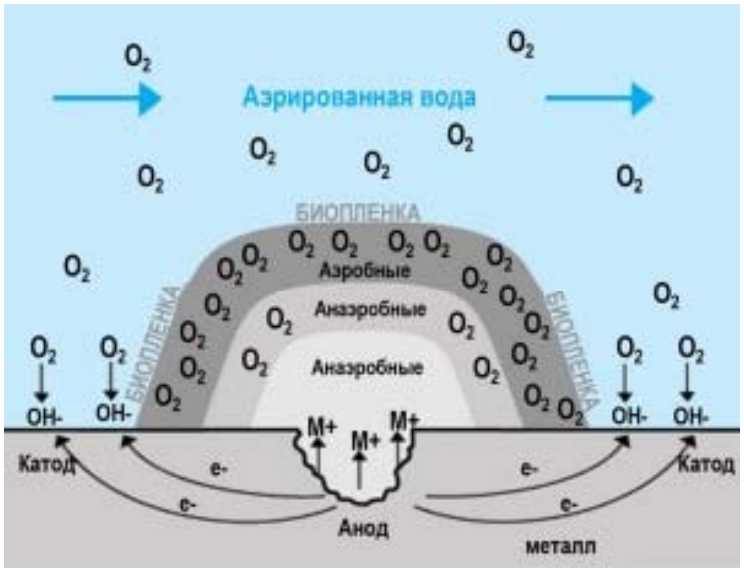


Рис. 2. Колонии бактерий создают на поверхности металла кислородные ячейки коррозии

Образование отложений также способствует протеканию коррозионного процесса, связанного с возникновением дифференцированно аэрируемых ячеек и кислородной деполяризацией участка металла, подвергшегося обрастанию. Сущность механизма образования дифференцированно аэрируемых ячеек состоит в следующем. В воде, протекающей по трубопроводу, содержится определенное количество кислорода. Участки трубопровода, не подвергшиеся обрастанию железобактериями, омываются водой и хорошо вентилируются. Участки под охристыми отложениями водой не омываются и поэтому аэрируются слабее. Таким образом, на поверхности внутренней стенки трубы создаются дифференцированно аэрируемые ячейки, в которых вентилируемые участки имеют более высокий потенциал и функционируют как катод, а менее

аэрируемые, подвергшиеся обрастанию, действуют как анод. В анодной зоне железо растворяется в соответствии с уравнением:

$$Fe^0 \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-,$$

что свидетельствует о процессе коррозии. Именно поэтому после механического разрушения минерализованных охристых отложений под ними во всех случаях обнаруживаются коррозионные повреждения материала труб.

Исходя из полученных нами данных, установлено, что в рассмотренных флокулирующих устройствах не учитывается губительное влияние сульфатных бактерий, которые проявляют высокую активность даже в нетоксичных средах, как было доказано в данном эксперименте, — в водных растворах сахарозы. В обозначенных системах скорость коррозии в определенных условиях выше, нежели в токсичных стоках (класс опасности 2—3). Современные флотаторные устройства не обеспечивают защиту трубопроводов на необходимом уровне.

Проведены исследования по устранению обозначенных недостатков. На данном этапе экспериментов установлено, что наиболее эффективным будет метод, основанный на окислительном процессе, в котором рабочий анодный потенциал будет иметь величину, близкую к редоксо-потенциалу СВБ.

При исследовании водных растворов сахарозы, выдержанных предварительно в течение 48, 100 часов, доказано, что независимо от материала трубы (сталь, чугун, полимер, керамика) скорость окисления подложки растет, но в максимальной степени у железосодержащей основы.

Учитывая, что исследования проведены в условно пассивной среде (отсутствуют коррозионные агенты), то, очевидно, источником коррозии является образование на внутренней поверхности материала трубы веществ, инициирующих процесс разрушения подложки. Учитывая результаты других исследований [2, 4], по данному высказыванию далее проведено изучение по процессу разрушения СВБ, которые образуют колонии-пленки на внутренней поверхности трубы, и, совершенно очевидно, что для снижения процесса коррозии необходимо исключить СВБ. В исследованиях проведен поиск условий для разрушения СВБ. За основу взят процесс окисления. Но необходимо было подобрать условия окисления, обеспечивающие значительно меньшие величины потенциала окисления, чем у материала трубы, в данном случае чугуна.

Нами был выбран электрохимический процесс окисления, так как он наиболее управляем, экономичен и не загрязняет изучаемую среду дополнительными компонентами.

Желаемый результат был достигнут: скорость коррозии, после электрохимической обработки постоянным током поверхности трубы при потенциале, максимально снижена. Далее доказано, что поверхность основы трубы пассивируется, а продукты, приводящие к этому результату, на данном этапе исследуются.

Вероятно, при окислении СВБ протекают два типа реакций — внутримолекулярного и межмолекулярного сочетания. В одной из реакций выделяются компоненты, взаимодействующие с нейтральными атомами железа,

образуется инертный слой, защищающий от коррозии внутреннюю поверхность трубопровода.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

водные среды, содержащие нетоксичные компоненты, не в меньшей степени являются агрессивной коррозионной средой для внутренней поверхности канализационных трубопроводов;

в максимальной степени скорость коррозии замедляется при окислительном воздействии на СВБ — биокатализатор коррозии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Минстрой России. М. : ГУП, 1996. 72 с.

2. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии : учеб. пособ. / А. Б. Килимник, И. В. Гладышева. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 80 с.

3. *Ваграмян А. Т., Соловьева З. А.* Методы исследования процессов электроосаждения металлов. М. : Изд-во АН СССР, 1955. 197 с.

4. Системы водоподготовки нового поколения «Гидрофлоу». Режим доступа: http://www.h-flow.ru

1. SNiP 2.04.03—85. Kanalizatsiya. Naruzhnyye seti i sooruzheniya / Minstroy Rossii. M. : GUP, 1996. 72 s.

2. Khimicheskoye soprotivleniye materialov i zashchita ot korrozii : ucheb. posob. / A. B. Kilimnik, I. V. Gladysheva. Tambov : Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2008. 80 s.

3. *Vagramyan A. T., Soloveva Z. A.* Metody issledovaniya protsessov elektroosazhdeniya metallov. M. : Izd. AN SSSR, 1955. 197 s.

4. Sistemy vodopodgotovki novogo pokoleniya «Hydroflow». Rezhim dostupa: http://www.h-flow.ru

© Болеев А. А., Потоловский Р. В., Радченко О. П., Москвичева Е. В., Рыльцева Т. Ф., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Исследования внутренней коррозии канализационных трубопроводов / А. А. Болеев, Р. В. Потоловский, О. П. Радченко, Е. В. Москвичева, Т. Ф. Рыльцева // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 300—305.

УДК 628.35

Н. С. Серпокрылов, В. Ю. Борисова, Е. В. Скибина

ПОВЫШЕНИЕ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ БИОЦЕНОЗА АЭРОТЕНКА

На модельных аэротенках исследовано влияние освещенности на окислительную способность биомассы. Показано, что в среднесуточном балансе биологического окисления загрязнений в освещаемом аэротенке интенсивность окислительных процессов повысилась в 1,3 раза. Обосновано, что при проектировании сооружений аэробной биологической очистки сточных вод в настоящее время следует иметь два расчетных режима аэротенков: в светлое и темное время суток, причем темное является основным.

К л ю ч е в ы е с л о в а: активный ил, модельные аэротенки, освещенность, окислительная способность биомассы, видовое разнообразие, трофические уровни, два расчетных режима аэротенка, лимитирующий режим.

The illuminance influence on the oxidizing ability of the biomass is investigated on the model aerotanks. The intensity of the oxidizing processes is increased by 1.3 times in the average daily balance of the pollutions biooxidation in the illuminated aerotank. At the present time two design conditions (in daylight and darkness hours) of the aerotanks should be had in the constructions design of the aerobian secondary treatment. The darkness hour is basic.

K e y w o r d s: activated sludge, model aerotanks, illuminance, oxidizing ability of biomass, species diversity, trophic levels, two design conditions of aerotank, limiting mode.

Превращение сточных загрязнений при биологической очистке в продукты окисления осуществляется микроорганизмами при помощи сотен ферментативных реакций, происходящих в микробных клетках. Для того чтобы разрушить до углекислоты и воды сложную смесь химических соединений, присутствующих в сточных водах, необходимо примерно 80—100 различных ферментов, каждый из которых взаимодействует только с одним соединением загрязнения и катализирует одно из многочисленных превращений [1].

Основные задачи исследований при биологической очистке сточных вод чаще всего связаны с изучением сообщества активного ила, биохимической активности микроорганизмов, а также условий среды, определяющих развитие микробных ценозов (температура, pH, растворенный кислород и т. п.) [2, 3]. Именно этот комплекс взаимодействий и превращений определяет технологические параметры процесса очистки и конструктивное оформление аэробных реакторов. Однако с экологической (по Геккелю) точки зрения принципы данного процесса разработаны недостаточно, особенно в части влияния освещенности на биоценоз активного ила.

Известно, что около половины времени года (в средних широтах) активный ил аэротенков находится в условиях освещенности (день) или ее отсутствия (ночь). Однако сведений об окислительных свойствах и реакциях биомассы в дневное и ночное время (летняя и зимняя продолжительность суток) имеется очень мало. Поэтому неясно, как в постоянно меняющихся условиях освещенности взаимодействуют по трофическим уровням микроорганизмы активного ила.

Поскольку активный ил представляет собой альгобактериальное сообщество, то определение его окислительных свойств в условиях освещенности или ее отсутствия представляет научный и практический интерес. Результирующими показателями таких взаимодействий, которыми можно реально управлять в практике аэробной биологической очистки сточных вод, могут быть окислительно-восстановительный потенциал (Eh), иловый индекс, а также показатели потребления кислорода биомассой и эмиссии образующихся при этом газов.

Известно, что между различными группами организмов активного ила наблюдаются три типа отношений, лежащих в основе микробиологического процесса очистки: отношения метабиоза между гетеротрофными и нитрифицирующими бактериями, конкурентные отношения между гетеротрофными бактериями и сапрозойными простейшими и отношения хищник — жертва между ресничными простейшими и гетеротрофными бактериями.

При идеальных условиях работы аэротенков активный ил, как правило, представлен тремя трофическими уровнями [4]:

первый трофический уровень (когда на единицу массы ила приходится большая масса загрязнений) характеризуется преобладанием в иле гетеротрофных бактерий и сапрозойных простейших, питающихся растворенными органическими веществами, и незначительным развитием свободно плавающих ресничных;

второй трофический уровень (при меньшем количестве загрязнений) отличается развитием в иле голозойных свободно плавающих инфузорий и коловраток, питающихся бактериями и сапрозойными простейшими;

третий трофический уровень (с очень малым количеством загрязнений) характеризуется максимальным развитием прикрепленных и хищных инфузорий, коловраток и червей, питающихся голозойными инфузориями и иловыми частицами.

В то же время практика очистки сточных вод показывает, что количество трофических уровней в основном равно двум.

Для выявления таких взаимоотношений и их количественной оценки в лабораторных условиях были сконструированы два модельных аэротенка объемом 5 л каждый, при этом один освещался круглосуточно («светлый»), второй был помещен в темный кожух («темный») и освещался через поверхность только в светлое время суток. Первоначально в модели был загружен активный ил действующих аэротенков.

Гидробиологическим анализом в биоценозе «светлого» аэротенка были обнаружены [5]: амеба (сферической формы) отряда Schizopyrenida рода Vahlkamphia ovis, циста. Четко выражены зооглейные скопления.

В «темном» аэротенке также просматривались амебы (сферической формы, с гладкой внутренней оболочкой, но с тонкой наружной, несколько волокнистой) отряда Schizopyrenida рода Naegleria fowleri, циста. Менее четко выражены зооглейные скопления.

Известно, что в смешанных культурах при совместном лимитированном росте выживают популяции микроорганизмов с наибольшей глубиной деструкции субстрата. Для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов подава-

лось питание исходя из известного соотношения БПКполн : N : P = 100 : 5 : 1. После подачи питания фиксировали Eh, эмиссию O_2 и CO_2 в течение 4—5 часов (через каждый час) переносным поверенным газоанализатором.

Контроль эмиссии газов от модельных аэротенков в лабораторных условиях показал, что при аэробном окислении, которое напоминает дыхание животного организма, происходит выделение оксида углерода CO_2, по количеству которого возможно судить о потреблении кислорода активным илом и, соответственно, о степени деструкции загрязнений, т. е. его окислительной способности (рис. 1—3).

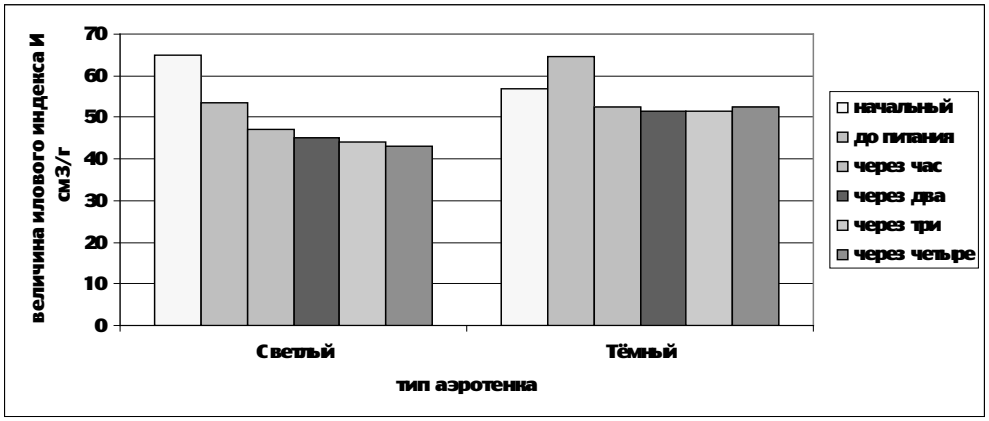


Рис. 1. Изменение илового индекса биомассы «светлого» и «темного» аэротенков

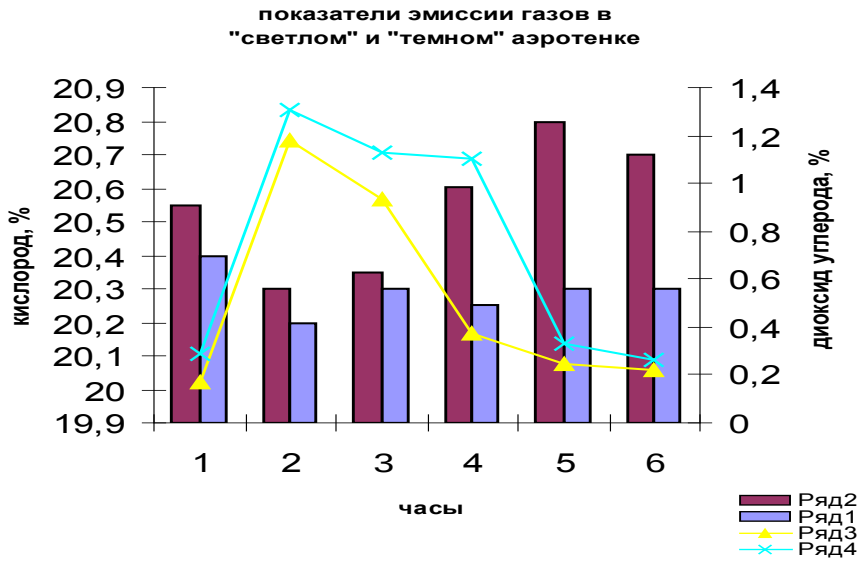


Рис. 2. Эмиссия O_2 (*1*, *2*) и CO_2 (*3*, *4*) аэротенков: *1*, *4* — «темный»; *2*, *3* — «светлый»

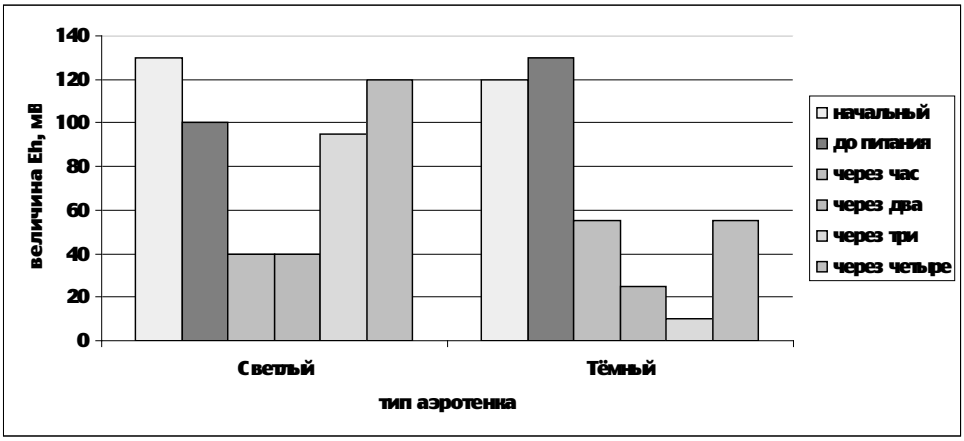


Рис. 3. Изменение Eh иловой смеси «светлого» и «темного» аэротенков

Характер изменения илового индекса (см. рис. 1) в обоих аэротенках приблизительно одинаков, в пределах 50—60 мл/г. Его достаточно низкое значение по сравнению с реальными проточными аэротенками объясняется повышенной зольностью (29—31 %) и возрастом (18—21 сут) биомассы для обеспечения процесса нитрификации.

Более интенсивно потребление кислорода биомассой и, соответственно, выделение углекислоты идет в «темном» аэротенке (см. рис. 2). В «светлом» аэротенке данные процессы осуществляются с коэффициентом 0,7—0,75 от «темного». Объяснением этому может быть то, что при отсутствии фотонов света в «темном» аэротенке имеет место потребление растворенного кислорода водорослями, входящими в альгобактериальное сообщество аэротенка.

Особенно существенным является отличие Eh иловой смеси в модельных аэротенках (см. рис. 3). Средняя величина ОВП в «светлом» аэротенке за 6 часов биодеструкции органических загрязнений составила 87,5 мВ, в «темном» — 65,3 мВ. Это можно интерпретировать так: интенсивность окислительных процессов в аэротенках при освещении более эффективна (87,5/65,3) — в 1,34 раза.

Средняя концентрация растворенного кислорода в период проведения исследований в «светлом» аэротенке составила после окончания цикла окисления 6,32 мг/л, через 1 час после внесения питания — 7,08 мг/л, в «темном», соответственно, 5,98 и 4,59 мг/л.

В течение месяца работы еженедельно велся гидробиологический контроль микробного сообщества модельных аэротенков.

В процессе работы произошла автоселекция и сформировалась трофическая взаимосвязь микроорганизмов в «светлом» аэротенке: инфузории (тело удлиненно-овальное, несколько уплощенное) отряда Hymenostomatida подотряда Peniculina рода Paramecium trichium, в 1 л объема аэротенка таких микроорганизмов примерно 200 шт. Также выявлен представитель класса Polynymenophora подкласса Spirotrichida отряда Heterotrichida рода Stentor polymorphus в вытянутом состоянии, питается бактериями и жгутиковыми.

Микробное сообщество «темного» аэротенка также имеет свою, отличительную, трофическую цепь: появились представители кольчатых червей Annelida класса малощетинковых Oligochaeta Grube, в 1 л аэротенка таких микроорганизмов примерно 100 шт. Из этого следует, что видовое разнообразие и, соответственно, окислительная способность «темного» аэротенка меньше, чем «светлого».

Причем если в самом начале проводимых исследований отмечались представители всех трех трофических уровней, то в процессе исследований четко наблюдались микроорганизмы второго и третьего трофических уровней. Микроорганизмов третьего уровня больше отмечено в «темном» резервуаре.

Таким образом, установлено, что в освещаемом аэротенке повысились окислительные процессы, т. е. «дневная» часть суточного процесса биологической очистки «перерабатывает» загрязнения более интенсивно, тогда как «ночная» часть процесса является лимитирующей. Однако данные выводы в настоящее время не учитываются при проектировании и эксплуатации аэротенков.

В дальнейших исследованиях требуется определить экономические и экологические показатели установленных технологических преимуществ освещенных аэротенков, что позволит сформулировать новые подходы к управлению биологической очисткой сточных вод в темное время суток.

В то же время до выяснения кинетических и экономических параметров освещенности при проектировании сооружений аэробной биологической очистки сточных вод можно сформулировать новое технологическое предложение: в настоящее время следует иметь два расчетных режима аэротенков: в светлое и темное время суток, причем темное является основным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Поруцкий Г. В.* Биохимическая очистка сточных вод органических производств. М. : Химия, 1975. 256 с.

2. *Диксон М.*, *Уэбб Э.* Ферменты. М., 1982. Т. 1. 348 с.

3. *Жмур Н. С.* Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М. : Акварос, 2003. 512 с.

4. *Карюхина Т. А.*, *Чурбанова И. Н.* Химия воды и микробиология. М. : Стройиздат, 1974. 215 с.

5. Фауна аэротенков : атлас. Л. : Наука, 1984. 264 с.

1. *Porutski G. V.* Biokhimicheskaya ochistka stochnykh vod organicheskikh proizvodstv. M. : Khimiya, 1975. 256 s.

2. *Dikson M., Uebb E.* Fermenty. M., 1982. T. 1. 348 s.

3. *Zhmur N. S.* Tekhnologicheskiye i biokhimicheskiye protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami. M. : Akvaros, 2003. 512 s.

4. *Karyukhina M. A., Churbanova I. N.* Khimiya vody i mikrobiologiya. M. : Stroyizdat, 1974. 215 s.

5. Fauna aerotenkov : atlas. L. : Nauka, 1984, 264 s.

© Серпокрылов Н. С., Борисова В. Ю., Скибина Е. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Серпокрылов Н. С., Борисова В. Ю., Скибина Е. В. Повышение среднесуточной окислительной способности биоценоза аэротенка // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 306—310.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 556.53:627.8(470.45)

С. М. Мусаелян, А. В. Соловьев

ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МАЛЫХ РЕК ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛОТИН И ВОДОХРАНИЛИЩ

Реки Волгоградской области относятся в основном к группе малых рек. Они распределены по территории весьма неравномерно. По степени водообеспеченности на душу населения Волгоградская область относится к регионам крайне бедным водными ресурсами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бассейн, река, вода, ресурсы, водосбор, водообеспеченность, сток.

Rivers is belonged mostly to headwaters in the Volgograd Region. They are distributed rather unequally on the territory of the region. The Volgograd Region is belonged to regions poor in water resources in terms of the water supply sufficiency per head.

K e y w o r d s: basin, river, water, resources, catch basin, water supply, flowing.

Речная сеть Волгоградской области принадлежит бассейнам рек Волги и Дона, самых крупных, полноводных и судоходных рек на ее территории. Территория области покрыта довольно густой речной сетью, которая представлена, как видно из табл. 1, 199 реками длиной более 10 км. Общая их длина 8080 км.

Основу гидрографической сети области составляет овражно-балочная сеть (до 90 % общего количества водотоков и 60 % суммарной длины всех водотоков). Эта сеть довольно сильно развита. Бассейны рек изрезаны многочисленными малыми и большими балками, оврагами. Поэтому густота овражно-балочной сети очень высока, от 0,5 до 3,0 км/км^2. Речная же сеть характеризуется значительно меньшей густотой, в среднем 0,075 км/км^2.

В пределах области наибольшая изрезанность оврагами и балками характерна для высоких, крутых правых склонов рек Волги, Медведицы, Хопра и Дона, а наименьшая, но с наличием мелких балочек и лощин — для равнинных степей левобережного Заволжья, Сарпинской низменности и Донских степей в южной части области.

Малые реки длиной 10—25 км составляют 58,3 % общего количества водотоков и 20,8 % суммарной их длины. Общее количество рек длиной до 200 км составляет 194 (97,5 %), длиной более 200 км — 5 (в бассейне Дона — Хопер, Медведица, Иловля, Бузулук, Аксай Есауловский). Их протяженность в пределах области 1596 км. Более 85 % рек области принадлежат бассейну Дона, а их суммарная длина 7246 км (89,7 %) [1].

Таблица 1

Количество и протяженность водотоков в бассейнах рек Дона и Волги в пределах Волгоградской области

Градация водотоков по длине, км	Общее количество водотоков (числитель) и их суммарная длина (знаменатель), км			% общего количества водотоков (числитель) и их суммарной длины (знаменатель)		
	Бассейн Дона	Бассейн Волги	Всего	Бассейн Дона	Бассейн Волги	Всего
10—25	93/1371	23/308	116/1679	55/18,9	76,6/36,9	58,3/20,81
26—50	34/1154	2/67	36/1221	20,1/15,9	6,7/8,0	18,1/15,1
51—100	26/1705	3/204	29/1909	15,4/23,5	10/24,5	14,6/23,6
101—200	11/1420	2/255	13/2675	6,5/19,6	6,7/30,6	6,5/20,7
Более 200	5/1596	0/0	5/1596	3,0/22,1	0/0	2,5/19,8
Итого	169/7246	30/834	199/8080	100/100	100/100	100/100

Данные табл. 2 показывают, что малые реки площадью водосборов до 100 км^2 составляют всего 2,2 % суммарной водосборной площади рек области, с водосбором более 5000 км^2 (4 реки) — до половины всей территории. Водосборы притоков Волги не превышают 5000 км^2 и составляют всего 9 % общего водосбора рек области [1].

Таблица 2

Количество и площадь водосборов рек бассейнов Дона и Волги в пределах Волгоградской области

Градация рек по площади водосбора, км^2	Общее количество рек (числитель) и их суммарная площадь водосбора (знаменатель)			% общего числа рек (числитель) и их суммарная площадь водосбора (знаменатель)		
	Бассейн Дона	Бассейн Волги	Всего	Бассейн Дона	Бассейн Волги	Всего
До 100	40/2321	10/576	50/2897	237/2,0	33,3/4,8	24,1/2,2
101—500	84/18109	14/2887	98/20996	49,6/15,7	46,7/24,4	49,2/15,7
501—1000	28/18050	3/1732	31/19782	16,6/15,6	10,0/14,6	15,6/14,8
1001—5000	13/16380	3/6680	16/23060	7,7/14,3	10,0/56,2	8,1/17,3
5001—10000	2/18010	0/0	2/18010	1,2/15,6	0/0	1,5/18,5
Более 10000	2/42500	0/0	2/42500	1,2/36,8	0/0	1,5/31,5
Итого	169/155370	30/11875	199/127245	100/100	100/100	100/100

Распределение рек по территории области неравномерное. Большая их часть находится в правобережье. Особенно мало рек на Прикаспийской низменности, что объясняется в основном климатическими и тектоническими особенностями [2]. Речная сеть области подверглась большому преобразованию. На Волге и Дону созданы водохранилища, которые существенно изменили облик как этих рек, так и их притоков. Многие притоки Волги и Дона второго порядка стали непосредственно впадать в Волгоградское и Цимлянское водохранилища, появились большие заливы, затоплены устьевые участки крупных водотоков.

Общая ограниченность водных ресурсов и возрастающая потребность в них диктуют необходимость их учета на стационарной гидрометрической сети в течение длительного периода ее действия, имея в виду, что речной сток и его использование являются процессами нестационарного характера.

Известно, что основной характеристикой водных ресурсов реки является среднегодовой сток. В качестве потенциальных водных ресурсов рек принимается средняя многолетняя величина (норма). Норма годового стока имеет большое значение при практическом расчете речного стока и является устойчивой гидроклиматической характеристикой района. Однако нельзя считать ее неизменной. Под влиянием изменения нормы осадков, испарения или хозяйственной деятельности норма стока может меняться.

Норма годового стока является результатом сложного взаимодействия элементов географического ландшафта. Главными факторами, определяющими норму стока рек, являются климатические условия (осадки и испарения). Этот вывод следует из уравнения водного баланса речного бассейна для многолетнего периода (при достаточно большом числе лет), включая засушливые и влажные периоды,

$$X_0 = Y_0 + E_0 \tag{1}$$

или

$$X_0 = Y_0 - E_0, \tag{2}$$

где X_0, Y_0 E_0 — нормы (средние многолетние значения) стока осадков и испарения.

Норма стока является функцией нормы осадков и испарений, т. е. гидрометеорологических компонентов географического ландшафта. Все остальные факторы влияют опосредованно через осадки и испарение, причем их влияние не превышает 10—20 %.

Норма годового стока вычисляется как среднее арифметическое значение годовых значений стока:

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Qi}{n}, \tag{3}$$

где Q_0 — норма годового стока; Qi — средние годовые расходы воды за длительный n период времени, при котором дальнейшее увеличение ряда средних годовых расходов практически не меняет нормы годового стока.

Норма стока является статистическим понятием и поэтому устанавливается из непрерывного и однородного ряда. Как известно, для определения нормы стока требуется обработать ряды с длительностью 60—70 лет. Стоковые ряды рек Волгоградской области не обладают такой длительностью (за исключением пунктов на крупных реках).

Из теории вероятностей известно, что истинное среднее значение $\overline{Q}$ может быть получено лишь при бесконечно большом числе N наблюдений:

$$\overline{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{S} Qi}{N \to \infty}. \tag{4}$$

В остальных случаях норма годового стока получается с ошибкой δ_{Q_0}, которая называется средней квадратической ошибкой определения стока и зависит от длительности ряда n и изменчивости годового стока — коэффициента вариации C_v:

$$\delta_{Q_0} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} 100\ \%. \quad (5)$$

Коэффициент вариации C_v определяется по общеизвестной формуле

$$C_v = \sqrt{\sum \frac{(K_i - 1)^2}{n-1}}, \quad (6)$$

где K_i — модульный коэффициент (отношение годового стока к его среднему: $K_i = Q_i / Q_0$).

Относительные средние квадратические ошибки определения нормы стока δ_{Q_0} и коэффициента вариации δ_{C_v} не превышают допустимых пределов ($\delta_{Q_0} < 5$—10 %, $\delta_{C_v} < 10$—15 %).

Коэффициенты асимметрии C_s определялись путем анализа кривых обеспеченности. При этом было установлено, что теоретические кривые наилучшим образом согласуются с эмпирическими точками при соотношении $C_s = 2\,C_v$.

Основные характеристики годового стока Волгоградской области приведены в табл. 3, из которой видно, что модуль стока среднегодового расхода воды рек Волгоградской области колеблется в пределах от 0,85 (р. Мышкова, х. Черноморов) до 2,39 л/с с 1 км^2 (р. Терса, пгт Елань), составляя в среднем 1,54 л/(с·км^2), или 48,5 мм слоя стока, что равно 5,53 км^3 речных вод в средний по водности год. Коэффициент стока (отношение слоя стока к количеству осадков) равен 0,136.

Таблица 3

Годовой сток рек Волгоградской области

№ п/п	Река, пункт	Площадь, км^2	Число лет наблюдений	Характеристики среднего многолетнего стока			Коэфф. вариации
				Расход, м^3/с	Модуль, л/(с·км^2)	Слой, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дон, х. Беляевский	204000	37	636	3,12	98,3	0,35
2	Дон, г. Калач-на-Дону	222000	95	675	3,04	95,8	0,35
3	Хопер, х. Бесплемяновский	44900	60	142	3,12	98,3	0,43
4	Хопер, х. Барминский	57300	29	165	2,88	90,7	0,48
5	Бузулук, пгт Киквидзе	3460	41	6,54	1,89	59,4	0,68

Окончание табл. 3

№ п/п	Река, пункт	Площадь, км^2	Число лет наблюдений	Характеристики среднего многолетнего стока			Коэфф. вариации
				Расход, м^3/сек	Модуль, л/(с·км^2)	Слой, мм	
6	Бузулук, х. Б. Лукьяновский	9220	50	18,5	2,00	63,0	0,64
7	Кумылга, х. Ярской	1220	40	1,86	1,52	47,9	0,68
8	Кардаил, х. Андреевский	1310	35	3,10	2,36	74,3	0,58
9	Медведица, х. Красный	26800	38	67,8	2,34	73,7	0,48
10	Медведица, ст. Арчединская	33700	60	74,4	2,21	69,6	0,46
11	Терса, пгт Елань	2860	38	6,83	2,39	75,3	0,58
12	Арчеда, х. Нижнянский	2050	47	2,87	1,39	43,8	0,58
13	Елань, с. Воронино	1800	35	3,03	1,68	52,9	0,70
14	Чир, с. Обливская	8470	52	11,6	1,40	44,1	0,70
15	Иловля, с. Гвардейское	344	40	0,82	2,38	75,0	0,61
16	Иловля, с. Александровка	6520	50	8,22	1,26	39,7	0,61
17	Иловля, х. Боровки	8730	35	13,1	1,50	47,2	0,58
18	Тишанка, х. Кузнецов	795	40	1,25	1,57	49,5	0,78
19	Паньшинка, х. Панышино	965	41	1,30	1,35	42,5	0,84
20	Аксай Есауловский, х. Водянский	2110	45	2,47	1,17	36,8	1,02
21	Мышкова, х. Черноморов	1190	30	0,91	0,85	30,0	0,96
22	Аксанец, х. Тормосин	501	38	0,66	1,32	41,6	0,98
23	Карповка, ст. Кривомузчинская	1980	25	2,69	1,36	42,8	0,88
24	Цуцкан, х. Пронин	772	10	1,14	1,48	46,6	0,43
25	Цимла, х. Сизов	1420	31	1,65	1,16	36,5	0,92
26	Еруслан, с. Песчанка	4200	35	5,59	1,33	35,2	0,68
27	Волга, г. Волгоград	1360000	110	7920	5,83	—	0,17
	Среднее по области	—	—	—	1,54	48,5	

Распределение годового стока на территории. Для выяснении закономерности распределения годового стока, а также его расчета для неизученных рек построены карты модуля и слоя стока рек Волгоградской области (рис. 2, 3), где были использованы данные табл. 3, а также данные по соседним бассейнам. Не использованы данные по большим транзитным рекам Волге и Дону. Значение нормы стока гидрометрических створов отнесено к геометрическим центрам водосборов.

Изменения годового стока по области происходят в основном в широтном направлении, подчиняясь изменениям климатических факторов, в первую очередь осадков, т.е. хорошо выражена тенденция его уменьшения с северо-запада на юго-восток. Так, например, модуль стока р. Иловля (с. Гвардейское) равен 2,38 л/(с·км^2) (площадь 344 км^2), а в створе х. Боровки — 1,5 л/с·км^2 (8730 км^2), р. Хопра у г. Балашова — 3,45 (14300 км^2), а у х. Барминского — 2,28 (57300 км^2). Это указывает на то, что сток основных рек области (Хопер, Медведица, Иловля) формируется в основном в северо-западных частях их бассейнов. Из гидрографических характеристик водосборов более или менее заметное влияние на величину стока оказывает высота местности. Так, модуль стока рек, стекающих с Приволжской возвышенности, несколько выше, чем у соседних рек. При этом наветренные возвышенности, как правило, обильнее орошаются, чем подветренные.

Средний годовой сток временных водотоков меньше зональной величины на 20—30 %. На формирование стока этих водотоков большое влияние оказывают геологическое строение, уклон водосбора, характер подстилающей поверхности и другие факторы. Величина площади водосбора играет второстепенную роль. Вообще, для большей части области размеры водосбора не влияют на величину нормы годового стока.

Малые реки имеют незначительное подземное питание или вовсе его не имеют и, как следствие, наблюдается уменьшенное значение нормы годового стока. Малые реки, поверхность которых сложена песками, при прочих равных условиях имеют меньшую норму годового стока по сравнению с водосборами, сложенными из глинистых и других почв. Реки южного Заволжья и Задонья, как правило, имеют незначительное грунтовое питание. Вместе с тем реки этих районов имеют снеговое питание, доля которого составляет 80—100 % годового стока в отличие от водосборов средних и больших рек.

В связи с небольшой площадью лесов на территории области их влияние на норму стока почти полностью завуалировано другими факторами. Основные лесные массивы размещены в долинах рек, где вдоль русел на лугово-аллювиальных почвах формируются ленточные леса. А при рациональном размещении лесных полос, занимающих небольшую часть водосборов (до 10 %), воздействие их на сток было бы таким же, как влияние леса, занимающего почти весь бассейн, и прежде всего на выравнивание внутригодового распределения стока. Сток рек испытывает регулирующее влияние многочисленных водохранилищ и прудов. Степень зарегулированности стока прудами и водохранилищами возрастает с севера на юг. Сток с малых водосборов в южных и юго-восточных районах в маловодные годы полностью задерживается. В средние по водности годы зарегулированный сток составляет 3—4 % годового, хотя

для некоторых лет он достигает 15—20 %. Основной сток области формируется в бассейне Дона (91,4 %), а главной водной артерией является р. Медведица (35 %), на долю рек Хопра и Бузулук приходится до 30 %.

При отсутствии или при коротких рядах наблюдений над стоком расчет нормы годового стока можно делать двумя способами: а) по аналогии со сходными изученными реками в таких же физико-географических и климатических условиях формирования стока; б) по приведенному на карте изолиний (рис. 1) среднему многолетнему стоку как средневзвешенному по формуле

$$M_0 = \frac{M_1 f_1 + M_2 f_2 + M_3 f_3 + \ldots + M_n f_n}{f_1 + f_2 + f_3 + \ldots + f_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i f_i}{\sum_{i=1}^{n} f_i}, \qquad (7)$$

где M_0 — средневзвешенный модуль стока; M_1 — среднее значение модуля стока между двумя соседними изолиниями, пересекающими водосбор, f_1 — соответствующие площади между изолиниями, определяемые планиметрированием.

В связи со слабой гидрологической изученностью территории следует отдавать предпочтение второму способу. Для расчета нормы годового стока временных водотоков в районе расположения их водосборов следует определять по карте величину модуля стока и уменьшить ее примерно на 40—50 %. Эта рекомендация требует уточнения по мере накопления материалов наблюдений.

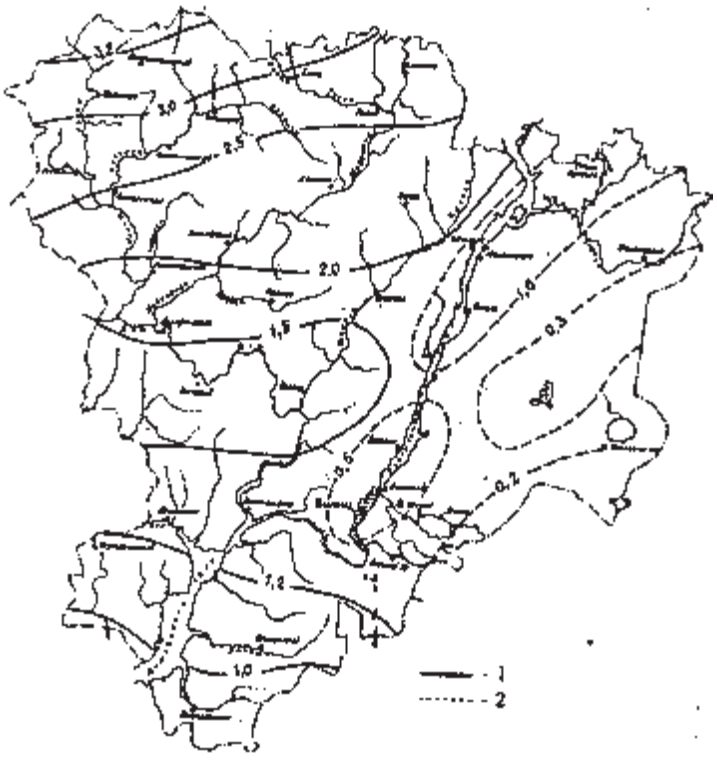


Рис. 1. Карта среднегодового стока рек Волгоградской области л/(с·км^2): *1* — изолинии модулей стока; *2* — изолинии, проведенные приближенно

В конце приводим данные по годовому стоку рек Волгоградской области различной обеспеченности (табл. 4) и общим водным ресурсам рек, формирующимся на территории Волгоградской области и соседних регионов (табл. 5).

Водные ресурсы рек Волгоградской области различной вероятности превышения имеют следующую картину: на собственной территории формируется в средний по водности год 5,53 км^3 воды, при 1%-й обеспеченности — 15,2; 97%-й — всего 1,60 км^3. Транзитный сток, проходящий по территории области, составляет по указанным вероятностям превышения соответственно: 4,03; 11,0 и 1,15 км^3, суммарный сток — 9,56; 26,2 и 2,81 км^3, т.е. до 42 % суммарного стока составляет транзитный, поступающий из соседних регионов и формирующийся в основном в верховье рек Хопра и Медведицы.

Водообеспеченность Волгоградской области в средний по водности год составляет на 1 км^2 территории 48,94 тыс. м^3 (в 5,1 раза меньше, чем среднефедеральный показатель) и на 1 человека — 2,05 тыс. м^3 (в 14,1 раза меньше).

Отметим также, что транзитный сток р. Волги через Волгоградскую область составляет за среднемноголетний год 7920 м^3/с, или 249,5 км^3, р. Дон — 526 м^3/с, или 16,6 км^3.

