

Федеральное агентство по образованию

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Строительство и архитектура

**Выпуск
17 (36)**

Научно-теоретический и производственно-практический
журнал

2010

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

С о д е р ж а н и е

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

- Гучкин И.С., Черячукин В.В., Сафронов Д.Н.** Усиление сплошных железобетонных плит при недопустимой коррозии рабочей арматуры 4
- Черячукин В.В., Гучкин И.С., Панков А.В.** Проектирование усиления железобетонных стропильных балок комбинированной системой 9
- Жиделёв А.В., Игнатъев А.В.** Расчет плоских геометрически нелинейных стержневых систем с наличием следящей нагрузки 14

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА

- Бандурин Н.Г.** Численное решение жестких нелинейных задач 17
- Калошина С.В., Пономарев А.Б.** Моделирование влияния нового строительства на существующую застройку в программном комплексе Plaxis 8.0 24

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

- Боровик В.С., Казачкова Л.О.** Влияние организационных мероприятий и дорожных условий на расход топлива 29
- Алексиков С.В., Абдулжалилов О.Ю., Карпушко М.О.** Укладка горячих асфальтобетонных смесей при ремонте покрытий городских дорог 35
- Углова Е.В.** Прогнозирование остаточного ресурса асфальтобетонных покрытий с учетом реальных условий эксплуатации 43
- Черноусов Р.Н., Черноусов Н.Н., Бондарев Б.А.** Изучение продавливания опорных и дорожных плит для круглых колодцев на шлакобетонных моделях 48
- Кокоев М.Н.** Аэродинамический нагреватель для ремонта дорожных покрытий 53
- Стадник А.Ю., Романов С.И.** Распределение случайной величины показателя шероховатости дорожного асфальтобетонного покрытия 58

Еремин В.Г., Волокитина О.А. Определение расчетных характеристик конструктивных слоев нежесткой дорожной одежды	61
Ухин Д.В. Математическая модель расчета температуры многослойной конструкции дорожной одежды в условиях перемены температур	66
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Хежев Т.А., Хежев Х.А. Эффективные огнезащитные составы на пористых заполнителях	70
Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д. Методы безопасного производства высокоэффективных строительных материалов для использования в особых условиях эксплуатации	74
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Шеина С.Г., Сеферов Г.Г. Анализ эффективности реализации целевой программы капитального ремонта жилищного фонда г. Ростова-на-Дону в соответствии с Федеральным законом № 185-ФЗ	83
Алимов Н.П. Расчет эффективности средств индивидуальной защиты от шума	88
Воронова С.О. Современное состояние организационно-технологического проектирования строительного производства в условиях правовой неопределенности	92
Зильберова И.Ю., Саар О.В. Формирование методики выбора технологического решения при производстве работ на линейно-протяженных объектах	96
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Азаров В.Н., Бессараб О.И., Кабаев О.В. Теоретические исследования скорости оседания мелкодисперсной пыли в воздушной среде рабочих помещений предприятий машиностроения и стройиндустрии	102
Диденко В.Г., Власова О.С. Анализ факторов функциональной эффективности газоочистки выбросов трубноэлектросварочных цехов	106
Куц Л.Р. Экспериментальные исследования нейтрализатора токсичных продуктов сгорания газогорелочных устройств котельных установок	110
Аверкин А.Г. Определение поверхности тепломассопереноса в контактном аппарате при обработке воздуха водой	114
Пономарев А.Б., Захаров А.В. Использование геотермальной энергии для отопления и кондиционирования зданий	119
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Сизов А.А., Серпокрялов Н.С. Надежность очистки периодических сбросов сточных вод	123
Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К. Влияние механической активации на эффективность извлечения тяжелых металлов из гальванических шламов	128
Рубанов Ю.К., Старостина И.В., Блайдо Е.В., Флорес Ариас М.М. Использование отходов металлургического производства для удаления нефтепродуктов с поверхностей воды и почвы	132
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
Трейман Ю.Ф. Особенности территориально-пространственного расположения поселений средневековой Алании на Великом шелковом пути	135
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА	
Шубин М.А., Шубин А.М. Исследование процесса подтопления застроенных территорий и разработка защитных мероприятий	142
Чебанова С.А., Воробьев В.И., Балычев В.Д. Расчет рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ от предприятий топливно-энергетического комплекса с учетом наложения факельных выбросов от высоких нагретых организованных источников	148
НАШИ АВТОРЫ	153

Contents

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS. UNDERGROUND STRUCTURES. STRUCTURAL MECHANICS	
Guchkin I.S., Cheryachukin V.V., Saphronov D.N. The reinforcement of the entire ferro-concrete slab by the inadmissible corrosion of the working fixtures	4
Cheryachukin V.V., Guchkin I.S., Pankov A.V. Rafter strengthen the design of reinforced concrete beams of the combined system	9
Gidelev A.V., Ignatyev A.V. Calculation of geometric nonlinear plane rod systems in the presence of follower loadings	14
CIVIL ENGINEERING INFORMATICS	
Bandurin N.G. Numerical solution of stiff nonlinear problems	17

Kaloshina S.V., Ponomaryov A.B. Modeling of influence of new building on existing building in a program complex Plaxis 8.0	24
DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS	
Borovik V.S., Kazachkova L.O. The influence of institutional arrangements and road conditions on fuel consumption	29
Alexikov S.V., Abdulzhalilov O.Yu., Karpushko M.O. Packing of hot road concrete mix during pavement repairing of municipal roads	35
Uglova E.V. Forecasting of the residual resource asphalt concrete coverings with the account real working conditions	43
Chernousov R.N., Chernousov N.N., Bondarev B.A. Study bursting road and base plates for round wells on the breeze models	48
Kokoyev M.N. Aerodynamic heater for the repair road surfaces	53
Stadnik A.Y., Romanov S.I. Distribution of random values of roughness pavement road asphalt	58
Eremin V.G., Volokitina O.A. To a question of definition of settlement characteristics of constructive layers of nonrigid road clothes	61
Uhin D.V. The mathematical model of calculating the temperature of a multi-layered road pavement under conditions of changing temperatures	66
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
Khegev T.A., Khegev H.A. Effective fire-defense composition on the base porous mixture	70
Sidelnikova O.P., Kozlov Yu.D. Safe production methods of high efficiency building materials for usage in special operating conditions	74
TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION	
Sheina S.G., Seferov G.G. Analysis of the effectiveness of the implementation of the target program overhaul housing Rostov-on-Don in accordance with Federal law № 185-FZ	83
Alimov N.P. Calculation of the efficiency of individual protection against noise	88
Voronova S.O. Resent situation of organizational-technological engineering on construction production in the legal uncertainty conditions	92
Zilberova I.Yu., Saar O.V. Formation of a technique choice of the technological decision by manufacture of works on linearly-extended objects	96
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION	
Azarov V.N., Bessarab O.I., Kabayev O.V. Theoretical researches of rate of subsidence of the finely divided dust in the air of working rooms of the enterprises of mechanical engineering and building industry	102
Didenko V.G., Vlasova O.S. The analysis of factors of functional efficiency of gas purification of emissions at electrowelding pipes of shops	106
Kusch L.R. Experimental study of device reduction of toxic combustion products gas burner units boilers	110
Averkin A.G. The determining problem of the surface of heat and mass transfer in contact apparatuses for processing air by water	114
Ponomaryov A.B., Zaharov A.V. Use of geothermal energy of soils for heating and air-conditioning of buildings	119
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Sizov A.A., Serpokrillov N.S. Reliability of treatment of periodic sewage discharges	123
Tokach Yu.E., Rubanov Y.K. Influence of mechanical activation on efficiency of extraction of heavy metals from galvanic slag	128
Rubanov Y.K., Starostina I.V., Blaido E.V., Flores Arias M.M. Use of the waste of metallurgical manufacture for removal of mineral oil from water and soil surfaces	132
THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE. ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	
Treyman Yu.F. Features of a territorially-spatial arrangement of settlements medieval Alania on the Great silk way	135
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING	
Shubin M.A., Shubin A.M. Research of ground water rising in urban territories and development of protective measures	142
Chebanova S.A., Vorobyov V.I., Balychev V.D. Evaluation of the contaminators ventilation to the air from plants of fuel and energy sector with allowance for overlapping of plume pollution from high heated organized sauces	148
OUR AUTHORS	153

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

УДК 624.073.113

И.С. Гучкин, В.В. Черячукин, Д.Н. Сафронов

**УСИЛЕНИЕ СПЛОШНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ
ПРИ НЕДОПУСТИМОЙ КОРРОЗИИ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ**

Приведены результаты исследования конструкции усиления сплошной железобетонной плиты, усиленной двухсторонним наращиванием сечения. Сделаны выводы по работе конструкции усиления и предпосылки к ее численному расчету.

К л ю ч е в ы е с л о в а: железобетонная плита, конструкции усиления, коррозия, шпонка.

The results of the research by the construction of the entire ferro-concrete slab's reinforcement, intensified by the double-sided joint of the section are presented. The conclusions on the work by the reinforcement's construction and the preconditions to its numeral calculation have been made.

К e y w o r d s: ferro-concrete slab, reinforcement's construction, corrosion, dowel.

Железобетонные конструкции по составу исходных материалов достаточно долговечны и не нуждаются в специальном усилении, если эксплуатируются в нормальных температурно-влажностных условиях и при отсутствии агрессивной среды. В таких условиях работает относительно небольшой класс конструкций, расположенных внутри жилых и общественных зданий или же в сооружениях, эксплуатируемых в теплых и сухих климатических районах. Для большинства же конструкций промышленных предприятий свойственны слабо- и сильноагрессивные среды.

Под влиянием агрессивной среды в бетоне и особенно в арматуре развиваются физико-химические и физико-механические деструктивные процессы, в результате которых коррозия арматуры может достигать 50 % и более. Существующие методы усиления таких конструкций [1—4], достаточно дорогостоящи, трудоемки и связаны в основном с подведением под поврежденную плиту новой металлической или железобетонной конструкции, которая должна воспринимать практически всю нагрузку, как временную (полезную), так и от собственного веса.

Предложенный способ позволит усилить плиты перекрытий без подведения усиливающей конструкции, при этом, как показали исследования, он достаточно технологичный и нематериалоемкий.

Технология усиления плиты включает следующие операции. На поверхности плиты размечают оси отверстий с таким расчетом, чтобы в него по возможности не попала рабочая арматура. Просверливают сквозные отверстия

диаметром 80...100 мм с шагом 0,5...1 м. Изготавливают щитовую опалубку. Опалубка состоит из водостойкой фанеры и деревянных брусьев, которые обеспечивают жесткость щита. В опалубке делаются отверстия для пропуска в них винтовых устройств. На опалубку укладывают арматурную сетку, а затем с помощью винтовых устройств подтягивают ее к плите, при этом зазор между опалубкой и усиливаемой плитой, необходимый по конструктивным требованиям, обеспечивается высотой борта опалубки. Сверху на плиту укладывают арматурную сетку и связывают при помощи арматурных стержней, пропускаемых через отверстия, с нижней сеткой.

Затем производят бетонирование мелкозернистым бетоном сначала нижнего слоя и отверстий в плите, а затем верхнего слоя, используя для уплотнения бетонной смеси вибратор. Конструкция усиления плиты и узлы сопряжения усиливаемых элементов показаны на рис. 1. Для уплотнения смеси необходимо использование вибраторов, подвешиваемых к опалубке, или вибробулавы с воздействием на бетонную смесь через опалубку.

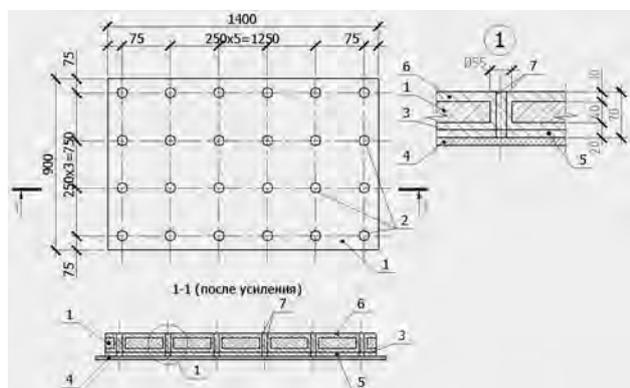


Рис. 1. Опытный образец. Схема усиления: 1 — усиливаемая плита; 2 — отверстия в усиливаемой плите; 3 — арматурная сетка; 4 — щитовая опалубка; 5 — нижний слой усиления; 6 — верхний слой усиления; 7 — арматура шпонки

плиты с размерами в плане 1400×900 мм и толщиной 70 мм. В предположении, что рабочая арматура плиты сильно (более 50 %) поражена коррозией, в опытном образце (внутренний слой) сечение арматуры принималось минимальным с коэффициентом армирования $\mu = 0,0014$. Внутренний слой (основная плита) толщиной 40 мм армировался сеткой из проволоки диаметром 1 мм с ячейкой 15 мм. Верхний слой плиты толщиной 10 мм не армировался. Нижний слой толщиной 20 мм армировался в рабочем направлении стержнями диаметром 6 мм из арматуры класса А400 с шагом 100 мм. Все три слоя соединялись цилиндрическими железобетонными шпонками диаметром 55 мм, расположенными с шагом 250 мм. Образцы представляли собой сплошные железобетонные плиты, усиленные методом наращивания-подращивания и отличающиеся по коэффициенту армирования шпонок и наличию адгезии в контактной зоне между основной плитой и нижним слоем усиления. В образцах № 1 и 2 коэффициент армирования шпонок составил $\mu = 0,012$, в образце № 3 $\mu = 0,006$. В образце № 2 между основной плитой и нижним слоем отсутствовала адгезия за счет прокладки из полиэтиленовой пленки.

Предложенный способ усиления обеспечивает абсолютно ровные поверхности плиты, при этом незначительно увеличивается нагрузка от собственного веса усиливаемого слоя бетона, а также практически не уменьшается полезная высота помещений под и над усиливаемой плитой.

В соответствии с программой исследований были изготовлены из мелкозернистого бетона класса В20 три образца —

При подготовке эксперимента основной задачей было выяснить, насколько качественно будет проходить бетонирование плит через отверстия в усиливаемой плите при стандартных условиях. С этой целью особое внимание уделялось контролю требуемой подвижности бетонной смеси в элементах усиления, что достигалось введением в бетонную смесь пластифицирующей добавки. Прочность бетона устанавливалась по результатам испытания контрольных образцов-кубов с размером грани 10 см.

На рис. 2 показаны схема испытания плит на изгиб и расположение арматуры в шпонках.

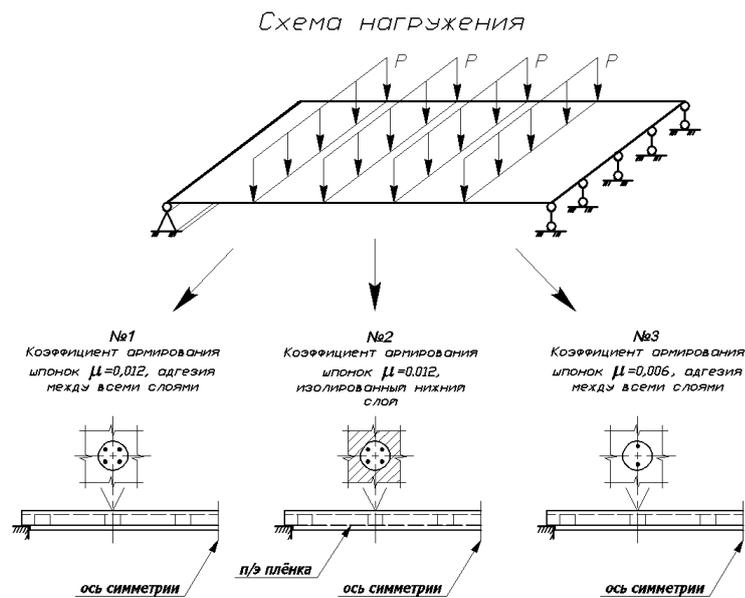


Рис. 2. Схема нагружения и характеристики испытываемых образцов

При испытании плит равномерно распределенная нагрузка заменялась эквивалентной, создаваемой равными сосредоточенными силами посредством системы распределительных балок, передающих на испытываемый образец плиты нагрузку от гидравлического 12-тонного домкрата.

Нагрузка контролировалась механическим динамометром 3 тс с индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм.

В процессе испытаний выявлялись характер разрушения опытных образцов, величина и скорость нарастания прогибов, а также величина относительных деформаций в сжатой зоне плиты.

Прогибы в середине пролета измерялись двумя прогибомерами, расположенными по краям.

Для измерения относительной деформации в сжатой зоне плиты были наклеены шесть тензодатчиков, которые подключались к прибору марки ИД-70М.

Плиты работали в одном направлении и опирались при испытаниях на две шарнирные линейные опоры, расположенные по концам образца, одна из которых была неподвижной, а другая — подвижной, допускающей перемещение вдоль пролета.

Плиты нагружались ступенями по 2,5 кН (10 % от разрушающей). После каждого нагружения производилась выдержка по 10 мин. В начале и в конце

выдержки снимались показания с приборов. По достижении плитой нормативной нагрузки в 15 кН выдержка составляла 30 мин. Во время испытания производился визуальный осмотр плиты и фиксировалась картина развития трещин. Результаты испытаний приведены на графиках (рис. 3).

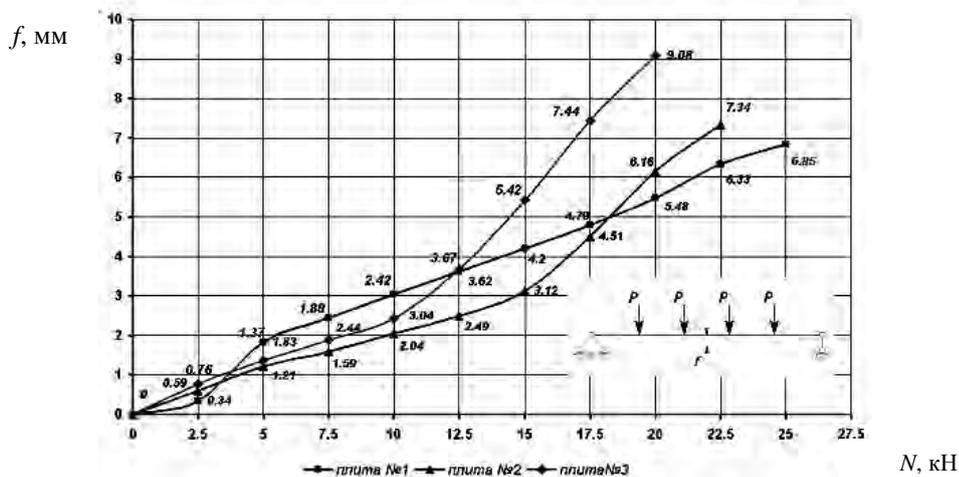


Рис. 3. Графики результатов испытаний образцов плит

Эксперимент показал, что на прочность и жесткость усиленной плиты в большей степени влияет коэффициент армирования шпонок, нежели наличие адгезии между слоями «нового» и «старого» бетонов. Так, с уменьшением коэффициента армирования шпонок с 0,012 до 0,006 и при наличии адгезии между слоями прочность плиты снизилась на 20 %. В то же время отсутствие адгезии между слоями при равных коэффициентах армирования снижает прочность на 10 %.

Бетон в верхнем слое плиты находится в одноосном напряженном состоянии и работает на сжатие. Исключение составляют участки примыкания шпонок, где возникает значительная концентрация напряжений.

Рабочая арматура усиления работает на растяжение и достигает нормативного сопротивления примерно одновременно с рабочей арматурой плиты. Сложно охарактеризовать напряженно-деформированное состояние, в котором находятся бетон и арматура в шпонках. В шпонках бетон одновременно с работой на срез частично воспринимает и растягивающие усилия, работая на отрыв. Поэтому для восприятия растягивающих усилий арматуру шпонок необходимо надежно заанкеривать в растянутой зоне, так как разрушение происходит от отрыва слоя усиления в приопорной зоне плиты.

Эксперимент показал, что работа бетона на восприятие поперечных сил от действия внешней нагрузки обеспечивается с большим запасом за счет работы сечения приопорной зоны плиты.

Совместная работа нижнего слоя усиления и плиты достигается в результате надежной работы армированных шпонок и адгезии контактирующих слоев бетона.

В ходе эксперимента наблюдалось равномерное нарастание прогибов при увеличении внешней нагрузки на плиту. Во всех образцах на предпоследней стадии нагружения около одной из опор происходил отрыв нижнего

растянутого слоя бетона. Нормальная трещина под крайней грузовой траверсой прорастала и приближалась к нейтральной оси (рис. 4, 5). На последней стадии нагружения в приопорной зоне в крайнем ряду шпонок происходил срез бетона и срезающие усилия воспринимала расположенная в них арматура.



Рис. 4. Вид нормальной трещины под грузовой траверсой

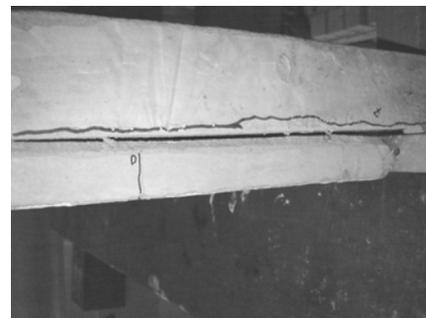


Рис. 5. Вид продольной трещины у опоры

Таким образом, результаты эксперимента показали, что для расчета плит, усиленных наращиванием-подращиванием сечения на шпонках, целесообразно применить теорию расчета составных стержней [5]. При этом для нахождения внутренних усилий в элементах составной плиты необходимо решить систему уравнений (1):

$$\begin{cases} T_1'' = \xi(\Delta_{11}T_1 + \Delta_{12}T_2 + \Delta_{10}); \\ T_2'' = \xi(\Delta_{21}T_1 + \Delta_{22}T_2 + \Delta_{20}), \end{cases} \quad (1)$$

где T_1 и T_2 — суммарные сдвигающие усилия в швах стержня; $\Delta_{11}, \Delta_{12}, \Delta_{10}, \Delta_{21}, \Delta_{22}, \Delta_{20}$ — коэффициенты, зависящие от жесткостных и геометрических характеристик брусьев; ξ — коэффициент жесткости связи против сдвига.

Усилие в поперечных связях шва, отнесенное к единице длины стержня, определяется по формуле

$$s = -q_k + \tau'b, \quad (2)$$

где q_k — поперечная нагрузка, приложенная к крайнему стержню; τ — погонные сдвигающие усилия; b — расстояние от центра тяжести бруса до разделяющей плоскости.

Для выполнения численного расчета прочности усиленной плиты требуется получить сведения о прочности (жесткости) шпонок на срез и растяжение, что и планируется в наших дальнейших исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановлений эксплуатационных качеств конструкций. М. : Изд-во АСВ, 2000. 172 с.
2. Кутуков В.Н. Реконструкция зданий. М. : Высшая школа, 1981. 263 с.
3. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК. М. : Стройиздат, 1989. 104 с.
4. Рекомендации по испытанию и оценке прочности, жесткости и трещиностойкости опытных образцов железобетонных конструкций. М. : НИИЖБ, 1987.
5. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. М. : Стройиздат, 1986.

Поступила в редакцию в декабре 2009 г. © Гучкин И.С., Черячукин В.В., Сафронов Д.Н., 2009

УДК 624.072.221

В.В. Черячукин, И.С. Гучкин, А.В. Панков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОПИЛЬНЫХ БАЛОК КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ

Описывается способ усиления железобетонных стропильных балок комбинированной системой с элементами затяжки и упругой опоры. Представлен алгоритм расчета балок, усиленных предполагаемым способом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: железобетонная балка, усиление, упругая опора, шпренгель.

The method of the reinforcement of the ferro-concrete rafter's beams by the combined system with elements of the draw and resilient bearing are described in the article. The algorithm of the calculation of the beams reinforced by offered method have been presented.

К е у w o r d s: ferro-concrete beam, reinforcement, resilient bearing, holdwork.

Стропильные балки входят в разряд наиболее ответственных несущих конструкций, поэтому им уделяется особое внимание при обследовании зданий и сооружений. Однако в последние годы инженерная служба сталкивается с серьезной проблемой выдачи заключений о безопасной эксплуатации стропильных балок в связи с увеличением по действующим СНиП 2.01.07—85* [1] расчетной снеговой нагрузки, на которую эти конструкции не были рассчитаны. Кроме того, из-за перепрофилирования многих производственных зданий и использования в них вместо мостовых кранов подвесных расчетные нагрузки на стропильные балки еще больше увеличиваются. Таким образом, возникает острая необходимость в массовом усилении стропильных балок, которое должно быть надежным, технологичным и экономически целесообразным.

Существуют различные способы усиления стропильных балок, среди которых наиболее часто встречаются устройство дополнительных жестких и упругих опор, предварительно-напряженные затяжки, шпренгели, подваривание дополнительных рабочих стержней и пр. [2]. Каждый из перечисленных методов кроме положительных качеств имеет и существенные недостатки. Так, применение жестких опор (стоек, подкосов) ограничено эстетическими и технологическими требованиями. Упругие опоры-балки, фермы, проектируемые исходя из условия сопоставимой жесткости с усиливаемой балкой, требуют чрезмерно большого расхода металла. Шпренгельные системы малоэффективны при усилении балок с высоким процентом армирования и нуждаются в дополнительном усилении сжатой зоны стальным прокатом. Предварительно напряженные затяжки применимы при малых процентах армирования. То же относится и к усилению подваркой дополнительных стержней, которое возможно при усилении балок с обычной арматурой.

Разработанная на кафедре строительных конструкций Пензенского государственного университета архитектуры и строительства комбинированная система включает в себя элементы усиления затяжкой и упругой опорой, однако отличается тем, что, используя положительные качества этих методов, лишена многих их недостатков.

Усиление балки комбинированной системой показано на рис. 1.

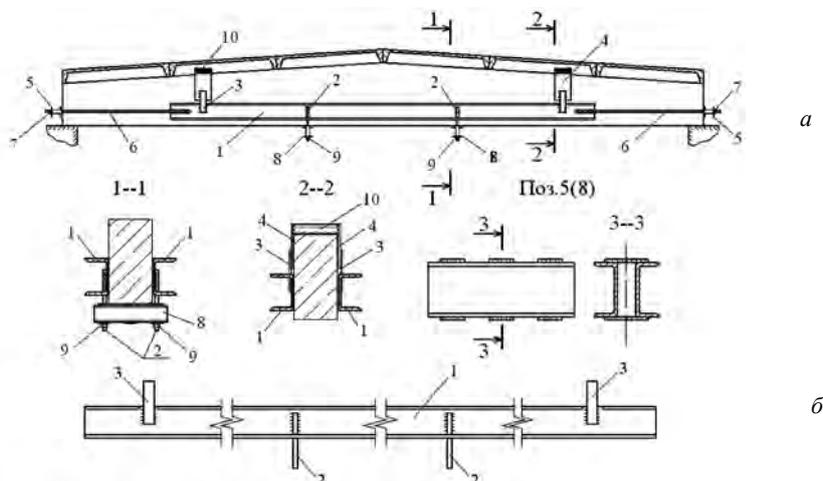


Рис. 1. Усиление стропильной балки комбинированной системой: *a* — усиленная балка; *б* — базовый элемент

Усиление производится в следующей последовательности:

изготавливается базовый элемент, состоящий из прокатного профиля (швеллера) *1* и приваренных к нему болтов *2* и пластин *3*. Базовый элемент с помощью элементов подвески *3*, *4* и *10*, соединенных на сварке, крепится к балке в проектное положение;

устанавливаются торцевые балки *5* и болты *6*, один конец которых приваривается к швеллеру *1*. Натяжением гаек *7* создается предварительное напряжение в базовом элементе;

устанавливаются поддерживающие балки *8*, через которые пропускаются болты *2*. Натяжением гаек *9* создается проектное напряжение в базовом элементе.

Расчет балки, усиленной комбинированной системой, можно выполнить методом сил. Задача сводится к нахождению неизвестных реакций X_1 , возникающих в промежуточных упругих опорах. Основная система и единичные состояния метода сил приведены на рис. 2.

Система канонических уравнений метода сил выглядит следующим образом:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1P} = 0; \quad (1)$$

$$\delta_{11} = \int_{L-2c} \frac{M_1^{2(yс)}}{EI(yс)} dS + \int_L \frac{1}{\eta} M_1^{(б)} dS; \quad (2)$$

$$\Delta_{1P} = \int_L \frac{1}{r} M_1^{(б)} dS, \quad (3)$$

где X_1 — искомая реакция, возникающая в промежуточной опоре; Δ_{1P} — перемещение железобетонной балки по направлению силы X_1 , вызванное внешней нагрузкой; $\frac{1}{\eta}$ — кривизна железобетонной балки от единичной нагрузки [3, (175)];

$$\frac{1}{\eta} = B_{11}M + B_{12}N \quad [3, (176)], \quad (4)$$

где M — изгибающий момент; N — продольная сила;

$$M = M_{\text{act}} \pm Pe_{\text{op}}, \quad [3, (177)]; \quad (5)$$

$$N = \pm N_{\text{act}} - P \quad [3, (177)]. \quad (6)$$

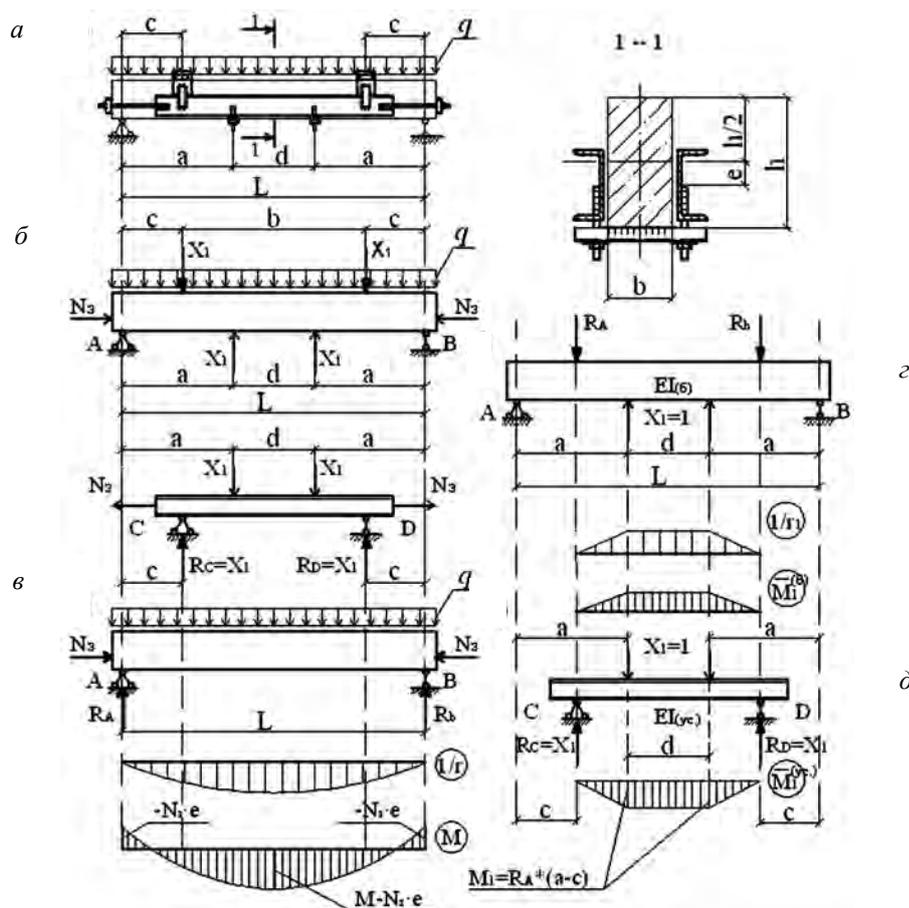


Рис. 2. К расчету балки, усиленной комбинированной системой: a — схема усиленной балки; b — основная система метода сил; c — грузовое состояние для балки, эпюры кривизны и изгибающих моментов; d — единичное состояние для базового элемента, эпюр единичных изгибающих моментов

Входящие в формулы (4)—(6) обозначения см. в п. 4.35 [3]; δ_{11} — совместное перемещение железобетонной балки и элементов усиления по направлению единичной силы X_1 от $X_1=1$; $\frac{1}{r}$ — кривизна железобетонной балки от грузового состояния; $M_1^{(b)}$ — единичный момент для железобетонной балки;

$M_1^{(yc)}$ — единичный момент для элементов усиления; N_3 — усилие предварительного напряжения в элементах усиления (затяжке); $EI_{(yc)}$ — жесткость элементов усиления.

В лаборатории кафедры были проведены экспериментальные исследования предлагаемого метода усиления. Для проведения эксперимента была изготовлена комбинированная система из затяжки, подвесок и промежуточных опор, приведенная на рис. 3.

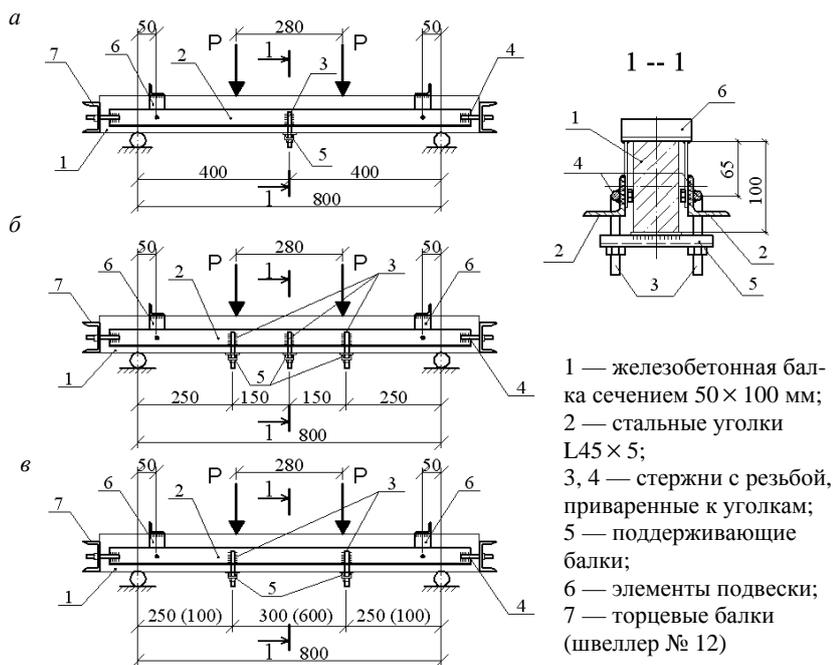


Рис. 3. Схемы усиления балок при наличии одной (а), трех (б) и двух (в) промежуточных опор

Исследовались четыре варианта положения промежуточных опор с симметричным расположением относительно оси балки, а именно: одна опора в середине пролета (рис. 3, а); три опоры, удаленные друг от друга на расстояние 0,15 м (рис. 3, б); две опоры, расположенные на расстоянии 0,3 м друг от друга, и тот же вариант на расстоянии 0,6 м (рис. 3, в).

Кроме того, исследовались три варианта, когда расстояние между подвесками при постоянном положении промежуточных опор менялось и составляло 850, 500 и 200 мм.

Эксперимент проводился на железобетонных образцах — балках длиной 1000 мм прямоугольного сечения с размерами 50×100 мм. Бетон тяжелый, подвергнутый тепловой обработке, соответствовал классу В15.

Балки армировались одним каркасом: нижняя арматура — Ø8А-III; верхняя — Ø4Вр-I; поперечная арматура — Ø4Вр-I с шагом 100 мм — в пролете и 50 мм — на приопорных участках. Затяжка состояла из двух уголков 45×5 мм и стержней диаметром 10 мм, соединенных с уголками на сварке.

Испытательная нагрузка прикладывалась ступенями величиной 150 кгс, что составляло примерно 10 % от теоретической разрушающей нагрузки для неусиленной балки. Усилие предварительного обжатия балки затяжкой было постоянное и составляло 8,6 кН. По результатам эксперимента были построены графики, представленные на рис. 4 и 5.

f , мм $f_{z \max} = 1,72$ $f_{\beta \max} = 1,34$ $f_{a \max} = 1,3$ $f_{b \max} = 0,92$

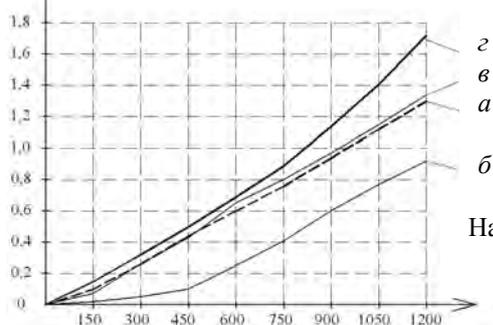


Рис. 4. Графики зависимостей прогиба балки от нагрузки при различном положении промежуточных опор: *a* — одна промежуточная опора; *б* — три опоры, расположенные на расстоянии 150 мм друг от друга; *z* — две опоры на расстоянии 600 мм

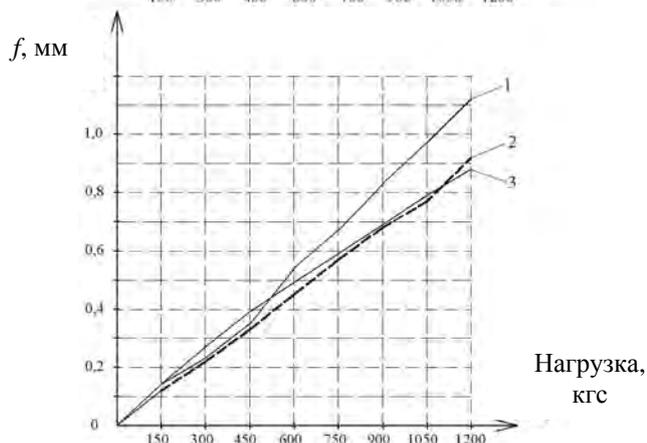


Рис. 5. Графики зависимостей прогиба балки от нагрузки при различном расстоянии L между подвесками, мм: 1 — 200; 2 — 500; 3 — 850

Выводы. 1. При усилении балки комбинированной системой с различным положением промежуточных опор и фиксированном расстоянии между подвесками минимальный прогиб соответствует схеме с тремя промежуточными опорами ($f_2 = 0,92$ мм), а максимальный — схема с двумя промежуточными опорами, удаленными на 600 мм друг от друга и смещенными к концам балки ($f_4 = 1,72$ мм). 2. При усилении балки двумя промежуточными опорами с различным положением подвесок прогиб уменьшается при смещении подвесок к опорам. 3. Максимальное увеличение несущей способности усиленной балки (в 2,26 раза) достигнуто при наличии трех промежуточных опор и подвесок, расположенных на расстоянии 500 мм друг от друга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.01.07—85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987.
2. Гучкин И.С. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий. Пенза : Пензенский гос. архит.-строит. ин-т, 1993. 263 с.
3. СНиП 2.03.01—84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1984.

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

© Черячукин В.В., Гучкин И.С., Панков А.В., 2009

УДК 624.04

А.В. Жиделёв, А.В. Игнатъев

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С НАЛИЧИЕМ СЛЕДЯЩЕЙ НАГРУЗКИ

Рассмотрен расчет геометрически нелинейных плоских стержневых систем с наличием следящей нагрузки в динамической постановке задачи по смешанной форме МКЭ. Приведен пример расчета плоской Г-образной рамы, загруженной на свободном конце следящей силой.

К л ю ч е в ы е с л о в а: геометрически нелинейные стержневые системы, следящая нагрузка, метод конечных элементов, нелинейная теория упругости.

The calculation of geometric nonlinear plane rod systems in the presence of follower loadings in the case of dynamic target setting which is written for mixed form of the Finite Element Method was considered by authors. The paper gives the results of the solution of the plane two-roads frame system in the presence of follower loading.

К е у w o r d s: geometric nonlinear rod system, follower loadings, finite element method, nonlinear elasticity theory.

Система уравнений смешанного метода расчета геометрически нелинейных плоских стержневых систем, записанная в динамической постановке по методу Вилсона (в приращениях), в матричном виде записывается так:

$$\begin{bmatrix} r_{ZZ} & r_{ZX} \\ \delta_{XZ} & \delta_{XX} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q \\ \dot{q} \end{Bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \delta_{XP} \\ r_{ZP} \end{bmatrix} \{\Delta P\}_k - \begin{bmatrix} \delta_{XF} \\ r_{ZF} \end{bmatrix} [C] \{\Delta \dot{Z}\}_k - \begin{bmatrix} \delta_{XW} \\ r_{ZW} \end{bmatrix} [M] \{\Delta \ddot{Z}\}_k = 0, \tag{1}$$

где $\begin{bmatrix} r_{ZZ} & r_{ZX} \\ \delta_{XZ} & \delta_{XX} \end{bmatrix}$ — матрица откликов систем; $\begin{Bmatrix} q \\ \dot{q} \end{Bmatrix}_k$ — вектор неизвестных смешанного метода (построение системы (1) рассмотрено в [1]).

В точке k системы может действовать вектор независимых сил $\{P^{лок}\}_k$, повернутый вокруг точки k на некоторый угол $\xi_p^{(k)}$.

Матрица (рис. 1), связывающая векторы внешней нагрузки в локальной и глобальной системах координат, равна

$$[A_p] = \begin{bmatrix} \cos \xi_p^{(k)} & -\sin \xi_p^{(k)} & 0 \\ \sin \xi_p^{(k)} & \cos \xi_p^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Выделяют следующие типы внешней нагрузки:

1) поступательная: $\xi_p^{(k)}(t) = \text{const}$, матрица $[A_p]$ остается постоянной на всем рассматриваемом интервале;

2) следящая: $\xi_P^{(k)}(t) = \xi_P^{(k)}(Z(t))$, матрица $[A_P(\{Z\}_{k+1})]$ меняется на каждом шаге расчета, поэтому представим ее в виде разложения в ряд Тейлора по степеням Δt_k :

$$[A_P(\{Z\}_{k+1})] \approx [A_{P\Psi}] = [A_P(\{Z\}_k)] + \left[\dot{A}_P(\{Z\}_k, \{\dot{Z}\}_k) \right] \Delta t_k + \left[\ddot{A}_P(\{Z\}_k, \{\dot{Z}\}_k, \{\ddot{Z}\}_k) \right] \frac{\Delta t_k^2}{2}, \quad (3)$$

где $\left[\dot{A}_P(\{Z\}_k, \{\dot{Z}\}_k) \right]$, $\left[\ddot{A}_P(\{Z\}_k, \{\dot{Z}\}_k, \{\ddot{Z}\}_k) \right]$ — производные матрицы $[A_P(\{Z\}_k)]$, определяются для каждого конкретного вида действия внешней нагрузки.