Таблица 4

Годовой сток рек Волгоградской области различной обеспеченности

№ п\п	Река, пункт	Площадь водосбора, км^2	Годовой сток различной обеспеченности, л/(с·км^2)							
			1	10	25	50	75	90	95	97
1	Дон, х. Хованский	169000	6,6	4,9	4,1	3,3	2,4	1,9	1,7	1,5
2	Дон, х. Беляевский	294000	6,3	4,6	3,8	3,0	2,3	1,8	1,5	1,4
3	Хопер, х. Бесплемяновский	44900	7,2	5,0	4,0	3,0	2,0	1,6	1,3	1,1
4	Бузулук, пгт Киквидзе	3460	6,5	4,0	2,9	1,9	1,2	0,7	0,5	0,3
5	Бузулук, х. Б. Лукьяновский	9220	6,7	4,1	2,9	2,0	1,2	0,8	0,6	0,4
6	Кардаил, х. Андреевский	1310	6,7	4,4	3,3	2,3	1,6	1,1	0,8	0,7
7	Кумылга, х. Ярской	1210	5,0	3,0	2,0	1,4	0,8	0,5	0,3	0,2
8	Медведица, х. Красный	26800	6,5	4,3	3,3	2,3	1,6	1,0	0,9	0,8
9	Медведица, ст. Арчединская	33700	5,8	3,9	3,0	2,2	1,4	1,0	0,7	0,6
10	Цуцкан, х. Пронин	772	5,4	2,8	1,7	0,9	0,4	0,2	0,1	0,05
11	Арчеда, х. Нижнянский	2050	3,9	2,6	2,0	1,4	0,9	0,6	0,5	0,4
12	Иловля, с. Гвардейское	344	6,5	4,2	3,2	2,2	1,5	1,0	0,8	0,6
13	Иловля, х. Боровки	8730	4,2	2,7	2,0	1,3	0,9	0,6	0,4	0,3
14	Тишанка, х. Кузнецов	795	5,5	3,2	2,2	1,3	0,7	0,4	0,2	0,1
15	Паньшинка, х. Панышино	965	5,6	3,1	1,9	1,1	0,5	0,2	0,1	0,1

Окончание табл. 4

№ п\п	Река, пункт	Площадь водосбора, км²	Годовой сток различной обеспеченности, л/(с·км²)							
			1	10	25	50	75	90	95	97
16	Карповка, ст. Кривомузчинская	1980	5,3	2,9	1,9	1,1	0,5	0,2	0,1	0,1
17	Чир, с. Обливская	8470	4,7	2,7	2,0	1,2	0,7	0,4	0,3	0,2
18	Аксанец, х. Тормосин	501	6,1	3,1	1,9	1,0	0,4	0,2	0,1	0,04
19	Аксай Есауловский, х. Водянский	2110	5,7	2,7	1,6	0,8	0,3	0,1	0,05	0,03
20	Еруслан, п. Красный Кут	1410	3,9	2,2	1,8	1,2	0,7	0,4	0,3	0,3
21	Волга, г. Волгоград	136000	8,8	7,5	6,9	6,2	5,5	4,8	4,4	4,1

Таблица 5

Водные ресурсы рек, формирующихся на территории Волгоградской области и соседних регионов

Характеристика водных ресурсов	Единица измерения	Водные ресурсы рек при различной обеспеченности, %								
		Среднемноголет.	1	10	25	50	75	90	95	97
Модуль стока	л/(с·км²)	1,57	4,22	2,80	2,15	1,54	1,07	0,76	0,60	0,46
Слой стока	мм	48,5	133	88,4	67,4	49,1	33,6	23,8	18,7	14,6
Расход воды	м³/с	176	482	321	245	178	122	86,0	67,9	52,7
Объем стока	км³/год	5,53	15,2	10,1	7,74	5,60	3,84	2,71	2,14	1,66
Сток из соседних регионов	м³/с	128	350	2281	162	130	82,5	60,8	47,0	36,5
	км³/год	4,03	11,0	7,18	5,10	4,10	2,60	1,92	1,48	1,15
Суммарный сток	м³/с	304	832	549	407	308	204	147	115	89,2
	км³/год	9,56	26,2	17,3	12,8	9,70	6,44	4,63	3,62	2,81

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мусаелян С. М., Лобойко В. Ф.* Использование и охрана водных ресурсов. Гидрология регионов. Волгоград : Волгогр. гос. с.-х. акад., 2002. 151 с.

2. Атлас Волгоградской области. Киев, 1993.

1. *Musayelyan S. M., Loboyko B. F.* Ispolzovaniye i okhrana vodnykh resursov. Gidrologiya regionov. Volgograd : Volgograd. s.-kh. akad., 2002. 151 s.

2. Atlas Volgogradskoy oblasti. Kiyev, 1993.

© Мусаелян С. М., Соловьев А. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Мусаелян С. М., Соловьев А. В. Оценка водных ресурсов малых рек Волгоградской области с целью строительства плотин и водохранилищ // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 311—319.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

УДК 711.4:332.1

Н. Г. Юшкова

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

Приведены результаты исследования проблемы влияния государственной политики инновационной экономики на определение принципов развития территорий регионов. Установлена закономерность дифференцированного градостроительного развития территорий регионов России, синхронизированных с принципами поляризованного развития социально-экономической системы. Обоснована целесообразность трехуровневого ранжирования региональных градостроительных систем и моделирования процессов функционирования «точек роста» с последующим закреплением данных положений в документах развития региона.

Ключевые слова: устойчивое развитие, инновационное развитие, многополярное (поляризованное) развитие, инновация, регион, планирование, градостроительные процессы.

The problem results of state policy influence of innovation-driven economy on the definition of the development principles of region territories are quoted. The Regularity of the differential town-planning development of Russia region territories which is synchronized with polarized development principles of economic and social system is found. The practicability of three-tier ranking of region town-planning system and process simulating of “apical cones” functioning with following holding of data in the documents of region development is proved.

Key words: sustained development, innovative development, multipolar (electropolar) development, innovation, region, design, town-planning processes.

Переход мирового сообщества к инновационному типу экономики является одной из ведущих тенденций современного этапа развития цивилизации. Инновационное развитие экономики отнесено к числу высших приоритетов внутренней государственной политики Российской Федерации, как минимум, до 2020 г. [1], а инновации, наука и технологии рассматриваются как его основополагающие факторы. Среди возможных вариантов достижения целей инновационного развития социально-экономической системы предлагаются и сравниваются инерционный, экспортно-сырьевой и инновационный сценарии. Для реализации последнего необходимы отказ от преимущественно сырьевой направленности экономики, расширенная диверсификация производства, построение национальной и региональных инновационных систем. Несмотря на приоритетность сценария этого типа, его результаты не отличаются высокой активностью, что подтверждается, в частности, характером инвестирования в технологические инновации в различных отраслях промышленного производства, несоизмеримым с реаль-

ными потребностями экономики, требующей постоянного расширения спектра принципиально новой и конкурентоспособной продукции.

Автором работы был проведен сравнительный анализ состояния инновационных процессов в российских регионах. За основу анализа были приняты: стратегические документы федерального уровня, определяющие пространственные акценты инновационного развития федеральных округов и субъектов РФ [2], документы территориального планирования развития регионов Российской Федерации, разработанные в соответствии с Градостроительным кодексом РФ 2004 г., и состояния практической реализации проектов формирования «точек роста» регионов. Выполнением сравнительного анализа преследовалось решение задач установления совпадений между формированием целей государственного уровня, их формализацией и реализацией на региональном уровне. По результатам его выполнения было выявлено шесть типов (сценариев) принятия управленческих решений, различающихся интенсивностью инновационных процессов:

реализация объектов инновационного развития на территории региона полностью соответствует документам стратегического и территориального планирования (например, республика Мордовия, Омская обл.);

частичная реализация объектов инновационного развития на территории региона, заложенных в документы стратегического и территориального планирования;

реализация объектов инновационного развития на территории региона происходит вразрез с документами территориального планирования региона планирования (Ленинградская обл., Тверская обл.);

развитие региона с образованием инновационных объектов происходит в соответствии с документами стратегического планирования (не зафиксированное в документах территориального планирования региона);

инновационное развитие, заложенное в документы стратегического и территориального планирования, на практике не реализуется (сценарий, получивший наибольшее распространение);

инновационное развитие, обозначенное в документах стратегического планирования, не зафиксировано в документах территориального планирования региона и не реализуется на практике (Волгоградская обл., Новгородская обл.).

Проведенный автором анализ прогнозных и программных документов государственных органов власти и управления, директивных и нормативных документов Президента и Правительства Российской Федерации [3—6], научных концепций и работ ведущих специалистов и общественных деятелей относительно проблем и перспектив инновационного развития России показывает необходимость формирования новой структуры и механизмов ее реализации. Так, например, многие авторы связывают инновационные преобразования с трансформацией социальной, политической и экономической системы, в противовес другой, консервативной, позиции, развивающей положения концепции догоняющего развития.

Перспективы инновационного развития государств напрямую связаны с оценкой степени устойчивости социально-экономических систем [7]. При всем том, что развитие как ведущее свойство сложных систем может быть как

устойчивым, так и неустойчивым, его результаты проявляется, в основном, в необратимых качественных ее изменениях, обычно сопровождаемых количественными переменами [8]. Устойчивое развитие социально-экономической системы характеризуется динамичностью и, одновременно, относительной неизменностью ее свойств. И, напротив, для неустойчивого развития характерны качественные изменения в системе, при которых ее свойства способны ухудшаться, вплоть до потери системой целостности.

На современном этапе развития общественных отношений, в связи с возросшей актуальностью проблем глобальных угроз человечеству экономического, экологического и социального характера, устойчивое развитие социально-экономических систем становится объектом государственной политики [9][1]. В начале социально-экономических реформ в России, при переходе от административной экономики к рыночной системе хозяйствования, имевшийся отечественный опыт управления предыдущих десятилетий по объективным причинам напрямую не мог быть использован, и за основу были взяты мировые образцы. В этих условиях устойчивое развитие, в самом общем виде представляющее собой процесс стабильного поступательного социально-экономического развития, направленный на непрерывный прогресс в обществе с целью обеспечения экономического подъема и одновременно защиты ресурсной базы, становится концепцией, способной определить новый, пространственный, вектор государственной политики. Во многом благодаря формулировке пространственных аспектов развития территорий определились предпосылки научных исследований процессов устойчивого (сбалансированного) развития в системе градостроительной деятельности [10].

Признанный на государственном уровне инновационной сценарий развития экономики нашей страны означает новую фазу эволюции процессов устойчивого развития России. В свете новых задач реализации Концепции 2020 проблема устойчивого развития расширяет свои границы и выявляет новые аспекты. Среди них выделяются ранжирование регионов, необходимость поиска эффективных персонифицированных механизмов реализации государственной политики, установление зависимости процессов устойчивого (инновационного) развития от роли государства, а также от степени его вмешательства эти процессы. Из понимания устойчивого развития как процесса гармонизированного развития общества и природной среды, не нарушающего равновесия интересов настоящего и будущих поколений, следует, что в нем синтезируются проявления двух типов: обеспечивающих сохранение и основанных на изменениях, иными словами, постоянное воспроизводство инноваций.

Инновацию (нововведение, новшество) в самом общем виде можно определить как конечный результат инновационной деятельности, получивший во-

[1] Концепция устойчивого развития становится достоянием широкой общественности после опубликования доклада Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию (1987 г.), в котором устойчивым признано развитие, способствующее удовлетворению потребностей нынешнего поколения без уменьшения таких возможностей для будущих поколений. Формулировка основных принципов устойчивого развития, уже с позиций глобализации (Конференция ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992 г.), послужила методологической базой разработки конкретных планов действий по их практической реализации (Всемирный Саммит по устойчивому развитию, Йоханнесбург, 2002 г.).

площение в виде нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке (инновация — продукт), нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности (инновация — процесс) [11][2]. Инновация, в соответствии с международными стандартами, является также определенной управленческой категорией. Это — новая ценность, полученная в результате воплощения научных идей и знаний для удовлетворения потребностей как отдельных потребителей, так и общества в целом, имеющая высокий социально-экономический результат (прибыль). А основными критериями инновации являются научно-техническая новизна, практическая применимость, коммерческая реализуемость.

Несмотря на достаточно серьезную изученность данной проблемы, феномен инноваций остается актуальным объектом исследований. Однако в настоящее время отсутствует трактовка данной категории, которая бы могла раскрыть всю значимость и многоаспектность этого явления. Практически отсутствуют разработки, связывающие инновационные процессы с особенностями развития в целом, либо определяющие характерные проявления инновационности в регионах.

Обобщение современных научных взглядов на проблемы инновационного развития позволяет установить, что в основе инновационного типа развития региональной социально-экономической системы лежит совокупность инноваций во всех сферах жизнедеятельности и, в том числе, связанные с ними общественные изменения. В силу этого *инновацию предлагается рассматривать в широком смысле как органическую совокупность процесса, ориентированного на запланированный результат, а также получаемого социально-экономического эффекта от усовершенствования структуры и содержания, способствующую устойчивому развитию общественных отношений*.

Цель инновационного развития региона — формирование долгосрочных многоуровневых отношений между социально-экономическими субъектами на основе идеологии инновационной культуры, обеспечивающей создание и внедрение инноваций во всех сферах жизнедеятельности. Основными признаками инновационного развития региона являются: системность, масштабность, целенаправленность, сбалансированность интересов, нейтрализующие в целом существующие негативные проявления развития, такие как неопределенность результата, несовпадение общественных и частных ожиданий, асимметричность информации.

Именно российским регионам отводится особая роль в разработке и внедрении принципов и механизмов инновационного развития. Региональный разрез этой проблемы и пути ее решения мерами государственной региональной политики в общем виде представлены в целом ряде документов [12, 13, 14], согласно которым инновационное развитие неотъемлемо от реализации принципа многополярности на территории страны, позволяющего сконструировать новую структуру пространства, не привязанную жестко к сложившимся

[2] Кроме того, выделяются базисные инновации, основанные на результатах научно-технических разработок, не имеющих аналогов в отечественной и мировой практике, и направленные на освоение технических систем и технологий нового поколения, а также улучшающие инновации, служащие созданию новых моделей и разновидностей товаров и услуг, улучшению их параметров и постоянному обновлению технологий их изготовления.

энерго-сырьевым и финансовым зонам развития, а обусловленную появлением новых центров инновационного роста, концентрирующих человеческий и технологический потенциал.

То, что сегодня регионы в национальной экономике приобретают новое значение, является следствием глобализации мировых экономических процессов: глобальной конкуренции, свободного рынка, доступности ресурсов, наличия предпринимательских альтернатив. Регионы — это самостоятельные хозяйствующие субъекты, имеющие возможность вхождения на мировые рынки при условии высокой конкурентоспособности, — показателя, отражающего в комплексе уровень использования имеющегося в регионе ресурсного потенциала, напрямую связанного с эффективностью действующей системы управления, а также сложившуюся дифференциацию регионов по уровню социально-экономического развития.

Неравномерность территориального развития — объективный процесс, свойственный многим странам мира. Для обеспечения устойчивого пространственного развития территории региона в мировой практике используются различные модели управления: выравнивания территориальных различий в уровнях социально-экономического развития регионов и поляризованного (сфокусированного) развития («теория полюсов роста»).

Государственная «политика выравнивания» проводилась, в частности, в СССР практически на протяжении всего этапа социалистического развития экономики вплоть до конца 1980-х годов. Она заключалась в выравнивании уровня социально-экономического развития отдельных территорий (экономических районов — республик) в рамках единого народнохозяйственного комплекса страны на основе планомерного и централизованно управляемого размещения производительных сил, в основном за счет потенциала системы государственного управления и имеющегося промышленного потенциала [3]. Проведение политики этого типа эффективно и возможно до тех пор, пока государство имеет необходимые ресурсы для ее реализации. Закономерна постепенная дифференциация развития территорий, утрата отдельными регионами лидерских признаков и проявление иждивенческих настроений — в других. Сигналом, свидетельствующим о *достижении предела эффективности политики выравнивания*, является снижение, а затем и утрата эффективности административных и институциональных механизмов государственного управления региональным развитием [13].

Социально-экономические процессы в пространстве концентрируются на определенных, фиксированных территориях и выражаются в наибольшей интенсивности на них процессов структурных и инфраструктурных преобразований, вызываемых предпринимательской активностью, реализацией инновационных инициатив за счет активного привлечения инвестиционных ресурсов, и имеют

[3] При этом на различных этапах социалистического строительства обозначились специфические экономические и территориальные приоритеты: подъем отсталых окраин Закавказья, Средней Азии (1920—1930-е годы); создание металлургической базы, строительство машиностроительных заводов-дублеров в максимально удаленных от вероятностного противника районах на Урале и в Сибири (в 1930—1940-е годы); ускоренное развитие восточных районов страны (1950—1970-е годы); формирование крупных территориально-производственных комплексов повсеместно на территории страны (1960—1980-е годы).

очаговый, выборочный, направленный характер, в силу политических, географических, природных, исторических и экономических причин, диктующих государственное перераспределение ресурсов (теория поляризованного развития Ф. Перру, Ж. Будевиль). Суть этой теории выражается в выявлении закономерности влияния этих «полюсов (точек) роста» на основные факторы производства — капитал, рабочую силу, территории, не являющиеся «полюсами».

Поляризованное развитие — принцип пространственного развития, получающий распространение в странах, испытывающих потребность в социально-экономическом подъеме и находящихся в начальных его фазах, отличающихся последовательным формированием инновационных процессов.

Признание за принципами поляризованного развития регионов ведущей роли в региональной политике [4] означает выделение на территории Российской Федерации сети динамично развивающихся «опорных регионов» с высоким потенциалом роста и стратегическими инициативами, ориентированной на концентрированную ресурсную поддержку федерального центра.

Модели развития территорий, основанные на принципах поляризованного (или «сфокусированного») и выравнивающего регионального развития, противоположны по сути: отличительным признаком первой является концентрация финансовых, административно-управленческих, человеческих и других видов ресурсов в «опорных регионах» («полюсах», «локомотивах» роста), с последующим распространением инновационной активности в другие регионы. Современная практика развития регионов не исключает возможности одновременного использования этих взаимоисключающих принципов. Тем самым формируются основы синтетической региональной политики, гармонизирующей условия и формы развития на основе сочетания позитивных элементов государственных и рыночных методов управления.

Для понимания и формулировки новых (инновационных) принципов развития регионов необходимы эволюционные подходы к исследованию этих специфических пространственных элементов.

Использование термина «регион» в нашей стране связано с началом становления основ отечественной школы регионалистики и, прежде всего, с работами академика Н. Н. Некрасова, в которых регион — это крупная территория страны с однородными природными условиями и характерной направленностью развития производительных сил на основе использования потенциала материально-технической базы, производственной и социальной инфраструктуры. Предложенный Н. Н. Некрасовым двухуровневый принцип построения региона базировался на общности общегосударственных задач для органов государственного управления и позволял выявить два типа регионов — союзные республики и экономические районы.

Регионы нашей страны, согласно Конституции СССР, различались по национальному признаку и статусу органов управления с выделением двух типов: союзные и автономные республики и административно-территориальные образования (области, края, города республиканского подчинения, города областного (краевого) подчинения, автономные округа, а также прочие города, села и поселки). До конца 1990-х годов в современной градостроительной науке термин «регион» использовался в основном в целях описания и прогно-

зирования развития систем расселения соответствующего уровня и подготовки градостроительной документации. Региональные системы населенных мест (РНМС) представляли собой наиболее существенное звено в общей системе пространственной организации территории страны, занимая промежуточное положение между групповыми системами, объединяющими города и поселки разной величины, и общесоюзной системой населенных мест (работы докторов архитектуры Малоян, Смоляр, Яргина). РНМС, охватывающие, как правило, территории союзных республик (бывшего СССР) должны были обеспечить взаимную увязку крупных, средних и малых групповых систем населенных мест и позволить населению региона использовать преимущества главного регионального центра с высоким народнохозяйственным потенциалом, а также создать разветвленные централизованные системы инженерно-технического обеспечения, рекреационного, социального и других видов обслуживания.

В работах, выполненных под руководством д-ра экон. наук А. В. Кочеткова в ЦНИИП градостроительства во второй половине 1980-х годов, определены предпосылки появления нового объекта градостроительных исследований — территориально-планировочного комплекса (населенных мест и их систем) — структурной единицы единого народнохозяйственного комплекса страны, иными словами, *региона* [14]. Границы таких территориально-планировочных комплексов в большинстве случаев определялись степенью интенсивности социально-экономических связей населенных мест и их элементов, а способность этих комплексов функционировать обеспечивалась взаимосвязями производства и населения.

После провозглашения суверенитета России все территориально-административные единицы приобрели статус субъектов Федерации. С изменением основ конституционного строя, зафиксированных в Конституции РФ 1993 г., процесс реформирования территориально-политического устройства страны продолжился, а понятия «регион» и «субъекты Российской Федерации» стали различаться как области, республики, края, автономные области и округа [15]. В целях реализации Президентом Федерации конституционных полномочий, повышения эффективности деятельности федеральных органов государственной власти и совершенствования принципов управления территориями, на территории России было образовано 89 федеральных округов.

Современные исследователи практически единодушны во мнении, что эффективность достижения целей инновационного развития в условиях нашей страны напрямую зависит и от правильности определения стратегических задач государственного управления в отношении отдельных регионов и от того, насколько полно и качественно учитываются региональные особенности их функционирования. Таким образом в современных условиях целесообразно проведение «встречной» политики развития территорий регионов: от федерального центра к регионам, и, наоборот, от регионов — к центру. От степени адаптации региональных социально-экономических систем к инновационному развитию зависит уровень инновационного развития государства в целом, а инновации в процессах развития региона становятся ключевым элементом в системе устойчивого развития. Изучение существующих в научном сообществе современных проблем и факторов, обеспечивающих

инновационное развитие регионов, позволило автору выявить следующие обязательные условия этого процесса:

универсальность (технологичность) самой инновационной деятельности и формирующих ее процедур, автономность процесса воспроизводства инновационных решений;

создание инфраструктуры, обеспечивающей инновационное развитие, образованной элементами — инновационными объектами;

радикальность изменений структуры и характера управления, ее адаптация к постоянно обновляемым условиям и факторам развития;

соответствие комплексных (проектно-управленческих) решений планирования развития инновационных объектов механизмам их реализации;

оптимизация информационного обеспечения;

достижение высокой степени восприимчивости социально-экономических (рыночных) агентов новых идей, знаний и технологий.

Проведенный автором анализ научных публикаций последних лет по проблеме развития пространственных систем регионального уровня показывает, что термин «регион» используется при описании неравнозначных явлений [4]. В последнее время в программных документах Государственной Думы РФ, при разработке федеральных законов находят отражение системные принципы разрешения проблем регионов. В частности, в проекте закона «Об основах государственного регулирования…» [16] предложена новая концепция регулирования территориального развития регионов Российской Федерации, в которой объединены существующие и новые элементы, отражающие закономерное изменение уровней и качество жизни населения регионов, характер взаимодействия систем жизнедеятельности регионов, смещение центров сосредоточения населения, дифференциацию межрегиональных связей при сохранении относительной однородности общего экономического пространства. В качестве признаков региона выделяются социальный, природный, экономический, инфраструктурный, национально-культурный потенциал. Все это подтверждает приверженность государственной политики принципам поляризованного развития регионов.

Вопросы оценки степени неоднородности развития регионов России, представляющей собой совокупность принципиально различающихся между собой по уровню экономического развития территорий, в последние годы оста-

[4] В исследовании проблем развития регионов получили наибольшее распространение административный и экономико-географический подходы. При административном подходе, заявленным впервые в законодательных документах середины 1990-х годов, под регионом понимается часть территории РФ, обладающая общностью природных, социально-экономических, национально-культурных и иных условий, а также совокупность административно-территориальных единиц (городов, сельских районов и др. территориальных образований) или самостоятельная административная единица. Регион может совпадать с границами территории субъекта РФ либо объединять территории нескольких субъектов РФ. При экономико-географическом подходе регион рассматривается как часть территории страны, обладающая совокупностью однородных природно-климатических, географических, экономических признаков. Наряду с данными подходами к рассмотрению проблем функционирования регионов особого внимания заслуживает системный подход, при котором регион рассматривается как *управляемая социально-экономическая система* (выделено нами. — *Ю. Н.*), состоящая из совокупности элементов, включая градостроительную компоненту.

ются в центре внимания научной общественности [5]. Среди новых подходов к типологическому ранжированию регионов следует выделить предложения по выявлению степени их инновационного потенциала (ИП) как основания для определения конкретных направлений их развития (с высоким уровнем ИП и реализацией инновационных идей; с развитым ИП и ориентацией на перспективы освоения современных инноваций; со слаборазвитым ИП, наличием ресурсной базы для внедрения новых технологий, ограниченные в развитии; с крайне низким уровнем ИП). Наряду с этим можно выделить также абсолютно новые, современные принципы формирования пространственной системы региона, ориентирующие показатели социально-экономического развития территории на определенные его уровни [17]: макрорегион, мезорегион, микрорегион. Сообразно данным уровням ранжируются принципы полицентрического развития территории, в соответствии с которыми формируются модели планирования процессов инновационного развития.

Понимание термина «регион» в современных условиях в градостроительстве связано таким образом с его эволюцией как многоуровневой и многоаспектной развивающейся градостроительной системы, характеризующей новый инновационный этап его (градостроительства) развития, соответствующий смене теоретической концепции размещения производительных сил и расселения населения на концепцию управления градостроительными процессами, связанными с появлением поляризованного развития («точками роста»).

Основные выводы работы. Смена общественных социально-экономических формаций в нашей стране вызвала изменения в государственной политике. Закономерностью современного этапа развития российского общества является переход к инновационному развитию, означающему прорыв во всех сферах экономической активности субъектов хозяйственной деятельности. В градостроительном (территориально-пространственном) аспекте инновационное развитие представляет собой процесс разработки инновационных решений на основе современных технологий их реализации, что влечет за собой необходимость качественных изменений в системе градостроительной деятельности, в большей степени революционных, нежели эволюционных преобразований. Они выражаются в формировании новой конструкции градостроительной деятельности, отражающей наиболее характерные современные тенденции планирования развития территории.

Основным объектом государственной политики и градостроительного планирования становятся российские регионы, а учет всей совокупности осо-

[5] При определении современных типологий регионов наиболее часто оперируют традиционными секторами экономической активности субъектов рыночной системы, их специализацией и оценкой промышленного потенциала территории: регионы с развитой добывающей промышленностью, с высоким экспортным потенциалом (Коми-Пермяцкий), бюджетной самостоятельностью, развитыми внешнеэкономическими связями; торгово-промышленные регионы (Центральный, Волжский, Дальневосточный, Северо-Западный, Северный регионы и Балтийский край), стратегически ориентированные на развитие внутренних и внешнеэкономических связей, аккумулирующие значительную часть капитала; регионы с развитой тяжелой промышленностью и машиностроением (Западносибирский, Уральский), аграрные и аграрно-промышленные регионы (Приокский, Восточно-Центральный, Черноземный, Западный регионы, Предкавказье и Центральный Север); регионы, не имеющие специализации (Кавказ, Восточная и Южная Сибирь), ориентированные на инфраструктурное экономическое взаимодействие с другими регионами.

бенностей их формирования и направлений развития является обязательным для участников градостроительной деятельности. Поляризованное развитие регионов (в противовес выравнивающему), признанное ведущей и характерной тенденцией на среднесрочную перспективу, предопределяет новую систему ранжирования регионов по их месту и роли в процессе инновационного развития страны. В этих новых условиях, когда развитие региона оценивается наличием инновационных процессов, а активность этих процессов находится в зависимости от степени участия в них государства и бизнеса как наиболее активных рыночных агентов, градостроительная деятельность получает новое содержание. Гипотеза современного устройства градостроительной деятельности заключается в признании градостроительства как особой сферы государственного управления, в которой достижимость целей инновационного развития региона обеспечивается высокой степенью управляемости планируемых процессов, требующей трансформации существующей системы управления градостроительными процессами с выделением главных структурных компонентов: планирования и функционирования, а также выявления принципов их взаимодействия.

Выявленный принцип структурной иерархии региональной системы (макрорегион — мезорегион — микрорегион) выражается в необходимости соблюдения в системе пространственного планирования регионального уровня требований адаптации государственных (общих) положений федеральной политики к конкретной ситуации субъекта Российской Федерации. Они определяют в формируемой системе планирования не только сохранение баланса государственных общественных интересов и экономических хозяйственных интересов собственников, но и встраивание региональных положений пространственной политики в разработанные выше, федеральные решения по развитию, а также координацию инновационных решений пространственного развития территории с приоритетами социально-экономической политики.

Предложенная модель таким образом описывает новую систему планирования градостроительных процессов развития региона, позволяющую максимально реагировать на изменение характеристик процессов инновационного развития регионов, обеспечить преемственность инновационных решений по развитию территории регионального уровня и их точную привязку к уровню муниципальных образований и гарантировать управляемость градостроительных структур регионального уровня.

Эффективность системы планирования градостроительных процессов и достижимость целей инновационного развития регионов зависит от степени обоснованности используемых средств планирования (комплекса стратегий развития региона, зон и «точек роста», характеристик интенсивности процессов) и от характерных региональных градостроительных особенностей территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

2. Концепция Стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации / Министерство регионального развития Российской Федерации. М., 2005.

3. Инновационное развитие — основа модернизации экономики России : национальный доклад. М. : ИМЭМО РАН, ГУ-ВШЭ, 2008.

4. Основные направления деятельности правительства Российской Федерации на период до 2012 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1663-р.

5. Основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020—2030 годов : прил. к Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации / М-во экономического развития Российской Федерации. М., 2008.

6. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года / М-во экономического развития Российской Федерации. М., 2010.

7. Стратегия и проблемы устойчивого развития России в XXI веке / под. ред. А. Г. Гранберга, В. И. Данилова-Данильяна, М. М. Циканова, Е. С. Шопхоева. М., 2002.

8. *Ускова Т. В.* Теория и методология управления устойчивым социально-экономическим развитием региона : автореф. дис... д-ра экон. наук. Вологда, 2008.

9. О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию : утв. указом Президента РФ. 1996.

10. Национальная доктрина градостроительства России. М., 2001.

11. Об инновационной деятельности и государственной инновационной политике в Российской Федерации : федер. закон.

12. Об основных положениях региональной политики в Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 3 июня 1996 г. № 803 // Российская газета. 1996. 11 июня. С. 4.

13. Концепция совершенствования региональной политики в Российской Федерации. М., 2009—2010.

14. Основы управления развитием городов и систем населенных мест в СССР и НРБ: совместные исследования по плану научно-технического сотрудничества между СССР и НРБ. М., 1983.

15. О полномочном представителе Президента РФ в федеральном округе : указ Президента РФ № 849 от 13 мая 2000 г.

16. Об основах государственного регулирования регионального развития в Российской Федерации : федер. закон (проект).

17. Формирование градостроительных образований в контексте инновационного развития российских регионов [Электронный ресурс] / Н. Г. Юшкова, М. А. Павелко, М. Ю. Рыжкова, С. С. Кострикина, О. И. Чашкина // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Политематическая серия. Вып. 3(17). 2011. Режим доступа: http:// www.vestnik.vgasu.ru.

1. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitya Rossiyskoy Federatsii : utv. rasporyazheniyem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 17 noyabrya 2008 g. № 1662-p.

2. Kontseptsiya Strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii. M., 2005.

3. Innovatsionnoye razvitiye — osnova modernizatsii ekonomiki Rossii : natsionalny doklad. M. : IMEMO RAN, GU-VShE, 2008.

4. Osnovnyye napravleniya deyatelnosti pravitelstva Rossiyskoy Federatsii na period do 2012 goda : utv. rasporyazheniyem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 17 noyabria 2008 g. № 1663-p.

5. Osnovnyye parametry prognoza sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020—2030 godov : pril. k Kontseptsii dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii / M-vo ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii. M., 2008.

6. Strategiya innovatsionnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda / Minekonomrazvitiya Rossii. M, 2010.

7. Strategiya i problemy ustoychivogo razvitiya Rossii v XXI veke / pod red. A. G. Granberga, V. I. Danilova-Danilyana, M. M. Tsikanova, E. S. Shopkhoyeva. M., 2002.

8. *Uskova T. V.* Teoriya i metodologiya upravleniya ustoychivym sotsialno-ekonomicheskim razvitiyem regiona : avtoref. dis... d-ra ekon. nauk. Vologda, 2008.

9. O kontseptsii perekhoda Rossiyskoy Federatsii k ustoychivomu razvitiyu : utv. ukazom Prezidenta RF. 1996.

10. Natsionalnaya doktrina gradostroitelstva Rossii. M., 2001.

11. Ob innovatsionnoy deyatelnosti i gosudarstvennoy innovatsionnoy politike v Rossiyskoy Federatsii : feder. zakon.

12. Ob osnovnykh polozheniyakh regionalnoy politiki v Rossiyskoy Federatsii : ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 3 iyunya 1996 goda. № 803 // Rossiyskaya gazeta. 1996. 11 iyunya. S. 4.

13. Kontseptsiya sovershenstvovaniya regionalnoy politiki v Rossiyskoy Federatsii. M., 2009—2010.

14. Osnovy upravleniya razvitiyem gorodov i system naselennykh mest v SSSR i NRB: sovmestnyye issledovaniya po planu nauchno-tekhnicheskogo sotrudnichestva mezhdu SSSR i NRB. M., 1983.

15. O polnomochnom predstavitele Prezidenta RF v federalnom okruge : ukaz Prezidenta RF № 849 ot 13 maya 2000 g.

16. Ob osnovakh gosudarstvennogo regulirovaniya regionalnogo razvitiya v Rossiyskoy Federatsii : feder. zakon (proekt).

17. Formirovaniye gradostroitelnykh obrazovani v kontekste innovatsionnogo razvitiya rossiyskikh regionov [Elektronny resurs] / N. G. Yushkova, M. A. Pavelko, M. U. Ryzhkova, S. S. Kostrikina, O. I. Chashkina // Internet-Vestnik VolgGASU. Politematicheskaya seriya. Vip. 3(17). 2011. Rezhim dostupa: http://www.vestnik.vgasu.ru.

© Юшкова Н. Г., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Юшкова Н. Г. Градостроительное планирование и стратегии инновационного развития регионов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 320—331.

УДК 711.558:711.455(210.5):728.5(470.23-25)

Ю. Н. Лобанов

ПОВЫШЕНИЕ ПРИТЯГАТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ РЕКРЕАЦИОННОЙ АРХИТЕКТУРЫ С УЧЕТОМ ПОТЕНЦИАЛА АКВАТОРИЙ. ОПЫТ СЕВЕРО-ЗАПАДА

Раскрываются возможности совершенствования расположенных в береговых зонах рекреационных объектов путем повышения их архитектурной выразительности и функционального насыщения. Обращается внимание на потенциал намывных территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: потенциал акваторий, рекреационные объекты, аттрактивность архитектуры, намывные территории.

The improvement feasibilities of the recreational objects which are located at shores are opened by the promotion of their architectural emphasis and functional saturation. The attention is directed on the potential of the aggradational territories.

K e y w o r d s: potential of water areas, recreational objects, attraction of architecture, aggradational territories.

Соседство с водными просторами всегда повышало притягательность рекреационных объектов для отдыхающих. О традиционной аттрактивности южных приморских курортов говорить не приходится, но это положение сохраняет свою значимость и в нашем суровом климате, даже когда льды сковывают озера, реки и прибрежные воды морей: наступает пора подледного лова, лыжных прогулок, гонок на буерах и санях. Современные технологические и экономические возможности позволяют существенно расширить роль связанных с водой объектов рекреации, а оригинальные функциональные схемы и новый подход к формированию архитектурной композиции придают импульс развитию приморских рекреационных комплексов. Ряд предложений, использующих потенциал северо-западного региона России, дает примеры, раскрывающие данное положение.

В Финском заливе находится группа малых островов, цепочкой расположенных вдоль главного морского фарватера — Гогланд, Мощный, Малый, Сескар, Тютерс (рис. 1). Все они находились под юрисдикцией Министерства обороны и активно использовались военным ведомством. Прошло время, изменилась международная обстановка. Военные базы перестали существовать, личный состав демобилизован, бесхозные каменные и железобетонные строения находятся в заброшенном состоянии, разрушаются, лес вырубается. Некогда уникальные по красоте территории гибнут.

Характерно, что именно рекреационная функция была предложена, чтобы оживить эту зону, использовать ее уникальный потенциал. Были учтены специфика географического положения островов и их ландшафтно-экологические особенности. Поблизости находится судоходный фарватер, бурно развивающийся порт Усть-Луги с топливным комплексом. Можно рассчитывать, что острова будут привлекать как отечественных, так и зарубежных отдыхающих — любителей природы, рыбалки, водных видов спорта.

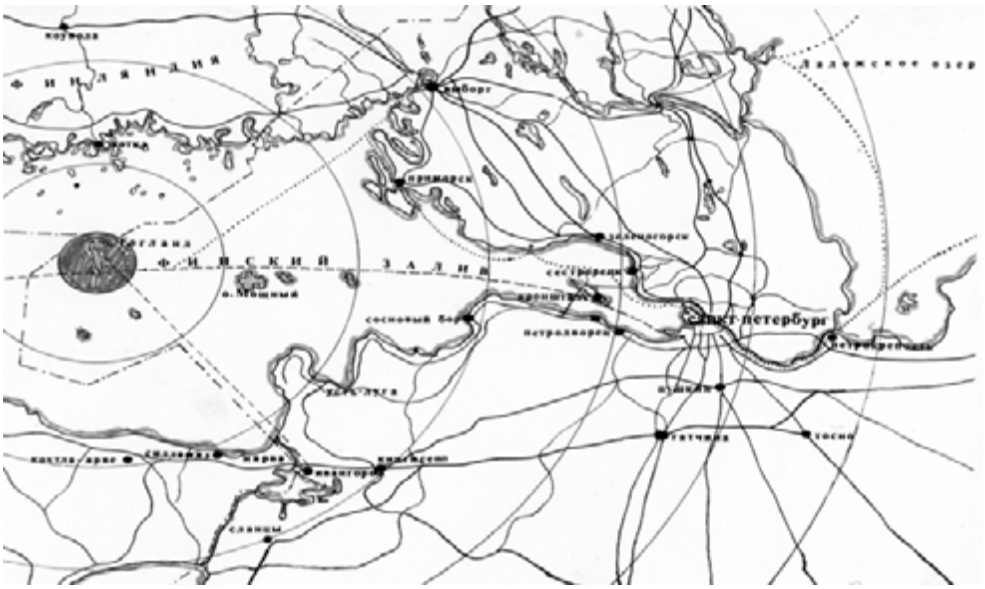


Рис. 1. Острова в Финском заливе. Ситуационная схема

Остров Гогланд (в переводе «высокая земля») — пристань на древнем пути «из варяг в греки», форпост России на северо-западе Финского залива. В 5 км проходит государственная граница, рядом судоходный фарватер, до Санкт-Петербурга 200 км. Площадь острова 21 км^2, характерен сильно выраженный рельеф с перепадом высот в 176 м. Сейчас эта уникальная территория с особым микроклиматом постепенно обретает новые функции. За прошедшие годы был выполнен ряд разработок по использованию острова в рекреационных целях. Проект «Гогланд как международный туристический центр» утвержден и получил высокую оценку (рис. 2).

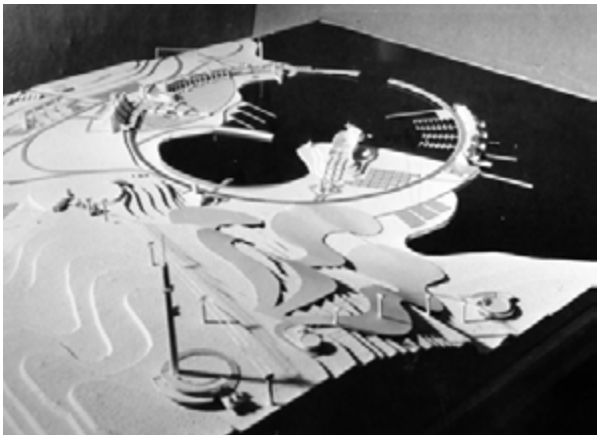


Рис. 2. Рекреационные объекты на острове Гогланд

Внимание привлекли предложения по ролевым видам отдыха, использованию этнографических мотивов при формировании сооружаемых здесь объектов. Центром общения туристов намечается «Балтийский дом» — гостиный

двор. Центральное ядро композиции составляют 10 отдельностоящих 3-этажных зданий (по числу прибалтийских государств), хороводом размещенных вокруг круглого двора — своего рода этнографическая деревня. Архитектурный образ каждой из типовых ячеек индивидуализирован и олицетворяет одну из прибалтийских стран. В нижнем этаже ячейки находится ресторан национальной кухни, на втором этаже — сувенирные лавки, на третьем — квартира хозяев (рис. 3 и 4).