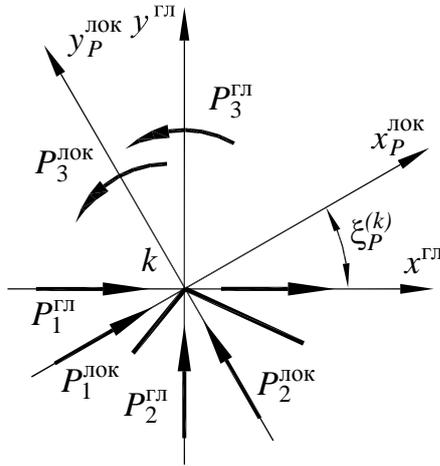


Рис. 1

Система уравнений динамического равновесия в момент времени t_{k+1} с учетом следящей нагрузки имеет вид

$$\begin{cases} [\delta_{XX}] \{\Delta X\}_k + [\delta_{XZ\Psi}] \{\Delta Z\}_k + [\delta_{XP}] [A_{P\Psi}] \{\Delta P^{\text{ЛОК}}\}_k - \\ \quad - [\delta_{XP}] [C] \{\Delta \dot{Z}\}_k - [\delta_{XP}] [M] \{\Delta \ddot{Z}\}_k = 0, \\ - [\delta_{XZ\Psi}]^T \{\Delta X\}_k - [A_{P\Psi}] \{\Delta P^{\text{ЛОК}}\}_k + [C] \{\Delta \dot{Z}\}_k + \\ \quad + [M] \{\Delta \ddot{Z}\}_k = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Пример. Найти перемещения точек B и C , а также величины моментов M_A и M_B Г-образной рамы, изображенной на рис. 2. В точке B рамы приложена следящая нагрузка $P = 5$ Н, действующая в процессе изгиба под углом 90° к касательной к упругой линии на незакрепленном конце рамы.

Исходные данные: $l=1,0$ м, $h=0,5$ м, $EI_{AB}=2,0$ Н·м², $EA_{AB}=2 \cdot 10^6$ Н, $EI_{BC}=1,0$ Н·м², $EA_{AB}=10^6$ Н.

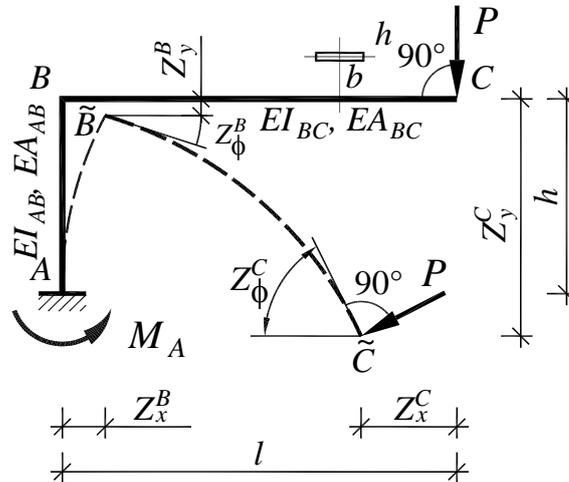


Рис. 2

Расчет проводился в разработанной А.В. Жиделевым программе GenoSys при следующих параметрах: участок AB разбит на 5 КЭ, участок BC — на 10 КЭ [2].

Результаты расчета приведены в таблице.

Z_x^B ,	Z_y^B ,	Z_ϕ^B ,	Z_x^C ,	Z_y^C ,	Z_ϕ^C ,	M_A ,	M_B ,
мм	мм	рад	мм	мм	рад	Н·м	Н·м
106,6	-16,6	-0,505	-1117,0	-787,0	-2,597	-1,241	-2,944

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жиделев А.В., Игнатъев В.А. Смешанная форма МКЭ в задачах расчета геометрически нелинейных стержневых систем // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Естественные науки. 2007. Вып. 6(23). С. 78—84.

2. Игнатъев В.А., Игнатъев А.В., Жиделев А.В. Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики. Волгоград : ВолгГАСУ, 2006. 172 с.

© Жиделёв А.В., Игнатъев А.В., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 519.62

Н.Г. Бандурин

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЖЕСТКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ

Кратко описаны численный метод 10-го порядка точности и программа INTDIF-STIFF для автоматического решения систем жестких обыкновенных в общем случае существенно нелинейных интегро-дифференциальных уравнений (ИДУ), имеющих пограничный слой в начале и/или в конце промежутка интегрирования. Одна и та же система дифференциальных уравнений (ДУ), разрешенных относительно старших производных, после предварительного интегрирования всех уравнений или некоторых из них по программе может решаться как система интегральных уравнений (ИУ) или как система ИДУ. Высокая эффективность метода и программы иллюстрируется результатами решения восьми тестовых жестких задач, заимствованных из работ известных зарубежных авторов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: жесткие задачи, нелинейные интегро-дифференциальные уравнения, численные методы, компьютерные программы.

The numerical method 10-th about accuracy is briefly described and program INTDIF-STIFF for the automatic solve of systems rigid ordinary generally essentially of nonlinear integro-differential equations (IDE), having a boundary layer in the beginning and/or at the end of an interval of integration. The same system of the differential equations (DE) after preliminary integration of all equations or some of them under the program can be solved as system of the integrated equations (IE) or as system IDE. The high efficiency of a method and program is illustrated by results of the solve 8 test of rigid tasks borrowed from works of the known foreign and domestic authors.

K e y w o r d s: rigid nonlinear integro-differential equations, numerical methods, computer programs.

Особенность жестких физических задач заключается в том, что основные процессы в них происходят на малом по сравнению с промежутком интегрирования отрезке пространственной или временной координатной оси, например, время запуска механических [1] и электрических [2, 3, 4] систем, протекание химической реакции при наличии сверхактивного реагента [5], поведение электростатического потенциала в пристеночном (ленгмюровском) слое объема плазмы [6] и т.д. В литературе упомянутый участок называется переходной фазой [1], пограничным слоем [7] или пристеночным слоем [6]. Трудности решения жестких уравнений связаны с тем, что в пределах пограничного слоя в связи с быстрым изменением искомых функций шаг сетки должен быть на несколько порядков меньше, чем в остальной (спокойной) области интегрирования.

Величину пограничного слоя будем обозначать буквой C .

Ниже кратко описываются метод и программа для решения следующей системы N в общем случае существенно нелинейных (не разрешенных относительно старших производных) жестких интегро-дифференциальных уравнений (ИДУ):

$$f[t, y(t), y'(t), \dots, I(t)] = \mathbf{0}, \quad (1)$$

где f — вектор-столбец размером N ;

$$\begin{aligned} (y(t))^T &= (y_1(t), y_2(t), \dots, y_N(t)); (I(t))^T = (I_1(t), I_2(t), \dots); I_i(t) = \\ &= \int_0^t \psi_i[u, y(u), y'(u), \dots] du. \end{aligned}$$

Предполагается, что задан полный набор начальных условий при $t = 0$.

Ставится задача найти решение системы (1) на равномерной сетке $t_1 = 0, t_2, \dots, t_M = b$ отрезка $[0, b]$.

Метод решения. Для преобразования дифференциальной задачи Коши к системе нелинейных алгебраических уравнений в алгоритме используются [8, 9] формула интегрирования

$$Y^{(k-p)} = \sum_{m=0}^{p-1} S^m I y_1^{(k-p+m)} + S^p Y^{(k)} \quad \text{при } p \leq k \quad (2)$$

или формула дифференцирования

$$Y^{(r)} = \sum_{i=0}^{r-1} D^i (E - DS) I y_1^{(r-i)} + D^r Y, \quad (3)$$

где $Y^{(r)}, Y$ и I — вектор узловых значений производных функций порядка r размером M , вектор узловых значений функций и единичный вектор соответственно; S, D и E — матрицы интегрирования, дифференцирования и единичная матрица соответственно; $y_1^{(r)}$ — значения производных порядка r функций при $t = t_1 = 0$.

Подробный вывод формул (2) и (3) приведен в [8, 9]. Следует заметить, что численный алгоритм, основанный на формуле интегрирования (2), дает более высокую точность по сравнению с формулой дифференцирования (3). В то же время алгоритм на основе формулы (3) более устойчив при решении жестких задач.

Для решения системы (1) принят «метод шагов» [10], в соответствии с которым весь промежуток интегрирования $[0, b]$ должен быть представлен в виде Q больших шагов длиной τ , т.е. принимается $b = Q\tau$. Для численной реализации метода каждый большой шаг разбивается на $m - 1$ малых шагов и для выражения узловых значений производных через узловые значения собственно функций используются формулы (2) или (3). В отличие от других методов и программ для решения систем жестких уравнений [1, 5, 11—16] новая программа INTDIF-STIFF, работающая на основе минимума исходных данных (тексты уравнений, начальные условия и числовые параметры задачи), с высокой точностью вычисляет и выводит на печать помимо узловых

значений функций все их производные. Кроме того, имеется возможность выводить на печать и сохранять графики $y = f(t)$, $y_i' = f(y_i)$, $y_i = f(y_j)$.

Тестовые примеры. Все приведенные ниже жесткие задачи решаются с помощью программы INTDIF-STIFF в течение нескольких минут, включая и время подготовки исходных данных.

П р и м е р 1. Жесткое дифференциальное уравнение первого порядка [16]

$$\varepsilon y' + (1+t)y - t - 1 = 0, \quad y(0) = 0, \quad t \in (0, 2) \quad (4)$$

и его интегральное представление

$$\varepsilon y(t) + \int_0^t ((1+s)y(s) - s - 1) ds = 0. \quad (5)$$

Точное решение $y(t) = 1 - \exp\left(-\frac{(2t+t^2)}{2\varepsilon}\right)$.

Для $\varepsilon = 0,01$, $b = 2$ в результате решения (4) и его интегрального представления (5) для разных шагов h получены следующие значения отклонения приближенного решения от точного для узловых величин y : $\Delta_{h=0,01} = 7,8 \cdot 10^{-4}$, $\Delta_{h=0,001} = 1,4 \cdot 10^{-11}$ и $\Delta_{h=0,01} = 6,3 \cdot 10^{-5}$, $\Delta_{h=0,001} = 4,3 \cdot 10^{-10}$ соответственно.

П р и м е р 2. Дифференциальное уравнение [17]

$$y' + y \operatorname{tg}(t) - 100t^2 \cos^2 t = 0, \quad y(0) = 0, \quad t \in (0, \pi/2). \quad (6)$$

Точное решение $y(t) = \cos t \left(100(2t \sin t - (t^2 - 2)\cos t) - 200 \right)$. Для $b = \pi/2$ в результате решения (6) и его интегрального представления получены отклонения: $\Delta_{h=0,1} = 3,6 \cdot 10^{-6}$, $\Delta_{h=0,001} = 2,2 \cdot 10^{-10}$ и $\Delta_{h=0,1} = 2,5 \cdot 10^{-7}$, $\Delta_{h=0,001} = 2,8 \cdot 10^{-12}$ соответственно.

П р и м е р 3. Система трех нелинейных жестких уравнений химической кинетики, где «величина y_3 представляет собой концентрацию очень активного вещества, являющегося некоторым промежуточным продуктом в ходе реакции, и всегда остается малой» [5, 12]:

$$\begin{aligned} y_1' + 0,013y_1 - 1000y_1y_3 &= 0, & y_1(0) &= 1; \\ y_2' - 2500y_2y_3 &= 0, & y_2(0) &= 1; \\ y_3' - 0,013y_1 + 1000y_1y_3 + 2500y_2y_3 &= 0, & y_3(0) &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Толщина пограничного слоя $c = 0,001$ [4].

Результаты вычисления по программе INTDIF-STIFF:

в узле сетки $t = c/2 = 0,0005$ при $h \in (5 \cdot 10^{-8}, 5 \cdot 10^{-5})$

$$y_3 = 0,0000030688286, \quad y_3' = 0,0022590261;$$

в узле сетки $t = 1$ при $h \in (10^{-4}, 10^{-1})$

$$y_3 = 0,0000036653, \quad y_3' = -0,00000004.$$

Вычисленное по программе максимальное значение третьей функции $y_{3\max} = 0,0000037141$ ($t = 0,001783$), что в 3,5 раза меньше по сравнению со значением, полученным в [5].

При решении задачи (6) как системы интегральных уравнений вычисленные значения y_3 совпадают с приведенными выше, но в узле сетки $t = 1$ при большом шаге $h = 10^{-1}$ с помощью настоящей программы решение получить не удалось.

П р и м е р 4. Система двух линейных жестких уравнений [16]

$$\begin{aligned} y_1' + 0,5y_1 - 0,501y_2 &= 0, \\ y_2' - 0,501y_1 + 0,5y_2 &= 0. \\ y_1(0) &= 1,1, \quad y_2(0) = -0,9. \end{aligned} \tag{8}$$

Известно точное выражение для первой функции $y_1(t) = \exp(-1,001t) + 0,1\exp(0,001t)$. Толщина пограничного слоя $c = 10$.

В [16] отмечаются трудности решения этой задачи известными методами на больших промежутках интегрирования, например, на отрезке $[0, 1000]$ ($b = 1000$).

По программе INTDIF-STIFF получены следующие значения максимального отклонения приближенного решения от точного для функции y_1 :

$$\begin{aligned} \text{при } b = 10 \quad \Delta_{h=0,4} &= 7,5 \cdot 10^{-7}, \quad \Delta_{h=0,01} = 7 \cdot 10^{-12}, \\ \text{при } b = 4000 \quad \Delta_{h=0,8} &= 2,5 \cdot 10^{-4}, \quad \Delta_{h=0,4} = 7,5 \cdot 10^{-7}. \end{aligned}$$

Видно, что отклонение Δ в этой задаче уменьшается при сгущении сетки и в широких пределах практически не зависит от b . Возможности данной версии программы на промежутке интегрирования ограничены числом узлов, равным 10001, поэтому результаты расчета при дальнейшем сгущении сетки здесь не приводятся.

Система ДУ (8) может быть представлена в виде ИУ или ИДУ:

$$y_1(t) - 1,1 - \int_0^t (-0,5y_1(s) + 0,501y_2(s)) ds = 0, \tag{9}$$

$$y_2(t) + 0,9 - \int_0^t (0,501y_1(s) - 0,5y_2(s)) ds = 0;$$

$$y_1(t) - 1,1 - \int_0^t (-0,5y_1(s) + 0,501y_2(s)) ds = 0,$$

$$y_2' - 0,501y_1 + 0,5y_2 = 0, \quad y_2(0) = -0,9,$$

$$y_1' + 0,5y_1 - 0,501y_2 = 0, \quad y_1(0) = 1,1,$$

$$y_2(t) + 0,9 - \int_0^t (0,501y_1(s) - 0,5y_2(s)) ds = 0. \tag{10}$$

Для $b = 4000$ и $h = 0,4$ значения отклонения Δ , полученные в результате решения уравнений (8)—(10), оказались равными $4 \cdot 10^{-8}$, $3 \cdot 10^{-5}$ и $2,6 \cdot 10^{-5}$ соответственно, т.е. представление этой задачи как ИДУ снижает точность решения по сравнению с решениями ДУ и ИУ, но в то же время с учетом больших значений b и h результат может быть признан удовлетворительным для применения на практике. Кроме того, совпадение результатов решения одной и той же задачи в разных представлениях (ДУ, ИУ или ИДУ) является дополнительным доказательством правильности получаемого численного решения.

Пример 5. Уравнения Ван-дер-Поля [1]

$$\begin{aligned} y_1' - y_2 &= 0, & y_1(0) &= 2, \\ \varepsilon y_2' - (1 - y_1^2)y_2 + y_1 &= 0, & y_2(0) &= 0, \quad \varepsilon = 4 \cdot 10^{-6}. \end{aligned} \quad (11)$$

Размер переходной фазы $c = 2 \cdot 10^{-6}$. В [1] интегрирование выполнялось модифицированным методом Рунге — Кутты с переменным шагом в промежутке $(0, 0,0009)$. Производные y' не вычислялись.

Результаты вычисления по программе:

в узле сетки $t = c/2 = 10^{-6}$ при $h \in (10^{-10}, 10^{-7})$

$$y_2 = -0,351755634, \quad y_2' = -236183,3 \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a};$$

в узле сетки $t = 0,0009$ при $h \in (10^{-7}, 10^{-5})$

$$y_2 = -0,66699928, \quad y_2' = -0,370970.$$

Вычисленные по программе значения y_2 в общем соответствуют результатам [1], которые приведены лишь в виде графиков.

Пример 6. Система существенно нелинейных ИДУ (в уравнения Ван-дер-Поля (11) добавлены два интеграла), при этом размер пограничного слоя $c = 2 \cdot 10^{-6}$ сохраняется.

$$y_1' - y_2 - \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t u \left[y_2(u) / y_1'(u) \right] du = 0, \quad y_1(0) = 2; \quad (12)$$

$$\varepsilon y_2' - (1 - y_1^2)y_2 + y_1 - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t y_1(u) du = 0, \quad y_2(0) = 0, \quad \varepsilon = 4 \cdot 10^{-6}.$$

Эта задача является существенно нелинейной, поскольку в подынтегральное выражение первого интеграла нелинейно входит высшая производная первой функции.

По программе получены следующие результаты.

1) в узле сетки $t = c/2 = 10^{-6}$ для значений шага $h = 10^{-7}$, 10^{-9} и 10^{-10} :

$$\begin{aligned} y_2 &= -0,302340843157, \quad -0,302340843151 \quad \text{и} \quad -0,302340843092, \\ y_2' &= -148244,38040, \quad -148244,38042 \quad \text{и} \quad -148244,38054 \quad \text{соответственно;} \end{aligned}$$

2) в узле сетки $t = 0,0009$ для значений шага $h = 5 \cdot 10^{-5}$, 10^{-5} и 10^{-6} :
 $y_2 = 74,5$, $76,4330$ и $76,4332$,
 $y'_2 = -14694$, -14684 и -14683 соответственно.

При различных значениях шагов сетки получены достаточно стабильные результаты, но с увеличением промежутка интегрирования точность решения этой задачи снижается.

Пр и м е р 7. Краевая задача [13]

$$\varepsilon y'' + xy' + y = 0, \quad y(0) = 1, \quad y(1) = \exp(-0,5\varepsilon), \quad \varepsilon = 1/300. \quad (13)$$

Точное решение $y = \exp(-x^2/2\varepsilon)$.

Получены следующие отклонения: $\Delta_{n=51} = 6,2 \cdot 10^{-5}$, $\Delta_{n=101} = 9,3 \cdot 10^{-8}$,
 $\Delta_{n=151} = 1,0 \cdot 10^{-9}$.

Пр и м е р 8. Тестовая задача для существенно нелинейного интегродифференциального уравнения 2-го порядка (в уравнение (13) добавлены два интеграла с постоянным и переменным верхними пределами)

$$\varepsilon y'' + xy' + y + \int_0^1 y'(u) du \int_0^x \sin(y(u)) du = 0, \quad y(0) = 1, \quad y(1) = \exp(-0,5\varepsilon). \quad (14)$$

Для разных значений шага h по программе получены следующие узловые значения функции y и ее производной y' :

в узле сетки $t = c/2 = 10^{-6}$:

$$y_{h=10^{-7}} = -0,302340843157, \quad y_{h=10^{-9}} = -0,302340843151,$$

$$y_{h=10^{-10}} = -0,302340843092;$$

$$y'_{h=10^{-7}} = -148244,38040, \quad y'_{h=10^{-9}} = -148244,38042,$$

$$y'_{h=10^{-10}} = -148244,38054;$$

в узле $t = 0,0009$:

$$y_{h=5 \cdot 10^{-5}} = 74,5, \quad y_{h=10^{-5}} = 76,4330, \quad y_{h=10^{-6}} = 76,4332;$$

$$y'_{h=5 \cdot 10^{-5}} = -14694, \quad y'_{h=10^{-5}} = -14684, \quad y'_{h=10^{-6}} = -14683.$$

На основе анализа приведенных результатов решения конкретных задач можно заключить, что разработанная программа высокого порядка точности INTDIF-STIFF позволяет в автоматическом режиме с высокой точностью получать решение систем жестких нелинейных ИДУ достаточно общего вида. К сожалению, в известных автору работах по решению жестких уравнений (как имеющих, так и не имеющих точного аналитического решения) результаты представлены только в графической форме, поэтому затруднительно с высокой точностью определить расхождение в результатах, полученных разными авторами и методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хайрер Э., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. М.: Мир, 1999. 512 с.

2. *Alishenas T., Olafsson O.* Modeling and velocity stabilization of constrained systems // BIT. V. 34. Pp. 455—483.
3. *Пухов Г.Е.* Дифференциальный анализ электрических цепей. Киев : Наукова думка, 1982.
4. Electric sheath and presheath in a collisionless, finite ion temperature plasma // G.A. Emmert, R.M. Wieland, A.T. Mense, J.N. Davidson // Phys. Fluids. 1980. V. 23. № 4. Pp. 903—812.
5. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / под. ред. Дж. Холла, Дж. Уатта. М. : Мир, 1979. 312 с.
6. *Филиппычев Д.С.* Численное решение дифференциального уравнения пограничной функции // Вестник МГУ. Сер. 15. Вычисл. матем. и киберн. 2006. № 2. С. 10—14.
7. *Бахвалов Н.С.* К оптимизации методов решения краевых задач при наличии пограничного слоя // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1969. Т. 9. № 4. С. 841—859.
8. *Бандурин Н.Г.* Новый численный метод порядка n для решения интегро-дифференциальных уравнений общего вида // Вычисл. технологии. 2002. Т. 7. № 2. С. 3—10.
9. *Бандурин Н.Г., Игнатьев В.А.* Пакет программ для решения систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений (одно-, двух- и трехмерные начально-краевые задачи) // Математическое моделирование. 2007. Т. 19. № 2. С. 105—112.
10. *Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б.* Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М. : Наука, 1971, 296 с.
11. *Robertson H.H.* The solution of a set of reaction rate equations // Numerical analysis: an introduction. Academic Press, 1966.
12. *Gear C.W.* The automatic integration of stiff ordinary differential equations // Information Processing 68. Proceedings of the IFIR Congress 1968. North Holland Publ. Co., 1969. Pp. 187—193.
13. *Багаев Б.М., Шайдулов В.В.* Сеточные методы решения задач с пограничным слоем. Новосибирск : Наука, 1998.
14. *Дулан Э., Миллер Дж., Шилдерс У.* Равномерные численные методы решения задач с пограничным слоем. М. : Мир, 1983. 198 с.
15. *Деккер К., Вервер Я.* Устойчивость методов Рунге — Кутты для жестких нелинейных дифференциальных уравнений. М. : Мир, 1988.
16. *Ракитский Ю.В., Устинов С.М., Черноуцкий И.Г.* Численные методы решения жестких систем. М. : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. 208 с.
17. *Зверев В.Г., Гольдин В.Д.* Об одной специальной разностной схеме для решения жесткого обыкновенного дифференциального уравнения // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. № 3. С. 54—63.

© Бандурин Н.Г., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 624.154

С.В. Калошина, А.Б. Пономарев

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
НА СУЩЕСТВУЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLAXIS 8.0**

Рассмотрен вопрос определения влияния нагружения плитного фундамента на осадку ленточного при различных расстояниях между ленточным и плитным фундаментом. Расчеты произведены в программном комплексе Plaxis 8.0 для двух наиболее характерных для г. Перми типов грунтового основания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ленточный фундамент, плитный фундамент, осадка фундаментов, мощность сжимаемой толщи.

The question of definition of agency of a loading of bedplates on strip foundation settlement is observed at various distances between a strip foundation and bedplates. Calculations are made in programm complex Plaxis 8.0 for two types of a subgrade most typical for Perm.

К e y w o r d s: strip foundation, bedplates, foundation settlement, capacity of compressed thickness.

Возведение новых зданий в непосредственной близости от существующих сопряжено с необходимостью решения ряда задач, связанных с обеспечением сохранности существующих строений. Один из факторов, влияющих на получение дополнительных деформаций существующими зданиями, — нагружение основания весом вновь возводимого объекта. Известно, что в этом случае фундаменты существующих зданий, оказавшиеся в зоне распространения дополнительных напряжений от веса вновь возводимого здания, получают дополнительную осадку уплотнения *Sad.s*.

Авторы исследовали влияние нагружения плитного фундамента на осадку ленточного при различных глубине заложения плитного фундамента и расстояниях между ленточным и плитным фундаментом. Задача была решена в программном комплексе Plaxis 8.0. Моделирование осуществлялось в условиях плоской задачи с применением упругопластичной модели Мора — Кулона и метода конечных элементов.

Численное моделирование проводилось для двух наиболее характерных для Перми типов грунтового основания. Первый тип представлен суглинком тугопластичным, ниже которого залегает гравийный грунт с песчаным заполнителем. Второй тип — песком средней крупности и гравийным грунтом с песчаным заполнителем. Толщина суглинка и песка осредненно, исходя из инженерно-геологических условий г. Перми, принята 10 м, толщина гравийного грунта — 2 м. Ниже гравийного грунта залегают несжимаемые коренные породы. Расчетные характеристики грунтов представлены в табл. 1.

Ленточный фундамент моделировался как линейно-упругий непористый материал, плитный — элементом балка. Ширина подошвы ленточного фундамента равна 2 м, размеры плитного фундамента 12×12 м. Расчетные характеристики материалов ленточного и плитного фундаментов приведены в табл. 2. Расчетные схемы нагружения основания ленточного фундамента весом вновь возводимого объекта (2 случая) приведены на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Расчетные характеристики грунтов

Параметр	Обозначение	Грунт		
		Суглинок тугопластичный	Песок средней крупности	Гравийный грунт с песчаным заполнителем
Удельный вес сухого грунта, кН/м ³	γ_{dry}	18	17	21
Удельный вес влажного грунта, кН/м ³	γ_{wet}	20	20	23
Модуль деформации, МПа	E	11	28	28
Удельное сцепление, кПа	c	18	1	1
Угол внутреннего трения, град	φ	19	31	37
Коэффициент Пуассона	ν	0,35	0,3	0,3
Коэффициент снижения прочности в интерфейсах	R_{inter}	0,6	0,7	R_{igid}

Т а б л и ц а 2

Расчетные характеристики материалов ленточного и плитного фундамента

Параметр	Обозначение	Фундамент	
		плитный	ленточный
Нормальная жесткость, кН/м	EA	13500000	—
Изгибная жесткость, кН м ² /м	EI	281200	—
Вес, кН/м/м	w	12	—
Коэффициент Пуассона	ν	0,16	0,16
Эквивалентная толщина, м	d	0,5	—
Модуль деформации, МПа	E	27000	27000

Расчеты выполнялись в 4 этапа. На первом этапе воспроизводилось напряженно-деформированное состояние массива грунта от веса существующего здания, на втором моделировалось устройство монолитной фундаментной плиты, на третьем и четвертом этапах передавалась нагрузка на подошву плитного фундамента, равная соответственно 100 и 200 кПа.

До начала проведения основных экспериментов было определено расстояние, при котором нагружение плитного фундамента не будет оказывать влияние на ленточный фундамент. Установлено, что при величине мощности сжимаемой толщи $H_c = 12$ м, определенной по геологическим условиям площадки, безопасное расстояние между фундаментами составило 12 м.

После анализа и обработки данных численного моделирования были разработаны экспериментальные зависимости, позволяющие определить значение дополнительной осадки уплотнения ленточного фундамента $Sad.s$ от расстояния между ленточным и плитным фундаментом L и давления P_2 , передаваемого по подошве плитного фундамента для двух наиболее характерных для г. Перми типов грунтового основания и различной глубины заложения ленточного и плитного фундамента ΔH .

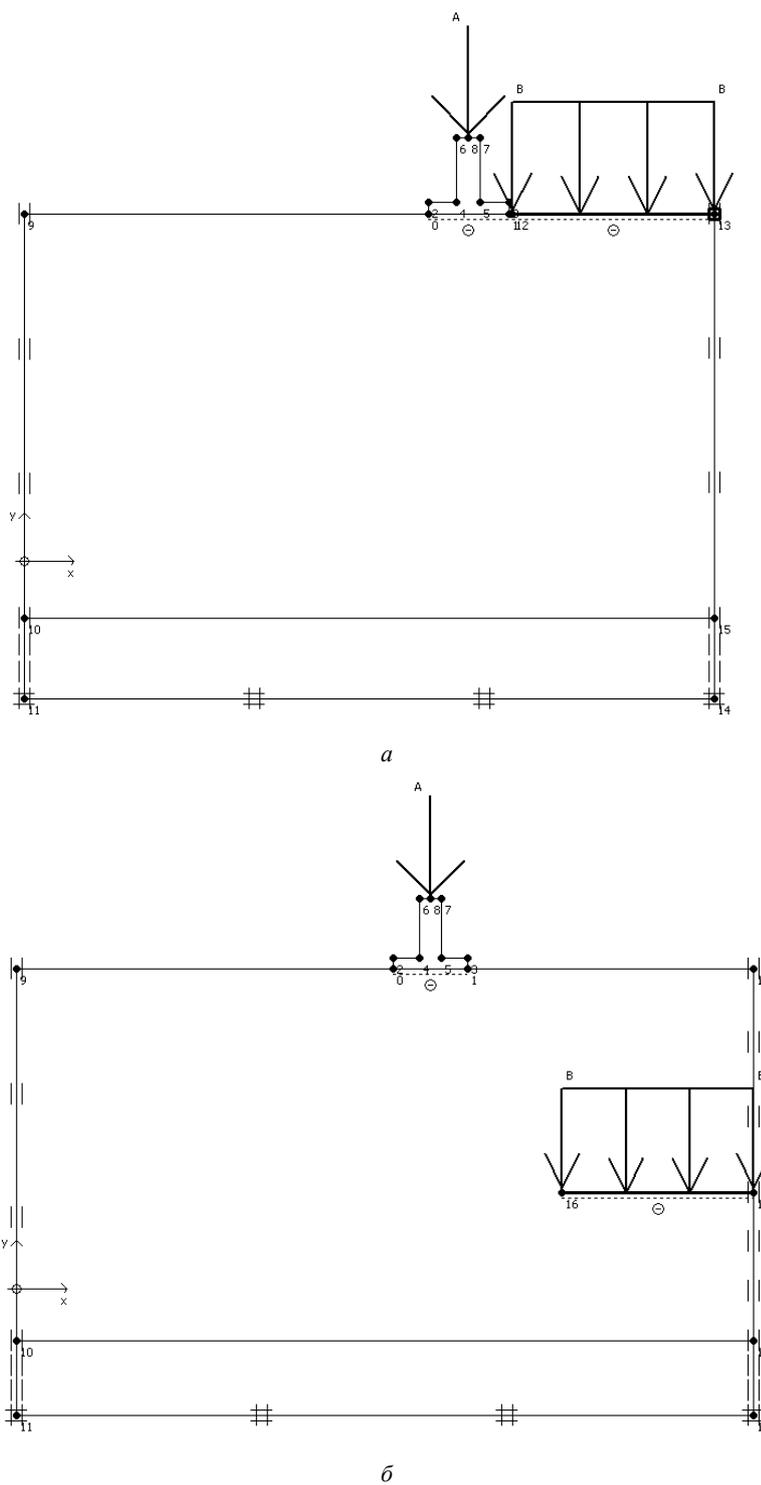


Рис. 1. Расчетные схемы нагружения основания ленточного фундамента весом вновь возводимого объекта: *a* — фундаменты расположены в одном уровне $\Delta H = 0$ м, расстояние между фундаментами $L = 0$ м; *б* — плитный фундамент расположен на некотором расстоянии от ленточного $L \neq 0$ м, $\Delta H \neq 0$ м

Ниже приведены зависимости для определения дополнительной осадки уплотнения: (1) и (2) — для песчаного грунта при ΔH , равном 0 и 6 м соответственно, (3), (4) — для глинистого грунта при ΔH , равном 0 и 6 м соответственно.

$$Sad.s_1 = 0,0198P_2 - 0,304L - 0,000013 P_2^2 + 0,0592L^2 - 0,0032P_2L; \quad (1)$$

$$Sad.s_2 = 0,0117P_2 - 0,088L + 0,000015 P_2^2 + 0,016L^2 - 0,0018P_2L; \quad (2)$$

$$Sad.s_3 = 0,045P_2 - 1,08L - 0,000025 P_2^2 + 0,216L^2 - 0,0084P_2L; \quad (3)$$

$$Sad.s_4 = 0,021P_2 + 0,408L + 0,000015 P_2^2 - 0,08L^2 - 0,0026P_2L. \quad (4)$$

В графическом виде данные зависимости представлены в виде номограмм. В качестве примера на рис. 2 приведен фрагмент номограммы зависимости дополнительной осадки уплотнения ленточного фундамента $Sad.s$, см, от расстояния между фундаментами L , м, и давления по подошве плитного фундамента P_2 , кПа, в случае расположения фундаментов в одном уровне в песчаном грунте.

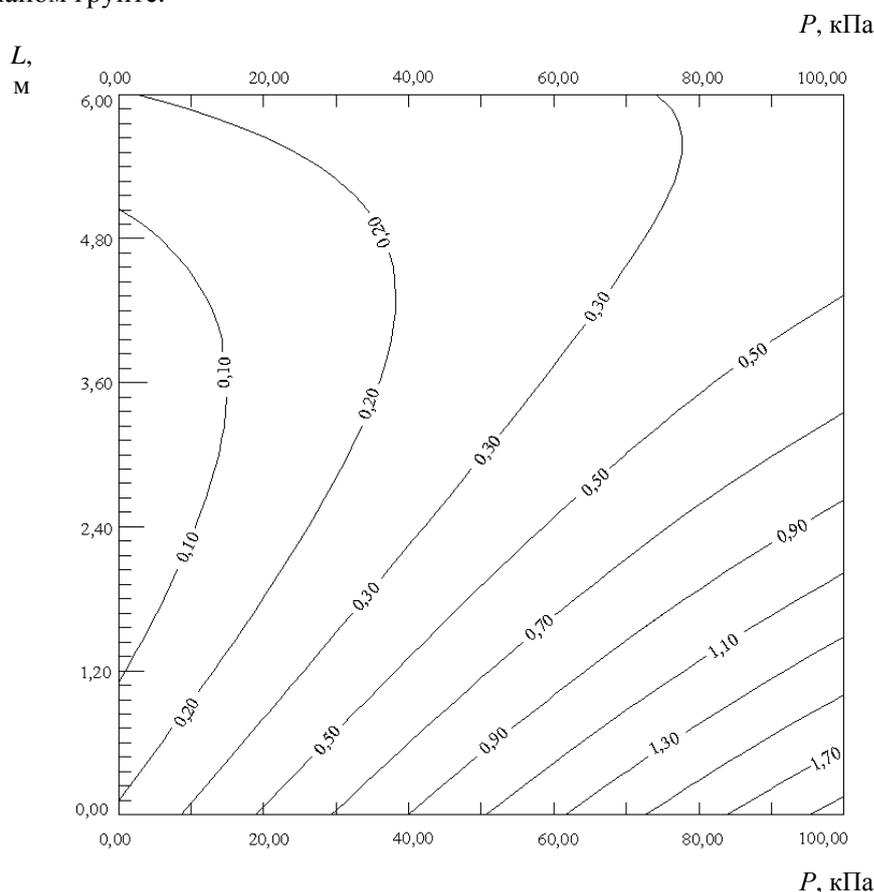


Рис. 2. Фрагмент номограммы зависимости дополнительной осадки уплотнения ленточного фундамента $Sad.s$, см, от расстояния L , м, между фундаментами и давления по подошве плитного фундамента P_2 , кПа. Тип геологии 1 — песчаный грунт. Фундаменты в одном уровне, $\Delta H = 0$ м. Давление по подошве ленточного фундамента $P_1 = 200$ кПа, $H_c = 12$ м

В табл. 3 приведены значения дополнительной осадки уплотнения для песчаного и глинистого грунта при ΔH , равном 0 и 6 м.

Т а б л и ц а 3

Дополнительная осадка уплотнения ленточного фундамента $Sad.s$ при нагружении основания плитным фундаментом (песчаный грунт, $H_c=12$ м)

Давление по подошве плитного фундамента P_2 , кПа	Дополнительная осадка ленточного фундамента $Sad.s$, см, при расстоянии между фундаментами L , м			
	0	3	6	12
$\Delta H = 0$ м				
100	2,0	0,8	0,3	—
200	3,7	1,3	0,5	—
$\Delta H = 6$ м				
100	1,4	0,8	0,4	—
200	3	1,9	1,2	—

Т а б л и ц а 4

Дополнительная осадка уплотнения ленточного фундамента $Sad.s$ при нагружении основания плитным фундаментом (глинистый грунт, $H_c=12$ м)

Давление по подошве плитного фундамента P_2 , кПа	Дополнительная осадка ленточного фундамента $Sad.s$, см, при расстоянии между фундаментами L , м			
	0	3	6	12
$\Delta H = 0$ м				
100	4,6	1,3	0,4	—
200	9	1,8	0,6	—
$\Delta H = 6$ м				
100	1,9	0,7	0,7	—
200	4,6	3,9	2	—

Выводы. 1. Дополнительная осадка уплотнения ленточного фундамента увеличивается с увеличением давления по подошве плитного фундамента P_2 и уменьшается с увеличением расстояния между ленточным и плитным фундаментом L .

2. При мощности сжимаемой толщи $H_c = 12$ м, определенной по геологическим условиям площадки, безопасное расстояние между ленточным и плитным фундаментами L составило также 12 м как для глинистого, так и для песчаного грунта.

3. Наибольшая разница в 2...2,5 раза между дополнительной осадкой в глинистом и песчаном грунте наблюдается при малых расстояниях между фундаментами (при $L = 0...3$ м). С увеличением этого расстояния значения дополнительной осадки в глинистом и песчаном грунте сближаются и при расстоянии между фундаментами $L = 12$ м равны 0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1982. 103 с.
2. Горев В.В., Филиппов В.В., Тезиков Н.Ю. Математическое моделирование при расчетах и исследованиях строительных конструкций. М. : Высшая школа, 2002. 206 с

Поступила в редакцию 21.01.10

© Капошина С.В., Пономарев А.Б., 2010

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

УДК 656.13.07

В.С. Боровик, Л.О. Казачкова

**ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ
НА РАСХОД ТОПЛИВА**

Предложена математическая модель для описания зависимости расхода топлива потоком транспортных средств от дорожных условий в г. Волгограде.

К л ю ч е в ы е с л о в а: транспорт, дорожные условия, расход топлива, интенсивность движения транспортных средств, организационные мероприятия, выбросы вредных веществ.

In article is offered the mathematical model for the description of dependence of the expense of fuel of a stream of vehicles from road conditions to Volgograd.

К е у w o r d s: transport, road conditions, fuel consumption, vehicle density, institutional arrangements, pollutant emissions.

Техногенные выбросы в атмосферу основных загрязняющих веществ и парниковых газов на 80...90 % обусловлены процессами сжигания органического топлива. Продукты сгорания органического топлива поступают в атмосферный воздух от различных источников, в числе которых транспортные средства [1].

На городском и региональном уровнях принимаются решения по выбору методов регулирования выбросов, поступающих в атмосферу от стационарных и передвижных источников. При этом ресурсы энергосбережения часто выпадают из системы экологических мероприятий, предпринимаемых службами охраны окружающей среды. Между тем на основе целостного системного анализа потенциала энергосбережения для всей совокупности потребляющих энергию объектов можно не только повысить энергоэффективность, но и существенно расширить возможности охраны атмосферного воздуха.

Один из ожидаемых результатов управления энергосбережением заключается в уменьшении затрат первичной энергии. Этот целевой показатель близок, а зачастую полностью совпадает с поставленной целью управления охраной атмосферного воздуха. Рост энергоэффективности, включая активное энергосбережение, в решающей степени определяет снижение уровня вредного воздействия передвижных источников на атмосферный воздух.

Одним из важнейших показателей транспортной работы дороги является расход топлива, на размер которого влияют дорожные условия, состояние

транспортного потока и т.п. [2]. Этот вопрос приобретает еще большее значение в современных условиях быстрого роста стоимости топлива.

Для выполнения требований снижения расхода топлива и выбросов CO₂ автомобильным транспортом необходимо рассматривать транспортное средство не изолированно, а как часть общей системы транспортное средство — водитель — внешние транспортные условия. Понимание взаимодействия между этими тремя компонентами базового элемента «транспортная система» становится отправной точкой в решении проблемы оптимизации расхода топлива и выбросов вредных веществ (рис. 1).