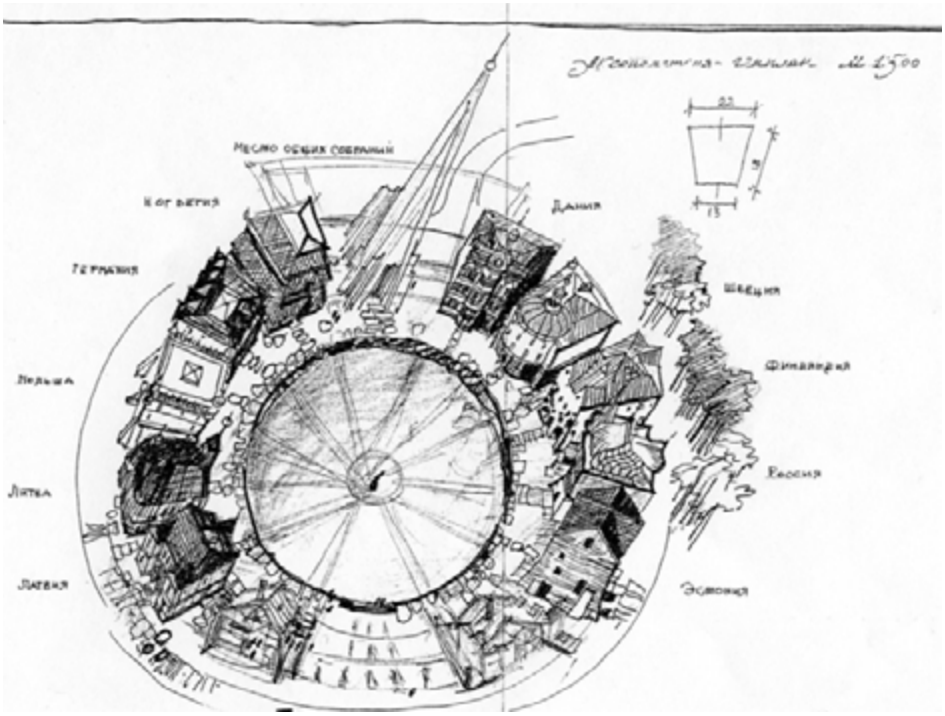


Рис. 3. Туристический центр на острове Гогланд. Рисунок к проекту

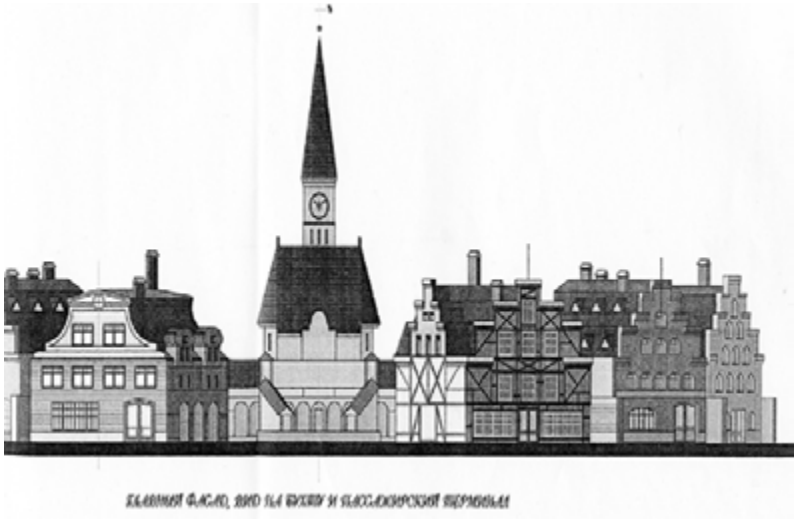


Рис. 4. Туристический центр на острове Гогланд. Схема фасада

Гогланд может стать международным туристическим центром с единовременным пребыванием до 1000 гостей. Он рассматривается как главный элемент системы, как столица туризма и островного отдыха на Балтике. В комплексе с лежащими рядом островами он может войти в хозяйственный оборот региона. Также и острова Мощный, Малый, Тютерс необходимо очистить от свалок, оставленных предыдущими хозяевами, преодолеть запустение и включить в общую систему рекреации (подобно тому, как в свое время существовала единая система обороны). Пустующие территории островов пока не используются, но их уникальные природные ресурсы могут приносить огромную пользу. Каждый из островов целесообразно специализировать с учетом их рекреационного потенциала:

остров Малый — робинзонада,

Сескар — природный заповедник, пристанище-«аэродром» ежегодных маршрутов мигрирующих птиц,

Тютерс — резервный остров для будущего освоения.

Большим потенциалом обладает остров Мощный (Лавенсари) Кингисеппского района. Он находится в 130 км от Санкт-Петербурга, в 40 км от Гогланда, в 25 км от Кургольского мыса, южнее Большого корабельного фарватера. Площадь территории 15,4 кв. км. Две части острова соединены песчаным перешейком. Имеется 5 бухт, из них 3 могут служить убежищем для яхт. Максимальное число жителей (это было в 1923 г.) составляло 1400 человек. В настоящее время практически необитаем: за исключением небольшого отряда пограничников, семьи смотрителя маяка и лесника, здесь никого нет. Лишь заброшенный аэродром, разрушенные причалы и покинутые казармы напоминают о боевом прошлом. Всюду кучи металлолома под ногами. Сосновый лес хищнически вырубается и продается за пределы острова. Многие начинания гибнут от чрезмерной глобальности, недооценки реальных возможностей инвестора, мощности строительной базы. Поэтому при определении номенклатуры и типов зданий главное — реальные обьемы, малая вместимость, высокая эффективность, быстрая окупаемость.

На Мощном может появиться рекреационный комплекс с головным яхтенным центром на 700 человек, включающий следующие объекты:

парусный центр (бухта-укрытие, причал, морской вокзал);

кров — гостевые избы, арендуемая деревня;

питие — «улица Семи кружек», Музей водки;

магазин, ресторан, коптильня рыбы «Рыбий глаз»;

деревенский spa, бани;

поселок обслуживающего персонала;

часовня «Человеку и кораблю»;

вертолетная площадка.

С развитием отдыха в последние годы возник дефицит ценных береговых территорий на материке. Лесные пожары, хищнический захват площадей под индивидуальное и промышленное строительство сократили потенциал для рекреационной деятельности. Одновременно обострилась конкуренция при создании и эксплуатации рекреационных объектов. Перед архитекторами ставится задача — создать проект, превосходящий конкурента, удивить мир,

очаровать покупателя отдыха. Такой подход меняет типологию рекреационных сооружений, повышает требования к их аттрактивности.

Концепция «Устье» выделяется остротой архитектурной концепции (авторский коллектив под рук. Ю.Н. Лобанова, 1990 г.).

В Волховском районе Ленинградской области в береговой зоне Ладоги предложено создать рекреационный центр, состоящий из 10 объектов разной вместимости: от туристских избушек, легких хижин и робинзонады до комфортабельного яхт-клуба и тургостиниц. Сценарный маршрут имеет неповторимые признаки аттрактивности.

Один из главных объектов — тип «Детинец» — головная гостиница для делового туризма на 500 мест на намывном острове диаметром 300 м на отмели Ладожского озера в двух километрах от берега. Она обеспечивает гостей полным набором обслуживания, а остекленный атриум обеспечивает комфорт круглогодичного функционирования. Предусмотрены плавательные бассейны, термы, крытый каток, конгресс-зал, отрытый театр, торговые ряды. Гавань рассчитана на прием яхт всех классов и пассажирских кораблей. Имеется пристань для рекреационного флота, вертолетная площадка. Гостиницу образуют два объема: один с аркой атриума, напоминающей восходящее над морем солнце — древний символ суровой красоты; другой — с башней, напоминающей маяк (рис. 5 и 6). Новое сооружение было предложено вынести на значительное расстояние от охранной зоны, чтобы не навредить старой застройке с мелкими обьемами древних строений. Цель — внести на территорию древнего города Новой Ладоги крупный комплекс, сочетающий цивилизацию досуга и одновременное трепетное отношение к прошлому.

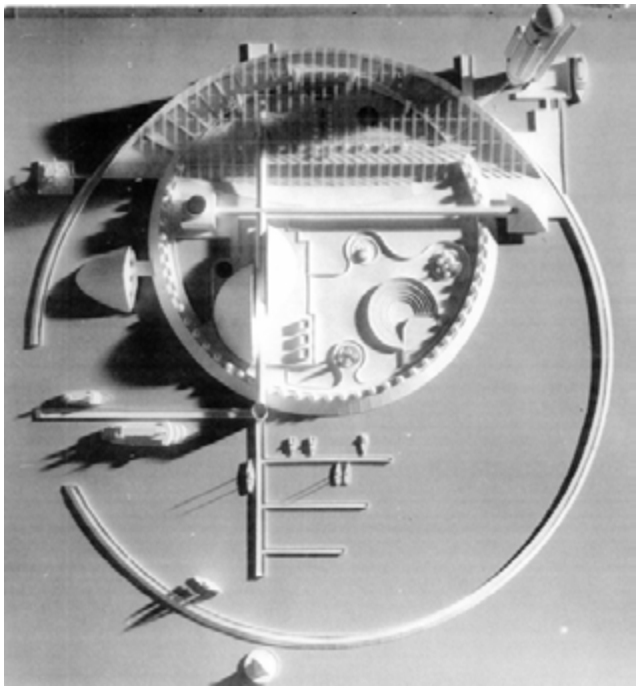


Рис. 5. Туристический центр «Детинец» на Ладоге. Макет

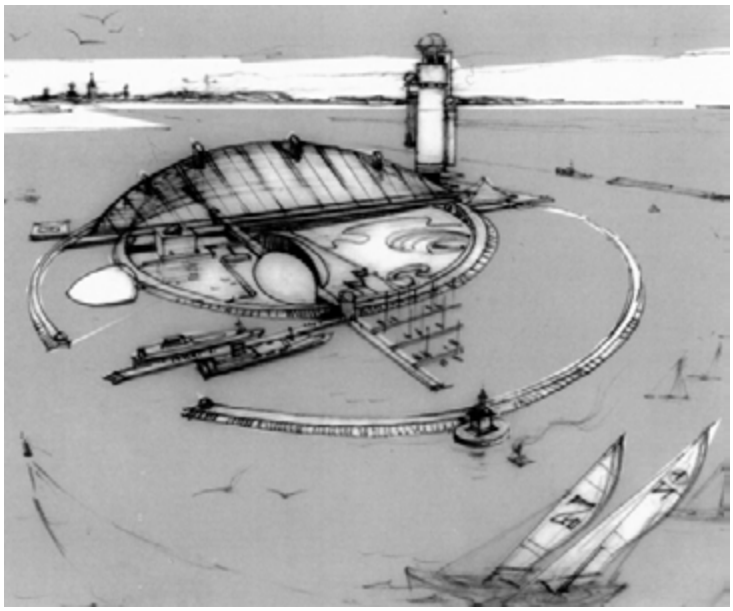


Рис. 6. Туристический центр «Детинец» на Ладоге. Рисунок к проекту

Другой пример. На южном побережье Финского залива предложено создать рекреационный комплекс на 300 мест, где на намывных территориях размещены мелкие обьемы гостиниц (проект «Оранж» — арх. С. Карпов, Москва, 2007 г.). Особое внимание привлекает необычный эстетический образ, нетрадиционный характер архитектуры (не без влияния творчества Гауди, построек Хундертвассера, парковых композиций Церетели).

Изрезанность намывных территорий, мелкий масштаб ландшафта, напоминающего рисунком хвост павлина, позволяют отнести эту работу скорее к сфере дизайнера, чем к архитектуре: декларированная попытка создать свой язык, проявить самостоятельное эстетическое кредо автора, как представляется, не удалась.

В рекреационной архитектуре эстетическое начало, категория красоты имеют еще и оздоровительное значение, являясь частью лечебного процесса. Отказ от стандартного времяпрепровождения в домашних условиях и переход к контрастной необычности в период отдыха способствуют снятию усталости при перемене места, вызывают новые впечатления. Приведенные примеры свидетельствуют, что решению этой задачи способствует использование потенциала водной среды средствами современных технологий.

© Лобанов Ю. Н., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Лобанов Ю. Н. Повышение притягательности объектов рекреационной архитектуры с учетом потенциала акваторий. Опыт Северо-Запада // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 332—337.

УДК 727.11.054/055:711.57:502.11

В. В. Смирнов

ШКОЛЬНОЕ ЗДАНИЕ — СОСТАВНОЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Обращается внимание на изменение принципов формирования городской сети учебных заведений в конце XIX — начале XX вв. и необходимость соответствующих реконструкций школьных зданий и условий их размещения в жилой застройке.

К л ю ч е в ы е с л о в а : школы, школьная сеть, специализированные учебные заведения.

The attention is paid to the change in the principles of forming of educational institutions in the city network in the late XIX — early XX century and the need for appropriate reconstruction of school buildings and conditions of their placement in apartment blocks.

K e y w o r d s : school, school network, specialized educational institutions.

Значительная часть существующей в России сети учебных зданий появилась во второй половине XX века. При этом были реализованы принципы многоуровневой территориально-сервисной системы обслуживания. Определяющим признаком функциональной дифференциации стала частота спроса той или иной услуги, что нашло отражение в атрибутике отдельных ступеней: 1) повседневного, 2) периодического, 3) эпизодического и 4) редкоэпизодического пользования.

Школы заняли в ней совершенно определенное место, являясь основным звеном повседневного уровня обслуживания. В СНиП II-60-81 «Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов» предлагалось размещать школьные здания «на обособленных участках в пределах территории жилых образований с радиусом пешеходной доступности не более 500 м». При этом пути подхода учащихся к школам не должны пересекать проезжую часть магистральных улиц в одном уровне. На основе таких рекомендаций были запроектированы школьные сети в новых жилых образованиях Ленинграда, разработаны и внедрены в практику специальные серии экспериментальных и типовых школ.

В середине 80-х годов появилась возможность дальнейшего развития школьной системы. Был поставлен вопрос о возможности перехода ко всеобщему обязательному полному среднему образованию подрастающих поколений в нашей стране. В постановлении «Об основных направлениях реформы общеобразовательной и профессиональной школы СССР», во-первых, устанавливалась 11-летняя продолжительность полного среднего образования в школах на основе единого общеобразовательного стандарта и, во-вторых, де факто, признавалось и нормативно обосновывалось расслоение существующей школьной системы на собственно общеобразовательные школы и специализированные учебные учреждения, сочетающие выполнение общеобразовательного стандарта с углубленным изучением какой-либо определенной группы учебных дисциплин (одного или двух иностранных языков, предметов физико-математического, химико-биологического, историко-филологического и иных циклов).

Дальнейшее распространение получила система внешкольного воспитания в составе узкоспециализированных учебных учреждений, призванная обеспечивать развитие тех способностей и наклонностей школьников, творческие интересы которых не могут быть удовлетворены в общеобразовательных школах. Речь идет о детских музыкальных, художественных и спортивных школах, а также о полифункциональных внешкольных учреждениях широкого профиля — тогдашних Дворцах и Домах пионера и школьника, рассчитываемых на внеучебную деятельность детей.

Принципиальная разница заключалась в подходе к нормированию доступности этих учреждений: размещение общеобразовательных школ подчинялось требованиям пешеходной доступности, а доступность школ специализированного назначения определялась временем поездки на транспорте (25—40 минут в один конец). На деле это приводило к разрушению базового принципа построения единой школьной сети (разделение селитьбы на школьные микрорайоны) и, главное, к дифференцированию нашей школы. В канун больших социально-экономических потрясений уже сложилась достаточно сложная система детских образовательных учреждений различного уровня. В начале 1990-х преобразования стали масштабными.

О характере этих перевоплощений можно судить по структуре петербургской школьной сети 1992—93 учебного года. К этому моменту в Санкт-Петербурге функционировали 614 государственных общеобразовательных школ разных типов, в числе которых с углубленным изучением:

дисциплин физико-математического цикла — не менее 100 полных средних школ,

русского языка и литературы — 60,

истории и географии — 29,

химии и биологии — 48,

информатики — 24,

дисциплин эстетико-художественного направления — 4 школы.

Перечисленные специализированные школы составили половину школьной системы. Кроме того, существовали 15 гимназий, где выполнение государственного стандарта сочеталось с дополнительной программой преимущественно гуманитарной направленности (педагогическая гимназия при Институте им. А. И. Герцена, классическая гимназия при СПбГУ, гимназия при Русском музее и т. д.) либо сугубо математической ориентации (гимназия № 30 при СПбГУ, классическая гимназия № 57, реальная гимназия № 70, физико-математическая гимназия № 239 и т. д.). При этом практически не изменился слой учебно-воспитательных учреждений периодического пользования, который по-прежнему составляли 23 детские музыкальные школы, 13 школ искусств и детских художественных школ, 21 детско-юношеская спортивная школа, Дворец творчества юных. Однако из более чем 100 ленинградских профессионально-технических училищ только 7 остались в юрисдикции органов образования, а остальные были переданы на баланс производственных предприятий и, как правило, прекратили свое существование.

Мы должны учитывать, что произошел решительный пересмотр многоступенчатой системы обслуживания населения, нормируемой по зонам терри-

ториальной доступности. Вместо четырех упомянутых основных уровней стали употреблять понятия «первичного» и «избирательного» уровней. Первый попросту унаследовал признаки повседневной ступени обслуживания, второй объединил ступени периодического, эпизодического и редкоэпизодического пользования с достаточно неопределенными значениями территориальной доступности в минутах и даже часах. Это привело к изменению классификации учебных заведений: школы со специализированной направленностью учебной работы совершенно справедливо попали в разряд избирательного уровня обслуживания, а специализированные школы и особенно гимназии волей-неволей приобрели статус элитных, территориальная доступность которых определялась лишь временем езды до школы с использованием общественных или личных транспортных средств.

Очевидно, что происходящие изменения вызывают необходимость соответствующей реконструкции существующих учебных зданий. Большие проблемы связаны с преобразованием общеобразовательных школ в объекты избирательного или элитного уровня, их приспособлением к требованиям нового учебного плана. Не менее важен и аспект, определяемый особенностями путей, ведущих учащихся в школы. Общеобразовательные общедоступные школы продолжают оставаться в зоне пешеходной доступности и, следовательно, как правило, сохраняют предпочтительное место в центральной части квартала. Однако все большая часть школьников вынуждена добираться до учебного заведения с помощью транспорта, что требует от архитекторов-градостроителей адекватных мер при определении места размещения. Желательная связь с остановкой общественного транспорта, парковкой автомобилей делают предпочтительной периферийную часть квартала. Дальнейшее дифференцирование элементов учебно-воспитательной системы приведет к обострению таких вопросов.

© Смирнов В. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Смирнов В. В. Школьное здание — составной элемент системы обслуживания населения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 338—340.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 726.012:72.036(470.23-25)

Л. Н. Кондратьева

КУЛЬТОВЫЙ ОБЪЕКТ КАК АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ВЕНЧАЮЩЕЙ ЧАСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Предложено архитектурно-конструктивное решение венчающей части жилого или общественного здания. Предложены архитектурно-планировочные решения, строительные материалы и ссылки на литературу с разработанной методикой аналитического расчета сложной пространственной конструкции, состоящей из плоских элементов, используемой как надстройка существующего здания в качестве культового объекта. Обоснована актуальность темы. Приведена расчетная схема оболочки в форме многогранника.

К л ю ч е в ы е с л о в а: культовый объект, архитектурно-конструктивное решение, оболочка, многогранник, аналитическое решение, разрывные функции.

Architectural and structural concept of residential or public building crowing is proposed. Architectural and planning concepts, construction materials and references to the literature with methodology of the analytical calculation of the complex space structures which is composed of flat cells which is used as the erection of the current building as the cult object are proposed. The subject activity is proved. The structural design of shell in form of the polyhedron is deduced.

K e y w o r d s: cult object, architectural and structural concept, shell, polyhedron, analytical solution, discontinuous functions.

Постоянно меняется мировоззрение человека. В настоящее время все больше людей посещают культовые объекты, в частности, статистика посещаемости церквей в России приведена в работе [1]. Можно отметить расширение строительства храмов в современной России, однако при этом (как, например, в Санкт-Петербурге) отсутствуют стратегические проекты развития храмостроения, поэтому тема работы весьма актуальна. В статье [2] предложено несколько вариантов архитектурных решений культовых сооружений в современном густонаселенном городе, где нет свободных площадей для нового строительства. Представляет интерес решение размещения объектов культового назначения в венчающей части общественного или жилого здания (рис. 1). При таком храме можно разместить объекты сопутствующего назначения (трапезные, конференц-залы и пр.), которые могут располагаться на верхнем этаже или быть встроено-пристроенными на первом этаже здания.

«Прочность, польза, красота» — этот девиз, известный зодчим еще в эпоху Древнего Рима, сохраняет свою силу и сейчас. Для культовых сооружений, построенных до 1917 г., характерны монументальные конструкции из кирпича.

Современные строительные технологии и материалы позволяют внедрить культовый объект в структуру многофункционального комплекса, поскольку для возведения куполов можно применять решетчатые стрельчатые арки, оболочки из фибробетона и новых композиционных материалов, что обеспечивает высокую прочность и снижение веса конструкции. Применение конструкций с предварительно напряженной арматурой дает возможность перекрывать большие пролеты. Это могут быть кольца куполов, своды, оболочки и т.д.

Рис. 1. Домовый храм в венчающей части здания

В современной практике при изготовлении куполов и сводов используются и монолитные железобетонные конструкции. Существуют прогрессивные технологии, позволяющие производить строительные и монтажные работы в условиях плотной застройки городов. В монолитном железобетоне скорлупа оболочек обычно выполняется гладкой, без ребер, так как устройство последних намного усложняет опалубку, что не может быть оправдано некоторой экономией материалов.

Можно предложить изготовление куполов в форме многогранников (рис. 2), что позволяет использовать преимущества работы пространственной конструкции, составленной из плоских элементов. Теория расчета оболочек с разрывными параметрами приведена в [3].

Методика аналитического расчета с применением аппарата разрывных функций, в частности сингулярной δ-функции Дирака, предложена в работе [4]. При этом нет никакой необходимости составлять условия сопряжения пластинки или оболочки по усилиям и деформациям. Такие конструкции обеспечивают свободу планировочных решений, что позволяет применять их для общественных и жилых зданий, они целесообразны для уникальных высотных зданий, поскольку существенно увеличивают жесткость сооружения. В случаях, когда необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние конструкций, состоящих из нескольких элементов, отличающихся между собой жесткостными или грузовыми характеристиками, для обеспечения сопряжения соседних элементов друг с другом в месте их сопряжения приходится обеспечивать равенство их силовых и деформационных характеристик.

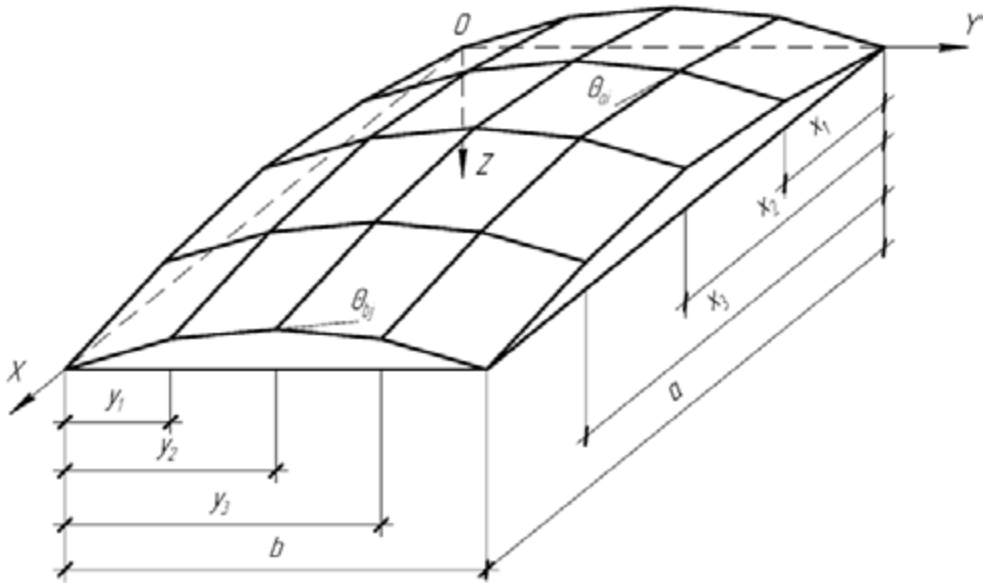


Рис. 2. Расчетная схема купола в форме многогранника

Конструкции, выполненные из легких материалов, подвержены действию ветровых нагрузок, поэтому исследовать их напряженно-деформированное состояние необходимо не только на статические, но и на динамические нагрузки. Еще облегчить конструкцию можно, применив трехслойные плиты. Оболочки, составленные из трехслойных плит, экономически выгодны, они не требуют дополнительной отделки, вследствие применения обшивки из защищенного от коррозии металла, имеют необходимые звуко- и теплоизоляционные свойства. При подборе материалов конструкции могут обладать хорошими вибропоглощающими характеристиками, что необходимо при звоне колокола, звучании церковного хора. Трехслойные конструкции обладают повышенной сопротивляемостью потере устойчивости за счет большого момента инерции. Методика расчета таких конструкций на динамические нагрузки изложена в работе [5].

В сочетании гуманных идей на государственном уровне и профессионального мастерства специалистов будут возникать чудесные озарения и творческие идеи, способные созидать неповторимые произведения искусства и архитектуры, позволяющие раскрыться свободному творческому человеку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Митрохин Н.* Захожане: кто и как в России посещает церкви.

2. *Ивина М. С.* Интеграция культовых объектов в структуру крупного многофункционального комплекса // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 4. С. 18—19.

3. *Михайлов Б. К.* Пластины и оболочки с разрывными параметрами. Л. : Изд-во ЛГУ, 1980. 196 с.

4. *Кондратьева Л. Н.* Расчет складчатой оболочки в геометрически нелинейной постановке // Вестник ИНЖЭКОНа. Вып. 3(4). СПб. : С.-Петербургский гос. инженерно-экономич. ун-т, 2004. С. 115—124.

5. *Кондратьева Л. Н., Окладникова Е. В.* Исследование частот и форм колебаний трехслойных пологих оболочек с изломами поверхности // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 7. С. 38—39.

1. *Mitrokhin N.* Zakhozhane: kto i kak v Rossii poseshchayet tserkvi.

2. *Ivina M. S.* Integratsiya kultovykh obektov v strukturu krupnogo mnogofunktsionalnogo kompleksa // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2011. № 4. S. 18—19.

3. *Mikhaylov B. K.* Plastiny i obolochki s razryvnymi parametrami. L. : Izd-vo LGU, 1980. 196 s.

4. *Kondrateva L. N.* Raschet skladchatoy obolochki v geomertricheski nelineynoy postanovke // Vestnik INZhEKONa. Vyp. 3(4). SPb : S.-Peterburgski gos. inzh.-ekonomich. un-t, 2004. S. 115—124.

5. *Kondrateva L. N., Okladnikova Ye. V.* Issledovaniye chastot i form kolebani trekhsloynykh pologikh obolochek s izlomami poverkhnosti // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2008. № 7. S. 38—39.

© Кондратьева Л. Н., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Кондратьева Л. Н. Культовый объект как архитектурно-конструктивное решение венчающей части многофункционального комплекса // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 341—344.

УДК 72.012.5:72.04.012.5

Н. П. Овчинникова

ОКНО КАК ЭЛЕМЕНТ ФАСАДА

В ряде аспектов рассмотрены отношения окон с архитектурными объектами. Выведена методологическая схема исследования окна как элемента архитектуры.

К л ю ч е в ы е с л о в а: совокупность окон, признаки фасада, окна разных зданий, развитие окон, восприятие окон.

The windows relation with architecture objects is reviewed. The methodological research scheme the window as element of the architecture is developed.

K e y w o r d s: ensemble of windows, criterions of facade, windows of different buildings, development of windows, perception of windows.

Композиционные отношения окон с фасадами выстраиваются в зависимости от архитектурных особенностей тех и других. Характер и расположение окон на фасаде нередко создают динамику архитектуры объекта.

Каждое здание характерно конкретной общей формой и местоположением. Если оно рядовое в сплошной застройке по красной линии, то чаще у него два фасада с окнами. У углового здания их уже четыре, и окна в угловых домах воспринимаются несколько иначе. С определенных точек обзора воспринимаются сразу оба сходящихся фасада, целиком со двора и в заметной перспективе двух улиц с перекрестка.

Если здание островное, то у него в зависимости от формы его плана есть три и более фасадных граней. При криволинейном абрисе периметра здания поверхность наружных стен непрерывно-замкнута и тянется по направляющей одной кривизны или по сопрягающимся дугам разной кривизны. Проемы таких домов (со стороны главного и дворового фасадов) обозреваются в изменяющемся ракурсе.

Один из видов наиболее острых современных композиций — окна на стенах пересекающихся под разными углами объемов (рис. 1, 2), но в любом из этих вариантов в характере всех окон одного объекта должна просматриваться принадлежность к одному дому.

Совокупная композиция всех окон здания напрямую зависит от особенностей тех их частей фасада, которые больше бросаются в глаза, доминируют. Нередко главенствующая роль принадлежит амбразурам (рис. 3). Эта роль может стать следствием особенностей их формы, пропорций и величины, принципов их чередования и компоновки в группы на одном фасаде или даже во всем доме. Имеет значение общее число амбразур, а также сходство или различие их форм. Можно заметить принятые сочетания их на фасадах зданий конкретных типов, эпох и регионов. Но есть и уникальные примеры, среди которых — придуманная великим Корбюзье россыпь разных проемов на стенах капеллы в Роншане.

Акцентирование амбразур особенно уместно в тех случаях, когда обрамлений нет, поскольку это может некоторым образом компенсировать отсут-

ствие последних. Но когда обрамления имеются, то, говоря о связи всех окон с фасадом или в целом со зданием, следует помнить и о совокупной роли всех обрамлений окон в его композиции (рис. 4, 5). Они, то сгущаясь, то разрежаясь по разным направлениям фасада, тесно с ним взаимосвязаны, а значит, соизмеримы, или же такая связь ослабевает, если были какие-то переделки.

Рис. 1. Университет Российской академии образования, Нижний Новгород. 2002 г. Архитекторы А. Худин, Т. Шадышникова

Рис. 2. Дом, Дюссельдорф. 1999 г. Архитектор Ф. Гери

Рис. 3. Дача «Путята», Кисловодск

Рис. 4. Дом № 13 по ул. Красноармейской, Самара

Рис. 5. Дворец до Райо, г. Брага (Португалия)

Окна по-разному существуют на лаконичном или пестром фасаде (рис. 6). Им может быть просторно на гладкой стене и тесно на той, которая усеяна другими конструктивными, функциональными и декоративными элементами (рис. 7). В одних случаях окна хорошо просматриваются на дробном и многословном фасаде, а в других они почти теряются среди крупных членений просто обработанной стены.

Рис. 6. Здание на ул. Куйбышева, Самара

Рис. 7. Здание на Буденновском пр., Ростов-на-Дону

Декор фасада определенным образом взаимодействует со всеми окнами. Он распределен равномерно или с нарастанием (убыванием) по ярусам или разрежается (сгущается) от центра к боковым сторонам здания. В каких-то частях фасада больше или меньше декора, но чаще всего он усиливает значение конкретных окон (рис. 8). С дальних точек обзора декор может быть малозаметен, а с других играть роль акцента. Обычно он занимает такие места, на которых звучит сильнее, например на нескольких простенках подряд. Окна и декор сгруппированы по-разному. Встречаются точно просчитанные или случайные акценты, когда перепутывается логика элементов внешнего облика. Например, слишком яркий цвет стены и немасштабный декор перебивает окна (рис. 9).

Рис. 8. Здание ипподрома, Москва. Реконструировано в 1955 г. по проекту академика архитектуры И. В. Жолтовского

Рис. 9. Общественное здание, Городец

Более того, имеется композиционная взаимозависимость количества окон и их конкретных видов с признаками фасада (величиной, формой, пропорциями, отделкой) и, конечно, с его функцией. Как правило, окна на торцевом, дворовом и лицевом фасадах разные. На лицевую сторону обычно обращены парадные помещения, выделяющиеся представительным характером оконных проемов. Большинство же исторических многоэтажных домов Петербурга не имеют обрамления окон на дворовых фасадах. В ряде случаев их торцы, построенные вначале как глухие брандмауэры, впоследствии приобрели проемы, пробитые в результате реконструкции.

Соотношение стены в целом и всех окон на ней может быть спокойным и даже вялым, когда они одинаковы и находятся на одинаковых расстояниях друг от друга (бывает, что и по горизонтали, и по вертикали). И если еще форма проемов простая и малозапоминающаяся, то они образуют нейтральное поле, а яркие акценты из выделяющихся по форме окон всегда оживляют фасад. Бывают особенно выразительными отдельные ярусы окон. Представляется более логичным, когда, например, в четырехэтажном доме таковы проемы второго этажа, и менее убедительным, если это мансардные окна. Более того, возникает зрительный эффект некоторого «движения» окон, когда глаз охватывает сразу множество их форм, особенно при расположении их асимметрично (рис. 10) или на неплоской стене (рис. 11).

Рис. 10. Успенский собор, г. Мышкин. 1832 г. Архитектор И. Монфрини

Рис. 11. Александровский пассаж (дом О. С. Александровой-Гейне), Казань. 1883—1886 гг. Архитекторы В. Суслов, Н. Поздеев

Всегда неизбежно сравнение составляющих внешнего облика архитектурного объекта. Роль в нем окон бывает главной, такой же или менее важной, чем у других элементов. Благодаря окнам нередко выстраивается композиционное равновесие фасада.

Связь окон с фасадом протягивается через его крупные вертикальные (рис. 12) и горизонтальные членения. В его композиции могут явно преобладать те или другие. И если окна четко вписаны в эти ряды, то они подчеркивают общий вертикализм или горизонтализм фасада. Художественные возможности окон варьируются в зависимости от количества этажей в здании и его протяженности. Значительна роль окон в построении фасада композиционно цельного или составленного из разнородных частей.

Размеры стен и окон сравниваются друг с другом. Важно и то, на какой части фасада находится окно определенной величины. Порой крупным окнам тесно на небольших фасадах (рис. 13) или, наоборот, они обычной величины, но почти теряются на огромных поверхностях стен. Или же они очень малы даже в соотношении с небольшим фасадом. Это сравнение приходится производить, учитывая число окон на данной стене. В одних случаях их бывает совсем немного, в других же вся стена изрезана окнами. В зависимости от величины и функции архитектурного объекта по его ширине также насчитывается разное число окон. Иногда в непомерно узком здании всего одно окно на этаже. Такие объекты встречаются в западных городах (в Зальцбурге, Париже, Гаване и т. д.). В разных вариантах этих соотношений или окна подчинены стене, или стена подчиняется окнам.

Рис. 12. Драматический театр им. А. Н. Островского, Кострома. 1863 г.

Рис. 13. Здание на Буденновском пр., Ростов-на-Дону

В числе других аспектов взаимосвязи окон и стены можно упомянуть следующие: размещение окон на стене — свободное или четко размеренное; соотношение высоты и ширины окон с совокупностью простенков между ними; соизмеримость вертикальных размеров окон и стены; характер поверхности стены с окнами — плоской или волнистой, гладкой или рельефной, нерасчлененной или разбитой на какие-либо части; зрительная ощутимость тела стены или ее «растворение» за облицовкой или скульптурой; соотношение с окнами толщины (конструктивной и зрительной) стены, вида и цвета кладки или облицовки. Эти отношения по-разному «работают» с разных расстояний. Точно так же как при неодинаковом приближении к зданию с окнами воспринимается минимальный предел его композиционной информативности или переход в хаотичность многословия.

Архитектурно-художественный аспект окон включает их композиционные отношения с отдельными помещениями. Эта связь бывает более или менее органичной. Конечно, общий рисунок совокупности окон здания в большой мере зависит от положения и конкретной функции помещений. Но фасадная (наружная) композиция окна не всегда говорит о роли помещения за ним. А потому, глядя на окна конкретных зданий, в одних случаях легко определить их план, а в других это сделать несколько труднее. Будучи коммуникацией между внутренним пространством архитектурного объекта и окружающей средой, многие окна все же содержат некоторую загадку для внешнего наблюдателя, поскольку лишь слегка открывают жизнь внутри дома. Художественная роль окон в архитектурном облике здания тоже может быть различной с внешней стороны и изнутри. Нередко они снаружи эффектны по форме, но не очень хороши в интерьере.

Взаимоотношения отдельного окна или совокупности окон с фасадом и с архитектурным объектом в целом прямо отражаются на восприятии наблюдателя. Если отдельные окна хорошо видны с близких расстояний, то какие-то их сочетания — с более дальних, и, наконец, сразу все окна фасада попадают в поле зрения обычно лишь на значительном отдалении от здания, когда теряются подробности (небольшие детали). В таком случае необходимо подойти ближе, чтобы разобрать все особенности устройства внешней части окон. Часто на узких улицах исторических городов даже с небольшого расстояния многие окна лицевых фасадов обозреваются лишь в сильном ракурсе, а форма дальних окон, видимых неизбежно в резкой перспективе, смазывается. Поэтому восприятие их несколько приблизительное. Если же фасад хорошо виден с относительно небольшого расстояния, то вся совокупность окон четко воспринимается как важнейшая часть его общей композиции (рис. 14, 15, 16). Поскольку с одной точки обзора наблюдателю не видны сразу все окна, то воспринять их равномерно и подробно он может только поэтапно, при обходе здания.

Рис. 14. Усадьба Огняновых, Ярославль. 1870-е гг.

Рис. 15. Здание консерватории, Саратов. В 1912 г. перестроено архитектором С. А. Каллистратовым

Рис. 16. Петропавловский собор, Казань. 1726 г.

Постижение архитектурного объекта неотделимо от восприятия окон, так как всегда считалось, что окна — это «глаза дома». Но у некоторых современных зданий вместо таких «глаз», кажется, блестят лишь стекла очков (рис. 17). Такие светопроемы не притягивают взгляд человека, а как бы отталкивают его. Демонстрируемый ныне новый прием дополнительного остекления частей фасадов или даже целых зданий представляется еще более мощной зрительной преградой (рис. 18). Когда окна отгорожены стеклянной стеной от наружной среды, их функция теряется.

Рис. 17. Жилой дом № 48, корп. 2 на Малом пр. Васильевского острова, Санкт-Петербург

Рис. 18. Здание супермаркета, Берлин

Взаимозависимость окон со всем зданием ярко проявляется в том, что они указывают на функцию объекта. Из всех других признаков окон об этом в первую очередь говорят их размеры и расположение. Размеры определяются несколькими факторами: функциональной потребностью в некотором количестве света для происходящего в помещениях процесса, климатом, особенностями данного заполнения оконного проема, возможностью остекления, композиционными задачами. Размеры и расположение окон также тесно связаны с основными несущими конструкциями объекта. Но размеры, как таковые, менее интересны, а гораздо более — уже упоминавшаяся связь этих размеров с фасадами, с другими элементами внешнего облика. Например, можно сравнить сами окна одного сооружения по их размерам друг с другом.

И для каждого вида зданий выработаны характерные формы окон и устоявшиеся приемы их размещения на фасадах. Так, общий характер окон, особенно их расположение, неодинаков в коттедже, особняке, старом многоквартирном (доходном) доме и современном многоквартирном жилище, поскольку различна объемно-планировочная структура этих зданий.

Но и внутри этих архитектурных типов имеются региональные варианты устройства окон. Так, если сравнивать доходные дома в Петербурге, Париже и Мадриде, то первые как по общему облику, так и по местоположению и характеру световых проемов наиболее цельные и гармоничные. Несколько больше пестроты в парижских жилищах, в своей массе имеющих больше этажей, чем петербургские, и увенчанных вездесущими мансардами, часто устроенными в несколько ярусов. Да к тому же внешний вид многих из этих мансард непривлекателен. Но вот на главных мадридских улицах — Алкала и Гран Виа — встречается много 8—9-этажных домов с явно избыточным набором разных видов окон на одном фасаде. Правда, это некоторым образом оправдывается общей композицией этих объектов, как бы составленных из отдельных домиков. Но такая пестрота окон утомительна для глаза, равно как и их монотонность. Одна из характерных особенностей многих парижских и особенно мадридских окон в том, что они превращены в остекленные балконные двери.

У разных по назначению зданий окна могут значительно отличаться или быть аналогичными. Например, в эпоху функционализма и органичной архитектуры в жилищах устраивали вертикальные и горизонтальные (ленточные) или крупные квадратные окна наподобие тех, которые делались в общественных зданиях.

Окна и все светопрозрачные ограждения играют важнейшую роль не только в композиции данного объекта, но и в сочетании его и соседних зданий, которое обычно заметно снаружи, извне. Но нередко также изнутри, когда даже в интерьере как бы присутствуют соседние постройки, потому что они хорошо видны через стекло.

Представляются существенными связи окон данного объекта с внешними элементами других архитектурных объектов, в частности, соотнесение окон близко стоящих зданий (рис. 19, 20). Их строй на одной улице — важная черта ее своеобразия. Благодаря окнам улица оживает, наполняется смыслами. Человек двигается по ней иначе, чем в окружении глухих стен. Вообще, окна — это те элементы архитектуры, с которыми реально связан каждый человек.

Рис. 19. Исторические здания, Дюссельдорф

Рис. 20. Дом «У минутки», Прага. Чешский ренессанс

Нередко встречающееся в последние годы соседство исторических и новых зданий может иметь две характеристики. Если их стили контрастны, то диссонанса в соотношении окон тех и других может и не возникать. Но часто бок о бок оказываются старый архитектурный объект и новый, выполненный с претензией на некую отнесенность к историческим формам. И примененные здесь прототипы последних часто совершенно упрощены, а их масштаб преувеличен. Например, из плоскости стены выступает над окном грубоватый брусок или вокруг него массивная рамка вместо тонко профилированных сандрика или наличника. Но они находятся на положенных местах. А потому про-

исходит невольное сравнение этих двух тесно соседствующих разновременных построек, в результате которого может выгодно оттениться старый объект и дискредитироваться новый.