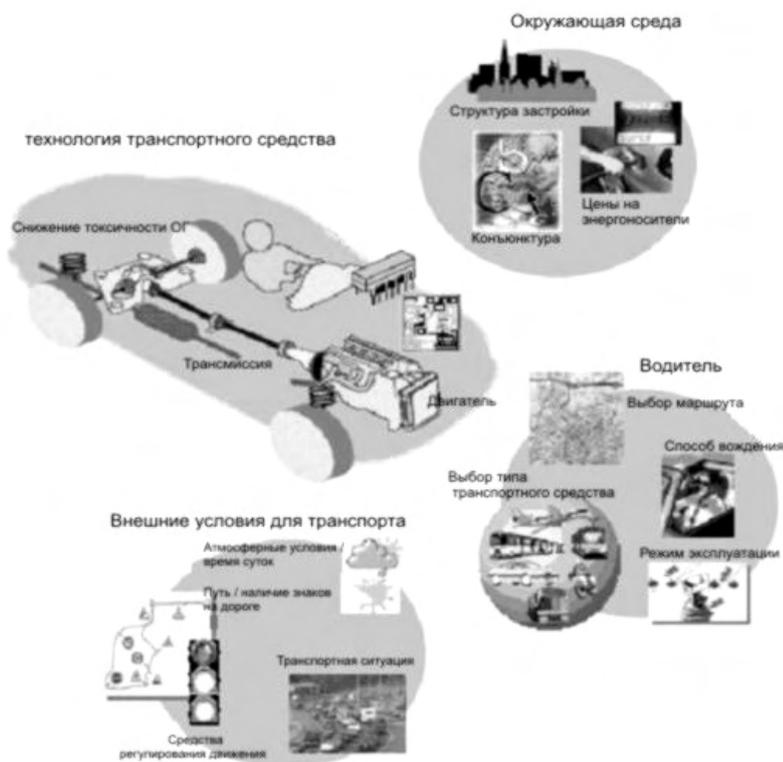


Рис. 1. Факторы, влияющие на расход топлива транспортными средствами [3]

В данной работе исследования влияния организационных мероприятий и дорожных условий на расход топлива проводились для 16 участков городских автомобильных дорог (табл. 1, 2) [4].

Расход топлива транспортных средств во многом зависит от скорости движения, на которую влияют дорожные условия. Расход топлива в зависимости от скорости движения можно рассчитать по следующей формуле [5]:

$$B = \frac{b_e N_e}{10\gamma_k V}, \quad (1)$$

где B — расход топлива, л/100 км; b_e — удельный расход топлива, г/кВт-ч; N_e — номинальная мощность двигателя, кВт; γ_k — плотность топлива, г/см³; V — скорость движения, км/ч.

Т а б л и ц а 1

Характеристика рассматриваемых участков автомобильных дорог

Рассматриваемый участок	Длина участка	Ширина проезжей части	Средняя скорость транспортного потока
1. Елецкая	0,8	15,2	18
2. Ростовская	0,8	9,8	21
3. им. Шурухина	0,45	6,8	16
4. 95-й Гвардейской дивизии	0,2	6,8	28
5. Пражская	0,49	6	31
6. 13-й Гвардейской дивизии	0,49	6,8	34
7. им. Гагарина	0,33	8,6	33
8. Порт-Саида	0,33	8,8	36
9. Пархоменко	0,4	8,8	34
10. Новороссийская	0,4	7,1	28
11. Ардатовская	0,49	7	31
12. им. Козьмы Минина	0,37	7	35
13. им. Зины Маресевой	0,37	6,8	31
14. им. Курчатова	0,41	6,9	36
15. им. Губкина	0,41	6,8	32
16. 50-летия Октября	1,05	6,5	38

Т а б л и ц а 2

Характеристика транспортных потоков на рассматриваемых участках автомобильных дорог

Рассматриваемый участок	Интенсивность движения различных типов транспортных средств			
	Легковые	Грузовые	Автобусы	Маршрутки
1. Елецкая	1075	159	33	133
2. Ростовская	1035	66	0	47
3. им. Шурухина	228	12	0	0
4. 95-й Гвардейской дивизии	234	4	4	12
5. Пражская	630	48	6	0
6. 13-й Гвардейской дивизии	456	0	0	0
7. им. Гагарина	570	18	0	0
8. Порт-Саида	498	18	0	0
9. Пархоменко	630	78	1	0
10. Новороссийская	426	12	0	0
11. Ардатовская	604	109	29	2
12. им. Козьмы Минина	448	24	0	0
13. им. Зины Маресевой	352	56	4	0
14. им. Курчатова	456	96	0	0
15. им. Губкина	426	32	0	0
16. 50-летия Октября	472	40	4	0

На рис. 2 показана полученная в ходе исследования зависимость среднего расхода топлива одного транспортного средства от средней скорости движения транспортного потока.

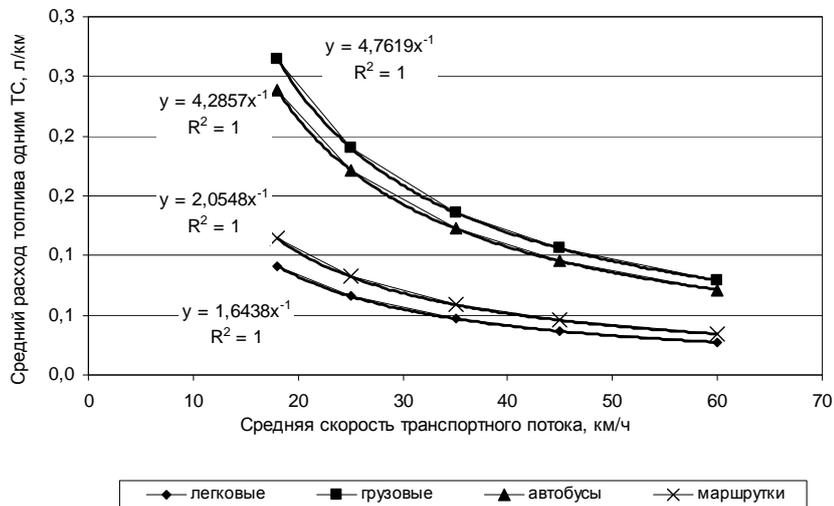


Рис. 2. Зависимость среднего расхода топлива транспортными средствами от средней скорости транспортного потока

Количественный состав транспортного потока, т.е. интенсивность по типам транспортных средств, определяет расход топлива всего потока. В ходе исследования была получена зависимость среднего расхода топлива транспортным потоком от его количественных характеристик и средней скорости (рис. 3). На рис. 3 количественная характеристика транспортного потока определяется интенсивностью по типам транспортных средств (легковые автомобили, грузовые автомобили, автобусы, маршрутные такси).

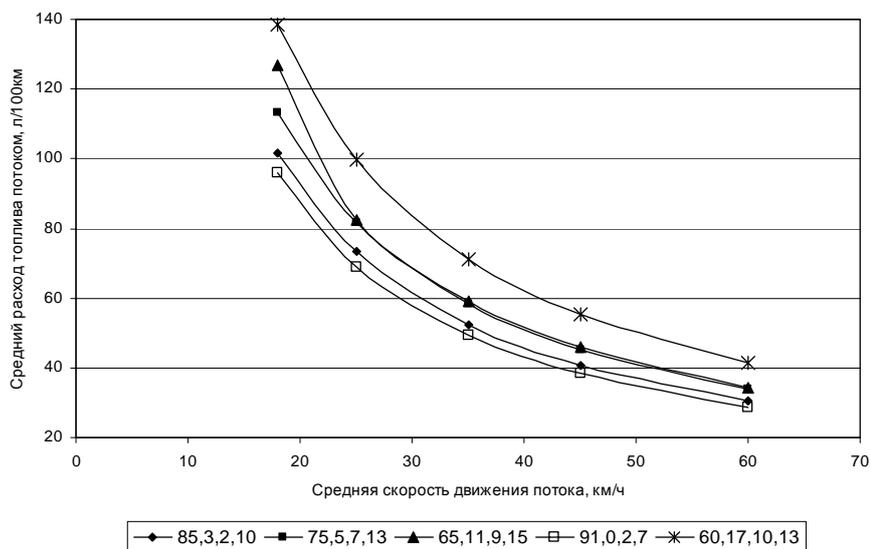


Рис. 3. Зависимость среднего расхода топлива транспортным потоком от количественного состава потока и его средней скорости

Полученная зависимость (см. рис. 3) показывает, что с увеличением интенсивности движения грузового транспорта увеличивается расход топлива транспортного потока.

В ходе дальнейших исследований была получена зависимость расхода топлива транспортным потоком от дорожных условий:

$$Q = 2,24L^{0,92}B^{-0,39}V^{-1,3}N_{\text{лег}}^{1,28}N_{\text{гр}}^{-0,003}N_{\text{авт}}^{0,06}N_{\text{марш}}^{-0,03} \lim_{x \rightarrow \infty}, \quad (2)$$

где Q — расход топлива потоком транспортных средств, л/км; L — длина участка, км; B — ширина проезжей части, м; V — скорость транспортного потока, км/ч; $N_{\text{лег}}$, $N_{\text{гр}}$, $N_{\text{авт}}$, $N_{\text{марш}}$ — интенсивности движения соответственно легковых, грузовых автомобилей, автобусов и маршрутных такси, авт/ч.

Множественный коэффициент корреляции равен 0,95.

Для обеспечения быстрого и безопасного движения в современных городах требуется применение мероприятий организационного характера, которые способствуют упорядочению движения на уже существующей улично-дорожной сети, что вызывает сокращение транспортных задержек, увеличение скорости сообщения, снижение неоправданного перерасхода топлива и выбросов вредных веществ [6]. Согласно [3], на рассматриваемых участках автомобильных дорог планируется организация одностороннего движения. Рассмотрим эффективность данных мероприятий с точки зрения расхода топлива и выброса вредных веществ.

Проведение указанных мероприятий позволит увеличить скорость сообщения на рассматриваемых участках автомобильных дорог (таб. 3).

Т а б л и ц а 3

Средняя скорость транспортного потока после внедрения одностороннего движения

Название рассматриваемого участка	Средняя скорость транспортного потока
1. Елецкая	20,7
2. Ростовская	24,2
3. им. Шурухина	18,4
4. 95-й Гвардейской дивизии	32,2
5. Пражская	35,7
6. 13-й Гвардейской дивизии	39,1
7. им. Гагарина	38
8. Порт-Саида	41,4
9. Пархоменко	39,1
10. Новороссийская	32,2
11. Ардаговская	35,7
12. им. Козьмы Минина	40,3
13. им. Зины Маресевой	35,7
14. им. Курчатова	41,4
15. им. Губкина	36,8
16. 50-летия Октября	43,7

В табл. 4 представлены результаты расчета расхода топлива и выбросов вредных веществ транспортным потоком на рассматриваемых участках автомобильных дорог при имеющихся данных о длине участка и интенсивности движения разных типов транспортных средств.

Т а б л и ц а 4

Значение исследуемых показателей на рассматриваемых участках

Показатели	Значение показателя	
	до проведения мероприятия	после проведения мероприятия
Расход топлива транспортным потоком, тыс. л/год	3750	3150
Экономия топлива, л/год	600	
Выброс оксида углерода, т/год	1706	1635
Сокращение выбросов оксида углерода, т/год	71	
Выброс оксида азота, т/год	473	432
Сокращение выбросов оксида азота, т/год	41	
Предотвращенный экологический ущерб, т/год	112	

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод об эффективности организации одностороннего движения на рассматриваемых участках автомобильных дорог с точки зрения расхода топлива и выбросов вредных веществ. Указанные мероприятия будут способствовать выполнению требования снижения расхода топлива и выбросов CO₂ автомобильным транспортом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нурмеев Б.К.* Мероприятия по сокращению выбросов в атмосферу при сжигании топлива // Экология и промышленность России. 2005. № 10. С. 32—33.
2. *Сильянов В.В.* Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1984. — 285 с.
3. Комплексная схема организации дорожного движения в г. Волгограде на 2007—2012 гг. (2-й этап). Волгоград : ВолгГАСУ. 2007 г.
4. *Neunzig D., Benmimoun A.* Potentiale der vorausschauenden Fahrerassistenz zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs // Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Aachen : RWTH Aachen, 2002. 34 s.
5. *Helling J.* Umdrucke zur Vorlesung Kraftfahrzeuge. Aachen: Institut für Kraftfahrwesen, TH Aachen, 1972.
6. *Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б.* Технические средства организации дорожного движения. М. : Академкнига, 2005. 279 с.

© Боровик В.С., Казачкова Л.О., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 625.7

С.В. Алексиков, О.Ю. Абдулжалилов, М.О. Карпушко

УКЛАДКА ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ ПОКРЫТИЙ ГОРОДСКИХ ДОРОГ

Изложены современные особенности укладки горячих асфальтобетонных смесей при ремонте дорожных покрытий в городских условиях. Приведены результаты исследований в области совершенствования технологии и организации работ в условиях плотных транспортных потоков.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ремонт дорожных покрытий, городские дороги, асфальтоукладчик, температурный режим смеси.

Article contains modern peculiarities of packing hot mix during pavement repairing in city conditions.

К е у w o r d s: pavement repairing, asphalt laying machine, temperature rate of mixture, municipal roads.

В условиях резкого роста автомобилизации населения и существенного износа дорожного покрытия организация и технология ремонта асфальтобетонных покрытий [1—3] на участках подхода к крупным городам и их улично-дорожной сети требует совершенствования и учета следующих современных условий производства работ:

реконструкция и ремонт дорог выполняются в условиях одновременного пропуска плотных транспортных потоков. Уровень загрузки участков дорог достигает 0,95...1,00, что является существенной помехой при доставке горячей асфальтобетонной смеси от АБЗ к месту ее укладки в покрытие (рис. 1). Снижение скорости транспорта до 5...10 км/ч, создание «пробок» на участках производства работ, повышение риска ДТП приводят к увеличению транспортных издержек, требуют минимизации фронта и сроков дорожно-ремонтных работ;

дорожно-ремонтные работы зачастую выполняются с использованием зарубежных современных машин и механизмов, не отраженных отраслевой нормативно-технической литературой [4, 5]. При разработке ПОС и ППР проектировщики вынуждены назначать производительность современных машин интуитивно, методом аналогий (согласно ЕНиР, ВСН 14-95 и др.), без учета физико-механических свойств обрабатываемых материалов и погодных условий. В результате ошибка в назначении производительности механизированных звеньев, а следовательно, сроков производства работ достигает 20...50 %. Повышение достоверности проектных организационно-технологических решений в условиях ограниченной информации требует совершенствования методики обоснования эксплуатационной производительности машин и механизмов;

дорожно-ремонтные работы на городских магистралях приводят к перераспределению автотранспорта на альтернативные направления движения, зачастую не приспособленные для пропуска плотных транспортных потоков по ширине проезжей части и несущей способности дорожных одежд. На объ-

ездных маршрутах наблюдается повышенное колееобразование и разрушение дорожного покрытия. Необоснованные решения по использованию параллельных улиц и дорог незначительной ширины зачастую не приводят к существенному повышению скорости автомобилей, создают дополнительные проблемы для движения транспортных потоков на прилегающей улично-дорожной сети (УДС). Вследствие этого методика обоснования схемы объезда участка ремонта дорожного покрытия требует совершенствования.



Рис. 1. Транспортный поток на участке ремонта асфальтобетонного покрытия пр. Университетский г. Волгоград

Разработка эффективных организационно-технологических решений по повышению темпов производства ремонтных работ возможна на основе регрессионного анализа результатов мониторинга строительного процесса за предшествующий период времени или на объектах-аналогах. В условиях невозможности проведения полномасштабного строительного эксперимента весьма эффективным является компьютерное моделирование технологических процессов по ремонту асфальтобетонного покрытия. Имитационное моделирование работы технологической системы АБЗ — транспорт — механизированное звено по укладке мелкозернистой асфальтобетонной смеси в дорожное покрытие выполнено с помощью компьютерной программы «OptimaG». При моделировании строительного процесса рассмотрено 150 производственных ситуаций с различными составами механизированных звеньев и дальностью транспортировки смеси на объект. При комплектации звеньев использованы: 6 моделей отечественных асфальтоукладчиков производительностью 5000...8100 м²/смену; 11 асфальтобетонных заводов производительностью 170...1360 т/смену; автосамосвалы МАЗ-5551 и КАМАЗ-55111. Дальность перевозки асфальтобетонной смеси изменялась от 5 до 70 км, сменная выработка звена — от 68 до 1537 т. Коэффициент использования во времени $K_{и}$ АБЗ изменялся от 0,24 до 1,01 ($\bar{K}_{и} = 0,71$, $Cv = 0,25$), автотранспорта — от 0,3 до 1,0 ($\bar{K}_{и} = 0,93$, $Cv = 0,09$), укладочного звена — от 0,08 до 1,0 ($\bar{K}_{и} = 0,48$, $Cv = 0,56$).

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила установить зависимость сменного объема работ Q , т/смен, от производительности АБЗ ($\Pi_{абз}$), транспортного ($\Pi_{ат}$) и укладочного ($\Pi_{ук}$) звеньев:

$$Q = 0,271 \Pi_{абз}^{0,385} \Pi_{ат}^{0,051} \Pi_{ук}^{0,565}. \quad (1)$$

Коэффициент множественной корреляции — 0,98, стандартная ошибка — 0,107.

Анализ производственной функции (1) показывает, что интенсивность укладки смеси в покрытие в основном зависит от производительности укладочного звена (коэффициент влияния 0,565). Влияние асфальтобетонных заводов в 1,4 раза меньше, что объясняется их более высокой производительностью (коэффициент использования АБЗ на 24 % ниже укладочного звена). В условиях достаточности автотранспорта он практически не влияет на темп укладки смеси в покрытие (коэффициент влияния 0,051).

Интенсивность работ и качество дорожного покрытия в значительной степени определяются работой асфальтоукладчиков [1—3, 6—8]. До 1970-х гг. укладку смеси вели с использованием специализированных асфальтоукладчиков Д-150А, Д-150Б (ДС-1), выполненных по схеме «Барбергрин», ДС-126, в 1970—1980-е гг. при небольшом количестве немецких укладчиков Супер-200, Супер-204 основным специализированным асфальтоукладчиком являлся гусеничный ДС-126А (модель модернизированного ДС-126). В качестве рабочего органа использовались трамбуемый брус с частотой ударов 1450 в минуту и пассивная выглаживающая плита. Укладчик был оснащен системой «Стабилослой». В процессе укладки выполнялось предварительное уплотнение смеси до коэффициента предварительного уплотнения $K_y^n = 0,90$. Однако ширина укладываемой им полосы ограничивалась 3,75 м, что создавало определенные неудобства. В связи с этим в 1980-е гг. был создан асфальтоукладчик среднего класса ДС-143 на гусеничном ходу с шириной укладки до 4,5 м. В нем впервые была обеспечена возможность гидравлического пригруза пассивной плиты, в связи с чем K_y^n возрос до 0,91...0,92 [7, 9]. Однако при укладке многощебенистых смесей (А, Б) выглаживающая плита замазывает выступы щебенки, уменьшая шероховатость дорожного покрытия. В последующем на Николаевском и Вышневолодском заводах выпущены широкозахватные асфальтоукладчики, характеризующиеся более высокой уплотняющей способностью (ДС-113, ДС-114, ДС-155, ДС-173, СД-404М).

Современной тенденцией развития технологии строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий является использование высокопроизводительных асфальтоукладчиков. Высокая производительность укладчиков американского производства обеспечивается высокой рабочей скоростью и большой шириной укладки [8, 10]. Европейские и отечественные асфальтоукладчики в дополнение к этому обладают еще возможностью предварительного уплотнения смеси активными рабочими органами: трамбуемым брусом и виброплитой — до нормативного коэффициента $K_y = 0,99...1,0$, что позволяет снизить количество катков [9].

В Европе на выпуске асфальтоукладчиков специализируются фирмы Германии, Англии и Швеции: «Демаг», «Фогеле» (рис. 2), «АБГ», «Баукема», «Блау-Фокс», «Динапак» и др. Они выпускают гусеничные асфальтоукладчи-

ки с шириной укладываемой полосы $B = 0,80 \dots 16,0$ м и производительностью до 1500 т/ч (укладчик F300CS фирмы DYNAPAC GmbH), колесные — $B = 1,5 \dots 9,1$ м, производительностью до 1900 т/ч (укладчик 552 фирмы TEREX). Увеличение ширины рабочих органов достигается гидравлической раздвижной или навесными уширителями. Максимальная толщина укладываемого слоя 110...500 мм, эксплуатационная скорость 1,08...110 м/мин [10].

С конца 1980-х гг. на рынке РФ представлены отечественные асфальтоукладчики: гусеничные ДС-179, ДС-195 и ДС-189; колесные ДС-155, ДС-173, ДС-181, ДС-191, СД-404Б и АК-7,5. Эти модели так же, как и европейские, обеспечивают предварительное уплотнение асфальтобетонных смесей в процессе их укладки [8, 9].



Рис. 2. Укладка смеси асфальтоукладчиком Voegel Super 1803-1 на пр. Университетский



Рис. 3. Ремонт дорожного покрытия на ул. Электрослесовская (асфальтоукладчик ДС-191-506)

Производительность асфальтоукладчиков определяется, как правило, на основе норм времени, приведенных в [4]. При отсутствии норм расчеты по формулам [5] завышают производительность машин до 20...30 %. В связи с этим обоснование производительности современных асфальтоукладчиков $P_{ук}$ предлагается выполнять на основе регрессионных зависимостей сменной выработки машины от ширины H и максимально-допустимой толщины укладки смеси в покрытие h и рабочей скорости укладчика $V_{ук}$. Статистическая обработка технических данных о 98 современных асфальтоукладчиках [10] позволила предложить зависимости:

для гусеничных укладчиков

$$P_{ук} = 0,0019H^{0,359}h^{2,102}V_{ук}^{0,112}; \quad (2)$$

для колесных укладчиков

$$P_{ук} = 0,0007H^{1,039}h^{2,022}V_{ук}^{0,299}. \quad (3)$$

Коэффициент корреляции — 0,80...0,85, стандартная ошибка — 0,42.