В зависимости от размещения на конкретной городской территории нового объекта, композиционно функционируют и его окна. Когда современная архитектура преобладает на данном участке, в массиве застройки и в видовых картинах, то она сравнима сама с собой, то есть новые объекты сопоставляются с новыми же.

А при размещении нового объекта в исторической застройке встречаются разные ситуации, при которых возникает та или иная форма их взаимодействия. В одном случае новый объект занимает островное положение. И поскольку он находится на определенном расстоянии от старых зданий и несколько автономен, то меньше вероятности появления композиционного диссонанса с ними. А потому связи между этими разновременными постройками не столь уж тесны, как в другом случае, когда новое здание вставлено в имеющуюся застройку по красной линии улицы, примыкает к ним с двух сторон. Здесь все иначе, так как неизбежно происходит сопоставление с двумя ближайшими и неодинаковыми старыми объектами. Возможно, этот вариант наиболее сложен для органичного сочетания разновременных и разностильных построек. А в третьем случае, когда новый объект примыкает к старому лишь с одной стороны (рис. 21, 22), и их сравнение происходит, так сказать, однобоко. Хотя слишком агрессивная форма нового может совершенно подавить соседа в любой ситуации.

Рис. 21. Новый объект в исторической застройке Невского пр., Санкт-Петербург

Рис. 22. Новый объект на Суворовском пр., Санкт-Петербург

Но есть еще один общий фактор. Новое ведь обозревается при разном приближении и в разных ракурсах. Когда наблюдатель движется, происходит чередование видеокадров как при приближении к объекту, так и при обходе его. Даже при резко контрастных окружению формах нового объекта он может выглядеть спокойнее в ракурсах или с тех точек обзора, откуда он воспринимается почти во фронтальном положении.

Кроме того, здесь важны и архитектурные качества новых объектов и соседствующей с ними исторической застройки. Новое может иметь совершенно нейтральную форму, как гладкая стеклянная стена. Новое может иметь форму, не просто аналогичную старому по сложности, но и перекликающуюся с ним по характеру пропорций и отдельных элементов. А может происходить контрастное сравнение сложных старых и острых новых форм.

Так, рядовая и бедная деталями старая архитектура, скорее, будет служить фоном для контрастного ей нового. И, наоборот, интересная и богатая деталями застройка вызывает критическое сравнение нового с ней. Но, возможно, наиболее ощутимая разница старого и нового в том, что первое есть архитектурная реальность, а второе — это нередко ощутимый переход из реальности в виртуальность.

В связи с данными рассуждениями естествен вопрос об историческом движении окон. Можно обнаружить вехи развития элементов окон, их сочетаний и соотношений окон с фасадами. В истории архитектуры много раз происходили определенные изменения в местоположении окон. Появлялись как бы добавления к уже принятым, традиционным для данного момента времени приемам как в виде новых вариаций известного, так и совершенно иных решений. Это случалось при изменении стиля, конструктивной системы зданий и собственно конструкций окон, появлении новых типов сооружений и нового эстетического идеала у общества.

Точно так же все части окон и их взаимосвязи развивались исторически. Например, амбразура увеличивалась, а ее формы становились разнообразнее. А наиболее сложные обрамления остались в эпохах барокко, эклектизма и модерна. Это, можно сказать, времена пиков развития данной формы. Они чередовались с историко-архитектурными периодами более скромных обрамлений. Во втором десятилетии двадцатого века окно и стена слились в форме функционалистского витража — навесной стеклянной стены. А потом на протяжении всего двадцатого века окно все быстрее исчезало со всех фасадов стеклянных высоток, и уж в зданиях, построенных, например, в «био-теке», их даже и не предполагалось делать. В настоящее время возникают вопросы прогнозирования будущего окон — каким станет развитие их форм, каков будет характер новых форм, останутся ли окна в архитектуре.

В данной статье кратко разобрана лишь часть аспектов изучения окна как элемента архитектуры. Но поскольку в окнах суммирован значительный пласт архитектуроведческого знания, то при более широком исследовании не обойти и множество других вопросов. Вот лишь некоторые из них: полнота признаков окна; элементы и средства архитектурно-художественной композиции и конструкции различных по форме окон; проявление в окнах диалектики архитектурной формы (раскрывающейся в соотношениях общего и частного, типового

и индивидуального, традиций и новаторства, национального и интернационального); сравнение внутренних композиционных взаимосвязей в окнах разных видов; факторы минимальной достаточности или избыточности композиций фасадов; иерархия композиционных взаимосвязей окон в зданиях одного типа и их особенностей в архитектурных объектах разных типов, эпох, стилей и регионов; различие композиционной роли окон на фасадах зданий в разных стилях; отражение в характере окон времени проектирования и постройки здания; выражение авторской манеры зодчего в рисунке окон; взаимосвязь культур в композиции окон, анализ исторического развития окон и взаимовлияния их форм в масштабе планеты.

В отдельный блок можно вывести актуальные вопросы архитектуры окон для нового строительства и реконструкции: связь новых и старых окон на одном фасаде, в целом объекте (рис. 23) и на стенах соседних зданий; обновление формы окон в отдельных старых сооружениях; повторение или стилизация старых образцов в новом строительстве. А они, в свою очередь, базируются на привычном или узнаваемом для данного общества, на оптимальном для эстетического идеала эпохи соотношении старого и нового.

Рис. 23. Реконструированное здание, Гамбург

При изучении разных видов имеющихся в архитектуре окон можно заметить, что они как элементы архитектуры выполняют свою художественно-композиционную роль только при гармонии, во взаимосвязи всех своих элементов и соотношений со всеми видимыми частями здания.

Огромный мировой опыт устройства окон представляет собой неиссякаемый источник композиционного богатства, который ни в коем случае нельзя потерять. Можно утверждать, что, изучая существующие окна, мы одновременно будем сохранять и увеличивать архитектуроведческое знание. Ведь лучшие исторические примеры актуальны и сегодня. Начиная с вузовской скамьи и далее современным проектировщикам следует черпать и черпать из него, потому что, изучая одни только окна, они могут существенно расширить свое композиционное мастерство. Тогда можно будет надеяться, что архитектура достигнет новых художественных высот.

© Овчинникова Н. П., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Овчинникова Н. П. Окно как элемент фасада // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 345—361.

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ

УДК 72.013:72.012.4

С. А. Волков

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ, ГАРМОНИЯ, АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Иррациональные константы, возможно, являются основой гармонии. Они проявляются в природе. Это подтверждено многовековым опытом в архитектуре, живописи, скульптуре, музыке и литературе и объясняется синергетикой. Гармония — главный критерий, обеспечивающий устойчивость любой системы. Числа Ф, *е*, π и А связывают иррациональное и цельное, свойственное природе, что известно уже много веков. Это проявилось и в русской системе мер — сажени.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гармония, иррациональные константы, цельность, архитектура, ансамбли.

The irrational constants are perhaps the basis of harmony. They are shown up in the nature that is confirmed by centuries-old experience in architecture, painting, sculpture, music and literature and is explained by the synergetic. Harmony is main criterion which is provided the stability of any system. Ф, е, π and A numbers are bound irrational and whole, peculiar to the nature, that it is known already many centuries. It is showed up and in the Russian system of the measures — sagene.

K e y w o r d s: harmony, irrational constants, whole, architecture, ensembles.

Книга Природы написана на
языке математики.
Галилео Галилей

Хотя природа не формулирует математические зависимости, их составляют люди для описания наблюдаемых процессов и взаимосвязей. В природе действует принцип ускоренного поиска наиболее эффективного приспособления к изменяющимся условиям. Можно предположить, что течение этих процессов в какой-то степени схоже с уже известными в математике моделями ускоренного выхода на экстремум, т. е. на оптимальное решение. Всем природным системам, в том числе и биологическим, свойственны саморазвитие и самоорганизация (синергетика), наиболее эффективно проходящие в пропорциях иррациональных констант, которые известны в математике еще с древних времен: Ф = 1,618… (число Фидия, или золотое сечение), *е* = 2,718… (основание натуральных логарифмов), π = 3,14… С ними связано понятие гармонии и красоты. Это подтверждено многовековым опытом в архитектуре, живописи, скульптуре, музыке, литературе. Удивляет то, что современная официальная математика, вероятно, не признает такого значения этих констант. В учебни-

ках и справочниках по математике в таком плане они не нашли отражения, но о таком их значении имеется много популярной литературы. Что красиво и гармонично, то эффективно и оптимально. Вероятно, пропорции чисел Ф, *e*, π позволяют при саморазвитии любых природных систем, минуя метод проб и ошибок, ускоренно находить оптимальное направление развития. У творческих людей это проявляется интуитивно. При наличии у человека соответствующей базы знаний, интереса и настроя на решение творческой задачи этот процесс ускоряется, но только в случае, если не выработались стереотипы, мешающие поиску новых решений.

Геометрически золотое сечение строится из целочисленных величин. Рассмотрим, например, простейший прямоугольный треугольник с отношением катетов 1:2 (рис. 1). В этом треугольнике величина малого катета равна 1, а большого — 2. По теореме Пифагора длина гипотенузы в нем равна $\sqrt{5}$. Соотношения сторон *a*, *b*, *c* данного треугольника очень простые: $a/b = 1{:}2$; $c/a = \sqrt{5}/1$; $c/b = \sqrt{5}/2$. Однако из этих величин следует и еще одно отношение

$$(a + b)/b = = (1+\sqrt{5})/2 = 1{,}618033...$$

Это и есть золотая пропорция, которую обычно обозначают буквой Ф (число Фидия). Таким образом, хорошо известный в древнем мире простой прямоугольный треугольник с отношением катетов 1:2 мог послужить основой для открытия теоремы квадратов, золотой пропорции и несоизмеримых величин — великих открытий Пифагора.

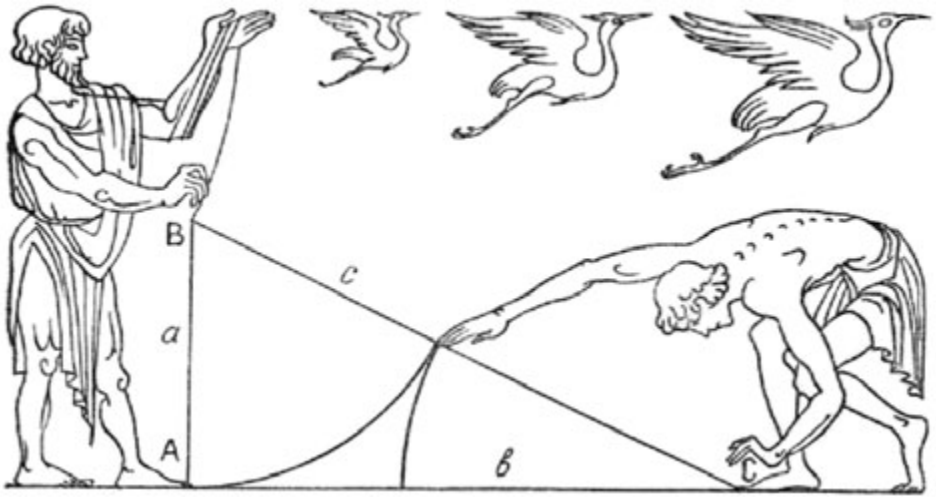


Рис. 1. Треугольник с отношением катетов 1:2

Конечно, в действительности последовательность рассуждений Пифагора, приведшая его к великим математическим открытиям, неизвестна. Легче прийти к теореме квадратов исходя из рассмотрения прямоугольного треугольника со сторонами 3:4:5, который был известен с давних времен и назывался «совершенным», «священным египетским», треугольником Пифагора или Плутарха.

Иранские архитекторы времен Ахеменидов и Сассанидов применяли этот треугольник при вычерчивании профиля своих эллиптических куполов [1].

В 1950-х гг. французский египтолог Ф. де Кора по материалам обмеров Великих пирамид в Гизе пришел к заключению, что все они спроектированы в едином гармоническом ключе. Этот ключ-канон Ф. де Кора реконструировал (рис. 2). Однако никаких доводов, что канон в Древнем Египте был именно таким, он привести не смог. Предложив крайне интересное геометрическое построение, автор реконструкции не подметил в нем самой существенной детали, которая дает возможность понять связь треугольника 3:4:5 с треугольником 1:2:$\sqrt{5}$, и которую установил петербургский архитектор И. П. Шмелев в конце XX столетия, но об этом знал за тысячи лет до эпохи «научного прогресса» древний жрец, что отражено на деревянных панелях из склепа Хеси-Ра («Отмеченный Солнцем»), живший во время правления фараона Джосера (XXVII в. до н. э.). Если в построении Ф. де Кора выделить только те элементы, которые потребуются для доказательства (рис. 3), то следует признать, что упомянутые треугольники гармонически инвариантны [2].

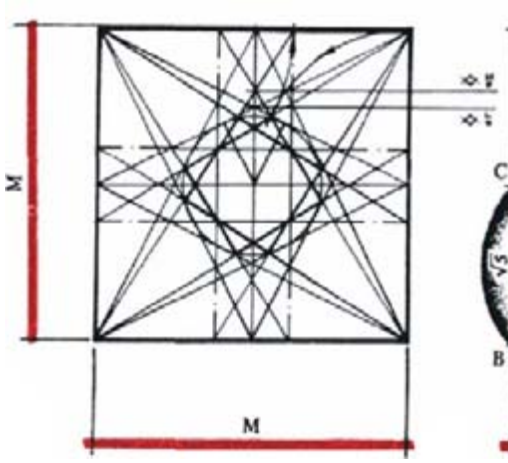


Рис. 2. Ключ-канон Великих пирамид в Гизе. Ф. де Кора

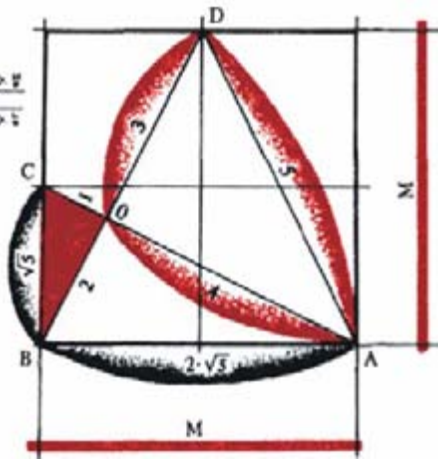


Рис. 3. Разработка И. П. Шмелева

Треугольник *BOC* имеет соотношения сторон 1:2:$\sqrt{5}$, такое же соотношение в треугольниках *ABC* (все катеты умножены на $\sqrt{5}$) и *ABO* (все умножено на 2), а треугольник *AOD* имеет соотношение сторон 3:4:5. Иначе говоря, «священный» треугольник 3:4:5 включен в структуру канона, а его диагональ *AD* (по линейному размеру) в точности равна диагонали *AC* треугольника l:2:$\sqrt{5}$, также предопределенного структурой канона.

На деревянной панели (рис. 4) из склепа Хеси-Ра жезлы подчинены соотношению l:$\sqrt{5}$ (сторона и диагональ), а большой жезл в точности равен длине диагонали иероглифического поля, обусловленного соотношением 3:4:5. Значит, человек, резавший композицию панелей, знал канон, который столь удачно реконструировал французский исследователь. Получается, что знамени-

тый «священный» треугольник 3:4:5 не был получен эмпирически, а извлечен аналитически на базе канонического квадрата. Доказательство, приведенное выше, требует умения оперировать иррациональными величинами, которые в свое время привели в недоумение пифагорейцев. Автор панелей владел этим знанием. Но тогда он должен был знать и содержание теоремы Пифагора. Впрочем, это не удивительно: Пифагор проходил обучение у жрецов Древнего Египта в течение двадцати двух лет (11·2 = 22) и, видимо, в течение одного года усваивал один из двадцати двух арканов (принципов), которые группировались в два блока по одиннадцать арканов в каждом. Так что о содержании теоремы он мог узнать от своих наставников. Да и Земля совершает свой бег по околосолнечной орбите с биоциклами 11·2 = 22 года, когда происходит активное воздействие светила на психику биообъектов планеты. Похоже, жрецам об этом было известно, ибо их главным иерархом было Солнце — Ра [2].

Панелей Хеси-Ра было тоже 11 (с обратными сторонами 11·2 = 22) по числу ниш в зале захоронения Хеси-Ра, из которых сохранилось только 5. Возможно, что изображения обратных сторон являлись кодовыми структурами, раскрывающими ход построения лицевых изображений. Число 11 входит в ряд Люка, построенный из чисел ряда золотого сечения в «пульсирующем» режиме: 1,618 – 0,618 = 1; 2,618 + 0,382 = 3; 4,236 – 0,236 = 4; 6,864 + 0,146 = 7; 11,090 – 0,090 = 11 и т. д. Операции выполняются с однопорядковыми величинами полярных «ветвей» рядов золотого сечения.

Панели Хеси-Ра подобны Клондайку — в них неиссякаемые «золотые россыпи», «Золотая Поэма», «написанная» талантливейшим мастером, владеющим абстрактным языком теории гармонии. Функциями золотого сечения заданы положения конкретных точек, среди которых зрачок глаза является наиболее точно фиксированной позицией. Но имеется еще одна особенность (на базовой панели), которую нет надобности относить к числу достоверных. На базовой панели (рис. 4, *слева*) вертикальная ось отмечена положением визира, чем акцентируется деление доски надвое. Поскольку ширина досок задана значением M, то его половина, естественно, составит $0{,}5M$, а высота поля рисунка на панели равна $2{,}118M$ (подробно см. в [2]).

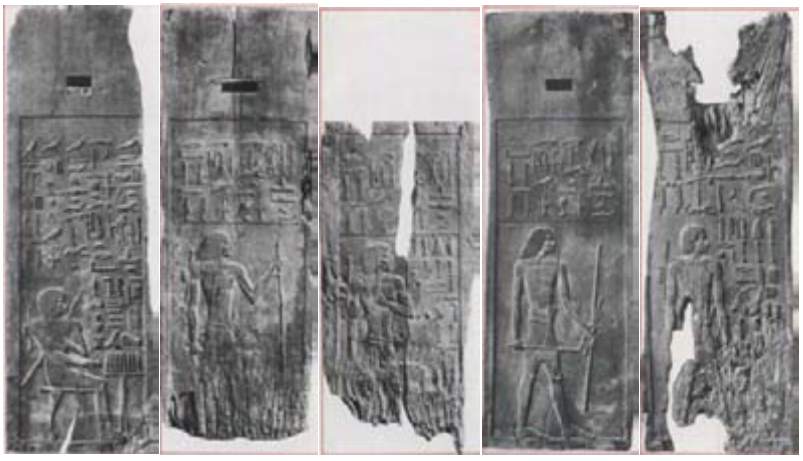


Рис. 4. Панели из зала усыпальницы Хеси-Ра

Математически точное построение модулора Ле Корбюзье было подсказано выдающемуся зодчему XX века математиком Дюфо де Кодераном. Золотое сечение заложено в модулоре Ле Корбюзье, в конструктивной схеме (КС) которого (рис. 5) на диагонали прямоугольника со сторонами 2,118*M* : 0,5*M* строится спектр треугольников с интервалами, подчиненными пропорции золотого сечения. При построении модулора (рис. 5, *б*) заложена пропорция

$$a/b = b/(a+b) = 0{,}618.$$

За построение модулора Ле Корбюзье был удостоен ученой степени доктора математики.

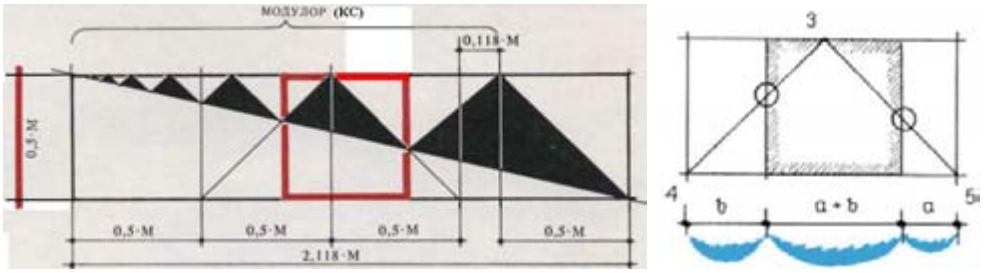


Рис. 5. Модулор Ле Корбюзье: *а* — конструктивная схема; *б* — схема построения

Сам факт таких же пропорций в композиции базовой панели, созданной за несколько тысяч лет до Ле Корбюзье, убедительно говорит о том, что традиция золотого сечения имеет очень давнее происхождение. Человеческая мысль всегда была устремлена к поискам законов гармонии, на которых держится связь миров. Гармония составляет главный критерий, обеспечивающий устойчивость любой системы, поскольку устойчивость системы зависит от способа связи частей, составляющих систему [3, 2].

В условиях Средневековья появление книги по математике, написанной в 1202 г. итальянским математиком Леонардо из Пизы, явилось важным событием в «научной жизни общества». В книге «Liber abacci» («Книга об абаке») были собраны известные в то время сведения по математике, приводились примеры решения всевозможных задач. И среди них была простая, не лишенная практической ценности для предприимчивых итальянцев задача о кроликах: «Сколько пар кроликов в один год от одной пары рождается?» Далее в задаче поясняется, что природа кроликов такова, что через месяц пара их производит на свет другую пару, а начинают размножаться кролики со второго месяца после своего рождения. В результате решения этой немудреной задачи получился ряд чисел 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144 и т. д. Этот ряд чисел был позже назван именем Фибоначчи — так называли Леонардо (Fibonacci — сокращенное filius Bonacci, т. е. сын Боначчи).

В этом ряду каждое последующее число является суммой двух предыдущих чисел. Такие последовательности, в которых каждый член является функцией предыдущих, называют в математике рекуррентными, или возвратными, последовательностями. Рекуррентным является и ряд чисел Фибоначчи, а члены этого ряда называют числами Фибоначчи. Оказалось, что они обладают ря-

дом интересных и важных свойств. Спустя четыре столетия после открытия Фибоначчи ряда чисел И. Кеплер (1571—1630 гг.) установил, что отношение рядом стоящих чисел в пределе стремится к золотой пропорции. На языке математики это выражается формулой $U_{n+1}/U_n \to \Phi$ при $n \to \infty$. Через сто лет английский ученый Р. Симпсон математически строго доказал, что отношение рядом расположенных чисел Фибоначчи в пределе стремится к золотой пропорции, равной $\left(\sqrt{5}+1\right)/2$. И лишь в 1843 г. математик Ж. Бине нашел формулу для отыскания любого члена ряда чисел Фибоначчи. Соотношение рядом стоящих чисел ряда Фибоначчи отражает колебательный процесс (осцилляцию), строго периодический со все уменьшающейся амплитудой, уменьшение разницы в отношениях этих чисел, затухающее колебание этих отношений относительно величины Ф.

Удивительна инвариантность Ф: $\Phi = \left(\sqrt{5}+1\right)/2 = 1{,}618...;$

$1/\Phi = \left(\sqrt{5}-1\right)/2 = 0{,}618...;\ \Phi^2 = \left(\sqrt{5}+3\right)/2 = 2{,}618...;\ \Phi\left(\Phi-1\right)=1;\ \Phi - 1/\Phi = 1.$

Такие значительные преобразования, как возведение в степень, не смогли уничтожить сущность этой уникальной пропорции, ее «иррациональность». Золотая пропорция является иррациональной величиной, она отражает иррациональность в пропорциях природы. Числа Фибоначчи отражают целочисленность в организации природы. Совокупность обеих закономерностей (золотой пропорции и чисел Фибоначчи) отражает диалектическое единство двух начал: непрерывного и дискретного, подвижного и инертного и т. п.

Характерно, что ряд чисел Фибоначчи в своем развитии стремится к пределу, выражающему золотую пропорцию. Не это ли является убедительным свидетельством единства этих двух критериев гармонии природы?! Следует учесть, что числа Фибоначчи получены при решении задачи о размножении организмов, затрагивающей глубинные законы развития биосферы. Золотая пропорция выражает единственное из возможных соотношение частей с целым. Неудивительно, что золотая пропорция признана основным критерием гармонии Природы. Последовательный ряд инвариантов золотой пропорции (1; 0,618; 0,382; 0,236; 0,146; 0,090; 0,056 и т. д.) обладает свойством рекуррентности (в обратном исчислении) и аналогичен ряду чисел Фибоначчи. Это еще раз подтверждает глубинную связь чисел Фибоначчи с золотой пропорцией. В этом ряду чисел второй член ряда выражает связь двух линейных размеров — двух соседних чисел. Третий член ряда, число 0,382, выражает связь площадей квадратов, а четвертое число 0,236 выражает связь объемов кубов ($0{,}618^2 = 0{,}382$; $0{,}618^3 = 0{,}236$).

В 1917 г. американский ученый Натан Альтшиллер-Курт из Оклахомского университета опубликовал в математическом журнале статью, в которой привел выражение золотой пропорции через развертывание единицы:

$$\Phi = \lim\sqrt{1+\sqrt{1+\sqrt{1+...}}}\ .$$

Затем были найдены и другие формулы для нахождения золотой пропорции. Все они свидетельствуют о предельной простоте и фундаментальности

этой величины; ведь она является здесь производной единицы — начала натурального ряда чисел, начала исчисления.

Фундаментальность числа Ф, его «изначальный» характер дают основание приобщить его к двум другим не менее важным и фундаментальным числам: числу π, выражающему отношение длины окружности к диаметру, и *e* — основанию натуральных логарифмов.

Характерно, что все три числа являются несоизмеримыми, символизируя единство непрерывного и дискретного, их бесконечную борьбу и непрерывное движение, изменение природы. Математики нашли изящные выражения для вычисления величин π и *e*, используя ряды и непрерывные дроби. В них эти фундаментальные величины выводятся из сочетания целых чисел.

Не случайно математики Р. Курант и Г. Робинс утверждают, что «руководящим принципом современной математики стало сведение в конечном счете всех утверждений к утверждениям, касающимся натуральных чисел 1, 2, 3...». Универсальность иррациональных величин Ф, *e*, π, их широкое распространение в различных закономерностях стимулируют поиски уравнений, которые бы объединили эту триаду мировых констант природы [1].

Такие попытки предпринимались неоднократно. Величайшим триумфом математики явилось открытие формулы, которая связывает число π с основанием натуральных логарифмов *e*. Эта формула была открыта Эйлером и позже де Муавром и названа именем последнего: $e^{\pi i} = -1$, где $i = \sqrt{-1}$ — мнимое число. «Эта знаменитая формула — возможно, самая компактная и знаменитая из всех формул», — писали американские ученые Э. Кезнер и Дж. Ньюмен. Известная формула Гаусса нормального распределения случайной величины характеризуется плотностью вероятности какого-либо события; в ней вероятностью распределения связаны числа π и *e* [1]:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}.$$

Не в этой ли формуле отражен вероятностный характер законов природы?

Французский математик Блез Паскаль (1623—1662 гг.) построил числовую таблицу, имеющую форму треугольника; в ней каждая строчка получается из предыдущей путем удвоения суммы чисел строчки (рис. 6). Эта таблица получила название «треугольник Паскаля». Сумма чисел *n*-й строки треугольника Паскаля равна 2*n*, т. е. суммы чисел в строчках возрастают в степенной зависимости, удваиваясь в каждой последующей строчке.

Такой характер построения треугольника Паскаля отвечает наиболее простому размножению организмов в биологии, например делению клеток. Каждая клетка в результате деления превращается в две клетки, которые, в свою очередь, делятся на две клетки и т. д. Треугольник Паскаля обладает многими интересными свойствами. Все строки его симметричны. Между суммами чисел в столбцах установлена следующая зависимость: если из большего числа вычесть рядом стоящее меньшее число, получим число, стоящее слева, рядом с вычитаемым, а если в строке сложить два рядом стоящих числа, то получим число нижнего ряда, стоящее под большим числом. Установлена связь чисел

ряда Фибоначчи с треугольником Паскаля. Если провести диагонали треугольника Паскаля, то суммы чисел на этих диагоналях составят ряд чисел Фибоначчи [1, 4].

Составлена зависимость, связывающая все три иррациональные константы:

$$e\sqrt[4]{\frac{5}{\Phi\sqrt{3}}} = \pi .$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1										
2	1	2	1									
3	1	3	3	1								
4	1	4	6	4	1							
5	1	5	10	10	5	1						
6	1	6	15	20	15	6	1					
7	1	7	21	35	35	21	7	1				
8	1	8	28	56	70	56	28	8	1			
9	1	9	36	84	126	126	84	36	9	1		
10	1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1	
11	1	11	55	165	330	462	462	330	165	55	11	1
12	1	12	66	220	495	792	924	792	495	220	66	12	1

Рис. 6. Треугольник Паскаля для 12 рядов чисел

В международном клубе ученых в Санкт-Петербурге проводятся работы, подводящие современные знания (особенно в области физики) под древнегреческую идею калокагатии (греч. kailos — прекрасный, agathos — добрый). Б. В. Гладков при разработке объемного звучания, представляющего несомненный интерес для архитектурных сооружений (воплощено в древних амфитеатрах), разработал сенсор-код человека в виде многослойных сфероидов (наиболее устойчивая объемная система) с пульсирующим ядром с минимальным объемом Ф. Критический (максимальный) объем характеризуется универсальной константой (также иррациональной) А = 240,240 240… Например, в природе не могут существовать элементы с бóльшим атомным весом. Самый тяжелый элемент в природе — уран-238; более тяжелые, полученные в лабораторных условиях, существуют доли секунды. Эта константа связывает мировые постоянные. А и Ф позволяют понять ритмику строения звукоряда. Они связаны зависимостями: $\Phi = A^{(2/3)^6}$ и $A = \Phi^{(3/2)^6}$ (в этих формулах сначала возводятся выражения в скобках в шестую степень, а затем — А или Ф) [5].

Золотое сечение в архитектуре. В науке мы имеем такие разделы, как статика и динамика. Триада достраивается ритмикой. Она проявляется во многих сферах искусства и особенно в архитектуре, в создании архитектурных ансамблей, нарушение которых в сильной степени проявилось в последние годы в архитектурном облике Москвы. Рассмотренные математические константы и их пропорции задают ритмы архитектурных сооружений и ансамблей. Рассмотрим некоторые примеры.

Одно из Семи чудес света — пирамида Хеопса — имеет целочисленные размеры. Длина стороны основания 500 локтей (233,16 м), а высота 318 лок-

тей, при этом угол наклона грани составляет 51°51′, что дает соотношение $\mathrm{tg}51^\circ 51' = \sqrt{\Phi} = 4/\pi$. О других пропорциях пирамид, связанных с золотым сечением, упоминалось выше и можно найти в [2, 3].

В 447 г. до н. э. началось строительство храма Афины — Парфенона — и продолжалось до 434 г. до н. э. Для создания гармонической композиции на холме его строители даже увеличили холм в южной части, соорудив для этого мощную насыпь. Длины храма Афины и участка Акрополя за Парфеноном соотносятся как отрезки золотой пропорции. При взгляде на Парфенон от места расположения пропилеи отношения массива скалы и храма также соответствуют золотой пропорции. Таким образом, золотая пропорция была использована уже при создании композиции храмов на священном холме.

Ширина Парфенона оценена в 100 греческих футов (30,89 см), а высота — 61,8, высота трех ступеней основания и колонны 38,2, высота перекрытия и фронтона 23,6 футов. Указанные размеры образуют ряд золотой пропорции:

$$100:61{,}8 = 61{,}8:38{,}2 = 38{,}2:23{,}6 = \Phi .$$

Высота основания равна росту человека (6 футов — 185,4 см). Если принять за единицу ширину торцового фасада храма, то основные пропорции фасада Парфенона образуют прогрессию, состоящую из 8 членов ряда:

$$1{:}a1{:}a2{:}a3{:}a4{:}a5{:}a6{:}a7 ,$$

где $a1 = 0{,}618...$ (рис. 7) [1].

Такое же соотношение наблюдается в пропорциях храма Василия Блаженного, но в нем за единицу принята высота храма (рис. 8).

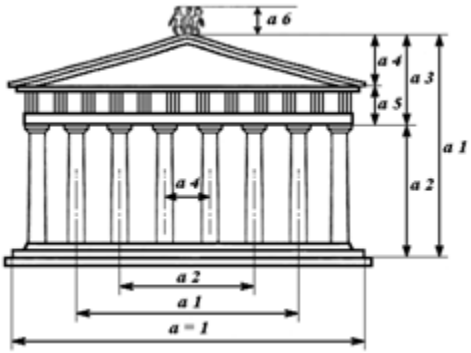


Рис. 7. Пропорции Парфенона

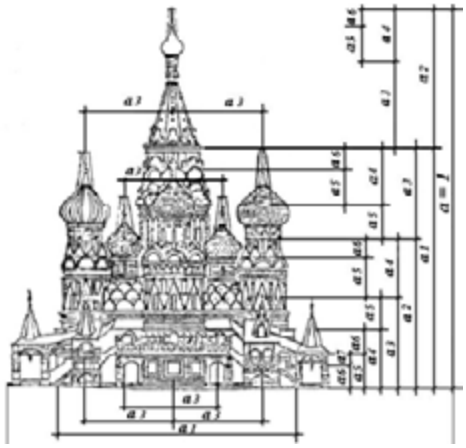


Рис. 8. Пропорции храма Василия Блаженного в Москве

Считается, что петербургский храм Спас на Крови имеет высоту 62 м (вероятно — 61,8 м), а его пропорции также выдержаны в золотом сечении. В Санкт-Петербурге гармония проявляется в таких ансамблях, как ул. Зодчего Росси, или набережная Невы.

Все древние постройки выдерживались в пропорциях золотого сечения и были гармоничны и прекрасны, как, например, храм Аполлона в Дельфах.

Выдержаны в пропорциях золотого сечения и числа π знаменитые соборы в Кижах, а также Покровский собор в Невском лесопарке.

Число *e* использовано в восточной архитектуре при строительстве пагод.

Долгое время считали, что зодчие Древней Руси строили все на глазок, без особых математических расчетов. Однако исследования середины XX в. показали, что русские архитекторы хорошо знали математические пропорции, о чем свидетельствует анализ геометрии древних храмов. Для соблюдения этих пропорций, создания соразмерных, гармоничных композиций необходимы определенные меры длины [1].

Основной строительной единицей длины Древней Руси была сажень. Слово «сажень» происходит от слова «досягать» и определяется «досяганием» рук человека. Казалось бы, должен существовать один эталон длины, одна сажень и ее производные, части сажени: локти, вершки, пяди и т. д. Известно, что на Руси было несколько саженей, значительно отличающихся по размерам. Расстояние от земли до конца пальцев вытянутой вверх руки человека среднего роста определяло размер большой сажени, равный 216 см. Расстояние между концами пальцев простертых в стороны рук определяло размер мерной, или маховой, сажени, равной около 176 см. Расстояние от конца пальцев простертой руки до земли, равное двум шагам или 5/6 роста человека, называли прямой саженью. Указанные сажени определялись пропорциями тела человека. Но число саженей было больше.

В Древней Руси в период с XI по XVII вв. существовало семь видов саженей, применявшихся одновременно: простая, или прямая — 152,76 см; мерная, или маховая — 176,4 см; морская — 183 см; трубная — 187 см; сажень без чети — 197,2 см; косая, казенная — 216 см; великая, косая — 249,46 см.

Во многих случаях измерение одного и того же храма производилось одновременно саженями разных видов. Очевидно, это не было случайностью, а продиктовано какой-то идеей зодчего. Оказалось, что длины саженей взаимосвязаны определенными геометрическими соотношениями. Так, прямая сажень относится к косой сажени как сторона квадрата к его диагонали $(216 = 152{,}7\sqrt{2})$ (откуда и название — косая). Такое же соотношение существует между мерной и великой саженями: $(176{,}4\sqrt{2} = 249{,}4)$. Сажень без чети оказалась искусственно созданной мерой, которая является диагональю половины квадрата, сторона которого равна мерной сажени.

Таким образом, наличие в Древней Руси нескольких различных мер длины не является игрой случайности, итогом принципа: «у каждого зодчего своя сажень», а строго продуманным, математически обоснованным принципом создания системы мер длины. Оказалось, что одновременное употребление разных мер длины при постройке даже одного здания было характерно не только для русских архитекторов, оно применялось и народами других стран. Этот же принцип геометрической соподчиненности различных мер длины имел место в архитектуре Средней Азии.

Графическим выражением двух систем мер длины Древней Руси (одной, основанной на простой сажени, и другой, основанной на мерной сажени) являются хорошо известные «вавилоны», которые представляют собой систему вписанных квадратов и прямоугольников. Наименование «вавилоны» взято из

русских источников XVII в. и является отражением схематического изображения в плане знаменитого храма-зиккурата — Вавилонской башни [1].

Для построения мерного «вавилона» в качестве основы берется мерная сажень, равная 176,4 см (по разным источникам, ее величина колеблется между 176,0 и 176,8 см) [1]. На основе этой сажени строится квадрат, а затем и прямоугольный «вавилон», длинная сторона которого равна мерной сажени, а короткая — 2/3 от нее.

Из полученной таким образом геометрической фигуры выводятся все виды древнерусских саженей (рис. 9).

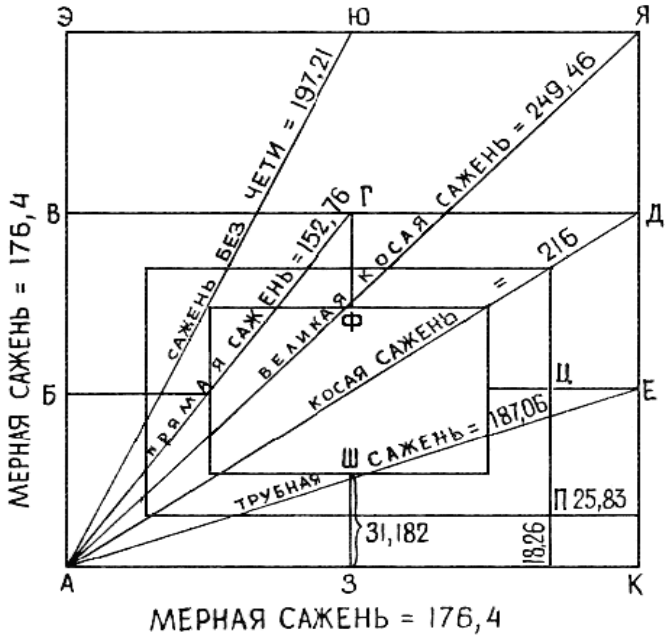


Рис. 9. Геометрические соотношения саженей

Совокупность русских саженей можно построить и по несколько другому принципу — по системе диагоналей. В основе такого построения лежит квадрат со стороной, равной 1/2 мерной сажени. Диагональ его будет равна половине великой сажени. Отложив диагональ на продолжении стороны квадрата, получим прямоугольник со сторонами a и $a\sqrt{2}$. Диагональ его будет равна $a\sqrt{3}$ — прямая сажень. Продолжив построение по этому принципу, мы получим последовательно: $a\sqrt{3}$ =152,76 — прямая сажень; $a\sqrt{4}$ =176,4 — мерная сажень; $a\sqrt{5}$ =197,21 — сажень без чети; $a\sqrt{6}$ =216,04 — косая сажень; $a\sqrt{8}$ =249,46 — великая сажень [1].

Но это уже было. Было в Древнем Египте. «Система диагоналей» нахождения гармонических пропорций была известна еще в период строительства пирамид, за три тысячелетия до творений русских зодчих. Что это? Преемственность знаний, истоки которых зародились в Древнем Египте, а затем рас-

пространялись в Грецию, Рим, Византию, Европу и Древнюю Русь, или это проявление единства законов познания, законов художественного творчества, идущих в своей естественной эволюции от простого к сложному? При этом иногда это проявление может быть интуитивным, как имело место при постройке храма в Кижах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васютинский Н. А.* Золотая пропорция. М. : Мол. гвардия, 1990. 238 с. (Эврика).

2. *Шмелев И. П.* Архитектор фараона. «Искусство России», 1993. 96 с.

3. *Шевелев И. Ш., Марутаев М. А., Шмелев И. П.* Золотое сечение: три взгляда на природу гармонии. М. : Стройиздат, 1990. 343 с.; ил. (Шмелев И. П. Третья сигнальная система).

4. *Волков С. А.* Гуманизация образования на основе принципов «фундаментальности — синергетичности — целостности». Режим доступа: http://www.interlibrary.narod.ru, Gen. Cat. Pedagogics Dep. 21.07.06. 2,18 п.л.

5. *Гладков Б. В.* Сферодинамика. Математические начала объемного мышления. СПб., 1998. 123 с.

1. *Vasyutinski N. A.* Zolotaya proportsiya. M. : Mol. gvardiya, 1990. 238 s. (Evrika).

2. *Shmelev I. P.* Arkhitektor faraona. «Iskusstvo Rossii», 1993. 96 s.

3. *Shevelev I. Sh., Marutayev M. A., Shmelev I. P.* Zolotoye secheniye: tri vzglyada na prirodu garmonii. M. : Stroyizdat, 1990. 343 s.; il. (Shmelev I. P. Tretya signalnaya sistema).

4. *Volkov S. A.* Gumanizatsiya obrazovaniya na osnove printsipov «fundamentalnosti — sinergichnosti — tselostnosti». Rezhin dostupa: http://www.interlibrary.narod.ru, Gen. Cat. Pedagogics Dep. 21.07.06.

5. *Gladkov B. V.* Sferodinamika. Matematicheskiye nachala obemnogo myshleniya. SPb., 1998. 123 s.

© Волков С. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Волков С. А. Математические константы, гармония, архитектура и градостроительство // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 362—373.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69÷504

В. Ф. Сидоренко, Н. В. Аброськина, И. В. Сидоренко

СТРОИТЕЛЬСТВО КАК ФАКТОР НЕГАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Проведен анализ и категорирование строительных объектов по территориальному и функциональному признакам. Определена степень экологического воздействия строительных объектов при их воздействии на проживающих в селитебной зоне жителей и на окружающую среду урбанизированных территорий. Предлагается ряд мероприятий, способствующих уменьшению негативного воздействия строительных объектов на окружающую среду.

К л ю ч е в ы е с л о в а : строительство, негативное экологическое воздействие, урбанизированные территории, окружающая среда.

The analysis and the profiling of the construction projects on grounds of territorial and functional features are done. The degree of construction projects ecological effect by their action on the inhabitants in the mixed zone and on the environment of the urban lands is defined. The measures which are helped reduce the negative effect of the construction projects on the environment are offered.

K e y w o r d s : construction, negative ecological effect, urban lands, environment.

В последние годы наблюдается рост численности населения в крупных и крупнейших городах. В результате происходит уплотнение жилой застройки в центральных частях города, одновременно активизируется строительство административно-торговых и зрелищных зданий и сооружений, стремящихся зачастую занять площадки объектов озеленения общего пользования (парки, сады, скверы). Идет строительство промышленно-хозяйственных предприятий, прокладка коммуникаций, развитие новых транспортных связей. Все это не может не оказывать вредного негативного воздействия на селитебную территорию и проживающих на ней жителей [1, 2].

В зависимости от размера строительного объекта, его протяженности и функциональной направленности (рис. 1) и длительности воздействия происходит негативное экологическое воздействие на урбанизированную территорию и проживающих на ней жителей.

В связи с тем, что строительство (возведение объекта) носит временный характер [1], а время воздействия составляет от одного месяца до нескольких лет:

$n < T > N$ [1],

где T — время возведения объекта; n — время от одного месяца; N — несколько лет, негативное антропогенное, экологическое воздействие на природную среду и проживающих в непосредственной близости людей носит временный характер и меняется в количественном и качественном отношении.

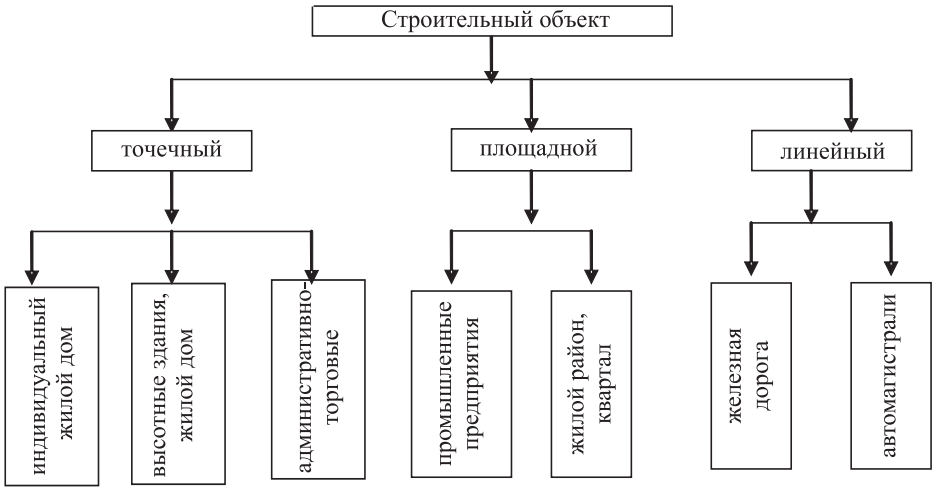


Рис. 1. Категорирование строительных объектов по территориальному признаку

Из-за порой кратковременности возведения объектов их негативному экологическому воздействию уделялось меньше внимания, чем постоянно действующим промышленным и коммунальным предприятиям. Недостаточно проработана и система мониторинга. Возведение строительного объекта многофакторно воздействует на проживающих в селитебной зоне жителей и на окружающую природную и городскую среды (рис. 2—3).

Рис. 2. Воздействие строительного объекта на проживающих в селитебной зоне жителей

Рис. 3. Воздействие стройки на окружающую среду

Широкий спектр негативных факторов воздействует на различные органы человека, вызывая отрицательные последствия. Исследованиями гигиенистов доказано, что каждый из обозначенных факторов загрязнения воздуха газообразующими примесями, шум, запыленность, визуальная оценка видовых перспектив, присутствие опасного производства, вибрации, микроклиматические условия в той или иной степени влияют на организм человека (табл.).

Воздействие различных факторов окружающей среды на организм человека при возведении строительных объектов

Факторы воздействия	Нервная система	Дыхательные пути	Кровь	Сердечно-сосудистая система	Психоэмоциональное состояние	Органы слуха	Инфекции	Желудочно-кишечный тракт	Аллергия
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Воздух	●	●	●	●	●	—	●	●	●
Шум	●	—	●	●	●	●	—	—	—
Запыленность	●	●	—		●		●	●	●
Визуальная оценка	●	—	—	●	●	—	—	—	—
Присутствие опасного производства	●	—	—	●	●	—	●	—	●
Вибрации	●	—	●	●	●	●	—	●	—
Температура	●	●	●	●	●	—	—	—	—
Влажность	●	●	●	●	●	—	—	—	—
Скорость движения воздуха	●	●	●	●	●	—	●	—	●
Инсоляция	●	●	●	●	●	—	●	—	—

Суммарно этот эффект усиливается. Необходимо на каждом этапе жизненного цикла строительства разрабатывать мероприятия по предотвращению вредного воздействия на человека и окружающую среду. Требуется разработка систем мониторинга для объектов различного назначения вне зависимости от сроков строительства. Необходима проработка мер по компенсации негативного воздействия для проживающих в непосредственной близости к строительным объектам на время строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сидоренко В. Ф.* Теоретические и методологические основы экологического строительства. Волгоград : ВолгГАСА, 2000. 200 с.

2. *Теличенко В. И.* Проблемы и задачи геоэкологической безопасности строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 11. С. 50—54.

1. *Sidorenko V. F.* Teoreticheskiye i metodologicheskiye osnovy ekologicheskogo stroitelstva. Volgograd : VolgGASA, 2000. 200 s.

2. *Telichenko V. I.* Problemy i zadachi geoecologicheskoy bezopasnosti stroitelstva // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2008. № 11. S. 50—54.

© Сидоренко В. Ф., Аброськина Н. В., Сидоренко И. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Сидоренко В. Ф., Аброськина Н. В., Сидоренко И. В. Строительство как фактор негативного экологического воздействия на урбанизированных территориях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 374—377.

УДК 504.064

В. Ф. Желтобрюхов, Н. В. Колодницкая, В. М. Осипов

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассматривается актуальная проблема совершенствования системы мониторинга состояния окружающей среды при проектировании нового объекта промышленности. Проведение биологического анализа качества компонентов окружающей среды на основе метода биоиндикации даст возможность обеспечить экологическую безопасность строительства, так как позволит объективно оценить уже существующую экологическую обстановку и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду урбанизированной территории.

К л ю ч е в ы е с л о в а : экологическая безопасность, строительство, атмосферный воздух, риск для населения, месторождение бишофита, метод биоиндикации, общественность.

The vital problem on perfection of the monitoring system of the environment at the time of projecting the new industrial enterprise is investigated. The main idea is the biological analysis of the environment's components on the basis of the bioindication method. The application of the method will be provided environmental safety of the construction because will be allowed objectively to assess the pre-existing ecological situation and to prevent the negative influence on the environment of the urban territory.

K e y w o r d s : environmental safety, construction, atmosphere air, risk for people, bischofite formation, bioindication method, community.

В целом строительство является одной из стабильно развивающихся отраслей, обеспечивающей создание комфортной среды жизнедеятельности человека, создающей большое количество рабочих мест, влекущей за собой развитие целого ряда смежных отраслей материального производства. Основные принципы современного строительного производства ориентируются на существенное повышение производительности труда, улучшение охраны труда рабочих, большее внимание к охране окружающей среды [1].

Так, в последнее десятилетие в России значительно возрос уровень требований к экологической безопасности и качеству окружающей среды. Появились международные и национальные стандарты по экологическому менеджменту, используются рыночные атрибуты сертификации и страхования, экологических рисков, применяются современные классификации отходов и паспорта безопасности материалов и веществ. Законодательство Российской Федерации пополнилось серией нормативно-правовых документов в области охраны окружающей среды и документами по устойчивому развитию [2].

Жизненно важным вопросом для Волгоградской области является строительство завода по производству металлического магния. Первоначально проектировщики рассматривали два варианта размещения магниевого завода: территорию завода «Каустик» и 21-й км железнодорожного перегона Орловка — Гумрак. Позже было признано нецелесообразным, с учетом выбранной технологии, размещение предприятий по переработке бишофита на площадях завода «Каустик». Следовательно, приоритетной площадкой стала территория Городищенского района. Однако, с точки зрения экологической безопасности,

потенциальная площадка для нового строительства не считается оптимальной, т. к. данная территория находится в непосредственной близости от границы города, более того, в зоне возможного влияния будущего магниевого завода, кроме п. Орловки, находится п. Водстрой, и, как известно, п. Орловку окружают более 90 га полигонов ТБО и шламонакопителей других предприятий г. Волгограда.

Позже появился вариант строительства завода на территории ВОАО «Химпром» при условии реконструкции действующего предприятия и его расширения [3].

И все же размещение предприятия обусловлено экономическими факторами и необходимостью максимального приближения к источникам сырьевых ресурсов. Волгоградское месторождение бишофита, запасы которого по промышленным категориям $A + B + C_1$ на Городищенском участке составляют 50,3 млн т, занимает выгодное географическое положение, располагаясь вблизи промышленно развитых центров европейской части России. Через него проходят железнодорожные, водные магистрали, трасса федерального значения, его пересекают нефте- и газопроводы. Вблизи располагаются предприятия стройиндустрии — ЖБИ № 2, металлургии — ОАО «ВгАЗ-СУАЛ», Волжская ГЭС и др. Наличие водных магистралей р. Волги и Дона дает беспрепятственный выход к портам Черного и Балтийского морей и возможность иметь связи с любыми зарубежными странами. Принятие решения о строительстве нового объекта, каковым является магниевый завод, должно сопровождаться оценкой сложившейся экологической ситуации в городе. Экологические проблемы могут быть как прямым следствием строительной деятельности, так и косвенным. Некоторые экопроблемы могут представляться незначительными, когда рассматриваются в пределах отдельного проекта, но могут иметь неблагоприятные последствия в результате совместного воздействия ряда проектов (совокупное или кумулятивное воздействие). Некоторые проблемы могут казаться несущественными сами по себе, но в комбинации с другими факторами они могут вызывать серьезную озабоченность [2]. В связи с этим осуществлен анализ качества окружающей среды северной и южной промышленных зон г. Волгограда — предполагаемых площадок размещения магниевого производства. Исследовано состояние атмосферного воздуха в северной и южной частях города и проведена оценка неканцерогенного риска на основе расчета коэффициентов опасности (*HQ*) по формуле

$$HQ = AC/RfC, \quad (1)$$

где *HQ* — коэффициент опасности; *AC* — среднесуточная концентрация; *RfC* — безопасная концентрация.

Полученные значения превышают 1, что выше нормы (табл. 1).

Проведен расчет среднесуточных доз для организма человека при ингаляционном воздействии веществ, присутствующих в атмосферном воздухе п. Орловки Городищенского района Волгоградской области, по формуле

$$ADD = ((C_a T_{out} V_{out}) + (C_h T_{in} V_{in}))EF \cdot ED/(BW \cdot AT \cdot 365), \quad (2)$$

где *ADD* — среднесуточная доза; C_a — концентрация веществ; T_{out} — время, проводимое вне помещений; V_{out} — скорость дыхания вне помещений; C_h —

концентрация веществ в воздухе помещений; T_{in} — время, проводимое внутри помещений; V_{in} — скорость дыхания внутри помещений; *EF* — частота воздействия; *ED* — продолжительность воздействия; *BW* — масса тела; *AT* — период осреднения экспозиции.

Существующий индивидуальный канцерогенный риск (*CR*) для жителей п. Орловки в течение жизни определялся по формуле (3) и составил $4{,}87 \cdot 10^{-6}$, что соответствует верхней границе приемлемого риска.

$$CR = ADD \cdot SF, \quad (3)$$

где *CR* — индивидуальный канцерогенный риск в течение жизни, *SF* — фактор канцерогенного потенциала.

С учетом однонаправленного воздействия веществ (диоксид азота, диоксид серы), присутствующих в атмосферном воздухе поселка и в выбросах проектируемого завода, рассчитывался индекс опасности (*HI*) по формуле

$$HI = HQ_1 + HQ_2 + \ldots + HQ_n, \quad (4)$$

где *HI* — индекс опасности.

Полученные результаты свидетельствуют о вероятности увеличения в поселке числа жителей с заболеваниями органов дыхания на 27,2 % в случае ввода в эксплуатацию Волгоградского магниевого завода.

Таблица 1

Результаты оценки коэффициентов опасности для населения от состояния атмосферного воздуха в северной и южной зонах города — районах расположения стройиндустрии, химического и металлургического предприятий

Северная промышленная зона						
Ингредиент	2008 г.		2009 г.		2010 г.	
	$q_{c.c.}$	*HQ*	$q_{c.c.}$	*HQ*	$q_{c.c.}$	*HQ*
Фторид водорода	0,04	3,0	0,05	3,8	0,03	2,8
Диоксид азота	0,14	3,5	0,152	3,8	0,12	3,0
Оксид углерода	3,3	1,1	3,3	1,1	3,0	1,0
Взвешенные вещества	0,41	2,7	0,4	2,9	0,3	2,5
Южная промышленная зона						
Ингредиент	2008 г.		2009 г.		2010 г.	
	$q_{c.c.}$	*HQ*	$q_{c.c.}$	*HQ*	$q_{c.c.}$	*HQ*
Хлорид водорода	0,03	1,5	0,02	1,4	0,02	1,4
Аммиак	0,07	0,75	0,07	0,75	0,07	0,75
Оксид углерода	5,1	1,7	3,6	1,2	3,3	1,1
Взвешенные вещества	0,3	2,5	0,4	2,7	0,4	2,7

Примечание: $q_{c.c.}$ — среднесуточная концентрация.

При размещении предприятия на территории ВОАО «Химпром» с учетом реконструкции существующих цехов производства: производство хлора

и каустика; сжиженного хлора; гипохлорита натрия; хлората натрия; хлорного железа; трихлорэтилена; хлористого бензила; монохлоруксусной кислоты; хлорсульфированного полиэтилена; хлорпарафина ХП-1100; треххлористого фосфора, трибутилфосфата, трикрезилфосфата, согласно проектным данным, неканцерогенный риск для населения от присутствующих химических соединений в суммарных выбросах проектируемого и химического производств снизится по сравнению с выбросами эксплуатируемого предприятия.

В целях повышения уровня экологической безопасности строительства в условиях городского хозяйства предлагается проводить не только химический анализ состояния компонентов окружающей среды, но и биологический на основе метода биоиндикации городских зеленых насаждений. Данный вид биологического мониторинга состояния объектов окружающей среды является доступным для общественности, которая, в свою очередь, играет немаловажную роль при осуществлении экологической экспертизы и оценки воздействий на окружающую среду намечаемой хозяйственной деятельности. Местное население, применив метод биоиндикации для анализа качества природной среды, может предоставить полученные результаты об экологической ситуации анализируемой территории, которая может быть использована при проектировании.

Результаты оценки состояния окружающей среды на основе определения величины флюктуирующей асимметрии билатеральных морфологических признаков тополя пирамидального (метод биоиндикации) получены расчетным путем. Значения превышают верхнюю границу, равную 0,054, и свидетельствуют о критическом состоянии окружающей среды (табл. 2).

Таблица 2

Результаты оценки качества окружающей среды северной и южной промышленных зон города на основе метода биоиндикации

Год исследования	Интегральный показатель стабильности развития растений	
	Северная зона	Южная зона
2008 г.	0,078	0,074
2009 г.	0,087	0,079
2010 г.	0,074	0,069

Проведены вычисления статистических характеристик выборки при изменчивости показателей стабильности развития растений по *t*-критерию Стьюдента. Полученные значения $|\Delta X_i| < 3\sigma$, грубых ошибок не обнаружено.

Данный способ совершенствования системы мониторинга состояния окружающей среды позволит выявить истинную экологическую обстановку на урбанизированных территориях с целью их дальнейшего рационального развития и благоустройства, а также ужесточить требования при строительстве, чтобы вновь возводимый объект был экологически безопасным для городского хозяйства, и тогда строительство будет являться одной из основных форм созидательной деятельности человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Терентьев О. М., Теличенко В. А., Лапидус А. А.* Технология строительных процессов. Ростов н/Д : Феникс, 2006. 496 с.

2. *Теличенко В. И., Слесарев М. Ю.* Управление экологической безопасностью строительства. Экологическая экспертиза и оценка воздействий на окружающую среду. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. 441 с.

3. *Данилов Н. Н., Булгаков С. Н., Зимин М. П.* Технология и организация строительного производства. М. : Стройиздат, 1988. 752 с.

1. *Terentev O. M., Telichenko V. A., Lapidus A. A.* Tekhnologiya stroitelnykh protsessov. Rostov n/D : Fenix, 2006. 496 c.

2. *Telichenko V. I., Slesarev M. Yu.* Upravleniye ecologicheskoy bezopasnostyu stroitelstva. Ecologicheskaya expertiza i otsenka vozdeystviya na okruzhayushchyu sredu. M. : Izd-vo Assotsiatsii stroitelnykh vyzov, 2005. 441 c.

3. *Danilov N. N., Bulgakov C. N., Zimin M. P.* Tekhnologiya i organizatsiya stroitelnogo proizvodstva. M. : Stroyizdat, 1988. 752 c.

© Желтобрюхов В. Ф., Колодницкая Н. В., Осипов В. М., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Желтобрюхов В. Ф., Колодницкая Н. В., Осипов В. М. Управление экологической безопасностью строительства на основе совершенствования системы мониторинга урбанизированных территорий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 378—382.

УДК 624.042.7:721.01.27

В. Ф. Желтобрюхов, И. А. Полозова, А. И. Бурханов

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОАО «СЕБРЯКОВЦЕМЕНТ»

Предложена технология водоподготовки на предприятии строительной индустрии, способствующая решению экологических проблем региона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: водоподготовка, экологические проблемы, расчистка русла реки, защита водозабора, отложение наносов, рациональное водопользование.

The water conditioning technology on the construction industry which is promoted to the decision of the region ecological problems is offered.

K e y w o r d s: water conditioning, ecological problems, river sedimentary control, diversion capacity preserving, siltation, balanced water consumption.

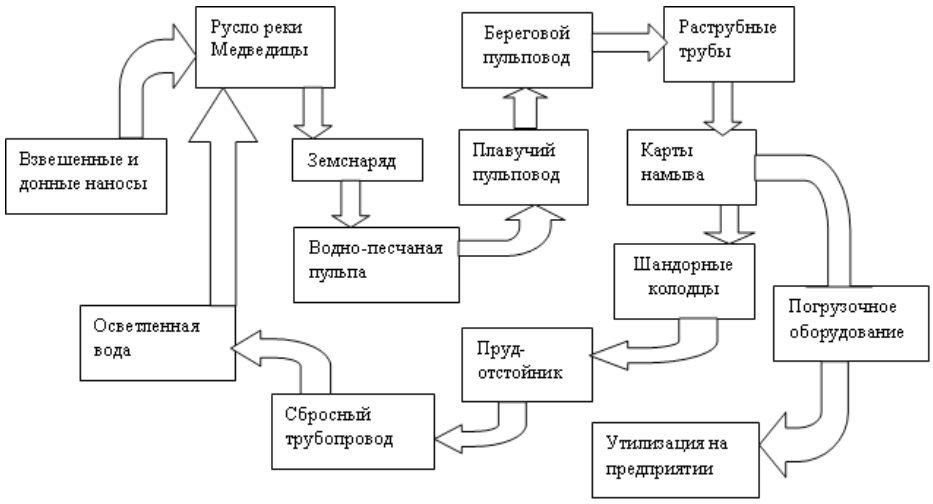
Растущее с каждым годом водопотребление обуславливает необходимость постановки новых задач по поиску технических решений функционирования водозаборных сооружений, являющихся при этом, как показывает практика, не только технологическим, но и природоохранным элементом водоподготовки в целом. Особенно остро проблема бесперебойного водоснабжения стоит на предприятиях, использующих для забора воды поверхностные сооружения, расположенные в местах с неустойчивым руслом. Объектом проводимого исследования является промышленный водозабор ОАО «Себряковцемент» на реке Медведице Волгоградской области, работа которого в последнее время не отвечала требованиям предприятия по объемам забираемой воды и не обеспечивала бесперебойность водоподачи на производственные нужды, что было вызвано отложением обильных наносов в районе его размещения.

Проведенный ранее анализ конструктивных особенностей рассматриваемого водозаборного сооружения и изучение гидрологических и гидрогеологических характеристик реки Медведицы в месте его расположения [1, 2, 3] позволили предложить и научно обосновать в качестве эффективного метода предотвращения отложения наносов в районе промышленного водозабора ОАО «Себряковцемент» расчистку русла реки Медведицы в пределах зоны гряды, образовавшейся возле водозаборного сооружения, что позволяет решить, помимо конкретной задачи защиты рассматриваемого водозабора, экологические проблемы реки Медведицы и вопросы рационального водопользования.

Таким образом, в технологию получения технической воды, предлагаемую для предприятия ОАО «Себряковцемент», необходимо включить, помимо самого забора воды, проведение эксплуатационных расчисток русла реки в пределах размещения указанного водозабора как средство обеспечения бесперебойного водоснабжения. В указанном контексте технологический процесс расчистки следует понимать как часть водоподготовки. Проведенные исследования по научному обоснованию способа предотвращения отложения наносов при эксплуатации промышленного водозабора позволили сделать принципиальный вывод об эффективности предложенного метода и приступить к разра-

ботке технологической схемы производства работ и практической реализации предложенного способа. Для практической реализации выбранного направления была предложена рациональная схема технологического процесса расчистки русла реки Медведицы в районе промышленного водозабора ОАО «Себряковцемент» (рисунок).

Особенностью выбранного метода является то, что расчистка производится на глубину от 1,5 до 3 м в пределах естественного ложа русла реки на участке протяженностью 2 км, не затрагивая интересы сторонних землепользователей. Кроме того, расчистка русла реки в районе водозабора является экологическим мероприятием по охране водного объекта — реки Медведицы — и защите его от обмеления и зарастания прибрежной растительностью. Ранее было установлено [4, 5], что основным фактором заносимости исследуемого промышленного водозабора, расположенного на правом берегу, является большая левобережная отмель в средней части излучины реки, гребень которой перемещается параллельно правому берегу, приближаясь к нему по мере развития русловых деформаций. Следствием этого является постепенное превращение зоны водозабора в перекат, что ускоряется прохождением больших паводков. Это означает полное занесение водозабора наносами, изменение конфигурации русла, при котором поток пойдет мимо водозаборного сооружения, что требует технического решения по устранению указанной отмели для избежания экологических и производственных проблем.



Рациональная схема технологического процесса расчистки русла реки Медведицы в районе промышленного водозабора ОАО «Себряковцемент»

Согласно предложенной схеме технологический процесс защиты водозаборного сооружения ОАО «Себряковцемент» от отложения наносов для обеспечения эффективной водоподготовки заключается в следующем. Процесс предотвращения отложения наносов на водоприемном устройстве предусматривается с использованием имеющегося на предприятии электрического земснаряда. Грунт, образовавшийся в результате расчистных работ электрическим

земснарядом, по наплавному и береговому пульпопроводам безэстакадным способом направляется в обвалованные отвалы — карты намыва. По предложенной схеме предусматривается строительство трех карт намыва, которые организуются на специально отведенной площадке. Указанные карты предназначены для многократного использования. Подача пульпы (грунта вместе с водой) осуществляется по магистральному пульповоду из полиэтиленовых труб в карты намыва, имеющие кольцевое обвалование, что предотвращает потери. Размещение грунта на карте осуществляется с помощью раструбных труб. Для осветления воды перед сбросом в реку на картах намыва предусмотрено устройство отстойника. При этом сброс воды с карты намыва в отстойник осуществляется через сбросной шандорный колодец. Из прудка-отстойника отвод осветленной воды производится в реку по сбросному трубопроводу. Параметры необходимых гидротехнических сооружений оптимизированы в соответствии с фактическим режимом водопотребления предприятия. После предварительной просушки в течение 1 месяца грунт вывозится автотранспортом для утилизации на предприятии. Площадка, освобожденная от отвалов грунта, используется вновь для намыва.

Применение такого гидронамывного способа производства работ обладает всесторонними преимуществами перед использованием механической землеройной техники. Расчистка русла реки наносит ущерб рыбному хозяйству, который подлежит обязательной компенсации. Вместе с тем, гидронамывная технология способствует сохранению кормовой базы для ихтиофауны: в процессе намыва речной ил — тонкозернистый (размером менее 10 мкм) осадок органического происхождения (детрит и сапропель) — отделяется от частиц минерального происхождения (более крупных и плотных, и потому быстро оседающих). Ил в виде взвеси сохраняется в реке, а оседая, становится зародышами взамен разрушенного местообитания ихтиофауны и кормовой базой для бентоса и планктона — совокупности живых организмов, которые, в свою очередь, в трофической цепи являются пищей для промысловой рыбы. Кроме того, при проведении расчистки увеличивается площадь нагула молоди рыб и уменьшается количество прибрежной растительности.

Использование в рассматриваемой технологии трубопроводной транспортировки пульпы также является обоснованным по сравнению с автотранспортным перемещением вдоль берега реки и обуславливается тем, что река Медведица имеет нерестовое значение.

Особого внимания в данном технологическом процессе заслуживает обращение с отходами, образующимися в результате проведения работ по расчистке русла реки Медведицы как элемента водоподготовки, в районе водозабора. Отходом в данном случае является извлекаемая земснарядом водно-песчаная пульпа, которая подвергается разделению при помощи гидроклассификатора на составляющие фракции: органическую и минеральную. После стадии обезвоживания, реализуемой на предусмотренных гидротехнических сооружениях, грунт, классифицируемый в соответствии с выполненным Проектом нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР) как отход V класса опасности (грунт, образовавшийся при проведении землеройных ра-

бот, незагрязненный опасными веществами, код 314011 00 08 995), в количестве 35 тыс. т/год, может быть использован в смеси с некоторыми связующими в производстве строительных материалов в соответствии с разработанным и утвержденным техническим регламентом. В этом случае экологические платежи не взимаются, и отход может приносить доход.

Таким образом, технология получения технической воды для предприятия ОАО «Себряковцемент» представляет собой следующий процесс. ОАО «Себряковцемент» по договору водопользования покупает водный ресурс, который должен поступать при надлежащем функционировании системы забора воды на предприятие, что обеспечивается проведением мероприятий по защите водозаборного сооружения от отложения наносов посредством проведения расчистки русла реки Медведицы в районе его расположения. В свою очередь указанные защитные мероприятия, создающие благоприятные условия для водоснабжения предприятия и требующие строительства гидротехнических сооружений, проводятся с использованием гидроселективной технологии утилизации отходов — разработанного донного грунта, что способствует также решению экологических проблем региона без привлечения федеральных средств.

Предложенный способ положен в основу проекта защиты водозаборного сооружения ОАО «Себряковцемент», выполненного ЗАО «Волговодпроект». Проект получил положительное заключение государственной экспертизы.

Следует отметить, что в 2011 г. предложенные режимы водозабора и водоподготовки, включающие проектирование способа защиты водозаборного сооружения от отложения наносов, были реализованы в реальных условиях на предприятии ОАО «Себряковцемент» Волгоградской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полозова И. А.*, *Желтобрюхов В. Ф.* Изучение гидрометеорологических и физико-географических условий района промышленного водозабора на малой реке Медведице Волгоградской области с целью выбора эффективного метода его защиты от воздействия наносов // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2011. Вып. 22. С. 126—133.

2. *Полозова И. А.*, *Желтобрюхов В. Ф.*, *Стяжин В. Н.* Использование методов регрессионного анализа при восстановлении и прогнозировании гидрологических характеристик реки Медведицы в районе промышленного водозабора // Экологические системы и приборы. 2011. № 7. С. 49—54.

3. *Желтобрюхов В. Ф.*, *Полозова И. А.*, *Ошкин М. И.* Изучение биологического состояния и ихтиофауны реки Медведицы в районе промышленного водозабора // Экологические системы и приборы. 2010. № 8. С. 19—22.

4. *Желтобрюхов В. Ф.*, *Полозова И. А.*, *Ошкин М. И.* Оценка влияния технологического процесса расчистки русла реки Медведицы на ее экологическую систему // Экологические системы и приборы. 2010. № 8. С. 23—25.

5. *Полозова И. А.*, *Ошкин М. И.*, *Желтобрюхов В. Ф.* Ежегодная эксплуатационная расчистка малых рек как метод решения экологических проблем и эффективного направления рационального природопользования // В мире научных открытий. 2010. Ч. 6, № 4 (10). С. 37—38.

1. *Polozova I. A.*, *Zheltobryukhov V. F.* Izucheniye gidrometeorologicheskikh i fiziko-geograficheskikh uslovi rayona promyshlennogo vodozabora na maloy reke Medveditse Volgogradskoy oblasti s tselyu vybora effektivnogo metoda yego zashchity ot vozdeystviya nanosov // Vestn. VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh. 2011. Vyp. 22. S. 126—133.

2. *Polozova I. A.*, *Zheltobryukhov V. F.*, *Styazhin V. N.* Ispolzovaniye metodov regressionnogo analiza pri vosstanovlenii i prognozirovanii gidrologicheskikh kharakteristik reki Medveditsy v rayone promyshlennogo vodozabora // Ecologicheskiye sistemy i pribory. 2011. № 7. S. 49—54.

3. *Zheltobryukhov V. F.*, *Polozova I. A.*, *Oshkin M. I.* Izucheniye biologicheskogo sostoyaniya i ikhtiofauny reki Medveditsy v rayone promyshlennogo vodozabora // Ecologicheskiye sistemy i pribory. 2010. № 8. S. 19—22.

4. *Zheltobryukhov V. F.*, *Polozova I. A.*, *Oshkin M. I.* Otsenka vliyaniya tekhnologicheskogo protsessa raschistki rusla reki Medveditsy na yeye ecologicheskuyu sistemu // Ecologicheskiye sistemy i pribory. 2010. № 8. S. 23—25.

5. *Polozova I. A.*, *Oshkin M. I.*, *Zheltobryukhov V. F.* Yezhegodnaya expluatatsionnaya raschistka malykh rek kak metod resheniya ecologicheskikh problem i effektivnogo napravleniya ratsionalnogo prirodopolzovaniya // V mire nauchnykh otkryti. 2010. Ch. 6, № 4 (10). S. 37—38.

© Желтобрюхов В. Ф., Полозова И. А., Бурханов А. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Желтобрюхов В. Ф., Полозова И. А., Бурханов А. И. Реализация экологически безопасной технологии водоподготовки на ОАО «Себряковцемент» // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 383—387.

УДК 620.267

И. В. Стефаненко, П. Э. Соколов

СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Приводятся данные о состоянии, перспективах развития и задачах радиационного контроля в строительстве. На примере Волгоградской области указаны отличия, которые формируются за счет различных укладов жизни городского и сельского населения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: радиоактивность, строительные материалы, доза облучения, удельная активность естественных радионуклидов.

The status data of the development prospects and the monitoring problems in construction are reduced. The differences which are formed by the variant lifestyles of urban and rural populations are specified in terms of the Volgograd Region.

K e y w o r d s: radioactivity, building materials, dose-to-cure, volume activity of natural radionuclides.

Человечество постоянно подвергается воздействию различных факторов природного и антропогенного происхождения. Обширные исследования последних десятилетий позволили установить, что из всех оболочек Земли самым высоким содержанием естественных радионуклидов (ЕРН) обладает геосфера.

Радиационные характеристики строений тесно связаны с удельной активностью исходного сырья. Наряду с интенсивностью γ-излучения от концентрации в исходном сырье урана и тория в значительной мере зависит и свойство строительных материалов продуцировать радон и торон.

В силу исторически сложившихся обстоятельств социального, экономического, этнического или климато-географического характера население многих современных городов преимущественную часть своего времени проводит внутри различного рода сооружений, с которыми связано как потребностями производственной деятельности, так и другими формами общественной и личной жизни.

Значительное время люди пребывают в замкнутых пространствах строений с их искусственным специфическим радиационным микроклиматом в географических зонах, отличающихся неустойчивой погодой, избыточными осадками, низкими температурами воздуха и другими неблагоприятными динамическими факторами внешней среды. Население этих зон нередко более 70 % времени проводит в зданиях. Уже в первых работах, посвященных выяснению величины природной лучевой нагрузки, испытываемой человеком, было обнаружено, что, как правило, радиационный фон зданий заметно выше, чем на открытой местности.

В современном мире численность населения быстро возрастает. Характерной чертой общественного развития второй половины XX в. является повсеместная урбанизация жизни. На основе индустриализации производства стремительно увеличивается численность населения, проживающего в городах. Этот процесс происходит не только за счет естественного прироста, но главным образом за счет миграции людей из сельской местности. Важно при

этом отметить, что он идет главным образом за счет городов-гигантов с населением в 1 млн чел. и более.

Такая концентрация населения в городах-гигантах порождает массу экономических, социальных и особенно экологических проблем, в том числе связанных с изменением дозы облучения населения.

Из изложенного выше следует, что население можно разделить на две большие группы — городское и сельское, каждая из которых получает определенные коллективные дозы облучения. Различия в дозах облучения определены, во-первых, различным укладом жизни у городского и селького населения. Так, городское население большую часть своего времени проводит в жилых и производственных помещениях. Поэтому в коллективную дозу облучения городского населения значительный вклад вносит радиоактивность строительных материалов. Величина индивидуальной дозы для городского жителя, создаваемая строительными материалами, в среднем по России составляет 450 мкЗв/год.

На примере Волгоградской области вышесказанное можно проиллюстрировать следующим образом. Население Волгоградского региона составляет 2 695 000 чел. Из которых на долю городского населения приходится 70 %, соответственно на долю сельского — 30 %. Используя приведенные выше значения индивидуальных доз облучения, оценим коллективную дозу облучения населения Волгоградской области от строительных материалов. Ориентировочно она составит для городского населения 848,925 Зв/год. Сельское население значительно меньше времени проводит в помещениях, следовательно, доза облучения от строительных материалов, с учетом этого фактора, составит ориентировочно 227,391 Зв/год. Суммарная коллективная доза облучения для городского и сельского населения составит 1076,231 Зв/год.

С целью уточнения региональной дозы облучения населения проведены широкомасштабные исследования радиоактивности строительных материалов, применяемых в регионе, и эффективных эквивалентных доз облучения в помещениях. Анализ большого количества полученных данных показал, что население Волгоградского региона получает дозу облучения от строительных материалов на 69,4 мкЗв/год больше, чем в целом по России. С учетом конкретных значений для региона коллективные дозы облучения для городского и сельского населения составят соответственно: 979,848 и 262,459 Зв/год. Суммарная коллективная доза облучения для городского и сельского населения в этом случае составит 1242,307 Зв/год. Таким образом, проведенная оценка показала, что городское население региона получает коллективную дозу облучения, обусловленную строительными материалами, превышающую в целом по России на 130,923 Зв/год, в то же время как сельское — только на 35,069 Зв/год.

В течение всей истории люди различными способами изменяли окружающую среду. Многие из этих изменений были полезными, и человек осуществлял их сознательно, воздействуя на окружающую природу, поскольку от этих изменений зависела его жизнь. Вместе с тем хорошо известно, что некоторые результаты человеческой деятельности являются негативными.

Тема радиоактивности строительных материалов и внешней среды охватывает широкие аспекты, поэтому сложно свести воедино многочисленную информацию, относящуюся к различным дисциплинам и имеющую отношение к данному вопросу.

Основной задачей исследований строительных материалов является выявление материалов с повышенной удельной активностью естественных радионуклидов. Такие материалы представляют наибольший интерес, поскольку в отношении именно этих материалов может возникнуть необходимость ограничения их применения в строительстве. Наряду с этим исследования строительных материалов необходимо проводить для получения систематических данных об удельной активности естественных радионуклидов в строительных материалах.

В результате хозяйственной деятельности человека происходит изменение радиоактивности строительных материалов и загрязнение окружающей среды. Так, на характер формирования радиационного поля оказывает ряд обстоятельств, учесть которые без прямого исследования не всегда возможно. Комплекс работ, проведенных в лаборатории радиационного контроля Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии позволил установить, что определенную опасность с точки зрения возможного влияния на состояние здоровья людей могут представлять случаи постоянного, но низкого загрязнения окружающей среды.

Разделение строительных материалов на классы по их радиоактивности позволяет оценить все виды строительных материалов, включая отходы промышленного производства, не увеличивая степени облучения населения. Использование отходов для производства строительных материалов позволяет сохранить природные ресурсы, уменьшить загрязнение окружающей среды, сократить общие расходы, однако бесконтрольное применение их в строительных целях может одновременно привести к повышению общей дозы облучения населения. Следует также иметь в виду, что нормативы относятся не только к готовой продукции, но и сырью. В тех случаях, когда сырье в процессе изготовления строительных материалов подвергается обработке, которая может изменить суммарную удельную активность радионуклидов (промывка, обжиг, дробление и т. п.), нормативам должен удовлетворять продукт такой переработки.

Все виды контроля в строительной индустрии направлены на достижение максимального качества и безопасности людей. Поэтому радиационный контроль строительных материалов можно рассматривать как форму проверки качества продукции строительной индустрии, обеспечивающую радиационную безопасность человека как пользователя продукции.

Очевидно, что лишь радиационный контроль на уровне строительных материалов обеспечивает возможность принятия альтернативных решений уже на стадии их производства. В противном случае радиационный контроль внутри готовых зданий и сооружений сведется к простой констатации сложившийся ситуации, а ее улучшение потребует огромных, как правило, экономически неприемлемых мероприятий.

В перспективе исследования в области радиационной безопасности должны быть направлены на поиск новых экономически приемлемых технологических приемов и методов снижения уровня радиоактивности строительных материалов. На настоящем этапе работ в этом направлении практически не ведется.

На современном этапе, когда здания и сооружения возводятся из различных материалов, этих мер недостаточно. Причина этого заключается в том, что различные материалы обладают различными радиационными характеристика-

ми. Поэтому в помещениях зданий будет формироваться свой, присущий только этому помещению радиационный фон. В связи с этим необходимо производить контроль радиоактивности воздуха и уровня γ-фона во всех помещениях строящихся зданий. Вторым важным, на наш взгляд, аспектом является продолжительность такого контроля. Как известно, в процессе изготовления материалов их радиационные характеристики изменяются, т.е. нарушается радиоактивное равновесие ЕРН строительных материалов. При этом удельные активности одних ЕРН уменьшаются, других увеличиваются, а третьих остаются постоянными. С течением времени, согласно закону радиоактивного распада, в материале, а следовательно, в помещении будет наблюдаться изменение значений радиационных характеристик. Чтобы оценить степень опасности этого процесса для человека, необходимо знать его интенсивность.

Радон, торон и их продукты распада — природные компоненты внутреннего облучения человека. Их вклад в суммарную эффективную поглощенную дозу оценивают в 50 % и более. Облучение за счет дочерних продуктов радона, кроме всего, и наиболее значимо, поскольку это преимущественно α-излучатели, т. е. ионизирующее излучение, создающее большую плотность ионизации и, следовательно, обладающее более высокой биологической эффективностью.

Эффективным источником поступления радона в помещения наряду со строительными материалами является подстилающий грунт под зданием. На концентрацию радона в воздухе помещений влияют факторы, которые можно условно разделить на относительные (местонахождение, время года и суток, высота над уровнем земли, метеорологические условия), которые необходимо учитывать, и прямые факторы, которые характеризуют конкретное помещение в здании (вентиляция, диффузия из строительных материалов, наличие отверстий в междуэтажных перекрытиях и конструкциях), которыми можно регулировать концентрацию радона.

Подводя итог вышесказанному, можно сформулировать следующие выводы. Для снижения дозы облучения, вызванной ЕРН строительных материалов и концентрацией радона в помещениях, необходима организация целостной системы, обеспечивающей представительный контроль за радиоактивностью строительных материалов в жилищном и гражданском строительстве, постоянную оценку и экспертизу результатов этого контроля на соответствие строительных материалов нормативным требованиям как по уровню радиоактивности, так и возможности дальнейшего их использования, организацию работ по контролю за радоновыделением в зданиях на стадии проектирования, в процессе строительства, ввода в эксплуатацию и всего периода эксплуатации.