Применение современных асфальтоукладчиков обеспечивает возможность устройства бесшовных в продольном направлении покрытий или сокращения количества продольных швов за счет большой ширины укладываемой полосы и поперечных за счет высокой рабочей скорости [10]. Кроме того, как отмечалось ранее, применение активных рабочих органов (плиты и бруса) позволяет повысить степень предварительного уплотнения смеси в

процессе ее укладки, что влияет на выбор параметров звена уплотняющих машин (рис. 4). При этом однородность уплотнения покрытия повышается в 1,65 раза. Исследованиями [6, 9] установлена зависимость коэффициента предварительного уплотнения смеси от конструкции и режимов работы уплотняющих органов асфальтоукладчика (табл. 1).

При оптимальных режимах работы укладчика на многощелевистой смеси типа А возможно достижение нормативного коэффициента уплотнения 0,99...1,00 [6]. Статистическая обработка данных [11] позволила установить зависимость максимального коэффициента предварительного уплотнения смесей $K_y^п$ от рабочей скорости асфальто-укладчика, частоты вибрации плиты $Z_п$ и бруса $Z_б$:

$$K_y^п = \frac{CZ_{ю}^{\alpha 2} Z_п^{\alpha 3}}{V_{ук}^{\alpha 1}}. \quad (4)$$

Т а б л и ц а 1

Влияние типа асфальтоукладчика на коэффициент предварительного уплотнения смеси (извлечение из [6])

Тип асфальтоукладчика	Коэффициент уплотнения
1. Без трамбуемого бруса или автогрейдер	0,75...0,80
2. С малоэффективным трамбуемым брусом и статической выглаживающей плитой	0,84...0,87
3. С одинарным трамбуемым брусом и выглаживающей вибрационной плитой	0,90...0,92
4. С двойным трамбуемым брусом и выглаживающей вибрационной плитой	0,94...0,96

Коэффициент множественной корреляции — 0,90...0,98, стандартная ошибка — 0,015...0,03.

Коэффициенты уравнения (4) равны:

для смеси типа А $C = 0,161$, $\alpha 1 = 0,048$, $\alpha 2 = 0,133$, $\alpha 3 = 0,336$;

для смеси типа Б $C = 0,073$, $\alpha 1 = 0,050$, $\alpha 2 = 0,269$, $\alpha 3 = 0,539$.

Анализ уравнения регрессии (4) показывает: степень уплотнения смеси в процессе ее укладки в основном зависит от частоты вибрации плиты и бруса и уменьшается с увеличением скорости укладчика. Вибрационное воздействие уплотняющих органов асфальтоукладчика на смеси приводит к их псевдоразжижению, что облегчает процесс уплотнения. Высокая степень плотности смеси за укладчиком позволяет уменьшить количество катков, сократить фронт работ, улучшить структуру уплотненного материала [2, 3, 12]. Поэтому с целью повышения качества уплотнения асфальтобетона перед началом производства работ особое внимание следует уделять настройке рабочих органов асфальтоукладчика. Наилучшей уплотняемостью характеризуются многощелевистые смеси типа А и Б.



Рис. 4. Работа вибробруса и выглаживающей виброплиты асфальтоукладчика ДС-191-506

Для многощепенистой смеси типа А максимальный коэффициент $K_y^n = 0,99 \dots 1,0$ обеспечивается: при скорости $V_{ук} = 1$ м/мин, $Z_{п} = 2600 \dots 3000$ уд/мин и $Z_{б} = 450 \dots 720$ об/мин; при $V_{ук} = 2$ м/мин, $Z_{п} = 4200$ уд/мин и $Z_{б} = 1440$ об/мин.

Максимальная уплотняемость смеси типа Б ($K_y^n > 0,95$) обеспечивается: при скорости $V_{ук} = 5$ м/мин, $Z_{п} = 1800 \dots 2500$ уд/мин и $Z_{б} = 180 \dots 320$ об/мин. При меньшей скорости $V_{ук} = 1 \dots 2$ м/мин, $Z_{п} > 3900$ уд/мин и $Z_{б} > 1300$ об/мин возможно уплотнение смеси до $K_y^n > 0,90$.

В условиях высокого темпа работ скорость укладчика 1 м/мин неэффективна, поэтому укладку целесообразно вести при рабочей скорости 2...3 м/мин, при которой смеси типа А и Б соответственно уплотняются до $K_y^n = 0,92 \dots 0,94$ и $0,90 \dots 0,92$ [6, 7]. Рекомендуемые частоты колебания трамбующего бруса, виброплиты и скорости укладчика в зависимости от типа смеси и ее температуры приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Рекомендуемые режимы работы рабочих органов асфальтоукладчика
(извлечение из [7])*

Тип смеси	Температура укладываемой смеси, °С	Частота колебания, уд/мин		Скорость движения асфальтоукладчика, м/мин
		трамбующего бруса	виброплиты	
А, Б	100...120	420...600	2500...3000	1,7...2,5
	130...140	660...840	2500...3000	2,2...3,0
В, Г, Д	100...120	300...480	1500...2000	1,2...2,0
	130...140	540...720	1500...2000	1,7...2,5

При ремонте покрытия укладку смеси необходимо выполнять с учетом коэффициента запаса на уплотнение (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Коэффициент запаса на уплотнение смеси в зависимости от способа ее укладки в покрытие (извлечение из [10])

Способ укладки и предварительного уплотнения смеси	Вручную лопатой	Автогрейдер или простейший раскладчик без уплотнения	Асфальтоукладчик			
			с трамб. брусом (ход 2...3 мм) без виброплиты	с трамб. брусом (ход 3...4 мм) с виброплитой	с трамб. брусом (ход 6...8 мм) с виброплитой	с двойным брусом (ход 6...8 мм) с виброплитой
K_{y0}	0,70...0,75	0,75...0,80	0,85...0,87	0,88...0,90	0,91...0,92	0,95...0,97
$K_{zy} = h_0/h_k$	1,50...1,40	1,36...1,32	1,28...1,24	1,23...1,18	1,16...1,12	1,08...1,04

П р м е ч а н и е. h_0, h_k — толщина слоя смеси в рыхлом (начальном) и плотном (конечном) состоянии; K_{y0}, K_{zy} — коэффициент уплотнения смеси начальный (рыхлая смесь) и коэффициент запаса на уплотнение.

С целью обеспечения непрерывности и требуемого качества уплотнения укладываемая полоса должна быть равна длине захватки каждой уплотняющей машины в заданном температурном интервале слоя покрытия [6, 7]. Зна-

ние закономерностей влияния разных факторов на продолжительность укладки горячих асфальтобетонных смесей дает возможность обосновать технологические режимы работы асфальтоукладчиков совместно с катками в зависимости от условий производства работ. Полученные значения времени работы асфальтоукладчика могут быть использованы для определения длины полосы укладки с учетом рекомендуемых температурных режимов укладываемой смеси при заданной скорости асфальтоукладчика или при заданной длине захватки, а также позволяют определить скорость укладки смеси в покрытие. Предельно допустимая длина захватки, укладываемой за проход укладчиком, зависит от погодных условий и организации работ [6, 7, 11].

На характер и скорость остывания, а соответственно, и на время T_0 от момента укладки смеси в покрытие (как правило, при 130...140 °С после укладчика) и до момента завершения уплотнения (при температурах 60...70 °С) влияют в основном три фактора: толщина слоя h , температура воздуха t_B и скорость ветра V_B . Регрессионный анализ показал, что на T_0 наибольшее влияние оказывает толщина укладываемого слоя:

$$T_0 = \frac{1,762h^{1,183}t_B^{0,357}}{V_B^{0,079}}. \quad (5)$$

На тонких слоях (2...3 см) и при отрицательных температурах (-5...-10 °С) время, отводимое на укатку, может составить не более 10 мин, которых будет явно недостаточно для полного и качественного уплотнения. В таких же условиях более толстый слой (9...10 см) может сохранить необходимую для укатки температуру почти в 4 раза дольше [8]. Поэтому потребность в технологических приемах и средствах быстрого и эффективного уплотнения важнее для тонких слоев, чем для толстых.

Укладка смеси осуществляется асфальтоукладчиком на всю ширину покрытия или на отдельных полосах, ширина которых кратна ширине проезжей части. В последнем случае, уложив одну полосу, переходят на соседнюю, пока чрезмерно не остыла кромка ранее уложенной полосы. Для обеспечения качества сопряжения смежных полос длина полосы укладки $L_{ук}$ в городских условиях назначается в зависимости от температуры воздуха t_B (при $t_B = 5...40$ °С):

$$L_{ук} = -0,0822t_B^2 + 8,643t_B - 14,175. \quad (6)$$

Переход асфальтоукладчика с полосы на полосу увеличивает производственные потери времени, снижает эксплуатационную производительность машины. При повышении интенсивности остывания и сокращении времени T_0 число переходов на смежную полосу увеличивается, что приводит к снижению производительности асфальтоукладчика

$$П_{ук} = 54T(1 - 0,06n)hB\gamma V, \quad (7)$$

где h и B — соответственно толщина и ширина укладываемого слоя смеси, м; γ — объемная масса смеси; V — скорость перемещения асфальтоукладчика, м/мин; n — количество переходов на смежную полосу за смену, зависит от времени остывания слоя смеси T_0 до минимально допустимой температуры.

При одновременной работе двух и более асфальтоукладчиков на смежных полосах опережение одного относительно другого составляет 10...30 м [7].

Выполненные исследования являются основой для совершенствования технологии и организации работ по ремонту асфальтобетонных покрытий городских дорог [2, 5] в условиях плотных транспортных потоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Истомин В.С.* Практическое руководство по текущему ремонту асфальтобетонных покрытий городской дорожной сети. М. : Прима-Пресс-М, 2001. 110 с.
2. *Кузнецов В.К.* Содержание и текущий ремонт городских дорог. М. : Альфа-Принт, 1998. 151 с.
3. Дорожная техника : каталог-справочник. Спб., 2000—2008 гг.
4. Уплотняющие машины / В.П. Ложечко, А.А. Шестопалов, В.П. Окунев и др. Рыбинск : Рыбин. дом печ., 2004. 79 с.
5. *Зубков А.В.* Методика разработки технологических процессов строительства дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей // Вестник ТГТУ. 2007. Т. 13. № 1. 52 с.
6. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий : методические рекомендации / В.Н. Шестаков, В.Б. Пермяков, В.М. Ворожейкин, Г.Б. Старков. Омск : Омский дом печати, 2004. 256 с.
7. *Якунин О.А., Горелышев Н.В.* Исследование влияния охлаждения слоев асфальтобетонной смеси // Сб. науч. тр. / СоюздорНИИ. М., 1972. 93 с.
8. *Маслов А.Г.* Исследование параметров вибрационного оборудования для уплотнения асфальтобетонных смесей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 1973. 27 с.
9. *Костельов М.П.* Устройство асфальтобетонных покрытий в неблагоприятных погодных условиях // Дорожная техника. 2006. № 4. 213 с.
10. ЕНиР. Сб. Е17 : Строительство автомобильных дорог / Госстрой СССР. М. : Стройиздат, 1989. 48 с.
11. Технологические карты на устройство земляного полотна и дорожной одежды / Росавтодор. М., 2004. 258 с.

© *Алексиков С.В., Абдулжалилов О.Ю., Карпушко М.О., 2009*

*Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.*

УДК 625.75.12

Е.В. Углова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Изложен теоретико-экспериментальный метод расчета остаточного ресурса эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий, позволяющий учитывать отклонение от проектных значений параметров функционирования системы дорожная конструкция — грунт на стадии эксплуатации. Разработанный метод позволяет выполнять имитационное моделирование усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий при различных режимах эксплуатации, рассчитывать остаточный срок службы асфальтобетонных покрытий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: асфальтобетонные покрытия, усталостная долговечность, остаточный ресурс.

The theoretical-experimental method of calculation of a residual resource maintained asphalt concrete coverings is resulted, allowing to consider a deviation of parametres of functioning of system a road pavement — a ground at a stage of operation from design values. The developed method allows to carry out imitating modeling of fatigue durability asphalt concrete coverings at various modes of operation, to count residual service life asphalt concrete coverings.

K e y w o r d s: asphalt concrete coverings, fatigue durability, a residual resource.

Асфальтобетонные покрытия в течение всего срока службы работают в условиях циклического нагружения транспортной нагрузкой при заданном климатическом воздействии. Для оценки усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий предложено использовать один из подходов теории надежности — теорию суммирования повреждений [1]. Многочисленные работы, выполненные российскими и зарубежными исследователями [2], подтвердили применимость гипотезы кумулятивного разрушения (гипотезы Майнера) для асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Согласно этой гипотезе усталостные повреждения, вызываемые различными по величине напряжениями, суммируются. Усталостное разрушение покрытия наступает тогда, когда сумма относительных повреждений по всем уровням амплитуд напряжений достигает единицы.

$$D = \sum_{t=1}^T \frac{n_t}{N(\sigma_t)}, \quad (1)$$

где D — доля накопленных повреждений; T — общее количество периодов, в течение которых производится расчет; n_t — фактическое число приложений нагрузок в течение периода t ; $N(\sigma_t)$ — допустимое количество приложений нагрузок при напряжениях цикла σ_t .

Расчет накопления усталостных разрушений асфальтобетонных покрытий может выполняться как на стадии проектирования дорожных конструкций, когда предполагается сохранение заданных закономерностей изменения различных параметров (интенсивности и состава движения, расчетных параметров конструктивных слоев, коэффициента динамичности) в течение срока службы, так и на стадии эксплуатации с учетом отклонения параметров сис-

темы от проектных значений. При этом на любом этапе эксплуатации правомерно выражение

$$D_{\text{ост}} = 1 - D_{\text{экср}}, \quad (2)$$

где $D_{\text{ост}}$ — остаточная доля усталостных повреждений; $D_{\text{экср}}$ — доля усталостных повреждений, накопленных в процессе эксплуатации.

Отклонение расчетных параметров системы от проектных значений приводит к увеличению доли накопленных в процессе эксплуатации усталостных повреждений $D_{\text{экср}}$ и уменьшению остаточного ресурса асфальтобетонных покрытий.

Многолетние наблюдения показывают, что эксплуатационные параметры функционирования системы дорожная конструкция — грунт могут существенно отличаться от расчетных, что связано с различными причинами: локальными нарушениями технологических режимов на стадии строительства; увеличением транспортных нагрузок по сравнению с расчетным значением; высоким уровнем динамических нагрузок вследствие необеспеченной ровности дорожного покрытия и др. Таким образом, остаточный ресурс дорожных конструкций существенно зависит от эксплуатационного состояния их элементов и реальных режимов нагружения.

Сложность оценки остаточного усталостного ресурса эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий связана, во-первых, с определением реального состояния элементов дорожных конструкций и расчетных параметров конструктивных слоев на стадии эксплуатации, а во-вторых, с необходимостью учета динамического воздействия транспортных средств на асфальтобетонные покрытия вследствие их существенного различия по показателю ровности.

Последние достижения фундаментальных наук в области механики деформируемого твердого тела, появление новой измерительной аппаратуры, значительно возросшие возможности современной вычислительной техники позволили реализовать комплексный подход к решению указанной проблемы, основанный на совместном использовании теоретических и экспериментальных (в натуральных условиях на текущем этапе эксплуатации) методов исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) нежестких дорожных конструкций с последующим моделированием накопления усталостных повреждений асфальтобетонных покрытий с учетом реальных режимов нагружения.

Для прогнозирования остаточного ресурса эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий предложен теоретико-экспериментальный метод (рис. 1). На первом этапе выполняется комплекс экспериментальных работ по оценке параметров функционирования системы дорожная конструкция — грунт на текущем этапе эксплуатации. Определяются или задаются по материалам учета данные о фактической интенсивности движения и составе транспортно-го потока $N_k^{\tau}(t)$, определяются модули упругости элементов системы дорожная конструкция — грунт E_j , определяется коэффициент динамичности с учетом фактической ровности дорожного покрытия и скоростных режимов движения транспортных средств K_d^0 . На основе начальных и эксплуатационных значений расчетных параметров системы устанавливаются функции их изменения в течение заданного периода эксплуатации $(N_k^{\tau}(t); N_j^{\tau}(t); N_z^{\tau}(t))$.

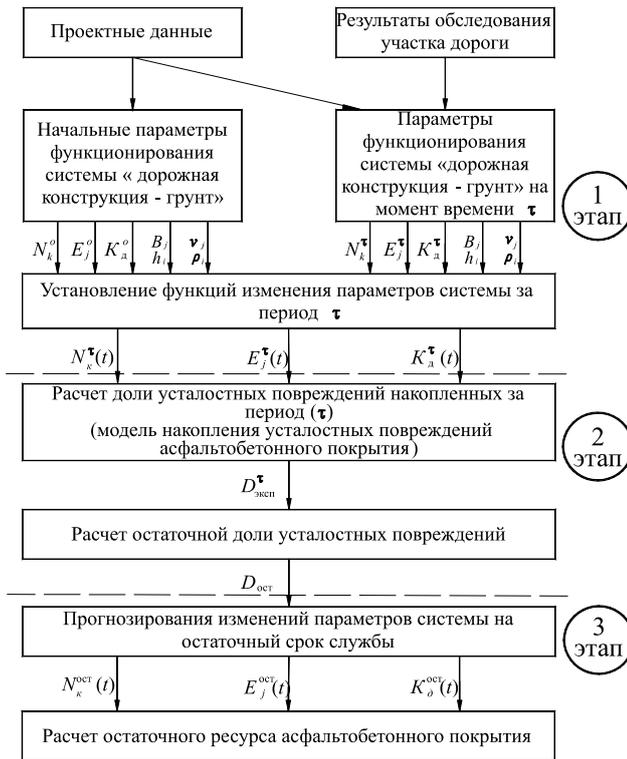


Рис. 1. Алгоритм расчета остаточного ресурса эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий

На втором этапе рассчитывается доля накопленных в процессе эксплуатации усталостных повреждений (за период τ) и доля остаточных усталостных повреждений. Расчет выполняется с использованием разработанной модели накопления усталостных повреждений с учетом установленных закономерностей изменения расчетных параметров системы в течение периода τ [3].

При этом единичное усталостное повреждение, возникающее в асфальтобетонном покрытии при действии осевой нагрузки, принимается равным $1/N(\sigma_j^k)$. Суммирование единичных повреждений всех осей автомобиля позволяет оценить долю повреждений при проезде транспортного средства заданного типа:

$$D_k = \sum_{j=1}^m \frac{1}{N(\sigma_j^k)}, \quad (3)$$

где j — номер оси автомобиля; m — количество осей автомобиля.

На заключительном этапе расчета накопления усталостных разрушений асфальтобетонного покрытия выполняется суммирование усталостных повреждений, возникающих при действии всех типов автомобилей транспортного потока в указанный временной промежуток:

$$D_t = \sum_{k=1}^g n_k D_k, \quad (4)$$

где n_k — количество проездов автомобилей k -го типа за период t ; g — количество типов автомобилей в транспортном потоке.

При этом количество проездов автомобилей k -го типа определяют по формуле

$$n_k = 0,7 N_k^t T_{\text{дн}} f_{\text{пол}} K_n, \quad (5)$$

где N_k^t — суточная интенсивность движения автомобилей k -го типа, авт/сут; $T_{\text{дн}}$ — число дней анализируемого периода; $f_{\text{пол}}$ — коэффициент, учитывающий распределение движения по полосам [4]); K_n — коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого [4]).

На третьем этапе для определения остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий выполняется прогнозирование изменения расчетных параметров системы на остаточный срок службы и расчет накопления усталостных повреждений в последующие годы.

Остаточный срок службы $t_{\text{ост}}$ асфальтобетонных покрытий определяется из условия

$$\sum_1^{t_{\text{ост}}} D_{\text{год}} \leq D_{\text{ост}}. \quad (6)$$

Для описания изменения параметров функционирования системы дорожная конструкция — грунт за период τ предложены следующие функции:

$$N_k^\tau(t) = N_k^0(1 + g)^{t-1}, \quad (7)$$

где N_k^0 — интенсивность движения в первый год эксплуатации, авт/сут; g — ежегодный прирост интенсивности движения в период τ ;

$$E_j^\tau(t) = E_j^0(1 + \Delta E_j t), \quad (8)$$

где E_j^τ — модуль упругости на момент времени τ , МПа; E_j^0 — модуль упругости в начальный период эксплуатации, МПа.

$$\Delta E = \frac{E_j^\tau - E_j^0}{\tau};$$

$$K_d^\tau(t) = K_d^0(1 + \Delta K_d t), \quad (9)$$

где K_d^τ — коэффициент динамичности на момент времени τ ; K_d^0 — коэффициент динамичности в начальный период времени эксплуатации; $\Delta K_d = \frac{K_d^\tau - K_d^0}{\tau}$.

Разработан программный комплекс прогнозирования остаточного ресурса эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий, состоящий из четырех модулей:

1) расчет напряжений и деформаций асфальтобетонного покрытия на основе модели динамического НДС системы дорожная конструкция — грунт;

2) «обратный расчет» модулей упругости элементов дорожной конструкции на стадии эксплуатации;

3) расчет коэффициентов динамичности для оценки динамического воздействия транспортных средств на асфальтобетонное покрытие;

4) оценка накопления усталостных повреждений;

Каждый из модулей может эксплуатироваться как в автономном режиме, так и в пакете с другими модулями. В последнем случае передача данных между модулями осуществляется через файловую систему. Взаимодействие модулей 1 и 2 основано на использовании итерационного подхода. Связь других модулей реализует линейный (последовательный) алгоритм.

В качестве примера приведены результаты расчета накопления усталостных повреждений на участке автомобильной дороги (рис. 2) в случае обеспечения проектных условий эксплуатации и в случае снижения ровности покрытия и, как следствие, увеличения динамического воздействия транспортного потока. Выполнен анализ эффективности различных видов ремонтных работ и их влияния на накопление усталостных повреждений асфальтобетонного покрытия.

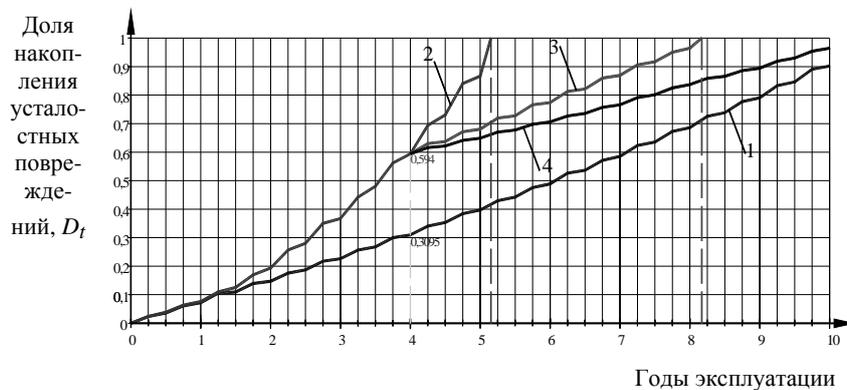


Рис. 2. Влияние условий эксплуатации и ремонтных мероприятий на накопление усталостных повреждений асфальтобетонного покрытия: 1 — проектные условия эксплуатации; 2 — в условиях динамических перегрузок; 3 — после проведения ремонта по восстановлению ровности покрытия; 4 — после проведения ремонта по усилению дорожной одежды

Разработанный метод прогнозирования остаточного усталостного ресурса эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий позволяет выполнять имитационное моделирование их усталостной долговечности при различных режимах эксплуатации, рассчитывать остаточный срок службы, проводить оценку и обоснование эффективности ремонтных работ по критерию увеличения усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М. : Машиностроение, 1984. 312 с.
2. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. Киев : ПолиграфКонсалтинг, 2003. 240 с.
3. Углова Е.В., Илиополов С.К., Селезнев М.Г. Усталостная долговечность эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий. Ростов н/Д : РГСУ, 2009. 224 с.
4. ОДН 218.046—01. Проектирование жестких дорожных одежд. М. : Росавтодор, 2001. 144 с.

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

© Углова Е.В., 2009

УДК 625.745.4

Р.Н. Черноусов, Н.Н. Черноусов, Б.А. Бондарев

ИЗУЧЕНИЕ ПРОДАВЛИВАНИЯ ОПОРНЫХ И ДОРОЖНЫХ ПЛИТ ДЛЯ КРУГЛЫХ КОЛОДЦЕВ НА ШЛАКОБЕТОННЫХ МОДЕЛЯХ

Приведены результаты экспериментальных исследований продавливания жесткими штампами шлакобетонных моделей опорных и дорожных плит для круглых колодцев.

К л ю ч е в ы е с л о в а: продавливание, плиты опорные, плиты дорожные, круглые колодцы, шлакобетонные модели.

There are presented the results of experimental researches of punching by hard dies of slag-concrete models of base and road plates for round wells.

К e y w o r d s: punching, plates base, plates road, round wells, slag-concrete models.

Изучение работы используемого в дорожном строительстве шлакобетона на продавливание имеет большое значение, так как дорожные плиты при действии сосредоточенных сил могут разрушаться от продавливания по замкнутой поверхности.

Согласно [1] расчет на продавливание плитных конструкций без поперечной арматуры рекомендуется производить по формуле

$$F \leq F_u = R_{bt} A_b, \quad (1)$$

где F — продавливающая сила; F_u — несущая способность на продавливание; R_{bt} — расчетное сопротивление бетона растяжению; A_b — расчетная площадь.

При расчете несущей способности плит на продавливание основную сложность представляет вопрос назначения предела прочности на растяжение, который решается путем экспериментального определения предела прочности при растяжении методом расклинивания [2].

В связи с использованием в конструкциях жестких покрытий городских дорог и тротуаров бетонов на основе вторичных отходов и с целью уточнения применения формулы (1) к расчету конструкций из мелкозернистого шлакобетона возникла необходимость проведения испытаний на продавливание.

С целью определения несущей способности конструкций опорных и дорожных плит для круглых колодцев на продавливание были проведены испытания на данный вид нагружения опытных образцов — моделей плит. Плиты имели размер в плане 20×20 см и высоту 20 мм (рис. 1).

Для изготовления моделей использовали 4 серии образцов:

серия «Ш», класс В20 (портландцемент М500, литой шлаковый щебень доменного производства фракции 5...20 мм, кварцевый песок);

серии 2...4 — «О-1», «О-2», «О-3», классы В20, В15, В10 соответственно (портландцемент М500, отсев от дробления литого шлакового щебня доменного производства фракции 0...5 мм).

При испытаниях плиты устанавливались на приспособление в виде прямоугольной в плане обоймы размером 16×16 см (в чистоте). Сверху образцов размещали металлическую раму, которую с помощью анкеров, закреп-

ленных на обойме и пропущенных через раму, прижимали к образцу, обеспечивая его заземление по контуру. Передача нагрузки от пресса на образец осуществлялась через металлические штампы размерами в плане 2×2, 3×3 и 4×4 см (рис. 2).

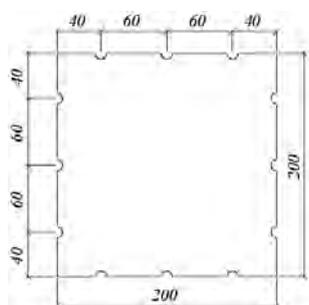


Рис. 1. Образец для испытания

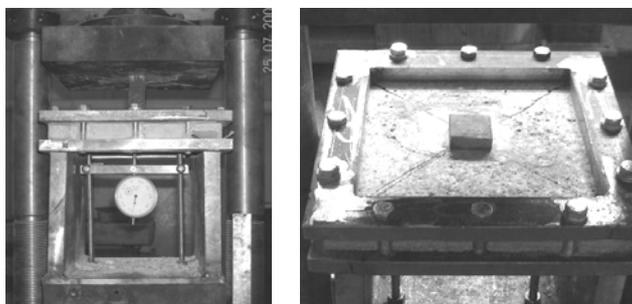


Рис. 2. Общий вид установки и образца в момент перед испытанием

Зависимости перемещений от нагрузки в центре плит приведены на рис. 3—5.

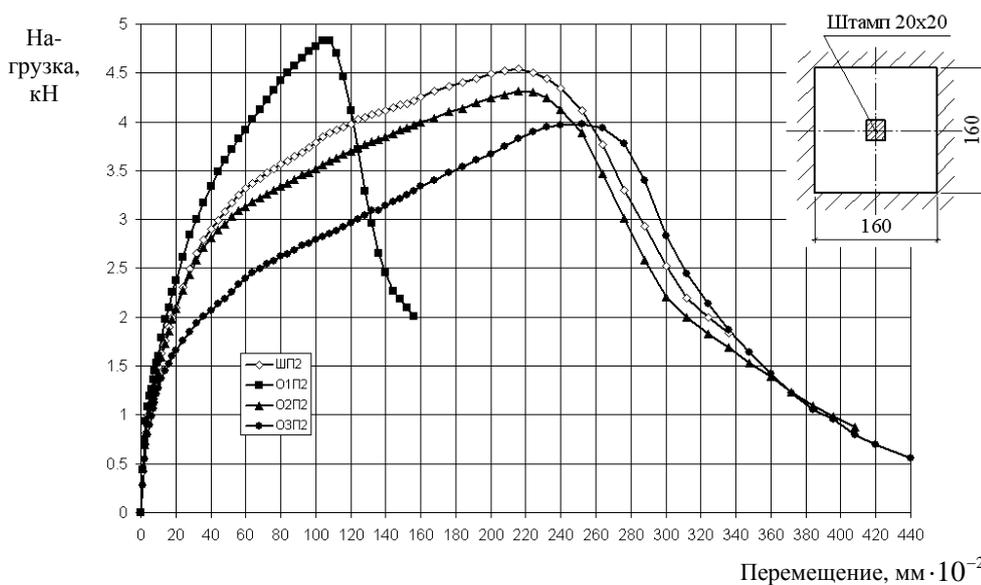


Рис. 3. Зависимость перемещений от нагрузки в центре плит, продавливание штампом 20×20 мм

При испытаниях наблюдали две стадии работы образцов.

В первой стадии нагрузка возрастает до критического уровня, фиксируется пирамида продавливания, регистрируется разрушающая нагрузка. Эта стадия завершается пиком на графике «нагрузка — перемещения». Критическая разрушающая нагрузка достигалась при продавливании штампом 20×20 мм при перемещениях вдоль действия сил 1,07...2,52 мм (рис. 3), штампом 30×30 мм — 2,4...3,0 мм (рис. 4), штампом 40×40 мм — 2,73...3,13 мм (рис. 5).

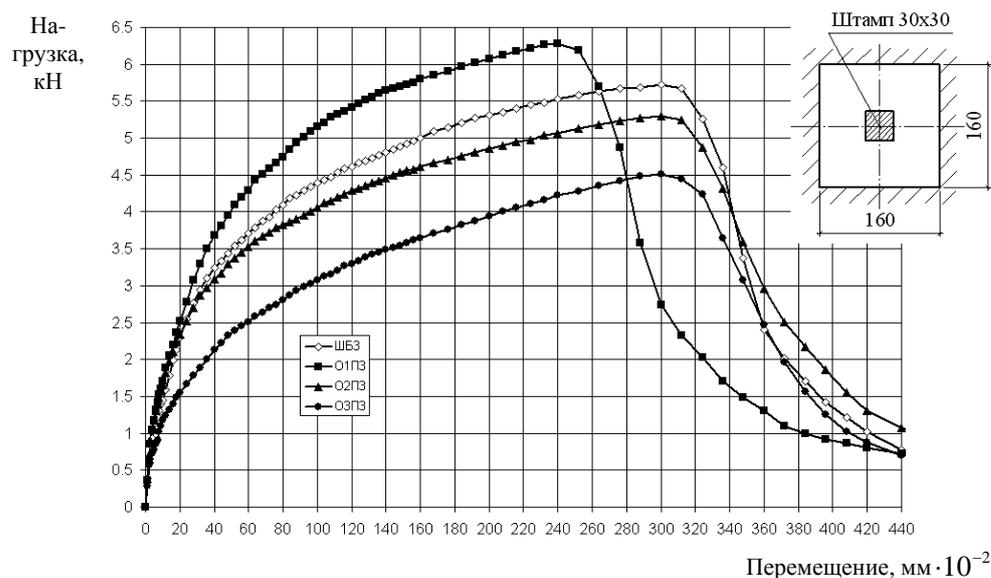


Рис. 4. Зависимость перемещений от нагрузки в центре плит, продавливание штампом 30×30 мм

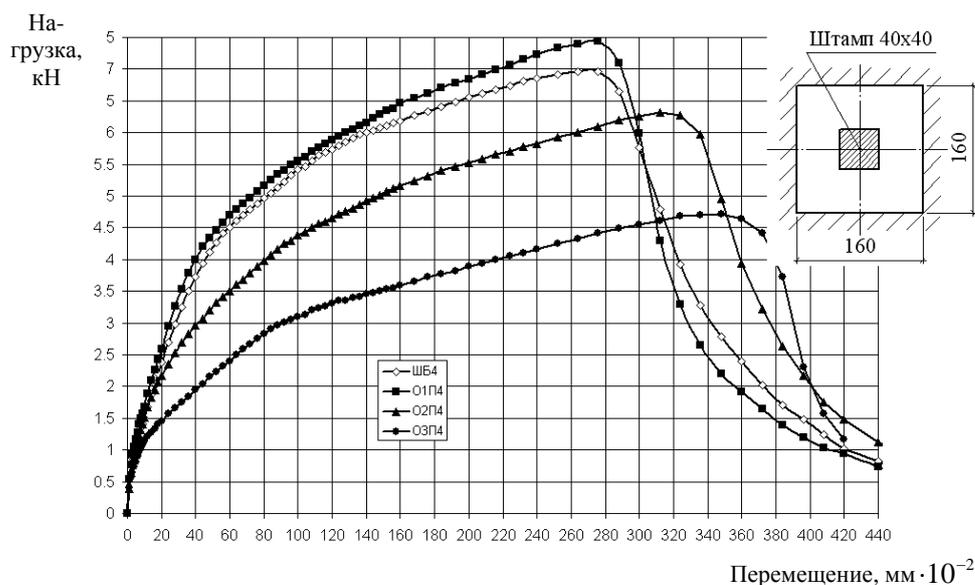


Рис. 5. Зависимость перемещений от нагрузки в центре плит, продавливание штампом 40×40 мм

Вторая стадия включает доведение образца плиты до физического разрушения (закритическая область). Дальнейшее приложение нагрузки на пирамиду приводит к возникновению в ней моментов, происходит дальнейшее выдавливание пирамиды и ее разрушение. Нагрузка и перемещения, при которых происходило полное физическое разрушение, приведены в табл. 1.

Наблюдения показали, что угол наклона граней пирамиды обрушения составляет примерно 45°. Вид образцов после испытаний приведен на рис. 6.

Т а б л и ц а 1

Данные испытаний опытных образцов на продавливание

Марка образца	Продавливание (критическая стадия разрушения)		Физическая стадия разрушения (закритическая область)	
	Экспериментальная нагрузка продавливания F , кН	Перемещение, мм	Разрушающая закритическая нагрузка F_{str} , кН	Перемещение, мм
Продавливание штампом 20×20 мм				
ШП2	4,55	2,15	1,85	3,35
О1П2	4,85	1,07	2,1	1,55
О2П2	4,3	2,2	0,86	4,08
О3П2	3,98	2,52	0,55	4,4
Продавливание штампом 30×30 мм				
ШП3	5,72	3,0	0,22	5,0
О1П3	6,29	2,4	0,25	5,0
О2П3	5,3	3,0	0,62	5,0
О3П3	4,52	3,0	0,75	4,4
Продавливание штампом 40×40 мм				
ШП4	7,0	2,73	0,3	5,0
О1П4	7,45	2,75	0,35	5,0
О2П4	6,3	3,13	0,6	5,0
О3П4	4,71	3,48	1,15	4,2

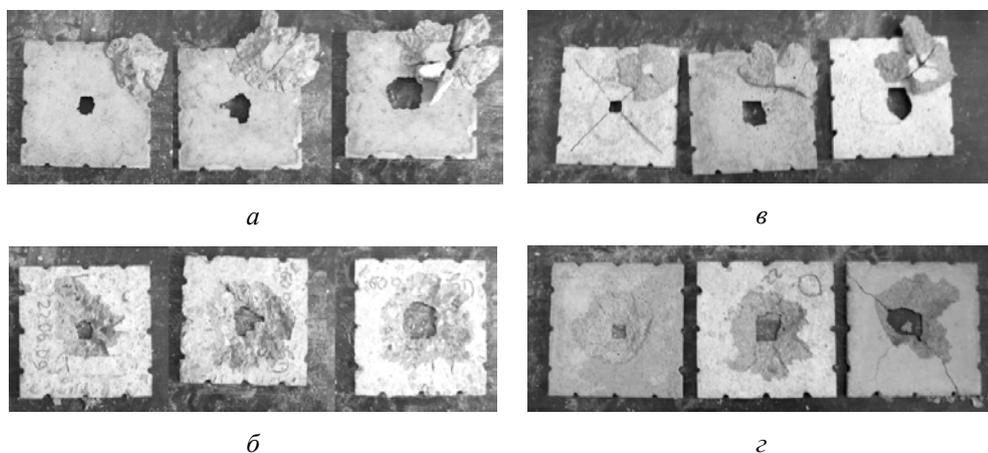


Рис. 6. Общие виды физического разрушения образцов: *a* — вид со стороны силы (серия ШП); *б* — пирамида продавливания (серия ШП); *в* — вид со стороны силы (серия О2П); *г* — пирамида продавливания (серия О2П)

Опытные значения разрушающей нагрузки сравнивались с подсчитанными значениями по формуле (1) и по формуле (2), полученной в результате математической обработки опытных данных.

$$F \leq F_u = 0,85R_{bt} A_b. \quad (2)$$

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Анализ экспериментальных данных на продавливание

Мар- ка об- разца	Прочность бетона, МПа		Расчет- ная пло- щадь A_b , мм ²	Нагрузка продавливания, кН		Коэффициент запаса	
	При сжа- тии R_m	При рас- тяжении R_{bt}		F_{u1} по (1)	F_{u2} по (2)	F/F_{u1}	F/F_{u2}
ШП2	26,2	1,83	3200	5,85	4,97	0,78	0,92
О1П2	26,6	1,86	3200	5,95	5,05	0,82	0,96
О2П2	19,5	1,49	3200	4,78	4,06	0,90	1,06
О3П2	14,4	1,33	3200	4,27	3,63	0,93	1,10
ШП3	26,8	1,82	4000	7,27	6,18	0,79	0,93
О1П3	26,9	1,82	4000	7,25	6,16	0,87	1,02
О2П3	18,5	1,42	4000	5,69	4,84	0,93	1,10
О3П3	13,8	1,28	4000	5,12	4,35	0,88	1,04
ШП4	26,6	1,78	4800	8,56	7,28	0,82	0,96
О1П4	27,1	1,92	4800	9,24	7,85	0,81	0,95
О2П4	16,4	1,40	4800	6,71	5,7	0,94	1,11
О3П4	13,2	1,07	4800	5,15	4,38	0,91	1,08

На основании анализа экспериментальных данных (табл. 2) предлагается расчет несущей способности при местном нагружении опорных и дорожных плит для круглых колодцев из мелкозернистого шлакобетона производить по формуле (2), обеспечивающей удовлетворительную сходимость расчетных параметров с опытными (при расхождении не более 10,5 %).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 52-101—2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
2. Бондарев Б.А., Черноусов Р.Н. Определение модуля упругости и предела прочности сталефибробетона при растяжении методом расклинивания // Вестник Волгор. гос.archit.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. 2008. № 3(11). С. 67—71.

© Черноусов Р.Н., Черноусов Н.Н., Бондарев Б.А., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 625.8

М.Н. Кокоев

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Приведен краткий обзор современных технологий ремонта дорожных покрытий. Показано, что в российских условиях предпочтителен «горячий» метод ремонта. Для качественного осушения и нагрева поверхности выбоин предложен аэродинамический нагреватель — модернизированный двухрежимный вентилятор мощностью около 5 кВт, встраиваемый в установку для ремонта покрытий по струйно-инъекционной технологии.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дорожные покрытия, горячий метод ремонта, осушение, нагрев выбоин, аэродинамический нагреватель, вентилятор, струйно-инъекционный ремонт.

This article contains a brief overview of modern technologies used to repair road surfaces. It shows that “hot” repair method should be preferred in Russia. An aerodynamic heater is suggested for drying and heating of the road surface. The heater can be built with dual mode fan with engine power of about 5 kW. The fan should be built into the jet-injection road repairing vehicle.

К е у w o r d s: road surfaces, hot repair method, drying, heating, aerodynamic heater, fan, the jet-injection repairing.

Российское дорожное ведомство заявило о намерении перейти к 2011 г. на другие способы «реставрации» асфальтового покрытия и сделать ямочный ремонт «не правилом, а исключением» [1]. Однако верится в это с трудом. Хотя бы, например, из-за недостатка современной дорожно-строительной техники, а также низкого качества используемых для ремонта асфальтобетонных смесей, битумов и мастик. Поэтому в действительности ямочный ремонт еще долго будет применяться на российских дорогах.

Практикой установлено, что поверхность дорожного покрытия, нуждающаяся в локальном текущем ремонте, ежегодно может составлять 2...3 % от общей площади покрытия дороги или ее участка. В городах этот показатель еще выше. Когда серьезные повреждения и дефекты достигают 12...15 %, общепринято ставить на ремонт все 100 % этой площади [2]. А поскольку скорость выхода из строя дорог опережает темпы их ремонта, то в восстановлении постоянно нуждаются все наши дороги.

При текущем ремонте покрытий, по мере надобности, выполняют, во-первых, ямочный ремонт (ликвидация ям, выбоин, сколов), во-вторых, заделку трещин и, в-третьих, поверхностную обработку или укладку тонких верхних слоев покрытия, так называемых ковриков износа. Как правило, ремонтные работы на дорожных покрытиях в России выполняются чаще всего весной с наступлением устойчивой теплой (не ниже +5 °С) и сухой погоды, хотя часто возникает потребность в проведении и срочного внепланового или аварийного ремонта практически в любое время года и при любых погодных условиях.