© Стефаненко И. В., Соколов П. Э., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Стефаненко И. В., Соколов П. Э. Состояние, перспективы и задачи развития радиационного контроля в строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 388—391.

УДК 625.748.53

Е. А. Соколова, В. Г. Диденко, С. В. Беломутенко

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ АЗС НА ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ ИХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Дан анализ эмиссии углеводородов в процессе эксплуатации автозаправочных станций

К л ю ч е в ы е с л о в а : автозаправочная станция, факторы риска.

The emission analysis of hydrocarbons in service of gas station is given.

K e y w o r d s : gasoline service station, risk factors.

При проектировании и строительстве АЗС определяющим условием их размещения должно являться обеспечение безопасности людей и окружающей природной среды. Для этого необходим учет всех экологически опасных факторов их эксплуатации. В то же время существующие требования к размещению АЗС ориентированы на обеспечение пожарной безопасности без учета влияния испарения топлива на экологическое состояние воздушной среды в зоне их размещения. Вследствие существенного увеличения объемов перевозок и количества автомобилей личного пользования АЗС становятся интенсивными источниками загрязнения среды обитания городских территорий парами углеводородов. Основной объем их поступления в атмосферу происходит при вытеснении паровоздушной смеси в процессе заполнения резервуаров АЗС — так называемых «больших дыханий». Последние растут при увеличении оборачиваемости (числа циклов приемки-отгрузки) резервуаров. Значительные выделения паров углеводородов («малые дыхания») происходят в зависимости от климатических условий при увеличении давления внутри резервуара и срабатывании дыхательных клапанов.

Для оценки этих факторов на основе натурных замеров были рассчитаны объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при заправке автомобилей и закачке топлива из автоцистерн в резервуары АЗС. Количество паровоздушных выбросов при заправке автомобилей оценивалось с учетом суточного режима работы АЗС, характеризующегося количеством заправляемых автомобилей и объемом топлива, единовременно заливаемого в баки автомобилей, а также продолжительности открытого состояния топливных баков автомобилей.

В качестве технологических характеристик процесса закачки и опорожнения топливных резервуаров АЗС принимались: период оборачиваемости резервуаров, их вместимость, количество топлива, сливаемого из автоцистерны в резервуар (из условия не более 85 % объема резервуара), и продолжительность слива. Количественные значения этих параметров представлены в табл. 1, 2.

При оценке годовых объемов выбросов АЗС расчетным методом [1] учитывались выбросы из резервуаров с нефтепродуктами при их закачке $G_{зак}$ и от топливных баков автомобилей при их заправке $G_{б.а}$, а также при проливах за счет стекания нефтепродуктов со стенок заправочных и сливных шлангов $G_{пр.р}$, $G_{пр.а}$. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 1

Средние значения вместимости топливных резервуаров

Проходимость АЗС	Вместимость резервуаров, м^3	
	Бензин	Дт
Высокая	56,7	50
Средняя	33,3	30
Низкая	45	25

Таблица 2

Средние значения годового расхода и оборота резервуаров АЗС

Проходимость АЗС	Годовой расход, м^3				Годовой оборот резервуаров, раз/год					
	Весенне-летний период		Осенне-зимний период		Весенне-летний период		Осенне-зимний период		В среднем в течение года	
	Бензин	Дт	Бензин	Дт	Бензин	Дт	Бензин	Дт	Бензин	Дт
Высокая	5292,5	1825	3546	1095	93	36	63	25	78	30
Средняя	3285	1241	2299,5	857,5	98	41	69	29	83	35
Низкая	1606,2	365	1044	219	27	15	17	9	22	20

Таблица 3

Годовые выбросы АЗС в зависимости от проходимости

Проходимость АЗС	Выбросы								Суммарные годовые выбросы G, т/год	
	из резервуаров с нефтепродуктами при их закачке $G_{зак}$, т/год		от топливных баков автомобилей при их заправке $G_{б.а}$, т/год		при проливах для резервуаров $G_{пр.р}$, т/год		при проливах для ТРК $G_{пр.а}$, т/год			
	Бензин	Дт	Бензин	Дт	Бензин	Дт	Бензин	Дт	Бензин	Дт
Высокая	2,56	0,0035	5,14	0,0081	1,1	0,146	1,1	0,146	9,9	0,3036
Средняя	1,61	0,0025	3,25	0,005	0,7	0,104	0,7	0,104	6,26	0,2155
Низкая	0,77	0,0007	1,5	0,0014	0,33	0,029	0,33	0,029	2,93	0,0605

Максимальные разовые выбросы определялись в зависимости от количества одновременно заполняемых резервуаров (автомобилей) с учетом объема сливаемых нефтепродуктов $V_{сл}$, м^3, времени слива нефтепродуктов τ, с, объемной скорости выброса паровоздушной смеси из резервуара ω, м^3/с, которая определяется пропускной способностью сливных устройств, установленных на резервуарах (20...30 м^3/ч). Результаты расчетов максимальных (разовых) выбросов загрязняющих веществ из резервуаров АЗС и баков автомобилей представлены в табл. 4, структура выбросов — в табл. 5, 6.

Таблица 4

Максимальные выбросы загрязняющих веществ

Максимальные (разовые) выбросы ЗВ из резервуаров АЗС, $M_р$, г/с		Максимальные (разовые) выбросы ЗВ при заправке баков автомобилей, $M_{Б. А/М}$, г/с	
Бензин	Дт	Бензин	Дт
8,17	0,022	0,162	0,000539

Таблица 5

Структура выбросов загрязняющих веществ

Технологический процесс АЗС	Значение концентраций в атмосфере на расстоянии *x*, м, от источника					
	10		50		100	
	При скорости ветра 0,5 м/с для АЗС					
	группы 1	группы 2	группы 1	группы 2	группы 1	группы 2
Заправка топлива в бак одного автомобиля	50...60	20...30	10...30	5...10	5...10	Менее 5
Одновременная заправка 4 автомобилей топливом различных марок	50...70	40...50	10...30	5...10	5...10	Менее 5
Одновременная заправка восьми автомобилей	80...120	80...100	5...50	5...10	5...10	5
Слив топлива в один резервуар	150...280	80...150	20...80	30...50	5...50	10...30
Одновременный слив топлива в два резервуара	150...350	120...200	50...150	50...80	5...50	10...50
При скорости ветра 2 м/с						
Заправка топлива в бак одного автомобиля	40...50	30...40	10...20	5...20	5	Менее 5
Одновременная заправка 4 автомобилей топливом различных марок	40...80	30...50	10...20	10...20	5...10	5
Одновременная заправка восьми автомобилей	70...120	50...80	10...40	10...20	5...20	5
Слив топлива в один резервуар	60...180	50...100	20...60	10...30	5...10	5...10
Одновременный слив топлива в два резервуара	100...250	80...150	50...100	20...50	10...30	5...20
При скорости ветра 5 м/с						
Заправка топлива в бак одного автомобиля	20...30	5...10	20...30	20	5	—
Одновременная заправка 4 автомобилей топливом различных марок	20	5...10	10...50	10...40	5	—

Окончание табл. 5

Технологический процесс АЗС	Значение концентраций в атмосфере на расстоянии *x*, м, от источника					
	10		50		100	
	При скорости ветра 0,5 м/с для АЗС					
	группы 1	группы 2	группы 1	группы 2	группы 2	группы 2
Одновременная заправка восьми автомобилей	30...50	20...30	20...50	10...30	—	—
Слив топлива в один резервуар	30...80	20...30	10...80	10...40	5...10	—
Одновременный слив топлива в два резервуара	50...100	40...60	30...50	20...50	5...20	5...10

Таблица 6

Расчет рассеивания выбросов АЗС

Технологический процесс АЗС	Расчетное значение концентраций вредных веществ в атмосфере, мг/м^3						
	$C_м$	$C_{ми}$		C			
	На расстоянии *x*, м, от источника						
	2,48	4,87	9,64	10	30	50	100
	При скорости ветра *u*, м/с						
	0,5	2	5	0,5			
Заправка топлива в бак одного автомобиля	75,46	30,184	11,79	27,45	2,59	1,03	0,27
Одновременная заправка четырех автомобилей топливом различных марок	224,65	89,86	35,10	81,77	7,64	3,078	0,8
Одновременная заправка восьми автомобилей	449,29	179,70	70,20	163,54	15,28	6,16	1,61
Слив топлива в один резервуар	4055,9	1622,3	633,50	1478,4	137,9	55,57	14,52
Одновременный слив топлива в два резервуара	8111,45	3244,60	1267,40	2954,57	275,79	111,13	29,01

Расчет рассеивания концентраций загрязняющих веществ проведен для типовой АЗС с четырьмя двухсторонними ТРК, расположенными по шахматной схеме. В качестве вредного вещества, выбрасываемого с территории АЗС, рассматривались пары бензина.

Расчет проводился для следующих условий:

1) заправка топлива в бак одного автомобиля (M = 0,162 г/с, *D* = 0,05 м);

2) одновременная заправка четырех автомобилей топливом различных марок (M = 0,65 г/с, *D* = 0,2 м);

3) одновременная заправка восьми автомобилей (M = 1,3 г/с, *D* = 0,4 м);

4) слив топлива в один резервуар (M = 8,17 г/с, *D* = 0,05 м);

5) одновременный слив топлива в два резервуара (M = 16,34 г/с, *D* = 0,1 м).

Для оценки соответствия расчетных значений концентраций вредных веществ в атмосфере их фактическим значениям в условиях естественного рассеивания были проведены натурные замеры. Для этого были выделены две группы АЗС в зависимости от территориальных особенностей их расположения:

в замкнутом пространстве окружающей застройки;

на открытом пространстве или значительном (более 100 м) удалении от близ расположенных зданий.

Таблица 7

Результаты измерения концентрации углеводородов

Наименование нефтепродукта	Углеводороды				
	Предельные			Непредельные (по амиленам)	Ароматические всего
	Всего	В том числе			
		C_1–C_5	C_6–C_{10}		
При заполнении баков автомобилей					
Бензин А-76	93,85	75,47	18,38	2,50	3,65
	0,152	0,1223	0,0298	0,0041	0,0059
Бензин (Аи-92 — Аи-95)	92,68	67,67	25,01	2,50	4,82
	0,15	0,11	0,04	0,0041	0,0078
Дизельное топливо	99,57	—	—	—	0,15
При закачке топлива в резервуары					
Бензин А-76	93,85	75,47	18,38	2,50	3,65
	7,66	6,16	1,5	0,2	0,3
Бензин (Аи-92 — Аи-95)	92,68	67,67	25,01	2,50	4,82
	7,57	5,53	2,04	0,2	0,39
Дизельное топливо	99,57	—	—	—	0,15

Каждая из групп АЗС включала 4 двухсторонние топливораздаточные колонки (ТРК), расположенные по шахматной схеме, и 4 подземные резервуара для топлива. Измерения проводились при выполнении технологических операций АЗС и метеоусловиях, регламентированных нормативами теплого периода года (табл. 6). Точки измерения располагались на заданных расстояниях

по направлению движения воздуха от источника выбросов. В каждой точке проведено 3 замера с осреднением в характерные периоды суток. Результаты измерений приведены в табл 7.

Сравнительный анализ позволяет сделать вывод о наличии определенных расхождений между данными измерений и результатами расчетов. Очевидна зависимость уровней концентрации загрязняющих веществ в атмосфере от планировки и характера застройки мест размещения АЗС, от метеоусловий и интенсивности сливо-наливных операций, а также технологических особенностей АЗС. Таким образом, при оценке АЗС как экологически опасных объектов городской инфраструктуры необходимо принимать во внимание все перечисленные факторы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух / под ред. В. Б. Миляева. СПб. : Интеграл, 2005.

1. Metodicheskoye posobiye po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferny vozdukh / pod red. V. B. Milyayeva. SPb. : Integral, 2005.

© Соколова Е. А., Диденко В. Г., Беломутенко С. В., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Соколова Е. А., Диденко В. Г., Беломутенко С. В. Оценка факторов воздействия выбросов АЗС на воздушную среду их рабочей зоны и прилегающих территорий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 392—397.

УДК 628.511.1

В. Н. Азаров, Е. А. Калюжина

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА PM_{10} И $PM_{2,5}$ НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОГРАДА

Рассматриваются этапы проведения мониторинга. По результатам измерения был определен дисперсный состав пыли, а также доли массы частиц мелких фракций пыли в воздушной среде города.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мониторинг, пыль PM_{10} и $PM_{2,5}$.

The stages of the monitoring are described. The particle size distribution, and also the mass fraction of the particles of dust fine fractions in the air of the city was determined according to results of the measuring operation.

K e y w o r d s: monitoring, dust PM_{10} and $PM_{2,5}$.

Всемирной организацией здравоохранения взвешенные частицы, особенно мелкие частицы размером менее 10 мкм (PM_{10} и $PM_{2,5}$), по уровню влияния на здоровье населения отнесены к опасным загрязняющим веществам, поступающим в атмосферный воздух.

Основными источниками суммарных антропогенных выбросов первичных PM_{10} являются: автотранспортное движение (10—25 %), сжигание топлива на стационарных установках (40—55 %) и технологические процессы в промышленности (15—30 %). Основным источником поступления пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$ является автомобильный транспорт, а другим важным источником поступления пыли (26—34 %) является дальний перенос от источников, не относящихся к транспортным средствам [1].

Важность рассматриваемого вопроса подтверждается возросшим числом исследований, посвященным связи между концентрацией в атмосфере PM_{10} и $PM_{2,5}$ и целым рядом последствий для здоровья человека. Доказано, что на здоровье населения оказывает влияние как краткосрочное (среднее за 24 часа), так и длительное (среднее за год) воздействие взвешенных веществ атмосфере, поэтому актуально снижение этих воздействий. Стратегия снижения включает в себя первоначальный мониторинг, далее разработку и планирование мероприятий по снижению уровня загрязнения и внедрение технологий, позволяющих улучшить качество воздуха.

Мониторинг PM_{10} и $PM_{2,5}$ необходим для оценки влияния загрязнения воздуха на здоровье и для планирования рациональных мер по оптимизации природозащитных технологий, улучшающих качество воздуха. Под качеством атмосферного воздуха понимают совокупность свойств атмосферы, определяющих степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом.

Мониторинг воздушной среды позволяет получить информацию о следующих факторах:

концентрации пыли в определенных точках;

пространственном и временном распределении пыли на местности;

химическом составе пыли;

зависимости концентрации пыли от близости источника выбросов.

Согласно проводимому мониторингу, повышенная концентрация загрязнителей наблюдается неподалеку от источников загрязнения, а с ростом интенсивности автотранспортных потоков в городах наиболее загрязненные территории переместились из промышленных зон в места компактного проживания населения. Концентрация пыли за последние десять лет возросла на 10—15 % и соответственно возросли концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$.

Планирование мониторинга состоит из нескольких этапов:

1) выбор территории объекта наблюдения (городской район, пригород, промышленный район, сельская местность, с фоновым уровнем загрязнения);

2) определение размеров объекта наблюдения (в зоне промышленного предприятия, рядом с автомагистралью, в районе населенного пункта);

3) установка необходимого количества станций мониторинга;

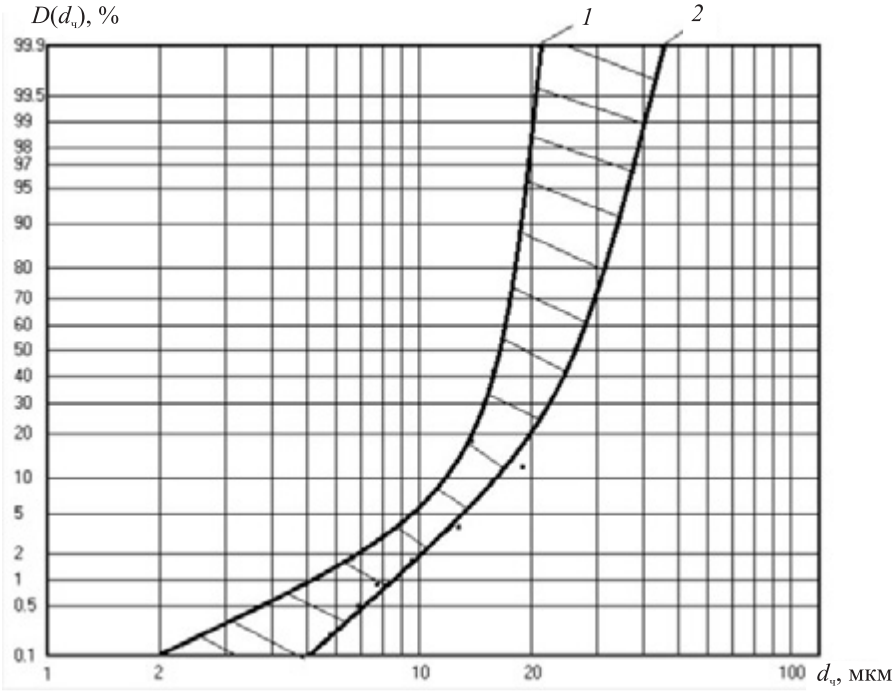
4) контроль каждой станции мониторинга определенных типов загрязнителей [2].

На этапе планирования мониторинга необходимо собрать основополагающую информацию о территории, где проводится оценка, включая следующее: план местности; пространственное распределение промышленных предприятий (типов объектов); маршруты важнейших автомагистралей; данные о состоянии выбросов, поступающих от всех значимых точечных источников загрязнения; топографические и метеорологические данные, характеризующие рассеивание газообразных выбросов и явления их переноса; территориальное распределение населения, проживающего на данной территории, и состояние его здоровья. Могут быть полезными не только любые сведения о загрязняющих атмосферный воздух выбросах и их концентрациях за предшествующие годы, но и результаты наблюдений о нанесении ущерба природной среде вследствие ее загрязнения [3].

Одним из основных элементов анализа качества атмосферного воздуха является отбор проб. При этом надо учесть, что на результаты измерения пыли оказывает влияние время года, поскольку рассеивающая способность атмосферы изменяется от сезона к сезону, что становится особенно заметным при смене нормальных условий на экстремальные. Для оценки диапазона возможных колебаний концентраций загрязняющих веществ на конкретной территории обычно требуется от 6 до 12 месяцев [3].

Согласно вышеизложенному методу планирования мониторинга, был проведен анализ дисперсного состава пыли в воздушной среде города Волгограда в Центральном районе. Отбор проб в атмосферном воздухе проводят согласно РД 52.04.186—89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». Продолжительность отбора проб воздуха для определения разовых концентраций составляет 20 минут в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02—78.

Оформление и обработка результатов проводилась согласно методике [4]. Полученные данные дисперсного анализа пыли представлены в виде интегральных кривых (рисунок).



Интегральные кривые распределения массы частиц D ($d_ч$) по диаметрам уловленной пыли в вероятностно-логарифмической сетке, отобранной: *1* — в час малой интенсивности движения; *2* — в часы пиковой активности автотранспорта

В результате проведенных исследований была определена доля частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, которая составляет соответственно 1,5—7 % и 0—0,25 % от общей массы частиц. Необходимо отметить наличие в воздухе частиц данных фракций даже при высокой влажности воздуха.

Таким образом, результаты, полученные при проведении мониторинга воздушной среды г. Волгограда, позволили определить доли частиц мелких фракций пыли и изменение дисперсного состава пыли, что позволяет определить необходимость проведения мероприятий по улучшению качества воздуха с целью обеспечения экологической безопасности окружающей среды и охраны здоровья человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. № 85.

2. Управление качеством атмосферного воздуха на основе факторов здоровья в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Отчет о консультативном совещании ВОЗ. Москва, Российская Федерация, 30—31 мая 2005 г.

3. Рамочный план организации мониторинга взвешенных веществ в атмосфере в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии / ВОЗ, Европейский центр по окружающей среде и охране здоровья, Бонн. 2006.

4. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) / В. Н. Азаров, В. Ю. Юркъян, Н. М. Сергина, А. В. Ковалева // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 1. С. 46—48.

1. Monitoring kachestva atmosfernogo vozdukha dlya otsenki vozdeystviya na zdorove cheloveka // Regionalnyye publikatsii VOZ. Yevropeyskaya seriya. № 85.

2. Upravleniye kachestvom atmosfernogo vozdukha na osnove faktorov zdorovya v stranakh Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentralnoy Azii. Otchet o konsultativnom soveshchanii VOZ. Moskva, Rossiyskaya Federatsiya, 30—31 maya 2005 g.

3. Ramochny plan monitoringa vzveshennykh veshchestv v atmosfere v stranakh Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentralnoy Azii / VOZ, Yevropeyski tsentr po okruzhayushchey srede i okhrane zdorovya, Bonn. 2006.

4. Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniyem personalnogo kompyutera (PK) / V. N. Azarov, V. Yu. Yurkyan, N. M. Sergina, A. V. Kovaleva // Zakonodatelnaya i prikladnaya metrologiya. 2004. № 1. S. 46—48.

© Азаров В. Н., Калюжина Е. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Азаров В. Н., Калюжина Е. А. Об организации мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ на примере г. Волгограда // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 398—401.

УДК 628.511.13

В. Н. Азаров, И. В. Тертишников, Е. А. Калюжина, Н. А. Маринин

ОБ ОЦЕНКЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ (PM_{10} И $PM_{2,5}$) В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

Важной проблемой экологии большинства городов является загрязнение воздуха. Исследования показывают, что наибольшую опасность для организма человека представляют частицы пыли размером до 10 мкм, причем от 40 до 90 % пылинок имеют размеры менее 2 мкм. Для удобства определения концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ использовался метод «рассечения», который позволит наглядно представить значение данных нормативов [1].

К л ю ч е в ы е с л о в а : источники загрязнения, атмосферный воздух, частица, жилая зона, химические элементы.

The crucial problem of the ecology in most cities is the air pollution. The research are shown that dust particles with the diameter up to 10 micrometer (and also from 40 to 90 % of dust particles have the diameter less than 2 micrometer) are entered the greatest danger for the human organism. The “section” method which is allowed visually to present the importance of the given norms of is used for the convenience of the concentration determination of PM_{10} and $PM_{2,5}$ [1].

K e y w o r d s : sources of pollution, atmospheric air, particle, living area, chemical elements.

В связи с высокой насыщенностью источников загрязнения на промышленных предприятиях уровень загрязнения воздуха на источниках выбросов, как правило, существенно выше, чем в жилой зоне. В отдельные периоды, неблагоприятные для рассеяния выбросов, концентрация вредных веществ в жилой зоне может сильно возрасти относительно среднего и фонового городского загрязнения. Частота и продолжительность периодов высокого загрязнения атмосферного воздуха будут зависеть от режима выбросов вредных веществ (разовых, аварийных и др.), а также от характера и продолжительности метеоусловий, способствующих повышению концентрации примесей в приземном слое воздуха.

В мировой практике с учетом рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в ряде стран, в том числе и в России, осуществлен переход на нормирование содержания в воздушной среде частиц пыли с размерами не более 2,5 мкм (или) 10 мкм. При вдыхании частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ они проникают в верхние дыхательные пути и легкие, что вызывает повреждение легочной ткани, респираторные заболевания [2].

Впервые в Европе нормативные концентрации для PM_{10}, основанные на рекомендациях Всемирной организации здравоохранения, были установлены в Директиве Европейской Комиссии 1999/30/ЕС в 1999 г. В соответствии с требованиями с 1 января 2005 г. предельные среднегодовые концентрации PM_{10} не должны превышать 40 мкг/м, а 24-часовые концентрации PM_{10} не должны превышать 50 мкг/м^3 более 35 дней в календарном году.

Основным отличием подходов Российской Федерации было отсутствие в перечне контролируемых загрязнителей взвешенных веществ, классифицируемых по размерам (PM_{10} — частицы размером менее 10 мкм, $PM_{2,5}$ — частицы размером менее 2,5 мкм). Следует отметить, что результаты ряда исследова-

тельских проектов свидетельствуют о целесообразности нормирования мелких частиц (PM_{10} и $PM_{2,5}$) вследствие их различного действия на организм человека и длительности нахождения во взвешенном состоянии в воздухе.

В настоящее время в России введены в действие гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10 [1], которые с 21 июня 2010 г. устанавливают предельно допустимую концентрацию (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, мг/м^3, для взвешенных частиц размером менее 10 мкм (PM_{10}) и для частиц размером менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$).

В качестве примера проведения работ по исследованию концентраций PM_{10} и $PM_{2,5}$, а также выявлению вредных примесей в виде аэрозолей (пыли) был проведен производственный экологический контроль источников пыления в производственной зоне ГРЭС и в жилой зоне. Для определения влияния выбросов в атмосферу на элементный состав пылевого загрязнения были отобраны пробы на источнике пыления (золоотвал) и в жилой зоне, находящейся в окружении ГРЭС. Для оценки максимально разовой концентрации использовался микроскопический метод дисперсионного анализа с применением ПК [3]. По полученным данным были построены интегральные кривые (рис. 1).

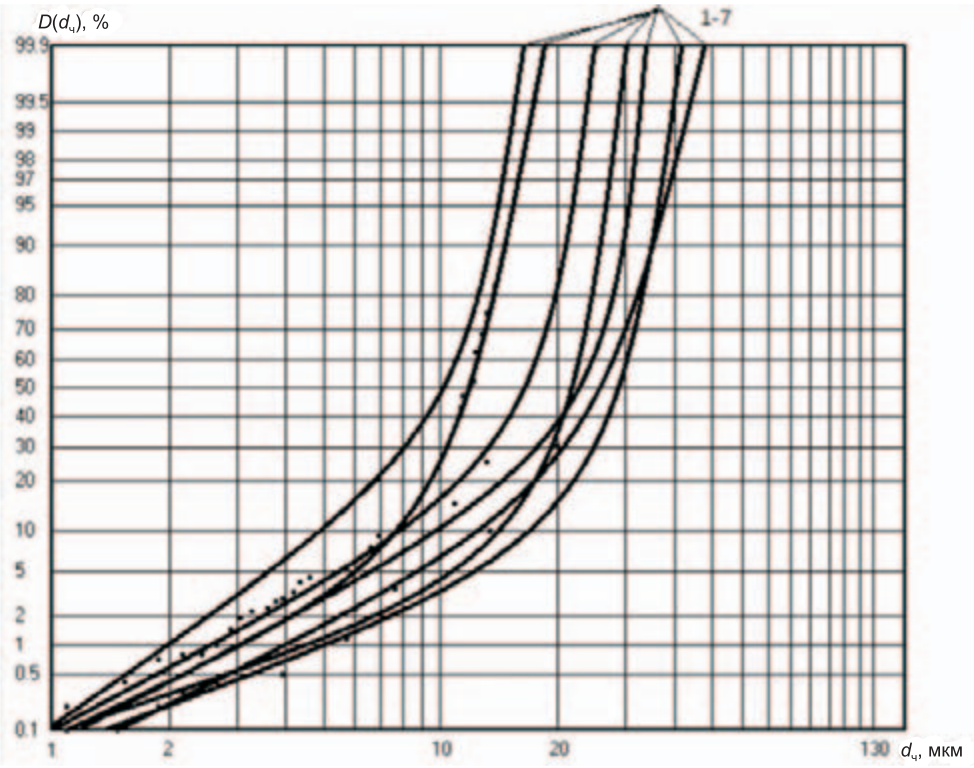


Рис. 1. Интегральные функции распределения массы частиц по диаметрам. Результаты отобранных проб в воздушной среде жилой территории возле ГРЭС

Одной из проблем при обработке результатов дисперсного состава пыли явилось то, что вид кривой, описывающей дисперсный состав пыли, сильно зависит от доли крупных фракций, хотя мелкие превосходят их по количественно-

му составу. Попадание в одну из проб даже нескольких крупных частиц приводит к значительным изменениям функции прохода пыли, которую в результате этого целесообразно рассматривать как случайную. Отделение от генеральной совокупности крупных частиц пыли позволяет определить функцию прохода мелких фракций пыли. Поэтому, если рассматривать отдельно распределение мелких фракций пыли и отдельно распределение крупных, в итоге получим две различные функции прохода.

Для анализа полученных результатов, выявления закономерностей распределения предлагается метод «рассечения» [4], согласно которому рассматривают отдельно мелкие и крупные фракции, т. е. интегральную функцию распределения массы частиц по диаметрам заменяем на две: одна интегральная кривая $D_м$ — для мелких фракций, другая $D_{кр}$ — для крупных фракций.

Для проведения анализа проведем рассечение по диаметру 20 мкм. Значение 20 мкм выбрано исходя из соображений удобства проведения расчета и точного отображения полученных результатов. Функция прохода для совокупности мелких фракций для гипсовой пыли $D_м(d_ч)$ в нашем случае будет равной 20 мкм [2].

Затем построим интегральные функции распределения массы частиц отдельно для пыли до 20 мкм и пыли более 20 мкм. Проведем это «рассечение» для каждой из кривых *1—7* (см. рис. 1) и представим полученные значения интегральных функций распределения на рис. 2.

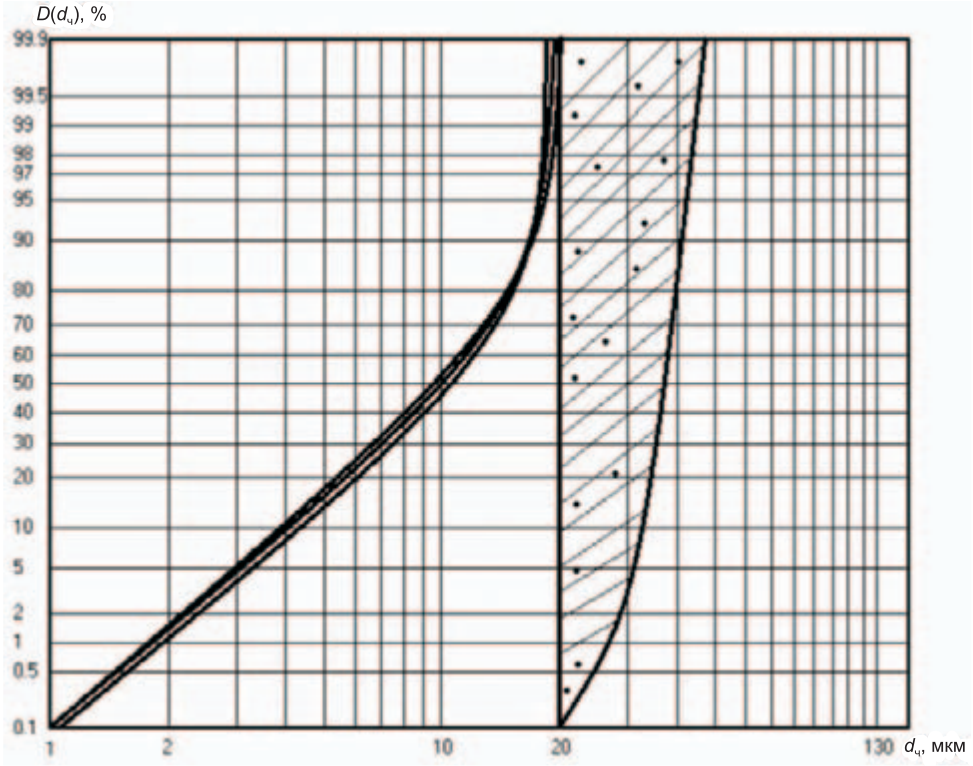


Рис. 2. Значения интегральных функций распределения для крупных и мелких частиц пыли, отобранных в воздушной среде ГРЭС

По полученным данным можно сделать вывод, что левые части графиков *1—7* (см. рис. 1) сложились в одну кривую $D_м$ в левой части (см. рис. 2), и, следовательно, дисперсный состав мелких фракций можно описать детерминированной кривой.

Правые части графика *1—7* на рис. 1 (δ больше 20 мкм) переходят в правую часть рис. 2 пучком кривых и поэтому уместно рассматривать $D_{кр}(\delta)$ как случайную функцию, определенную в данном случае как δ больше 20 мкм. После применение метода «рассечения» из графика можно определить концентрации пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$, которая выделяется в воздух рабочей зоны на предприятии по производству гипса. Доля частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ будет составлять соответственно 53 и 3,8 % от массы частиц размером до 20 мкм.

Результаты измерения показывают, что кривую можно описать двумя функциями: детерминированной для мелких фракций и случайной для крупных частиц.

В результате измерений и проведенного исследования получены результаты:

для пыли от источника загрязнения (золоотвал ГРЭС) **оценка содержания элементов, весовой %:** элементы до F — 49,85: Si — 28,63; Al — 13,93; Fe — 3,89; Ca — 1,37; Ti — 0,8; K — 0,67; P — 0,24; Mg — 0,15; Ba — 0,13; Na — 0,09; S — 0,08; Mn — 0,07; Sr — 0,05; Zr — 0,03; Cl — 0,011; Cu — 0,01; Zn — 0,009; Y — 0,006; Ni — 0,002;

для пыли в воздушной среде жилой зоны **оценка содержания элементов, весовой %:** элементы до F — 65,94: Cl — 33,3; Si — 0,37; Al — 0,15; Fe — 0,1; K — 0,011; Na — 0,04; Ca — 0,035; Ti — 0,024; S — 0,013; Mn — 0,004.

При этом элементы до F состоят из химических элементов, атомная масса которых ниже 18 (в т. ч. водород, углерод, азот, кислород). Анализируя элементный состав отобранных проб, следует обратить внимание на высокое процентное содержание алюминия и кремния как в золоотвале, так и в воздушной среде, что позволяет выдвинуть гипотезу о наличии в пробах минеральной пыли — цеолитов. В организм человека попадает минерал, имеющий пористую структуру и уже сорбировавший из окружающей среды вредные для человека химические соединения, которые могут оказывать на организм вторичное поражающее воздействие. Для подтверждения (опровержения) существующей гипотезы следует провести исследование сорбирующих свойств пыли в пробах и дальнейшее исследование проводить с учетом полученных результатов.

Таким образом, проведение исследований показывает, что при анализе пылевого загрязнения в жилой зоне необходимо учитывать следующее:

элементный состав загрязняющих веществ в пыли на источниках загрязнения, источниках выбросов и в жилой зоне не совпадает. Ряд элементов, присутствующих в источниках выбросов, не доходит до жилой зоны (рассеивается, оседая в поверхностном слое почвы);

уменьшение доли металлов (в т. ч. тяжелых), увеличение доли элементов до фтора указывает на то, что при расчете рассеивания и оценке других гигиенических нормативов (например, PM_{10} и $PM_{2,5}$) следует учитывать как плотность веществ, так и размер частиц;

исследуя загрязнение жилой зоны, необходимо учитывать сорбирующие свойства минеральной пыли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гигиенические нормативы : ГН 2.1.6.2604-10 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

2. *Азаров В. Н., Есина Е. Ю., Азарова Н. В.* Анализ дисперсного состава пыли в техносфере : учебное пособие. Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. 46 с.

3. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) / В. Н. Азаров, В. Ю. Юркъян, Н. М. Сергина, А. В. Ковалева // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 1. С. 46—48

4. *Азаров В. Н., Тетерева Е. Ю., Маринин Н. А.* Метод «рассечения» как способ оценки дисперсного состава пыли в инженерно-экологических системах строительных производств // VIII Международная конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды», г. Самарканд. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. С. 120—126.

1. Gigiyenicheskiye normativy : GN 2.1.6.2604-10 «Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukhe naselennykh mest».

2. *Azarov V. N., Yesina Ye. Yu., Azarova N. V.* Analiz dispersnogo sostava pyli v tekhnosfere : uchebnoye posobiye. Volgograd : VolgGASU, 2008. 46 s.

3. Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniyem personalnogo kompyutera (PK) / V. N. Azarov, V. Yu. Jurkyan, N. M. Sergina, A. V. Kovaleva // Zakonodatelnaya i prikladnaya metrologiya. 2004. № 1. S. 46—48.

4. *Azarov V. N., Tetereva E. Yu., Marinin N. A.* Metod «rassecheniya» kak sposob otsenki dispersnogo sostava pyli v inzhenerno-ekologicheskikh sistemakh stroitelnykh proizvodstv // VIII Mezhdunarodnaya konf. «Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy», g. Samarkand. Volgograd : VolgGASU, 2010. S. 120—126.

© Азаров В. Н., Тертишников И. В., Калюжина Е. А., Маринин Н. А., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$) в воздушной среде / В. Н. Азаров, И. В. Тертишников, Е. А. Калюжина, Н. А. Маринин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 25(44). С. 402—406.

УДК 502.3:504.5:69(492)

В. Н. Азаров, Е. В. Горшков, А. Ю. Недре, В. И. Воробьёв

О НЕКОТОРЫХ МЕРАХ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ (PM_{10} И $PM_{2,5}$) НА ОСНОВЕ ОПЫТА НИДЕРЛАНДОВ

Представлен обзор методов сокращения выбросов в атмосферу твердых взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, применяемых в строительной индустрии Нидерландов, оценена возможность применения данных мер для сокращения загрязнения окружающей среды на различных этапах строительства и производства стройматериалов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: строительная индустрия, загрязнение воздуха, взвешенные частицы, здоровье населения.

The overview of methods to reduce emissions of particulate suspended matters PM_{10} and $PM_{2,5}$ which are used in the construction industry of the Netherlands is represented. The estimation of the possibility of application of these measures to reduce environmental pollution at various stages of construction and production of building materials is described.

K e y w o r d s: building industry, air pollution, suspended matters, population health.

Строительная отрасль негативно воздействует на окружающую среду, что проявляется на всех этапах технологической цепочки: от получения стройматериалов и эксплуатации готовых объектов до их сноса и утилизации образовавшихся отходов.

Но во всем мире строительство является одним из «локомотивов» экономического развития, поэтому любые ограничения в этой сфере всегда воспринимаются бизнесом достаточно агрессивно. В связи с этим власти стараются минимизировать степень своего давления, хотя и до определенного периода. В США и Европе с конца 80-х — начала 90-х гг. XX в. с развитием социальной политики был запущен процесс внедрения природоохранного законодательства во все сферы жизни общества и, в частности, в строительную сферу. Не в последнюю очередь это было связано с усилением внимания к состоянию здоровья человека, являющегося неоспоримой ценностью для любого государства, рассчитывающего на долгую и плодотворную деятельность своих граждан при снижении уровня страховых нагрузок за счет улучшения условий труда и качества окружающей среды.

Россия пошла своим путем. Сначала на волне попытки гармонизации с европейским природоохранным законодательством в 1990-е годы были предприняты шаги по «экологизации» экономики, в том числе и строительной отрасли. В частности, была введена процедура ОВОС в соответствии со Сводом Правил СП 11-101-95 «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений», принятому и введенному в действие постановлением Минстроя России от 30.06.95 № 18-63 [1]. Правовое регулирование природоохранной деятельности в строительстве стало осуществляться в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей природной среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ [2].

От застройщиков стали требовать разработку раздела проекта «Охрана окружающей среды», включающего общую характеристику экологической ситуации на площадке строительства и прилегающих территориях, решение задач очистки сточных вод, уничтожения и утилизации образующихся выбросов и отходов, характеристику источников выбросов вредных веществ в атмосферу и комплекс мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения; мусороудаление, разработку и осуществление мероприятий по защите от шума, электромагнитных излучений, радиационного загрязнения и других факторов [3].

Однако в «нулевые» годы в связи с отказом от разработки и соблюдения экологических требований в угоду экономическому развитию, при отсутствии или несоблюдении существующего национального природоохранного законодательства все отрасли российской экономики (правда, работавшие на внутренний рынок) перестали обращать внимание на охрану природы. Не стала исключением и строительная отрасль. Поскольку вообще отказаться от экологической тематики не получилось, главное внимание перенесли на характер и объем образующихся при строительстве отходов: именно плата за их образование, размещение и утилизацию стала «головной болью» эколога любой строительной компании. Влияние строительства на состояние здоровья человека вообще перестало интересовать кого-либо, кроме самого человека, вынужденного проживать в районе строительства. Кроме того, в отличие от мировой практики, в России в условиях отсутствия настоящей страховой медицины степень воздействия внешних факторов на состояние здоровья человека вообще не рассматривается.

В то же время современные исследования европейских специалистов доказывают, что строительная деятельность оказывает существенное воздействие на здоровье человека, в связи с чем требуются особые меры защиты и ограничения, направленные на улучшение ситуации. В качестве примера цивилизованного отношения государства к своим гражданам хотелось бы рассмотреть Нидерланды. Власти озаботились низким качеством воздуха в некоторых районах страны, что стало причиной преждевременной смерти тысяч людей от рака легких, тромбозов и сердечно-сосудистых заболеваний. Ученые и врачи связали этот рост смертности с высоким уровнем содержания загрязнителей и прежде всего PM_{10} и $PM_{2,5}$. Состоялись парламентские слушания, в результате которых было принято решение провести анализ ситуации в строительной отрасли и выявить пути снижения негативного воздействия на здоровье человека, используя опыт Швейцарии, Германии и Фландрии.

Министерство окружающей среды Нидерландов заказало компании CE Delft проект по обзору выбросов твердых частиц и источников выбросов в строительной отрасли, анализ цепочки поставок и разработку мер по снижению негативного воздействия строительного комплекса на состояние атмосферного воздуха [4]. В результате работ были получены следующие данные.

Строительный комплекс включает в себя добычу и производство сырья, строительство зданий и сооружений с использованием стройматериалов, снос зданий и переработку оставшихся от строительства отходов. На каждом этапе существуют свои источники выбросов и, соответственно, свои проблемы:

например, на этапе добычи сырья это выбросы от его добычи и перевалки и их воздушный перенос, а также выбросы от дизельного топлива, а на этапе производства строительных материалов основным становится выброс дымовых газов от промышленных печей.

В результате реализации проекта были произведены подсчеты годичных выбросов твердых частиц для страны в целом, которые составили 3300...5200 т PM_{10} и 2300...2500 т $PM_{2,5}$. Что касается последних, почти треть из них (около 1000 т) дает дизельная сажа, по 600 т «добавляется» непосредственно из строительного процесса и образующейся на площадках строительной пыли, и от 100 до 300 т пыли развеивается ветром.

Значит, наиболее весомый вклад в загрязнение воздуха как на рабочих местах, так и в районах, прилегающих к месту строительства, дает дизельный транспорт и аппаратура на дизеле, а также строительная пыль.

Соответственно, в первоочередном порядке необходимо вырабатывать меры по снижению выбросов от этих источников, включая непосредственную установку фильтров твердых частиц на дизели и/или увеличение доли электроприборов на стройке, расширение использования водного транспорта при транспортировке сырья, применение мер по снижению объема образующейся пыли (использование воды, покрытий для отвалов и грунтов, смачивание строительного мусора перед утилизацией и т. д.).

Безусловно, внедрение этих мер приведет к дополнительной финансовой нагрузке на строительный бизнес, но в силах властей на региональном и муниципальном уровнях использовать широкий спектр финансовых стимулов, вести переговоры с промышленниками с целью включения обязательных критериев и схем сертификации в строительный бизнес, а иногда вводить и обязательные меры с целью улучшения условий труда и жизни граждан.

Исходим из того, что голландская схема решения проблемы выбросов в строительном секторе найдет понимание у отечественных застройщиков и поможет перейти к конкретным шагам по снижению загрязнения воздуха в интенсивно застраиваемых российских городах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 11-101-95. Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. Система нормативных документов в строительстве : свод правил / М-во строительства Росс. Федерации (Минстрой России) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.remgost.ru/sp_doc/sp-11-101-95 (дата обращения: 14.11.2011).

2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ // Национальный портал «Природа России» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://priroda.ru/law/detail.php?ID=6267 (дата обращения: 14.11.2011).

3. Практическое пособие к СП 11-101-95 по разработке раздела «Оценка воздействия на окружающую среду» при обосновании инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений / Госстрой России [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vioti.ru/index.php/spravka/9-sp11-101-95 (дата обращения: 14.11.2011).

4. *Croezen H., Schroten A., Singels K.* Particulate emissions in the building industry and its supply chain [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cedelft.eu/publicatie/particulate_emissions_in_the_building_industry_and_its_supply_chain/450 (дата обращения: 14.11.2011).

1. SP 11-101-95. Poryadok razrabotki, soglasovaniya, utverzhdeniya i sostav obosnovani investitsi v stroitelstvo predpriyati, zdani i sooruzheni. Sistema normativnykh dokumentov v stroitelstve : svod pravil / M-vo stroitelstva Ross. Federatsii (Minstroy Rossii) [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: http://www.remgost.ru/sp_doc/sp-11-101-95 (data obrashcheniya: 14.11.2011).

2. Federalny zakon «Ob okhrane okruzhayushchey sredy» ot 10 yanvarya 2002 goda № 7-FZ / Natsionalny portal «Priroda Rossii» [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: http://priroda.ru/law/detail.php?ID=6267 (data obrashcheniya: 14.11.2011).

3. Prakticheskoye posobiye k SP 11-101-95 po razrabotke razdela «Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu» pri obosnovanii investitsi v stroitelstvo predpriyati, zdani i sooruzheni / Gosstroy Rossii [Elektronny resurs]. 1998. Rezhim dostupa: http://www.vioti.ru/index.php/spravka/9-sp11-101-95 (data obrashcheniya: 14.11.2011).

4. *Croezen H., Schroten A., Singels K.* Particulate emissions in the building industry and its supply chain [Elektronical resourse]. Access mode: http://www.cedelft.eu/publicatie/particulate_emissions_in_the_building_industry_and_its_supply_chain/450 (last accessed data: 14.11.2011).

© Азаров В. Н., Горшков Е. В., Недре А. Ю., Воробьёв В. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

О некоторых мерах по снижению выбросов в атмосферный воздух твердых частиц (PM_{10} и $PM_{2,5}$) на основе опыта Нидерландов / В. Н. Азаров, Е. В. Горшков, А. Ю. Недре, В. И. Воробьёв // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 407—410.

УДК 631.312

Ю. Г. Лапынин

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Рассмотрен бестраншейный способ прокладки инженерных коммуникаций, который обеспечивает расширение возможностей — протяженности и глубины прокладки трубопроводов под различными препятствиями. При этом достигается повышение экологической безопасности и соблюдение современных природоохранных требований на значительных расстояниях и глубинах прокладки трубопроводов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологическая безопасность, бестраншейный способ, трубопровод, пилотная скважина, гибкое соединение.

The trenchless laying method of the engineering lines which is provided the enhancements of sweep and depth of laying pipelines under the different barriers is described. The advancement of the environment safety and the maintenance of the modern environmental requirements on considerable distances and depths of laying pipelines will be attained.

K e y w o r d s: environmental safety, trenchless method, pipeline, pilot drill hole, flexjoint.

В настоящее время из-за устойчивой тенденции увеличения объемов городского и промышленного строительства, реконструкции сложившейся части городов и промышленных предприятий, дальнейшего их развития возникает необходимость в сооружении новых подземных инженерных коммуникаций различного назначения: канализаций, водопроводов, тепловых сетей и т.д.

Прокладка подземных коммуникаций открытым — траншейным — способом сопряжена с определенными трудностями. Это и необходимость разрушения, а затем восстановления дорожных покрытий (нарушение движения транспорта), и загрязнение окружающей среды. Открытая прокладка трубопроводов практически невозможна под зданиями и сооружениями [1].

Бестраншейные технологии — один из экологически чистых и эффективных способов прокладки инженерных сетей при пересечении различного рода препятствий (водные преграды, автомобильные и железные дороги, существующие инженерные сети, сооружения, парки, сады, скверы и пр.). Рытье траншей вблизи деревьев может нарушить их корневую структуру, и зеленые насаждения погибнут, также это может произойти из-за понижения грунтовых вод, вызванных рытьем каналов, что вызовет засыхание окружающей флоры [2].

С целью повышения экологической безопасности и соблюдения природоохранных требований при прокладке инженерных коммуникаций на значительных расстояниях и глубинах разработан бестраншейный способ прокладки трубопроводов под преградами [3, 4].

В качестве примера рассмотрим прокладку коммуникаций под водной преградой [5]. Для бестраншейной прокладки нефтяного или газового трубопровода большого диаметра (или пары трубопроводов) под преградой осуществляют проходку и расширение скважин или двух параллельных скважин. Для этого на одном берегу *1* водной преграды *2* (рис. 1) устанавливают буровую установку *4*, а на противоположном *3* — тяговое устройство *5*. Расстояние между

установкой *4* и устройством *5* может достигать 12 км. Проходку скважины начинают с формирования устья *6* и последующего бурения. Пробуренную пилотную скважину расширяют с помощью турбобура и специального долота (будет показано ниже) и обустраивают обсадными трубами (колонами). Внутренний диаметр обсадных колонн больше диаметра трубопровода.

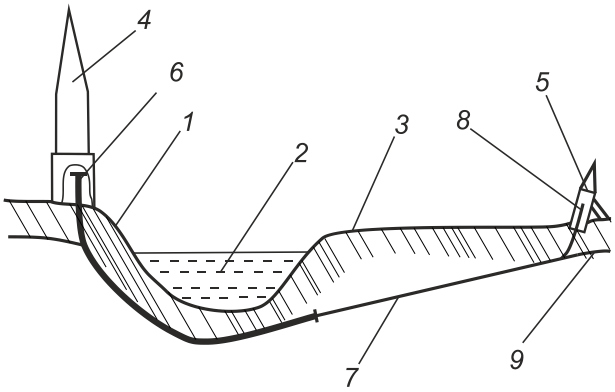


Рис. 1. Схема типового примера реализации способа бестраншейной прокладки трубопроводов

После этого, используя обсадные колонны в качестве кондуктора, продолжают проводку пилотной скважины, причем в колонну бурильных труб размещают гибкую связь, которую после завершения бурения соединяют с тяговым устройством *5* на конце скважины. Затем производят расширение скважины *7* — ответвление *8* расширенной скважины плавно приподнимают и заводят в тяговое устройство *5*, а конец *9* скважины является продолжением монотонно возвышающейся скважины *7* и началом линейной части трубопровода (см. рис. 1).

Диаметр расширенной скважины превышает диаметр обсадной колонны для упрощения операций по ее протаскиванию. Этому служит и установленный на конце обсадной колонны наружный конусообразный центратор *1*, а для центрирования трубопровода относительно обсадной колонны устанавливают внутренний цилиндрический центратор *2* (рис. 2, *а*).

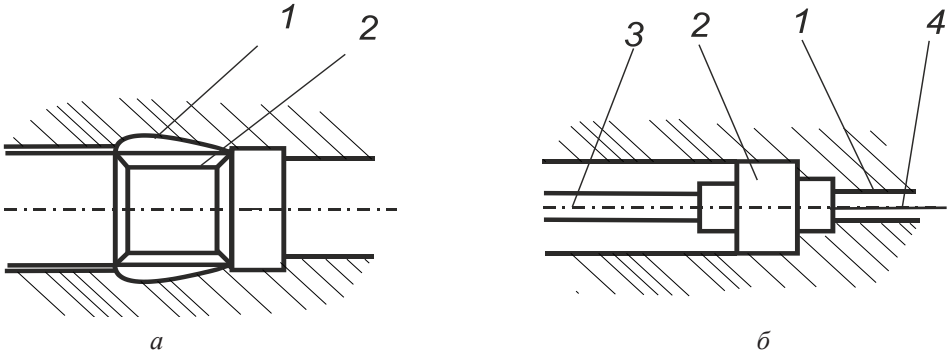


Рис. 2. Расширение скважины: *а* — установка центраторов на конце обсадной колонны; *б* — расширение пилотной скважины турбобуром

Расширение пилотной скважины *1* осуществляют турбобуром со ступенчатым долотом *2*, турбобур соединяют с бурильной колонной *3*, а долото — с указанной гибкой связью *4*. Расширение скважины производят (за одну проходку) сначала на один диаметр, затем на требуемый диаметр, превышающий наружный диаметр обсадной колонны (рис. 2, *б*) или превышающий диаметр трубопровода (рис. 2). В процессе расширения скважины производят наращивание известным способом бурильной колонны и наматывание на барабан тяговым устройством гибкой связи. Последнее обстоятельство способствует принудительному проходу ступенчатого долота и его ориентации относительно пилотной скважины. Протаскивание и закрепление обсадных колонн обеспечивает буровая установка *5* (см. рис. 1) и гравитационные силы, процесс сопровождается сваркой подготовленных плетей из труб. Обсадные колонны необходимы для формирования устья и, следовательно, стабилизации технологических процессов проводки и обустройства скважины; предотвращения обрушения породы и направления при протаскивании трубопровода в скважине сложной конфигурации на участках.

Для протаскивания трубопровода *1* его конец снабжают съемным коническим наконечником *2* (рис. 3, *а*, *б*), который предназначается для предотвращения «зарывания» трубопровода в стенки необустроенной скважины. Посредством наконечника трубопровод *1* соединяют с бурильной колонной *3*. На цилиндрической части наконечника закрепляют катки *4*, *5* (которые могут быть обрезиненными), которые снижают сопротивление перемещения конца трубопровода внутри обсадной колонны (см. рис. 3, *б*).

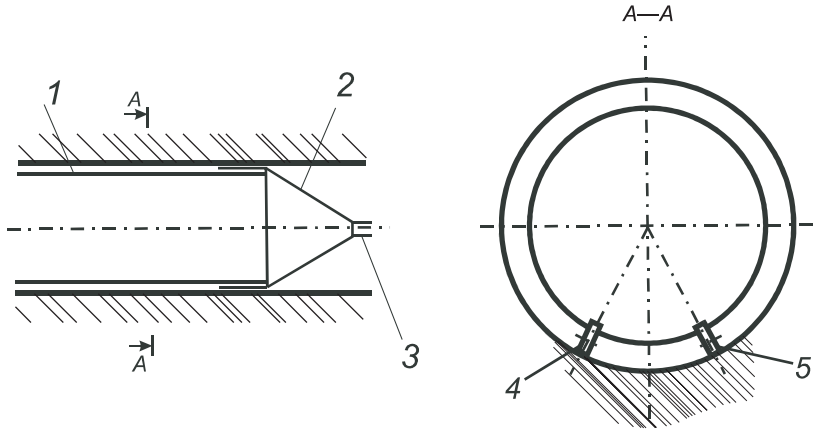


Рис. 3. Протаскивание трубопровода: *а* — общий вид; *б* — сечение *А—А* на общем виде

Протаскивание трубопровода сопровождается постоянной разборкой (отсоединением плетей) бурильной колонны и совмещается с наращиванием трубопровода на поверхности посредством приварки подготовленных плетей с помощью внутреннего извлекаемого центратора и последующего контроля сварных соединений, изоляции мест сварки и гидравлических испытаний. Последней приваривают изогнутое колено трубопровода (после протаскивания

его основной части), переходящее в линейную часть трубопровода. На противоположном конце протащенного трубопровода ответвление отрезают, одновременно с этим удаляют наконечник *2* с катками *3*, *4* (см. рис. 3, *а* и *б*). Линейную часть трубопровода приваривают к концу протащенного и обрезанного трубопровода. Операции по закрытию концов трубопровода и начала линейных частей производят известным образом.

Предложенный способ обеспечивает, в конечном итоге, существенное расширение возможностей — протяженности и глубины прокладки трубопроводов под различными препятствиями и преградами, при этом достигается повышение экологической безопасности и соблюдение современных природоохранных требований на значительных расстояниях и глубинах прокладки трубопроводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рыбаков А. П.* Основы бестраншейных технологий. М. : Пресс Бюро, 2005.

2. *Гилета В. П., Смоляницкий Б. Н.* Проходка скважин с частичной экскавацией грунта // Строительные и дорожные машины. 2001. № 4.

3. *Данилов Б. Б.* Повышение эффективности бестраншейных способов подземного строительства за счет применения пневмотранспорта // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2007. № 5.

4. Пат. 2344241 РФ, МПК E 02 F 5/18 C 1. Способ бестраншейной прокладки коммуникаций в грунте (варианты) / Б. Б. Данилов, Б. Н. Смоляницкий // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 2.

5. Патент № 2330917 РФ. Способ бестраншейной прокладки трубопроводов преимущественно под водными преградами и заповедными зонами / В. И. Пындак, Ю. Г. Лапынин, А. Н. Макаренко. № 36 от 10.08.2008.

1. *Rybakov A. P.* Osnovy bestransheynykh tekhnologi. M. : Press Byuro, 2005.

2. *Gileta V. P., Smolyanitski B. N.* Prokhodka skvazhin s chastichnoy exkavatsiyey grunta // Stroitelnyye i dorozhnyye mashiny. 2001. № 4.

3. *Danilov B. B.* Povysheniye effektivnosti bestransheynykh sposobov podzemnogo stroitelstva za schet primeneniya pnevmotransporta // Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh. 2007. № 5.

4. Pat. 2344241, RF, MPK E 02 F 5/18 C 1. Sposob bestransheynoy prokladki kommunikatsii v grunte (varianty) / B. B. Danilov, B. N. Smolyanitski // Izobreteniya. Poleznyye modeli. 2009. № 2.

5. Patent RF № 2330917. Sposob bestransheynoy prokladki truboprovodov preimushchestvenno pod vodnymi pregradami i zapovednymi zonami / V. I. Pyndak, Ju. G. Lapynin, A. N. Makarenko. №36 ot 10.08.2008.

© Лапынин Ю. Г., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Лапынин Ю. Г. Экологически безопасный способ сооружения подземных инженерных коммуникаций // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 411—414.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

УДК 711.432:502(470.23-25)

В. И. Волков

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРЫ С ПОЗИЦИЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Рассматриваются перспективы получения информационной продукции для оценки устойчивости природно-техногенных систем в процессе градостроительного проектирования. На примере баз данных, созданных разными природопользователями, показаны возможности и особенности использования отраслевых информационных комплексов (баз данных) с целью получения репрезентативной информационной продукции для различных отраслей народного хозяйства. При этом на примере базы данных картографо-геодезических фондов о геодинамических условиях территорий показаны пути повышения эффективности использования узковедомственных информационных комплексов для решения широкого спектра прикладных и научно-технических задач.

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительное проектирование, информационное обеспечение, современная геодинамика, база данных.

Prospects of the reception information to the estimate stability of natural and anthropogenic systems in the course of the town-planning are regarded. Possibilities and features of sectoral information complexes (databases) use for the purpose of representative informational product reception for various sectors of national economy are shown on the example of databases which are created by different users of nature. Ways to increase efficiency of narrow departmental information complexes use for decision of wide spectrum of applied and scientific and technical problems are shown on the example of database of cartographic-geodetic funds about geodynamic conditions of territories.

K e y w o r d s: town-planning, information support, modern geodynamics, database.

Отечественный и зарубежный градостроительный опыт, а также анализ созданных на современном этапе достаточно обширных ведомственных, объединенных региональных и городских баз данных природопользователей, примером которых может служить информационно-аналитический комплекс (ИАК) «Экологический паспорт территории Санкт-Петербурга» [7], позволяют получить разнородную информацию о природно-техногенных системах, систематизировать и использовать ее в процессе градостроительного проектирования, в частности при решении специфических задач градостроительства.

В настоящее время данные, полученные из ИАК «Экологический паспорт территории Санкт-Петербурга», находят применение при разработке проектов планировки и межевания территорий и проектов строительства промышленных объектов. Так, достаточно успешно внедряется система показателей гео-

логического блока, характеризующая геологическое строение территории, изменения состояния ресурсов геологической среды в пространстве и их доступность для использования, а также существующие ограничения техногенной нагрузки на них. Результаты систематизации и анализа сведений о напорных подземных водах полюстровского горизонта Санкт-Петербурга, представленных в том же ИАК, коренным образом изменяют подходы к застройке территории, на которой получил распространение полюстровский водоносный горизонт. При этом информация ИАК показывает, что проблему самоизлива скважин, высачивания подземных вод на земную поверхность и возможного прорыва в процессе строительства следует решать не традиционно, на локальных участках, а в целом по «неблагоприятному» с точки зрения возможного подтопления району [7].

Наряду с другими многочисленными достоинствами, ИАК [7], как и любая другая база данных, характеризующая природно-техногенную сферу, в части ее использования требует проверки репрезентативности по отдельным показателям, что наглядно подтверждается в отношении ведомственных (ОАО «Газпром» и др.) и государственных (ЦНИИГАиК, Роскартография, Росатом и др.) баз данных по современным движениям земной коры [3, 5, 6], характеризующих скорости современных тектонических движений на территории Российской Федерации, установленные по результатам многолетних повторных традиционных геодезических наблюдений и космической радарной интерферометрии.

Накопленная геодезическая, равно как и космическая, информация, представленная продолжительными рядами результатов повторных наблюдений, в подавляющем большинстве случаев не позволяет получить сведения о пространственно-временных параметрах современных движений земной коры (СДЗК) и зачастую показывает «парадоксальные» сведения о «скоростях» СДЗК, не согласующиеся с результатами геофизических, геологических и других исследований. Вертикальные смещения грунтовых реперов (глубина закладки от 2 до 3,2 м), как правило, носят сложно-дифференцированный, иногда периодический (период менее 1 года) знакопеременный, высокоамплитудный характер [2]. Такие смещения (движения) не имеют научных объяснений с позиции современной геодинамики [1, 3], поскольку они обусловлены не только глубинными тектоническими, но и поверхностными экзогенными процессами. Экзогенные факторы и порождаемые ими геомеханические процессы воздействуют на результаты повторных геодезических наблюдений косвенно, через экзогенные движения приповерхностных слоев земной коры — смещения оснований геодезических знаков и их собственные движения — их подвижки, деформации. В случае космической радарной интерферометрии фиксируются суточные, сезонные и нерегулярные вертикальные смещения земной поверхности.

Динамика развития экзогенных процессов осложняется многообразием и непостоянством во времени силовых, влажностных и температурных полей в приповерхностных слоях земной коры, неоднородных по строению, составу и подвергающихся воздействию как природных, так и техногенных факторов.

Как природные, так и техногенные экзогенные факторы, влияющие на результаты повторных геодезических наблюдений, подразделяются: на механи-

ческие, оказывающие непосредственное механическое воздействие на основания геодезических знаков; физические, вызывающие изменение физического состояния геодезических знаков или их конструктивных элементов и химические, приводящие к изменениям в составе или структуре оснований нивелирных знаков, их конструктивных элементов. При этом воздействия экзогенных факторов на результаты повторных геодезических наблюдений классифицируются: по территориальному размаху (региональные, локальные, точечные); по их обратимости в пространстве (обратимые, необратимые, квазиобратимые); по их изменчивости во времени (длительные, короткопериодные, кратковременные); по глубине их проявления (поверхностные, приповерхностные).

Ограничиваясь лишь небольшой группой природных экзогенных факторов, имеющих повсеместное распространение, покажем их воздействие на результаты повторных геодезических наблюдений.

Аномалии атмосферного давления как внешняя периодически повсеместно действующая на земную кору нагрузка, уравновешенная высотой ртутного столба

$$\delta P = P_{i+1} - P_i,$$

(P_{i+1} — атмосферное давление в момент повторного нивелирования в циклах i и $i + 1$), вызывают упругие деформации пород приповерхностного слоя земной коры и вертикальные смещения нивелирных знаков

$$\delta H_P = a \cdot \delta P,$$

где a — коэффициент [2], учитывающий широту места закладки репера, физико-механические свойства горных пород, составляющих основания репера, и их мощность.

Установлено [2], что грунтовые реперы в условиях неоднородности инженерно-геологических условий мест их закладки при воздействии на земную поверхность одной и той же аномалии δP получают разные по величине, кратковременные и обратимые вертикальные смещения (по данным [2, 9], при δP = 28 мм рт. ст. для разных реперов, заложенных в разных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, δH_P = 0,2...4,0 мм).

Сезонное промерзание дисперсных грунтов приводит к их морозному пучению, которое при смерзании грунта с репером выталкивает нивелирный знак с силой

$$T_{\text{п}} = S \cdot T_{\text{уп}}$$

(S — площадь смерзающихся боковых поверхностей репера, $T_{\text{уп}} \le 0{,}13$ МПа — удельная касательная сила морозного пучения) и скоростью [2] 0...250 мм/год, зависящей от инженерно-геологических условий закладки репера и его конструкции. Морозное пучение приводит к локальным, необратимым смещениям грунтовых реперов, которые в геодезии ошибочно отождествляют с СДЗК.

Термовлагоперенос в приповерхностных слоях земной коры, сложенных дисперсными породами, приводит к их объемным деформациям (усадке, набуханию), распространяющимся на глубины [2], зачастую превышающие нор-

мативные для грунтовых типовых нивелирных знаков [4]. Установлено, что приповерхностные глинистые слои земной коры в пределах слоев с сезонными изменениями влажности вместе с грунтовыми реперами испытывают короткопериодные вертикальные движения с амплитудами от десятых долей до первых десятков миллиметров [2]. Одновременно, если не выполняется условие

$$T_к + T_н > P_{рп} + P_{гр}$$

($T_к$ и $T_н$ — касательные и нормальные силы выпора, $P_{рп}$ и $P_{гр}$ — вес репера и грунта над его якорем), репер [4] при набухании глинистых грунтов выдергивается, что приводит его к необратимым, локальным смещениям, ошибочно отождествляемым в геодезии с СДЗК.

Периодические (*суточные*, *сезонные*) изменения геотемпературного поля горных пород приводят к их деформациям. Распределение температуры t в породах приповерхностного слоя земной коры с коэффициентом температуропроводимости a на глубине z в момент времени τ определяется размахом Δt_0 колебаний (суточных, годовых) температуры в атмосфере при ее среднегодовом ($T = 1$ год) или среднесуточном ($T = 24$ ч) значении $\underline{t}_0$ и описывается известным в геотермии уравнением Фурье [2]:

$$t(z,\tau) = \underline{t}_0 + \Delta t_0 \exp(-z\sqrt{\pi/a\tau})\cos(2\tau\pi/T - z\sqrt{\pi/Ta}).$$

Колебания температуры в приповерхностных слоях земной коры порождают тепловые деформации горных массивов, которые вызывают вертикальные, короткопериодные движения приповерхностных слоев земной коры и реперов δH_t, заложенных в них,

$$\delta H_t = \Delta t_0 \alpha\sqrt{(aT/2\pi)}\sin(2\pi\tau/T + \pi/4),$$

а также достаточно хорошо известные в геодезии тепловые деформации нивелирных знаков.

Теплофизические параметры горных пород изменяются в пределах $a = (10^{-7}...5\cdot10^{-6})$ м^2/с, $\alpha = (2\cdot10^{-6}...10^{-4})$ к$^{-1}$, что при $\Delta t_0 = 40$ °С неизбежно приводит к сложнодифференцированным тепловым деформациям приповерхностных слоев земной коры и смещениям геодезических знаков с амплитудами от 0,2 мм до 40 мм.

Лунное притяжение вызывает твердые приливы в земной коре, на фоне которых, согласно [8], происходят дополнительные деформации приповерхностных слоев земной коры, приводящие к колебаниям четвертичных отложений и заложенных в них грунтовых реперов на фоне общего подъема и опускания земной коры (0,0001 м/км). В этом случае следует учитывать возможность развития неравномерных поднятий и опусканий разных по геологическому строению и составу приповерхностных слоев земной коры вместе с заложенными в них грунтовыми реперами вследствие действия переменного гравитационного поля в четвертичных отложениях. Такие смещения по теоретическим оценкам могут достигать нескольких сантиметров [2, 8].

При изучении современных тектонических движений земной коры речь идет об определении их скоростей, характеризуемых величинами порядка 10^{-6}. Геодезические наблюдения выполняются с инструментальной погрешностью

$(3...5)\cdot10^{-7}$, а их результаты искажаются экзогенными движениями приповерхностных слоев земной коры и смещениями нивелирных знаков, характеризуемых величинами $10^{-5}...10^{-6}$, т.е. помеха равна или на порядок больше полезного сигнала (скоростей СДЗК). Изложенное показывает, что база геодезических данных, реализованная в картах современных вертикальных движений земной коры, не представляет достоверной информации о тектонических движениях земной коры, а отражает лишь движения ее приповерхностных слоев на моменты времени, совпадающие с циклами повторных наблюдений, что в значительной мере ограничивает и конкретизирует область возможного их использования. Однако, наряду с ограничениями по их использованию в тектонике и сейсмологии, карты современных вертикальных движений земной коры могут успешно использоваться в градостроительстве для прогнозной оценки устойчивости оснований фундаментов зданий и сооружений, выявления аномальных зон природно-техногенных движений приповерхностных слоев земной коры, а также при решении других задач крупномасштабного и подземного строительства.

Итоги проведенных исследований показывают, что при многочисленных достоинствах баз данных природопользователей, они отличаются сугубо профильной, односторонней интерпретацией, представленной в них информацией, которая может быть использована в качестве информационной продукции лишь после ее обработки по существующим в той или иной отрасли современным технологиям с последующей интерпретацией на достигнутом уровне современного научно-технического развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Буланже Ю. Д.* К вопросу об исследовании СДЗК // Современные движения земной коры. М. : Наука, 1987. С. 6—9.

2. *Волков В. И.* Исследование влияния экзогенных факторов на устойчивость нивелирных знаков // Особенности высокоточного нивелирования на геодинамических полигонах. Таллин : АН ЭССР, 1988. С. 41—43.

3. *Волков В. И.* Состояние и перспективы исследований СДЗК на объектах атомной энергетики // Международный симпозиум: геодезия и сейсмология : доклады. М., 1989. С. 55—59.

4. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М. : Недра, 1990. 167 с.

5. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М. : ГУГК, 1988.

6. О контроле деформаций земной поверхности при разработке газовых месторождений в условиях Крайнего Севера / Ю. Б. Баранов, Ю. И. Кантемиров, И. А. Зинченко, С. П. Вергелес // Маркшейдерский вестник. 2008. № 3. С. 18—22.

7. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге. СПб. : Сезам, 2008. 472с.

8. *Цытович Н. А., Тер-Мартиросян З. Г.* Основы прикладной геомеханики в строительстве. М. : Высш. шк., 1981. 317 с.

9. *Ящук С. Д., Саапар Л. А.* Об оседании земной поверхности г. Таллина // Изучение современных движений Прибалтики. Тарту : АН ЭССР, 1981. С. 46—52.

1. *Bulanzhe Yu. D.* K voprosu ob issledovanii SDZK // Sovremennyye dvizheniya zemnoy kory M. : Nauka, 1987. S.6—9.

2. *Volkov V. I.* Issledovaniye vliyaniya ekzogennykh factorov na ustoychivost nivelirnykh znakov // Osobennosti vysokotochnogo nivelirovaniya na geodinamicheskikh poligonakh. Tallin : AN ESSR, 1988. S. 41—43.

3. *Volkov V. I.* Sostoyaniye i perspektivy issledovani SDZK na obektakh atomnoy energetiki // Mezhdunarodny simpozium: geodeziya i seysmologiya : doklady. M., 1989. S. 55—59.

4. Instruktsiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klassov. M. : Nedra, 1990. 167 s.

5. Karta sovremennykh vertikalnykh dvizheni zemnoy kory Vostochnoy Yevropy. M. : GUGK, 1988.

6. O kontrole deformatsi zemnoy poverkhnosti pri razrabotke gazovykh mestorozhdeni v usloviyakh Kraynego Severa / Yu. B. Baranov, Yu. I. Kantemirov, I. A. Zinchenko, S. P. Vergeles // Marksheyderski vestnik. 2008. №3. S. 18—22.

7. Okhrana okruzhayushchey sredy, prirodopolzovaniye i obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge. SPb. : Sezam, 2008. 472 s.

8. *Tsitovich N. A., Ter-Martirosyan Z. G.* Osnovy prikladnoy geomekhaniki v stroitelstve. M. : Vysh. shk., 1981. 317 s.

9. *Yashchuk S. D., Saapar L. A.* Ob osedanii zemnoy poverkhnosti g. Tallina // Izucheniye sovremennykh dvizheni Pribaltiki. Tartu : AN ESSR, 1981. S. 46—52.

© Волков В. И., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Волков В. И. Информационное обеспечение задач оценки состояния природно-техногенной сферы с позиций градостроительства // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 415—420.

УДК 502.5 : 519.816

Н. П. Садовникова, Б. Х. Санжапов

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ЗАДАЧ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГРАЖДАНСКИХ ТЕРРИТОРИЙ*

Представлены методологические основы формирования механизма поддержки принятия решений для оценки экологической безопасности планов и программ территориального развития. Определены основные этапы исследования, источники информации и методы анализа. Проведено обоснование выбора методов для проектирования информационной системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологическая безопасность, стратегическое экологическое оценивание, поддержка принятия решений, когнитивное моделирование, нечеткие множества, теория возможностей, экспертные оценки.

The methodological background of the forming enabling mechanism of the decision making is presented for the environmental safety assessment of plans and programs of the spatial development. Main stages of research, information sources and analysis techniques are determined. The selecting rationale of methods for the data systems engineering of the decision support on the environmental safety of urban areas development is justified.

K e y w o r d s: environmental safety, strategic environmental estimation, decision support, cognitive modeling, fuzzy sets, theory of possibilities, expert analysis.

Одним из наиболее важных вопросов планирования развития территории является комплексная оценка влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду. Наряду с оценкой отдельных проектов существует насущная необходимость проведения стратегического экологического оценивания разрабатываемых планов и программ. Стратегическое экологическое оценивание (СЭО, SEA — Strategic Environmental Assessment) направлено на оценку возможных экологических последствий (включая воздействие на здоровье населения) реализации разрабатываемых прогнозных и программных документов и выбор приемлемой альтернативы развития, что способствует повышению качества и эффективности системы планирования, а также увеличению доверия общественности к процессу принятия управленческих решений [1].

К стратегическим документам, подлежащим СЭО, относятся планы развития территорий или отраслей хозяйства, программы, политики, стратегии и др. Благодаря СЭО на более высоком уровне (разработки программ/планов) закладываются основы для экологической оценки проектов.

На сегодняшний день наиболее значимым законодательным документом, который определяет минимальные общие процедуры для СЭО, является Европейская Директива 2001/42/ЕС по оценке экологических последствий реализации отдельных планов и программ [2]. В Директиве прописано проведение систематической, превентивной, основанной на экологической оценке проектов и открытой, с участием различных заинтересованных сторон и общественности процедуры СЭО.

* Работа поддержана грантом РФФИ, № проекта 11-07-97010.

СЭО во многом возникла на основе принципов, процесса и процедуры ОВОС (оценка воздействия на окружающую среду — EIA, Environmental Impact Assessment). Тем не менее, СЭО также предоставляет дополнительные возможности по сравнению с оценкой проектного уровня. СЭО используется на тех этапах разработки планов и программ, где закладываются основы для проектов, проходящих ОВОС, и многих других инициатив, которые потенциально могут оказывать воздействие на окружающую среду. Результаты СЭО могут содержать указание на потенциальные проблемы, которые должны быть особенно тщательно исследованы на проектном уровне. В связи с этим можно выделить преимущества проведения СЭО:

расширение круга рассматриваемых альтернатив;

возможность варьирования пространственных и функциональных параметров оцениваемых планов и программ;

возможность определения опосредованного и комбинированного влияния факторов;

вклад в устойчивое развитие посредством согласования целей и направлений плана или программы с соответствующими стратегиями, политиками и концепциями;

оптимизация и совершенствование экологической оценки отдельных проектов путем согласования этого процесса с отчетом СЭО.

Исходной информацией для проведения стратегической экологической оценки на стадии подготовки стратегических планов территориального развития и комплексных территориальных программ является [3]:

ожидаемое качество жизни населения и качество окружающей среды, обусловленное природными, техногенными и природно-техногенными факторами на различных этапах реализации стратегических планов территориального развития и комплексных территориальных программ социально-экономического развития;

действующие и потенциальные источники негативного воздействия на окружающую среду;

современное экологическое состояние экосистем и природно-хозяйственных систем, обусловленное осуществлением хозяйственной и иной деятельности в установленных территориальных границах;

экологическое состояние урбанизированных территорий и поселений, обусловленное поддержанием благоприятной окружающей среды в установленных территориальных границах;

сведения о расположении и характеристиках зон экологического риска;

данные экологического аудита систем управления окружающей средой (экологического менеджмента) организаций, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность, связанную с негативным воздействием на окружающую среду на рассматриваемой территории;

сведения о территориальной системе обращения с отходами, включая данные о паспортизации опасных отходов;

результаты оценки экологического риска по фактам реализации негативных воздействий на окружающую среду и здоровье населения;

планы действий по принятию мер предосторожности от возникновения угроз экологической безопасности организаций, хозяйственная или иная деятельность которых связана с негативным воздействием на окружающую среду;

принятые планы действий по поэтапному ограничению и запрещению опасных видов хозяйственной и иной деятельности;

проекты стратегических планов территориального развития;

проекты комплексных территориальных программ социально-экономического развития;

мнение общественности по результатам обсуждений и слушаний на стадии разработки проектов стратегических планов территориального развития и комплексных территориальных программ социально-экономического развития.

Получаемая информация характеризуется неоднородностью, противоречивостью и малой достоверностью. Фактически имеется лишь небольшой набор параметров, которые могут быть оценены с определенной точностью. В большинстве случаев, выбирая методы обработки и анализа информации, приходится учитывать нечеткость данных и использовать нечетко-множественные модели.

Практическое внедрение СЭО в процесс принятия стратегических решений наталкивается на ряд проблем, наиболее существенными из которых являются:

отсутствие заинтересованности потенциальных разработчиков стратегий и инициаторов крупномасштабных программ и планов в условиях явного превалирования кратко- и среднесрочных экономических интересов над долгосрочными экологическими;

отсутствие правовых условий проведения стратегической экологической оценки;

неразвитость институтов гражданского общества в РФ;

на стратегическом уровне невозможно точно определить масштабы и характер деятельности, которая последует за принятием подготавливаемого решения;

сложности долгосрочного прогнозирования поведения сложных социоприродных систем, находящихся под совокупным воздействием непредсказуемых природных и антропогенных факторов;

СЭО представляет собой весьма широкую область деятельности, для которой в настоящее время довольно трудно определить четкие границы.

В связи с этим, для формирования научно-обоснованного подхода к принятию экологически ориентированного управленческого решения по реализации намечаемых планов развития городских территорий необходимо разработать принципы и критерии экологической оценки планов стратегического уровня и найти технологии, позволяющие анализировать различные альтернативные варианты развития и оценивать потенциальные воздействия.

На сегодняшний день не сформирована единая методология проведения СЭО. Методы, используемые в процессе анализа решений и прогнозирования, весьма разнообразны. В зависимости от задач и этапов СЭО можно выделить три группы методов [4]:

методы для определения контекста и ключевых проблем (чек-листы / контрольные списки, SWOT-анализ, матрицы);

методы для разработки альтернатив (разработка сценариев или планирование по результатам);

методы для оценки воздействий (моделирование, ГИС и т. д.);

методы, позволяющие сравнить альтернативы и представить выводы (мультикритериальный анализ, анализ затрат и выгод, и т. д.).

Технологии применения данных методов должны быть адаптированы к особенностям решаемых задач. В данном случае мы имеем дело с оценкой состояния сложной социоприродной системы, для которой задача формализации является неоднозначной и построение адекватной математической модели наталкивается на серьезные трудности.

На этапе выбора факторов и формирования целей может быть использована методология SWOT-анализа, по результатам которого можно судить о ресурсах, необходимых для реализации имеющихся возможностей и предварительно оценить риски реализации планов и программ. Задача SWOT-анализа — структурирование мнений экспертов и определение направлений дальнейших исследований. Основная проблема — недостаточно эффективные подходы к оценке возможностей и согласования целей. В данном случае целесообразно использовать подход, основанный на теории нечетких множеств и возможностей для обоснования требований к показателям качества и характеристикам сложной системы [5].

При решении задач структурной идентификации сложных социоприродных систем должны быть определены причинно-следственные отношения и отражены множественные связи между антропогенными факторами, природоохранной деятельностью и компонентами (характеристиками) окружающей среды. Учитывая слабую структурированность исследуемой ситуации, неопределенность факторов и связей между ними, возможную изменчивость структуры модели, необходимо использовать методы, основанные на «нечетком моделировании». В частности, одним из эффективных подходов к исследованию поведения сложных слабоструктурированных систем является нечеткое когнитивное моделирование [6].

Использование нечетких когнитивных карт в качестве средства моделирования систем обусловлено возможностью наглядного представления анализируемой системы, легкостью интерпретации причинно-следственных связей между концептами, возможностью проведения численного моделирования не только количественных, но и качественных характеристик.

Моделируемая ситуация описывается с помощью нечетких когнитивных карт, которые представляют собой графы причинно-следственных отношений и иллюстрируют множественные связи между антропогенными факторами, природоохранной деятельностью и компонентами (характеристиками) окружающей среды и поэтому особенно полезны для выявления и отображения воздействий второго порядка (косвенные, синергетические и т. д.).

Ключевые факторы объекта исследования располагаются в вершинах графа. Для формального описания нечеткой когнитивной карты используют кортеж множеств

$N = \{C_n, L_{ij}, Sg_{ij}, W_{ij}\}$,

где $\{C_n\}$ — множество вершин (концептов); $\{L_{ij}\}$ — множество причинно-следственных связей между концептами; $\{Sg_{ij}\}$ — множество знаков связей (+, −); $\{W_{ij}\}$ — множество весов связей (сильно, средне, слабо и т. д.).

Каждый концепт C_i описывается одной или несколькими переменными состояния, которые характеризуют состояние концепта качественно или количественно.

При выборе методов оценки альтернатив следует учитывать, что определение способа формализации процесса принятия решений зависит от многих факторов, свойства которых могут меняться в зависимости от задачи, типа экспертной информации, типа шкал измерения, системы предпочтений и пр. Для определения понятий и аксиом, определяющих основные условия применимости методов поддержки принятия решений, учитывающих неопределенность при формализации и обработки информации, может быть построена онтология, на основе которой сгенерирована система ограничений интерпретации понятий, составляющих основу данных методов, и даны рекомендации по выбору механизма решения задач [7].

Перечисленные методы могут стать основой для проектирования системы поддержки принятия решений при создании стратегий развития города и проверки эффективности уже действующих программ и проектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Протокол по стратегической экологической оценке к конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (2003) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.unece.org/env/eia/sea_protocol.htm.

2. «Directive no 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment» / EC, European Commission (2001).

3. Модельный закон «О стратегической экологической оценке» : приложение к постановлению МПА СНГ от 16.05.2011 г. № 36-7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.iacis.ru/html/?id=22&pag=791&nid=1.

4. Пособие по применению Протокола ЕЭК ООН по стратегической экологической оценке [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.unece.org/env/sea/.

5. *Санжапов Б. Х., Садовникова Н. П.* Согласование целей при эколого-экономическом обосновании градостроительного проекта с учетом ограничений на значения характеристик, входящих в систему средств в условиях нечеткой информации // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2011. Вып. 21(40). С. 151—159.

6. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers. Vol. 43, № 11, November 1994. P. 1329—1333.

7. *Садовникова Н. П., Львова Ю. С., Санжапов Б. Х.* Концептуальная модель процесса поддержки принятия решений в условиях неопределенности исходной информации на основе онтологического подхода // Открытое образование. 2011. Ч. 2, № 2 (88). С. 185—187.

1. Protokol po strategicheskoy ekologicheskoy otsenke k konventsii ob otsenke vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu v transgranichnom kontekste (2003) [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: http://www.unece.org/env/eia/sea_protocol.htm.

2. «Directive no 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment» / EC, European Commission (2001).

3. Modelny zakon «O strategicheskoy ekologicheskoy otsenke» : prilozheniye k postanovleniyu MPA SNG ot 16.05.2011 g. № 36-7 [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: http://www.iacis.ru/html/?id=22&pag=791&nid=1.

4. Posobiye po primeneniyu Protokola YeEK OON po strategicheskoy ekologicheskoy otsenke / [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: http://www.unece.org/env/sea/.

5. *Sanzhapov B. Kh., Sadovnikova N. P.* Soglasovaniye tseley pri ekologo-ekonomicheskom obosnovanii gradostroitelnogo proekta s uchetom ogranicheni na znacheniya kharakteristik, vkhodyashchikh v sistemu sredstv v usloviyakh nechetkoy informatsii // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh. 2011. Vyp. 21(40). S. 151—159.

6. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers. Vol. 43, № 11, November 1994. P. 1329—1333.

7. *Sadovnikova N. P., Lvova Yu. S., Sanzhapov B. Kh.* Kontseptualnaya model protsessa podderzhki prinyatiya resheni v usloviyakh neopredelennosti iskhodnoy informatsii na osnove ontologicheskogo podkhoda // Otkrytoye obrazovaniye. 2011. Ch. 2, № 2 (88). S. 185—187.

© Садовникова Н. П., Санжапов Б. Х., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Садовникова Н. П., Санжапов Б. Х. Информационно-аналитическая поддержка задач стратегического экологического оценивания безопасности гражданских территорий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 421—426.

УДК 502.5 : 519.81: 004.94

Н. П. Садовникова, Б. Х. Санжапов, Е. П. Гнедкова

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ*

Представлена концепция системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий. Определены цели и задачи создания системы. Выявлены основные требования. Предложен вариант архитектуры.

К л ю ч е в ы е с л о в а: концептуальная модель, система поддержки принятия решений, архитектура системы, экологическая безопасность.

The concept of the decision support system on the environmental safety supporting of the urban areas development is presented. Purposes and tasks of the system design are defined. The basic requirements are revealed. The variant of the architecture is suggested.

K e y w o r d s: conceptual model, decision support system, system of architecture, environmental safety.

Особенностью задач принятия решений по оценке экологической безопасности развития городских территорий является необходимость анализа больших объемов разнородной информации, несогласованность целей различных субъектов, участвующих в градостроительной деятельности, и сложности выбора альтернативных проектов. В связи с этим, эффективность решений может быть значительно повышена за счет использования возможностей IT-технологий и внедрения информационно-аналитических систем.

Цель создания системы — повышение эффективности процессов анализа данных для оценки экологической безопасности стратегических планов и программ развития городских территорий.

Информационная база системы объединяет данные различных уровней (административно-территориального, пространственного, инфраструктурного, экологического, социально-экономического и т. д.).

Система предназначена для решения следующих задач:

1. Предварительный анализ первичных данных. Получаемая из различных источников информация разнородна по своему составу, имеет огромные объемы и разные форматы. Для дальнейших исследований необходимо привести все данные к единому формату и единой структуре, определить оптимальную форму хранения и провести предварительный анализ на основе методов Data mining.

Применение методов классического статистического анализа в данном случае может оказаться неэффективным из-за сложной структуры данных и неоднозначной постановки задач анализа. Цель интеллектуального анализа — поиск скрытых, ранее неизвестных, содержательных и потенциально полезных закономерностей, выделение информационных объектов и связей между ними, уменьшение объемов анализируемой информации.

* Работа поддержана грантом РФФИ, № проекта 11-07-97010.

2. Оценка возможных экологических последствий реализации разрабатываемых планов и программ развития территорий. Для поддержки принятия решений такого рода могут быть использованы технологии имитационного и сценарного моделирования. Методы прогнозирования в условиях высокой неопределенности и быстрых изменений окружающей среды должны иметь возможность анализа различных вариантов развития будущего. В этом случае имеется возможность выбрать приемлемую стратегию даже в случае реализации наихудшего сценария.

3. Оценка эколого-экономической эффективности стратегических планов и программ. Решение данной задачи дает возможность определить в денежном выражении последствия антропогенного воздействия и использовать полученные данные при проведении экономического анализа как отдельных проектов, так и стратегий в целом. Информация, полученная в процессе эколого-экономического оценивания, является ключевой при обосновании инвестиционной политики и принятии потенциальными инвесторами решений об участии в проектах. В настоящее время оценка эколого-экономической эффективности представляет наибольшую сложность. Расчетные методики, применяемые повсеместно, не дают возможности получить комплексную оценку влияния на окружающую среду всех факторов, сопровождающих процесс строительства и эксплуатации объектов градостроительной деятельности. Тем более сложно, используя данный подход, определить затраты на ведение обоснованной экологической политики. Возможность повышения точности оценок могут обеспечить методы многокритериальной оптимизации.

4. Отслеживание соблюдения балансовых и затратных норм в ходе реализации текущих проектов и определение корректирующих воздействий в случае обнаружения отклонений. Методы поддержки решений такого рода должны включать в себя, помимо имитационных моделей, модели вывода, использующие рассуждения по правилам и качественные рассуждения. Реализация таких методов подразумевает разработку формального представления знаний о предметной области.

В результате анализа задач были сформулированы общие требования к информационно-аналитической системе поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий.

Система должна:

поддерживать постановку слабо структурированных задач;

поддерживать принципы разработки и функционирования открытых систем;

поддерживать функции лица, принимающего решения (ЛПР), как аккумулирующего, коммутирующего и координирующего информационного центра;

использовать методы и модели для представления и использования нечеткой информации;

использовать методы когнитивного, имитационного и сценарного моделирования для анализа ситуаций;

поддерживать атрибутивное описание объектов с неограниченным числом характеристик;

интегрироваться с другими технологиями, такими как ГИС, базы данных и др.

На этапе концептуального описания структуры системы необходимо провести иерархическую декомпозицию функций и описать информационные процессы. Для этого можно воспользоваться методологией структурно-функционального моделирования SADT (Structured Analysis & Design Technique), которая обеспечивает возможность построения статической функциональной модели и модели данных системы. Использование SADT позволяет сократить дорогостоящие ошибки на ранних этапах создания системы и сгладить переход от анализа к проектированию. На основании разработанной концептуальной модели были построены модели даталогического уровня и проведен анализ эффективности выполнения заданных функций.

Этап концептуального проектирования позволяет определить особенности анализируемой предметной области, которые затрудняют процесс формализации. При анализе информационных процессов процедур экологического оценивания были выявлены определенные сложности, связанные с отсутствием в российском законодательстве четких указаний и критериев относительно необходимой степени детализации процедур экологической оценки, и не сформулированы требования к формам отчетности. Было принято решение реализовать возможность расширения функциональности системы.

Для описания конкретных способов реализации функций и анализа вариантов организации интерфейса построена диаграмма прецедентов (use case) (рис. 1).

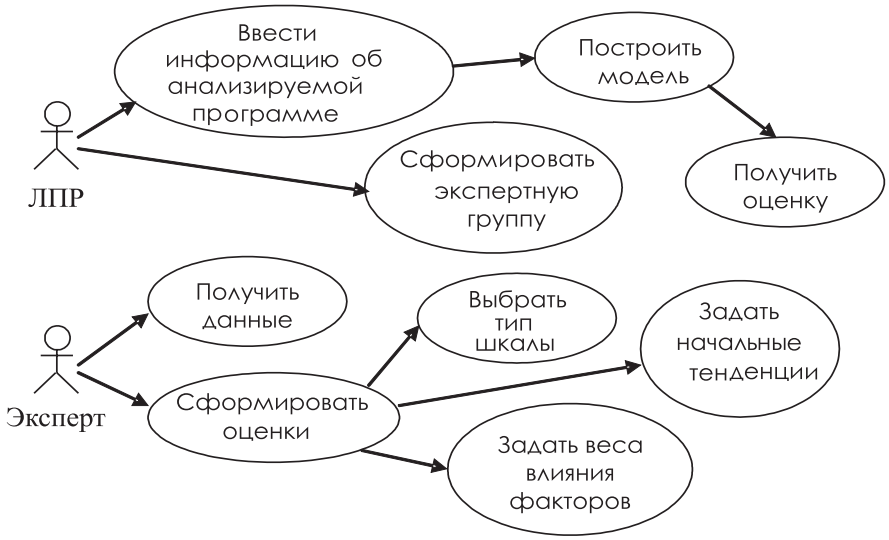


Рис. 1. Диаграмма прецедентов

Учитывая особенности потенциальных пользователей системы, были сформулированы следующие требования к пользовательскому интерфейсу:

простота представления функциональных возможностей;

привычность действий пользователя при взаимодействии с системой;

своевременное и подробное информирование пользователя в режиме запроса справки;

информирование в онлайн режиме об объектах, действиях и режимах работы;

сбалансированное представление цветографических форм;

возможность настройки отдельных характеристик интерфейса под индивидуальные предпочтения пользователя.

Разработаны макеты экранных форм, максимально приближенные к внешнему виду готового приложения (рис. 2).

Рис. 2. Макет экранной формы

Аналитическая часть системы содержит модули, реализующие методы: отбора факторов, генерации альтернатив, идентификации моделей, генерации сценариев и прогнозирования. Создаваемые модели должны изменяется в зависимости от особенностей решаемой задачи, т.е. используемые технологии моделирования должны быть адаптивными и ориентированы на знания о предметной области. Частично методы, необходимые для реализации процедур экологической оценки, обсуждались в работах [1—4]. Уточнение вариантов реализации рассмотренных методик и алгоритмизация процедур планируется на следующих этапах проектирования системы.

В связи с тем что процедура экологического оценивания является составной частью процесса территориального планирования, необходимо обеспечить возможность работы с геопространственными данными и соответственно интеграцию с ГИС. Исходя из требования сбалансированного распределения задач и функций между уровнями системы был определен состав подсистем и построена архитектура системы (рис. 3):

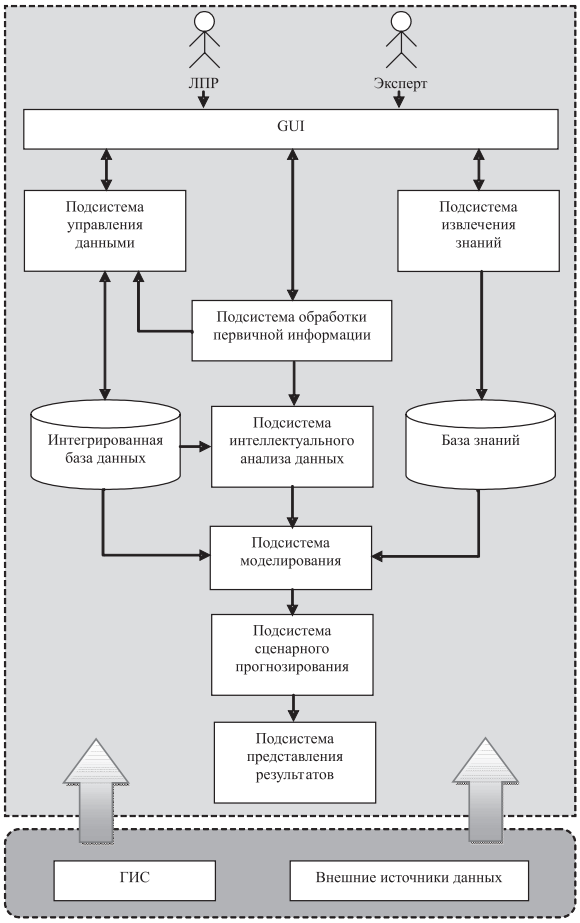


Рис. 3. Архитектура системы

В работе представлена концептуальная модель информационно-аналитической системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий. Особенностью системы является возможность анализировать ситуацию при динамическом изменении входной информации в условиях существенной информационной неопределенности.

Внедрение системы позволит обеспечить доступ к информации, касающейся экологической безопасности и градостроительной деятельности, повысить обоснованность принимаемых решений как на уровне отдельных проектов, так и при стратегическом планировании и тем самым увеличить потенциальные возможности принятия рациональных, экологически эффективных решений отраслевых и территориальных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Санжапов Б. Х., Садовникова Н. П.* Согласование целей при эколого-экономическом обосновании градостроительного проекта с учетом ограничений на значения характеристик, входящих в систему средств в условиях нечеткой информации // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и арх. 2011. Вып. 21(40). С. 151—159.

2. *Sadovnikova N. P.* Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project. // Internet-vestnik VolgGASU. Series: Civil Engineering Informatics. Issue: 5(14), 2011. http://www.vestnik.vgasu.ru.

3. *Садовникова Н. П., Львова Ю. С., Санжапов Б. Х.* Концептуальная модель процесса поддержки принятия решений в условиях неопределенности исходной информации на основе онтологического подхода // Открытое образование. 2011. Ч. 2, № 2 (88). С. 185—187.

4. *Садовникова Н. П., Ермощенко А. К.* Общие вопросы применения методологии имитационного моделирования для оценки эколого-экономической эффективности проектов градостроительной деятельности // Известия Волгогр. гос. технич. ун-та. 2011. Т. 9, № 11. С. 94—97.

1. *Sanzhapov B. Kh., Sadovnikova N. P.* Soglasovaniye tseley pri ekologo-ekonomicheskom obosnovanii gradostroitelnogo proekta s uchetom ogranicheni na znacheniya kharakteristik, vkhodyashchikh v sistemu sredstv v usloviyakh nechetkoy informatsii // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkh. 2011. Vyp. 21(40). S. 151—159.

2. *Sadovnikova N. P.* Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project. // Internet-vestnik VolgGASU. Series: Civil Engineering Informatics. Issue: 5(14), 2011. http://www.vestnik.vgasu.ru.

3. *Sadovnikova N. P., Lvova Yu. S., Sanzhapov B. Kh.* Kontseptualnaya model protsessa podderzhki prinyatiya resheni v usloviyakh neopredelennosti iskhodnoy informatsii na osnove ontologicheskogo podkhoda // Otkrytoye obrazovaniye. 2011. Ch. 2, № 2 (88). S. 185—187.

4. *Sadovnikova N. P., Yermoshchenko A. K.* Obshchiye voprosy primeneniya metodologii imitatsionnogo modelirovaniya dlya otsenki ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti proektov gradostroitelnoy deyatelnosti // Izvestiya Volgogr. gos. tekhnich. un-ta. 2011. T. 9, № 11. S. 94—97.

© Садовникова Н. П., Санжапов Б. Х., Гнедкова Е. П., 2011

Поступила в редакцию
в ноябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Садовникова Н. П., Санжапов Б. Х., Гнедкова Е. П. Разработка концепции системы поддержки принятия решений по обеспечению экологической безопасности развития городских территорий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 427—432.

НАШИ АВТОРЫ

Аброськина Наталья Владимировна
Abroskina Natalya Vladimirovna
канд. мед. наук, доц., кафедра экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ
Candidate of Medical Science, Assistant Professor, ecological building and municipal facilities department, VSUACE

Азаров Валерий Николаевич
Azarov Valeri Nikolayevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Sciences, Professor, department chairman of safety of living in technosphere, VSUACE

Акимов Олег Юрьевич
Akimov Oleg Yurevich
доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ, директор ООО «Триумвират-сертификация», 404520, г. Калач-на-Дону, ул. Кирова, 163
assistant professor of application mathematics and computer science department, VSUACE, director of “Triumvirat-sertifikatsiya” LLC

Акчурин Талгать Кадимович
Akchurin Talgat Kadimovich
канд. техн. наук, проф., зав кафедрой строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ, (8442)96-99-57
Candidate of Engineering Science, Professor, department chairman of building materials and special processes, VSUACE

Алексиков Илья Сергеевич
Alexikov Ilya Sergeyevich
аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ
post-graduate student of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Алексиков Сергей Васильевич
Alexikov Sergei Vasilevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ, asv034rus@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of construction and operation of transport systems, VSUACE

Бабаханов Борис Станиславович
Babakhanov Boris Stanislavovich
соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
degree-seeking student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Барикаева Нелли Сергеевна
Barikayeva Nelli Sergeyevna
ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ, kaf_bgdvt@mail.ru
assistant of safety of living in technosphere department, VSUACE

Барсуков Олег Константинович
Barsukov Oleg Konstantinovich
ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ
assistant of safety of living in technosphere department, VSUACE

Батманов Виктор Павлович
Batmanov Viktor Pavlovich
д-р мед. наук, проф. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ
Doctor of Medical Science, professor of safety of living in technosphere department, VSUACE

Белаш Татьяна Александровна
Belash Tatiana Alexandrovna
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой зданий, Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of buildings, St. Petersburg State University of Railway Transport

Беликов Георгий Иванович
Belikov Georgi Ivanovich
д-р техн. наук, доцент, кафедра сопротивления материалов, ВолгГАСУ, (8442)96-98-60
Doctor of Engineering Science, Assistant Professor, structural resistance department, VSUACE

Беломутенко Светлана Владимировна
Belomutenko Svetlana Vladimirovna
доц. кафедры отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, ВолгГАСУ, (8442)96-98-19
assistant professor of heating, ventilation, ecological and fire security department, VSUACE

Беспалов Вадим Игоревич
Bespalov Vadim Igorevich
зав. кафедрой инженерной защиты окружающей среды, Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
department chairman of engineering environment protection, Rostov State University of Civil Engineering

Богомолов Александр Николаевич
Bogomolov Alexandr Nikolayevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе ВолгГАСУ, (8442)96-99-54, banzaritcyn@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of hydraulic and earthwork structures, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE

Богомолова Оксана Александровна
Bogomolova Oxana Alexandrovna
канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ, (8442)96-99-45, bonzaritcyn@mail.ru
Candidate of Engineering Science, assistant professor of application mathematics and computer science department, VSUACE

Бодрова Елизавета Викторовна
Bodrova Yelizaveta Viktorovna
аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, camelly@inbox.ru
post-graduate student of power service and heat engineer department, VSUACE

Болеев Александр Андреевич
Boleyev Alexandr Andreyevich
аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ, alex-freed@rambler.ru
post-graduate student of water supply and disposal department, VSUACE

Борисова Вита Юрьевна
Borisova Vita Yurevna
аспирант, Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
Post-graduate student, Rostov State University of Civil Engineering

Будрудинова Амина Нажмудиновна
Budrudinova Amina Nazhmudinovna
аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ
post-graduate student of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Бурлаченко Олег Васильевич
Burlachenko Oleg Vasilevich
д-р техн. наук, доц., проректор по учебно-воспитательной работе, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Assistant Professor, Vice-Rector for studies and educational work, VSUACE

Буров Виктор Владимирович
Burov Viktor Vladimirovich
аспирант кафедры строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ
post-graduate student of building materials and special processes department, VSUACE

Бурханов Анвер Идрисович
Burkhanov Anver Idrisovich
каф. физики, ВолгГАСУ, burkhanov@inbox.ru
physics department, VSUACE

Вовко Владимир Владимирович
Vovko Vladimir Vladimirovich
канд. техн. наук, доцент кафедры строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, assistant professor of building materials and special processes department, VSUACE

Волков Виктор Иванович
Volkov Viktor Ivanovich
д-р техн. наук, проф. кафедры геодезии, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 8-911-225-11-33, tnvolkova@energaziz.ru
Doctor of Engineering Science, professor of geodesy department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Волков Сергей Александрович
Volkov Sergei Alexandrovich
д-р техн. наук, проф., почетный работник высшего профессионального образования, Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, (812)575-01-95, volkov-sa@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, honorary worker of higher vocational education, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Волченко Федор Викторович
Volchenko Fedor Viktorovich
аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ, 8-904-7777-687, fedot1604@mail.ru
post-graduate student of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Воробьев Алексей Владимирович
Vorobev Alexei Vladimirovich
начальник правового отдела НВУ Ростехнадзора, Волгоград, ул. Огарева, 15, alexvorobiev@mail.ru
juristic department head of Management in Lower Volga of Federal Service for Ecological, Technological and Atomic Supervision

Воробьёв Владимир Иванович
Vorobev Vladimir Ivanovich
канд. техн. наук, проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, professor of ecological building and municipal facilities department, VSUACE

Гадаборшева Тамара Бимбулатовна
Gadaborsheva Tamara Bimbulatovna
ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ, daudzurabgmail.com
assistant of safety of living in technosphere department, VSUACE

Глаголева Анна Сергеевна
Glagoleva Anna Sergeyevna
ассистент, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 8(928)122-57-57
assistant, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Гнедкова Елена Петровна
Gnedkova Yelena Petrovna
студентка 5-го курса, Волгоградский государственный университет
5th year student, Volgograd State University

Голованчиков Александр Борисович
Golovanchikov Alexandr Borisovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет, (8442)24-84-31, pahp@vstu.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of processes and instruments of chemical productions, Volgograd State Technical University

Голубева Светлана Ивановна
Golubeva Svetlana Ivanovna
канд. техн. наук, доц. кафедры пожарной безопасности и гражданской защиты, ВолгГАСУ, (8442)96-98-19
Candidate of Engineering Science, assistant professor of fire security and civil protection department, VSUACE

Горшков Евгений Владимирович
Gorshkov Yevgeni Vladimirovich
соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ, kaf_bgdvt@mail.ru
degree-seeking student of safety of living in technosphere department, VSUACE

Гусельников Дмитрий Александрович
Guselnikov Dmitri Alexandrovich
старший преподаватель кафедры моделирования, автоматизации и информатики, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ
senior professor of modeling, automatization and informatics department, Volzhsky Institute of Construction and Technology (branch) of VSUACE

Диденко Василий Григорьевич
Didenko Vasili Grigorevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой пожарной безопасности и гражданской защиты, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of fire security and civil protection, VSUACE

Доскина Эльвира Павловна
Doskina Elvira Pavlovna
канд. техн. наук, проф., ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Professor, VSUACE

Дроздов Вячеслав Вячеславович
Drozdov Vyacheslav Vyacheslavovich
аспирант, ВолгГАСУ
Post-graduate student, VSUACE

Дулькина Наталия Александровна
Dulkina Nataliya Alexandrovna
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет, (8442)24-84-31, dnataly@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, assistant professor of processes and instruments of chemical productions department, Volgograd State Technical University

Душко Олег Викторович
Dushko Oleg Viktorovich
канд. техн. наук, доц., директор Института дистанционного обучения, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, director of Institute of Distance Education, VSUACE

Дьякова Светлана Борисовна
Dyakova Svetlana Borisovna
старший преподаватель кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, ВолгГАСУ
senior professor of engineering graphics, standardization and metrology, VSUACE

Ефремов Михаил Юрьевич
Yefremov Mikhail Yurevich
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет, pahp@vstu.ru
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, assistant professor of processes and instruments of chemical productions department, Volgograd State Technical University

Ечевский Александр Валерьевич
Yechevski Alexandr Valerevich
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, SANDER007@mail.ru
post-graduate student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Желтобрюхов Владимир Федорович
Zheltobryukhov Vladimir Fedorovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет, z_vl_f@mail.ru.
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of industrial ecology and life safety, Volgograd State Technical University

Золина Татьяна Владимировна
Zolina Tatyana Vladimirovna
канд. техн. наук, доцент
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor

Кабаева Ирина Васильевна
Kabayeva Irina Vasilevna
канд. техн. наук, инженер, ООО «Волгоградгорхимстрой»
Candidate of Engineering Science, engineer, “Volgogradgorkhimstroi” LLC

Кадильников Александр Викторович
Kadilnikov Alexandr Viktorovich
инженер кафедры технологии обработки и производства материалов, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ
engineer of tooling and work method of materials department, Volzhsky Institute of Construction and Technology (branch) of VSUACE

Казачкова Людмила Олеговна
Kazachkova Lyudmila Olegovna
ассистент кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ, Kasachkova@mail.ru, 8-902-314-32-49
assistant department of economics and execution of the road facilities, VSUACE

Калашников Сергей Юрьевич
Kalashnikov Sergei Yurevich
д-р техн. наук, профессор, действительный член Международной академии наук высшей школы, ректор ВолгГАСУ, (8442)97-49-72
Doctor of Engineering Science, Professor, general member of International Higher Education Academy of Science, rector, VSUACE

Калиновский Сергей Андреевич
Kalinovski Sergei Andreyevich
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
post-graduate student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Калюжина Екатерина Алексеевна
Kalyuzhina Yekaterina Alekseyevna
аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ, kaf_dgdvt@mail.ru, (8442)96-99-07
post-graduate student of safety of living in technosphere department, VSUACE

Камкова Светлана Витальевна
Kamkova Svetlana Vitalevna
аспирант кафедры общей и прикладной химии, ВолгГАСУ, bolshe_sveta@mail.ru
post-graduate student of general and applied chemistry department, VSUACE

Карапузова Наталья Юрьевна
Karapuzova Natalya Yurevna
канд. техн. наук, доц.
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor

Карпушко Марина Олеговна
Karpushko Marina Olegovna
ассистент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ, (8442)96-98-98, maripusik2004@mail.ru
assistant of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Кашарин Денис Владимирович
Kasharin Denis Vladimirovich
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры водного хозяйства предприятий и населенных мест, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, dendvk1@mail.ru
Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, associate professor of enterprises and populations aggregates water industry department, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Кашарина Татьяна Петровна
Kasharina Tatiana Petrovna
д-р техн. наук, проф., Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)
Doctor of Engineering Science, Professor, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Кисленко Тамара Александровна
Kislenko Tamara Alexandrovna
аспирант кафедры пожарной безопасности и гражданской защиты, ВолгГАСУ
post-graduate student of fire security and civil protection department, VSUACE

Клименко Максим Юрьевич
Klimenko Maxim Yurevich
аспирант, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 8(863)5-253-895
Post-graduate student, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Ковылин Андрей Васильевич
Kovylin Andrei Vasilevich
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, senior professor of power service and heat engineer department, VSUACE

Колодницкая Наталья Владимировна
Kolodnitskaya Natalya Vladimirovna
аспирант, Волгоградский государственный технический университет, knv-volg@mail.ru
Post-graduate student, Volgograd State Technical University

Кондратьева Лидия Никитовна
Kondrateva Lidiya Nikitovna
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительной механики, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 575-05-23, 575-05-44, Kondratjevaln@yandex.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of building mechanics, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Куликов Алексей Викторович
Kulikov Alexei Viktorovich
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ, 8-902-310-88-10
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, assistant professor of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Куликова Ирина Александровна
Kulikova Irina Alexandrovna
канд. техн. наук, доц., кафедра общей и прикладной химии, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, general and applied chemistry department, VSUACE

Лапынин Юрий Геннадиевич
Lapynin Yuri Gennadiyevich
д-р техн. наук, проф., директор, Волгоградский колледж газа и нефти, (8442)46-13-99, y.lapynin@vcgo.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, director, Volgograd college of gas and oil

Лебедев Дмитрий Николаевич
Lebedev Dmitri Nikolayevich
канд. техн. наук, доц., кафедра общей и прикладной химии, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, general and applied chemistry department, VSUACE

Лобанов Юрий Николаевич
Lobanov Yuri Nikolayevich
д-р арх., проф., главный архитектор, ООО «Архитектурная мастерская Ю.Н. Лобанова», Санкт-Петербург, 8(812)234-24-58, 8 921 925-84-80
Doctor of Architecture, Professor, chief architect, “Yu. S. Lobanov’s architect’s office” LLC

Маринин Никита Андреевич
Marinin Nikita Andreyevich
аспирант, ВолгГАСУ, hight.time@inbox.ru
Post-graduate student, VSUACE

Мартынова Оксана Анатольевна
Martynova Oxana Anatolevna
магистрант, ВолгГАСУ, ksyunya07-10@mail.ru
Candidate for master’s degree, VSUACE

Масляев Александр Викторович
Maslyaev Alexandr Viktorovich
канд. техн. наук, научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория ВолгГАСУ, эксперт ГУ РИНКЦЭ по сейсмологии и сейсмостойкому строительству, (8442)97-49-64, maslaev@mail.ru, victor3705@mail.ru
Candidate of Engineering Science, scientific seismological laboratory, VSUACE, expert of GA RRSCCE on seismology and antiseismic construction

Махова Светлана Ивановна
Makhova Svetlana Ivanovna
канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. кафедры инженерной геологии и геоэкологии, ВолгГАСУ, zav_lab@rambler.ru
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor, assistant professor of engineering geology and geoecology department, VSUACE

Мензелинцева Надежда Васильевна
Menzelintseva Nadezhda Vasilevna
д-р техн. наук, профессор, декан факультета инженерных систем и техносферной безопасности, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, dean of engineering systems and technosphere safety department

Мойжес Станислав Игоревич
Moizhes Stanislav Igorevich
аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ
post-graduate student of water supply and disposal department, VSUACE

Москвичева Елена Викторовна
Moskvicheva Yelena Viktorovna
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ, viv_vgasu@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of water supply and disposal, VSUACE

Мусаелян Саркис Мовсесович
Musayelyan Sarkis Movsesovich
д-р тех. наук, проф., проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, professor of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Недре Андрей Юрьевич
Nedre Andrei Yurevich
канд. техн. наук, генеральный директор, ОАО «НИИ охраны атмосферного воздуха», (812)297-8662, Andre@yandex.ru
Candidate of Engineering Science, general manager, “Scientific Research Institute for Atmospheric Air Protection” JSC

Овчинникова Надежда Павловна
Ovchinnikova Nadezhda Pavlovna
д-р арх., проф. кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Doctor of Architecture, professor of restoration and reconstruction of architectural heritage department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Олянский Юрий Иванович
Olyanski Yuri Ivanovich
д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, Olyanskii@mail.ru
Doctor of Geological and Mineral Science, Associate Professor, professor of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Осипов Василий Михайлович
Osipov Vasili Mikhailovich
заместитель главного инженера по экологии, охране труда и технике безопасности, МУП “ДРСУ № 1”, osipovvm@mail.ru
deputy chief engineer for ecology, occupational safety and safety procedures, MUE “Maintenance depot № 1”

Пилягин Алексей Васильевич
Pilyagin Alexei Vasilevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства, Чебоксарский политехнический институт (филиал) Московского государственного открытого университета, 428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 54, Pilyagin@mgou..infanet.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of construction operations, Cheboksary Polytechnic Institute (branch) of Moscow State Open University

Полозова Ирина Анатольевна
Polozova Irina Anatolevna
старший преподаватель кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет
senior professor of industrial ecology and life safety department, Volgograd State Technical University

Полянчиков Юрий Николаевич
Polyanchikov Yuri Nikolayevich
д-р техн. наук. проф, зав. кафедрой технологии машиностроения, Волгоградский государственный технический университет
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of manufacturing engineering, Volgograd State Technical University

Потоловский Роман Валерьевич
Potolovski Roman Valerevich
аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ, 8-905-4330740, tusera@mail.ru
post-graduate student of water supply and disposal department, VSUACE

Приходько Артем Павлович
Prikhodko Artem Pavlovich
аспирант, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 8(863)5-25-17-85
Post-graduate student, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Пушенко Сергей Леонардович
Pushenko Sergei Leonardovich
канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности технологических процессов и производств, Ростовский государственный строительный университет, pslrostov@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Professor, department chairman of engineering processes and productions safety, Rostov State University of Civil Engineering

Пшеничкина Валерия Александровна
Pshenichkina Valeriya Alexandrovna
д-р техн. наук, проф., декан строительного факультета, ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
Doctor of Engineering Science, Professor, dean of construction department, VSUACE

Радченко Ольга Петровна
Radchenko Olga Petrovna
учебный мастер кафедры технологии строительного производства, ВолгГАСУ, olga.radchenko.82@mail.ru
educational master of construction technology department, VSUACE

Рощин Павел Андреевич
Roshchin Pavel Andreyevich
аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-908-859-02-50
post-graduate student of power service and heat engineer department, VSUACE

Рыльцева Татьяна Федоровна
Ryltseva Tatyana Fedorovna
ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ, (8442)96-99-13, viv_vgasu@mail.ru
assistant of water supply and disposal department, VSUACE

Садовникова Наталья Петровна
Sadovnikova Natalya Petrovna
докторант кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ
postdoctoral student of application mathematics and computer science department, VSUACE

Санжапов Булат Хизбуллович
Sanzhapov Bulat Khizbullovich
д-р физ.-мат. наук, проф., проф. кафедры информационных систем и математического моделирования, ВолгГАСУ, sbkh@mail.ru
Doctor of Physics and Mathematics Science, Professor, professor of data systems and mathematic simulation department, VSUACE

Сергина Наталья Михайловна
Sergina Natalya Mikhailovna
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ, kaf_bgdvt@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, assistant professor of safety of living in technosphere department, VSUACE

Серпокрылов Николай Сергеевич
Serpokrylov Nikolai Sergeyevich
д-р техн. наук, проф., Ростовский государственный строительный университет, serpokrilov@nm.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, Rostov State University of Civil Engineering

Сидельникова Ольга Петровна
Sidelnikova Olga Petrovna
д-р техн. наук, проф., проф. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, professor of safety of living in technosphere department, VSUACE

Сидоренко Владимир Федорович
Sidorenko Vladimir Fedorovich
д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ, (8442)96-98-64
Doctor of Engineering Science, Professor, honoured science worker of RF, department chairman of ecological building and municipal facilities, VSUACE

Сидоренко Игорь Владимирович
Sidorenko Igor Vladimirovich
канд. техн. наук, доцент, кафедра экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Assistant Professor, ecological building and municipal facilities department, VSUACE

Синяков Владимир Николаевич
Sinyakov Vladimir Nikolayevich
д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. кафедрой инженерной геологии и геоэкологии, ВолгГАСУ, zav_lab@rambler.ru
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, department chairman of engineering geology and geoecology, VSUACE

Скибина Елена Владимировна
Skibina Yelena Vladimirovna
аспирант, Ростовский государственный строительный университет
Post-graduate student, Rostov State University of Civil Engineering

Славин Андрей Вячеславович
Slavin Andrei Vyacheslavovich
канд. техн. наук, доц. кафедры технологии обработки и производства материалов, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, assistant professor of tooling and work method of materials department, Volzhsky Institute of Construction and Technology (branch) of VSUACE

Славина Елена Вячеславовна
Slavina Yelena Vyacheslavovna
ассистент кафедры технологии обработки и производства материалов, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ
assistant of tooling and work method of materials department, Volzhsky Institute of Construction and Technology (branch) of VSUACE

Смирнов Владимир Владимирович
Smirnov Vladimir Vladimirovich
д-р арх., проф. кафедры архитектурного проектирования, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 8(812)430-25-29
Doctor of Architecture, professor of architectural engineering department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Соколов Петр Эдуардович
Sokolov Petr Eduardovich
доц. кафедры строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ
assistant professor of building materials and special processes department, VSUACE

Соколова Екатерина Александровна
Sokolova Yekaterina Alexandrovna
аспирант кафедры пожарной безопасности и гражданской защиты, ВолгГАСУ
post-graduate student of fire security and civil protection department, VSUACE

Сокольцова Анастасия Сергеевна
Sokoltsova Anastasiya Sergeyevna
магистрант, ВолгГАСУ, 8-961-066-73-69
Candidate for master's degree, VSUACE

Соловьев Александр Владимирович
Solovev Alexandr Vladimirovich
канд. техн. наук, соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, degree-seeking student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Сопит Андрей Вячеславович
Sopit Andrei Vyacheslavovich
каф. физики, ВолгГАСУ, sandrej@mail.ru
physics department, VSUACE

Статун Александр Сергеевич
Statun Alexandr Sergeyevich
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
post-graduate student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Стефаненко Игорь Владимирович
Stefanenko Igor Vladimirovich
докторант кафедры строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ
postdoctoral student of building materials and special processes department, VSUACE

Стефаненко Станислав Игоревич
Stefanenko Stanislav Igorevich
аспирант, ВолгГАСУ
Post-graduate student, VSUACE

Страхова Наталья Антоновна
Strakhova Natalya Antonovna
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой отопления, вентиляции и кондиционирования, Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, (863)263-53-64
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of heating, ventilation and conditioning, Rostov State University of Civil Engineering

Таранов Валерий Федорович
Taranov Valeri Fedorovich
технический директор ООО «Термалком», 8-927-534-76-01
engineering director of “Termalkom” LLC

Тертишников Игорь Викторович
Tertishnikov Igor Viktorovich
исполнительный директор, Российская академия наук, Институт катализа им. Г.К. Борескова, Волгоградский филиал
executive director, Russian Academy of Sciences, Boreskov Institute of Catalysis, Volgograd branch

Ткаченко Владимир Николаевич
Tkachenko Vladimir Nikolayevich
д-р техн. наук, проф. кафедры электроснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-909-384-84-16, vovat1934@mail.ru
Doctor of Engineering Science, professor of electric power service and heat engineer department, VSUACE

Филимонова Наталья Алексеевна
Filimonova Natalya Alexeyevna
ассистент кафедры общей и прикладной химии, ВолгГАСУ
assistant of general and applied chemistry department, VSUACE

Фокин Владимир Михайлович
Fokin Vladimir Mikhailovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8(909)377-60-77
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of power service and heat engineer, VSUACE

Фомина Екатерина Олеговна
Fomina Yekaterina Olegovna
студентка, ВолгГАСУ
student, VSUACE

Фомичёв Валерий Тарасович
Fomichev Valeri Tarasovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой общей и прикладной химии, ВолгГАСУ, (8442)96-98-14
Doctor of Engineering Science, Professor, department chairman of general and applied chemistry, VSUACE

Харланов Владимир Леонтьевич
Kharlanov Vladimir Leontevich
д-р техн. наук, доцент, проф. кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Assistant Professor, professor of building constructions, basis and reliability of constructions department, VSUACE

Чижов Никита Иванович
Chizhov Nikita Ivanovich
аспирант, ВолгГАСУ, (8442)96-99-07, kaf_bgdvt@mail.ru
Post-graduate student, VSUACE

Шапошников Никита Андреевич
Shaposhnikov Nikita Andreyevich
аспирант, ВолгГАСУ, 400074, sshhookk@mail.ru
Post-graduate student, VSUACE

Шило Максим Александрович
Shilo Maxim Alexandrovich
аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-988-959-60-09
post-graduate student of power service and heat engineer department, VSUACE

Шиян Станислав Иванович
Shiyan Stanislav Ivanovich
канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, banzaritcyn@mail.ru
Candidate of Engineering Science, postdoctoral student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Шубин Михаил Алексеевич
Shubin Makhail Alexeyevich
д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ, заслуженный эколог РФ, m-shubin@yandex.ru
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, professor of water supply and disposal department, VSUACE, deserved ecologist of the Russian Federation, VSUACE

Шубин Олег Владимирович
Shubin Oleg Vladimirovich
аспирант кафедры пожарной безопасности и гражданской защиты, ВолгГАСУ
post-graduate student of fire security and civil protection department, VSUACE

Шумячер Вячеслав Михайлович
Shumyacher Vyacheslav Mikhailovich
д-р техн. наук, проф., директор, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, director, Volzhsky Institute of Construction and Technology (branch) of VSUACE

Юшкова Наталия Геннадиевна
Yushkova Nataliya Gennadiyevna
канд. арх., доц. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий, ВолгГАСУ, (8442)96-98-59
Candidate of Architecture, assistant professor of apartment and public buildings architecture department, VSUACE

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: **info@vgasu.ru** (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографические сведения о публикациях в журнале и пристатейные списки литературы представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК;* на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 3 до 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office* (*Word 2003*); шрифт *основного текста* — Times New Roman (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300…600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *баблиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *на латинице*, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректура статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска **серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).**

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ **www.vgasu.ru**, в разделе ***Издательская деятельность / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*** (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: **400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).**

Уточнить ***условия публикации статей и приобретения*** очередного номера журнала можно по тел. **(8442)-96-98-46** у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева.**

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
временно выходит в одной серии
«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,
на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — Е85343
(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).
По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета *В.И. Воробьеву*

Продолжается прием статей в очередные выпуски
серий **«Политематическая»** и **«Строительная информатика»**
электронного сетевого научно-технического журнала **«ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ»**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, **утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство **Эл № ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство **№ 594 от 20.10.11, номер гос. рег. 0421200065** (на 2012 г.), включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация на сайте журнала **www.vestnik.vgasu.ru**

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, **утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство **Эл № ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: **www. vgasu.ru**
в разделе Издательская деятельность / Научные журналы.

Научное издание

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура
2011. Вып. 25 (44)

Редактор *М.Л. Песчаная*
Перевод на английский язык *Н.И. Копина*
Компьютерная правка и верстка *А.Г. Сиволобова, Ю.С. Лозовицкая*
Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е.В. Хромова*

Подписано в печать 12.12.2011. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 29,0. Усл. печ. л. 38,6. Тираж 500 экз. Заказ № 69

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1