Самым доступным и распространенным методом ремонта покрытий является ямочный ремонт горячей асфальтобетонной смесью, поскольку в распоряжении дорожных служб имеется сеть заводов по производству асфальта и все традиционные исходные материалы (щебень, песок, минеральный порошок, битум), необходимые для приготовления смеси.

При использовании горячей технологии качество заделки дорожного покрытия высокое, но этот метод ремонта зависит от погодных условий и точности соблюдения технологии, в том числе жесткого температурного режима. В меньшей степени это влияние сказывается в случае применения холодных битумосодержащих смесей и материалов на основе жидких или разжиженных битумов и битумных эмульсий [1].

«Холодный» ремонт покрытий с применением нетрадиционных смесей на основе битумных, полимерных, полимербитумных, цементных и других вяжущих специальных материалов пока мало распространен в российской дорожной отрасли. Холодный ремонт с указанными материалами используют лишь в особых случаях, например при аварийном ремонте, заделке дефектов на цементобетонных покрытиях и на покрытиях мостов. При этом обращают внимание на стойкость этих материалов при неблагоприятных погодных условиях. В частности, в ГУП НИИ мостостроя ведутся успешные работы по модифицированию асфальтовых вяжущих резиновой крошкой и полипропиленовыми волокнами [3] с целью придания им повышенной работоспособности при пониженных температурах эксплуатации.

Российские дорожники медленно осваивают более прогрессивные материалы для «холодного» ремонта, особенно на основе битумных эмульсий, хотя эта группа технологий ремонта применяется во многих странах благодаря экономичности, простоте и менее строгим требованиям к погодным условиям.

Однако при выборе между горячей и холодной технологиями ремонта асфальтобетонных покрытий следует учитывать, что прочность и водостойкость холодного асфальтобетона, приготовленного на жидком или разжиженном битуме, в 2...3 раза ниже, чем горячего, и по этой причине его используют в основном при устройстве и ремонте покрытий дорог III—IV категорий. Горячие асфальтобетонные смеси и литой асфальт применяют преимущественно при ремонте дорог I и II категорий. Указанные пределы срока службы холодного покрытия имеют место только в случае тщательного выполнения всех работ. Но как раз эти требования в наших условиях часто нарушаются, и поэтому холодное покрытие обычно служит еще меньше — только один сезон.

В ряде стран, например в Германии, Голландии, Бельгии и др., при проведении ремонта дорожных покрытий горячими смесями нормативными документами узаконено обязательное использование на ремонте дорожных покрытий теплоизолированных контейнеров (термосных бункеров), так как укладываемая асфальтобетонная смесь с температурой ниже 110...120 °C признается браком.

Таким образом, исходя из того, какие материалы реально используются в отечественной практике, не рекомендуется проводить ремонтные работы ямочным методом при дожде и снегопаде, когда затруднена или даже исключена очистка выбоины от влаги, пыли и мусора и ее подгрунтовка битумной эмульсией.

Исследования, проведенные в течение нескольких последних лет, в частности в США, показали, что для качества ямочного ремонта чистота и сухость выбоины играют более важную роль, чем даже температура материала и наружного воздуха. В США, Англии, Швеции и других странах нашел широкое применение струйно-инъекционный метод заделки выбоин, который можно

использовать почти круглый год. Зарубежная практика его применения показывает, что данный метод действительно обеспечивает прочную и долговечную заделку выбоины. При соблюдении всех технологических требований качественный ремонт покрытия можно обеспечить даже при температуре воздуха до $-10...-15$ °С. К сожалению, у нас этот метод применяется пока мало, но с выпуском российской прицепной установки БЦМ-24 для ямочного ремонта покрытий по струйно-инъекционной технологии способ станет использоваться более широко. Установку производит фирма «Бецема» в Подмосковье.

Струйно-инъекционная технология в последнее время подверглась дальнейшему качественному совершенствованию и за рубежом постепенно заменяется так называемым вакуумно-струйно-инъекционным методом. В этом методе очистку выбоины от мусора, пыли и влаги выполняют с помощью мощного вакуумного отсоса с промежуточным отстойником в виде стальной емкости на 400...500 л. В результате вакуумного отсоса поверхность под ремонт становится более сухой и чистой, чем при обычной продувке сжатым воздухом. А подгрунтовка битумной эмульсией и заполнение выбоины щебнем, обработанным эмульсией, аналогичны таким же операциям по струйно-инъекционной технологии.

Все сказанное выше относится в такой же мере к проблеме ремонта аэродромных покрытий, с тем отличием, что здесь регламентируемые требования к качеству ремонта и надежности покрытия много выше, чем в дорожном хозяйстве. При подготовке ремонта особое внимание уделяют тщательной сушке бетонных поверхностей. Несоблюдение технических требований и халатность в проведении работ при ремонте, например, взлетно-посадочной полосы, могут привести к несопоставимой по размерам и последствиям катастрофе.

Перечисленные новые методы ремонта дорожных покрытий требуют для реализации соответствующей техники и материалов. Однако обеспечение ремонтных предприятий этими ресурсами явно отстает от потребностей дорожного и аэродромного хозяйства страны. Недостаток специальной техники отчасти можно компенсировать новыми техническими решениями, осуществление которых не требует слишком больших затрат.

Выше было отмечено, что для прочности сцепления асфальтобетона с поверхностью выбоины большое значение имеет качество очистки ее от пыли и особенно от влаги. Дело в том, что у воды особые физико-химические свойства. Например, очень сильный дипольный момент, а полюса зарядов молекулы воды позволяют ей образовать четыре водородные связи с соседними молекулами. При этом водородные связи воды примерно в 10 раз прочнее, чем связи, обусловленные межмолекулярными взаимодействиями, характерными для большинства других жидкостей, в том числе и органических. Поэтому для плавления, испарения и нагревания воды необходима большая энергия, чем для других жидкостей. Указанными особенностями строения молекулы воды объясняются отличия в поведении ее на границе раздела фаз с другими веществами.

Вследствие особенностей строения молекулы и ее сильной полярности, вода является наиболее универсальным растворителем. Вода растворяет почти все кислоты, основания и минеральные соли. С другой стороны, в воде растворяются лишь те немногие из органических веществ, которые содержат

полярные группы и имеют не слишком большую молекулярную массу. Поэтому сама вода более или менее растворима в небольшом числе органических растворителей [4].

По указанным причинам вода хорошо смачивает поверхность минеральных веществ практически любой природы и легко проникает в их поры и капилляры. Но при этом вода затрудняет смачивание поверхности выбоины и заполнителей мастиками и битумами. В результате получается слишком слабая адгезия компонентов асфальтобетонной смеси к поверхности материалов выбоины. Отсюда понятна необходимость полного устранения адсорбированной и капиллярной влаги с обрабатываемой поверхности.

Для осушения поверхности по возможности используют различного рода тепловые пушки. Но тепловая энергия этих устройств используется плохо из-за того, что горячий поток воздуха, пройдя через выбоину, далее бесполезно рассеивается, при этом быстро управлять тепловой мощностью потока не получается из-за инерционности устройства.

Нами разработана модификация устройств для струйно-инъекционной и вакуумно-струйно-инъекционной технологии ремонта покрытий. В этой модификации планируется использовать вихревой нагреватель. Работа нагревателя основана на принципе, который нашел применение в печах аэродинамического подогрева (ПАП). Такие печи впервые были разработаны и испытаны в 1970-е гг. в СССР и успешно используются до сих пор в машиностроении и в других отраслях. В машиностроительных ПАП достижима температура до 600 °С, а в печах с деталями из жаростойкой стали — до 900 °С.

Как известно, в этих нагревателях мощное турбулентное движение воздуха в замкнутом пространстве, инициируемое каким-либо приводом, преобразуется в тепло. Иначе говоря, в ПАП воздух гоняется по замкнутому контуру вентилятором с очень низким аэродинамическим КПД. В этом режиме КПД вентилятора печи не превышает 0,2. Таким образом, основная часть механической энергии движения воздушного потока быстро превращается в тепло.

Особенность печей аэродинамического подогрева заключается в том, что тепловая мощность, выделяемая воздушным потоком внутри печи, практически равна мощности, подводимой к валу вентилятора (или вихреобразователя). В то же время размеры, геометрия и скорость движения лопастей вентилятора или вихреобразователя достаточно просто рассчитываются и затем более точно регулируются для получения заданной тепловой мощности с помощью опытных образцов нагревателей.

Процесс конвективного теплообмена в аэродинамическом нагревателе происходит с высокой интенсивностью вследствие большой скорости и сильной турбулентности воздушных потоков. Поэтому подводимая к валу вентилятора или вихреобразователя механическая энергия быстро превращается в тепло и легко регулируется изменением аэродинамического КПД различными способами. Рассмотрим работу встроенного аэродинамического нагревателя применительно к струйно-инъекционной технологии ремонта дорожных покрытий.

1. На первом этапе, когда выбоина просто очищается от воды, песка и щебня, важна большая подача воздуха с необходимым давлением для образования мощной воздушной струи. В этом режиме устройство подачи воздуха

работает как обычный центробежный вентилятор высокого давления с максимально возможным КПД. Здесь нужно пояснить, что центробежным вентилятором высокого давления обычно считаются вентиляторы с давлением от 3 до 12 кПа.

Если необходимо убрать воздушным потоком из выбоины свободно лежащий щебень и камни размером до 5 см, то согласно расчету скорость воздушного потока должна быть около 50 м/с. Для выдувания воды из узких щелей покрытия скорость потока должна быть еще выше — порядка 70 м/с. Такую скорость можно получить, если в насадке давление воздуха будет порядка 3200 Па. При диаметре насадка 60 мм и КПД 0,5 потребная мощность на валу вентилятора для работы в указанном режиме должна быть 1,3 кВт.

2. Второй этап. Для хорошего сцепления асфальтобетона с поверхностью выбоины ее нужно просушить и прогреть на глубину 1...2 см до 120...150 °С. Только тогда можно гарантировать, что адгезия асфальтобетона к стенкам выбоины будет высокая и ремонт будет качественным. Для этого вентилятор переводят в режим работы аэродинамического нагревателя: внутренние элементы вентилятора меняют свое положение так, что КПД снижается до 0,1...0,15 при одновременном сильном уменьшении расхода воздуха через насадку. Конструкция этих элементов вентилятора в настоящий момент — предмет патентования. В результате 85...90 % механической мощности, подводимой к вентилятору, идет на нагрев воздуха. Поэтому при расчете мощности для привода вентилятора учитывают в первую очередь его работу в этом режиме, т. е. в качестве теплогенератора со сниженным расходом воздуха.

Так, для подачи воздушной струи с расходом 0,02 м³/с и температурой 150 °С при нулевой температуре окружающего воздуха мощность привода вентилятора с учетом других потерь должна быть около 5 кВт [5].

Таким образом, двухрежимный вентилятор, встроенный в установку для ремонта покрытий по струйно-инъекционной технологии, может обеспечить быструю очистку, просушку и нагрев до оптимальной температуры поверхности выбоины перед укладкой в нее асфальтобетонной смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дорохин С.И.* Ямочный ремонт дороги. Традиционные и новые методы [Электронный документ] // Основные средства. 2006. № 5. <http://www.rentaltech.ru/articles/repair.htm>.
2. *Костельов М. П.* Современные методы и средства ямочного ремонта дорожных покрытий [Электронный документ] // Библиотека строителя. СПб., 2001. <http://www.stroibk.ru/s/articles/jamremont/index.html>.
3. *Руденский А.В., Никонова О.Н.* Модифицированные асфальтовые вяжущие // Строительные материалы. 2008. № 7. С. 54—55.
4. *Некрасов Б.В.* Основы общей химии. М. : Химия, 1973. Т. 1. 656 с.
5. *Эккерт Э.-Р., Дрейк Р.-М.* Теория тепло- и массообмена : пер. с англ. М. ; Л., 1961. 346 с.

© Кокоев М.Н., 2009

Поступила в редакцию
11.09.09

УДК 625.855.3

А.Ю. Стадник, С.И. Романов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ДОРОЖНОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Приведены результаты измерений прямым и косвенным методами. Доказано, что распределение случайной величины показателей шероховатости по результатам экспериментальных данных соответствует нормальному закону, подтвержденному критерием Пирсона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: шероховатость, критерий Пирсона, асфальтобетонное покрытие.

Distribution of random values of roughness by the results of experimental data corresponds to the normal law confirmed by the Pierson criterion.

К e y w o r d s: roughness, the Pierson criterion, pavement road asphalt.

Применение статистических методов контроля качества больших площадей дорожных покрытий необходимо для повышения достоверности оценочных показателей и выявления критериев их однородности, влияющих на эксплуатационное состояние дороги и срок их службы [1—3]. Шероховатость поверхности проезжей части входит в состав контролируемых параметров, поскольку связана с безопасностью движения в экстремальных условиях. Фактор однородности шероховатости различных асфальтобетонных покрытий изучен недостаточно и строго не нормирован. Можно предполагать влияние на показатель однородности случайных технологических условий приготовления и состава асфальтобетонных смесей, дальности их перевозки к строящемуся покрытию, температуры, режима укладки и уплотнения смеси на стадии строительства. Исходя из этого статистический ряд измеренных значений шероховатости дорожного покрытия будет носить случайный характер и предположительно соответствовать нормальному закону распределения.

Для экспериментальной проверки отмеченного положения выполнено 111 измерений шероховатости дорожного покрытия на ул. Советская г. Волгограда. Измерения выполняли прямым и косвенным методами. Использован прямой метод «песчаного пятна» и быстрый косвенный электроемкостный метод, между которыми существует корреляция. В качестве прямого показателя шероховатости приняли величину средней глубины впадин на покрытии, мм; косвенными показателями электроемкостного прибора мгновенного действия являлись деления стрелочного индикатора, по сути вызванные электроемкостью датчика на поверхности покрытия.

Для удобства математической обработки измеренных значений определили оптимальную величину интервала, ед., по формуле (1), приведенной в [4]; сгруппировали 8 интервалов из всех измерений, включив их в таблицу.

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 - 3,2 \lg n} = 4, \quad (1)$$

где X_{\max} и X_{\min} — соответственно максимальное и минимальное измеренное значение; n — число измерений в различных местах покрытия, равное 111.

Среднеарифметическое значение глубины шероховатости $\bar{X} = 32$ ед.

Среднеквадратичное значение, рассчитанное для середины групп по формуле

$$G = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 P_i}, \quad (2)$$

где P_i — вероятность появления i -го значения в общем числе измерений, равно 5,38.

Коэффициент вариации

$$C_v = \frac{G}{\bar{X}} = \frac{5,38}{31,96} = 0,17. \quad (3)$$

Значения функции

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (4)$$

где t — нормированное отклонение, $t = \frac{X_i - \bar{X}}{G}$, табулированы [4].

Для построения кривой нормального распределения по расчетным точкам, приведенным в таблице, использована формула

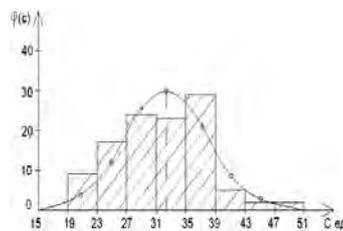
$$Y_{mi} = \frac{nh}{G} F(t). \quad (5)$$

Границы интервалов, ед.	Частота Y_{zi}	Нормированное отклонение $t = (X_i - \bar{X})/\sigma$	Функция $F(t)$	Теоретическое значение Y_{mi}
1	2	3	4	5
19...23	9	-2,04	0,050	4,12
23...27	17	-1,29	0,174	14,4
27...31	24	-0,55	0,343	28,3
31...35	23	0,19	0,392	32,4
35...39	29	0,94	0,257	21,2
39...43	5	1,68	0,097	8,0
43...47	2	2,42	0,021	1,7
47...51	2	3,17	0,004	0,3

Гистограмму распределения измеренных значений можно построить по данным граф 1 и 2; кривую нормального распределения — по точкам графы 5. Для проверки соответствия экспериментальных данных закону нормального распределения определим критерий χ^2 Пирсона [5]

$$\chi^2 = \sum_1^m \frac{Y_{zi} - Y_{mi}}{Y_{mi}}, \quad (6)$$

где Y_{zi} , Y_{mi} — количество измерений, или частота в каждой группе, входящей в границы интервалов по данным эксперимента и по теоретической кривой нормального закона распределения.



Гистограмма и кривая закона нормального распределения

Условия соответствия экспериментальных данных закону нормального

распределения обеспечиваются, если значение критерия Пирсона не меньше уровня значимости α , принятого равным 0,01.

$$P(\chi^2, q) > \alpha = 1 - \Phi(X), \quad (7)$$

где q — число степеней свободы, $q = m - s$; m — количество интервалов; s — коэффициент, равный 3.

$$q = 8 - 3 = 5.$$

Вычисление с использованием табулированных данных показало

$$P(\chi^2, q) = 0,014 > 0,010.$$

Экспериментальные данные соответствуют закону нормального распределения. Принадлежность ряда измерений случайной величины к нормальному закону распределения позволяет находить показатель достоверности любого измеренного значения в данном ряду измерений.

Минимизация коэффициента вариации показателя шероховатости дорожного покрытия является положительным фактором, свидетельствующим о стабильном состоянии поверхности дороги, высокой однородности материала покрытия, меньшей изменчивости его физико-механических свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд // под ред. А.Я. Тулаева. М., 1985. 224 с.
2. *Сиденко В.М., Рокас С.Ю.* Управление качеством в дорожном строительстве. М., 1984. 256 с.
3. *Семенов В.А.* Качество и однородность автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1989. 125 с.
4. *Рыжов П.А.* Математическая статистика в горном деле. М., 1973. 287 с.
5. *Сиденко В.М., Грушко И.М.* Основы научных исследований. 1979. 199 с.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Operatsionnyj kontrol kachestva zemljanogo polotna i dorozhnyh odezhd / pod red. A.Ja. Tulaeva. M., 1985. 224 s.
2. *Sidenko V.M., Rokas S.Ju.* Upravlenie kachestvom v dorozhnom stroitelstve. M., 1984. 256 s.
3. *Semenov V.A.* Kachestvo i odnorodnost avtomobilnyh dorog. M. : Transport, 1989. 125 s.
4. *Rygov P.A.* Matematicheskaja statistika v gornom dele: M., 1973. 287 s.
5. *Sidenko V.M., Grushko I.M.* Osnovy nauchnyh issledovanij. 1979. 199 s.

© Стадник А.Ю., Романов С.И., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 625.85.002.237

В.Г. Еремин, О.А. Волокитина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Рассмотрен метод определения расчетных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд, позволяющий получить адекватные и сопоставимые значения деформационно-прочностных показателей в лабораторных и натурных условиях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: деформация, прочность, конструктивный слой, напряжения, упругое полупространство, сферический штамп, нежесткая дорожная одежда, асфальтобетон.

In article the method of definition of settlement characteristics of constructive layers of the non-rigid road clothes is considered, allowing to receive adequate and comparable values deformation and strong indicators in laboratory and natural conditions.

К e y w o r d s: deformation, strong, nonrigid road clothes, compression, the elastic semispace; spherical stamp constructive layer, asphalt-cowcrete.

Сложившаяся к настоящему времени теоретическая база по проектированию и расчету позволяет проектировать нежесткие дорожные одежды достаточно долговечные и работоспособные на весь расчетный период в пределах 15...20 лет. Начиная с 1970-х гг. проектирование и расчет ведутся исходя из предположения упругой работы всей конструкции под расчетной нагрузкой. Именно на этих положениях основаны действующие нормативные документы ВСН 46—83 и ОДН 218.046—01 по проектированию дорожных одежд нежесткого типа [1]. Однако конструкции дорожных одежд начинают терять свою работоспособность задолго до конца расчетного срока из-за появления многочисленных дефектов. Многие ученые [2, 3] связывают такое положение со значительным увеличением нагрузки на ось и интенсивности движения автотранспорта, особенно на магистральных дорогах, с одной стороны, и неучетом возможности накопления остаточных деформаций в конструктивных слоях дорожных одежд и земляном полотне. Поэтому решение проблемы повышения долговечности и работоспособности дорожных одежд нежесткого типа ведется путем учета при расчете более высокой нагрузки на колесо расчетного автомобиля и динамических воздействий.

В то же время, по нашему мнению, упущен немаловажный фактор данной проблемы — это соответствие расчетных характеристик конструктивных слоев дорожных одежд и грунта земляного полотна, назначенных на стадии проектирования, фактическим значениям деформационно-прочностных свойств конструктивных слоев. На стадии проектирования расчетные показатели деформационно-прочностных свойств конструктивных слоев назначаются на основе табличных значений, представленных в нормативных документах. Следует отметить, что табличные показатели установлены на основе многочисленных экспериментальных исследований, проведенных в 60—70-х гг. прошлого века, и имеют в одних случаях усредненные значения (для грунта, песчаных подстилающих слоев и асфальтобетона), а в других случаях значительный диапазон возможных принимаемых значений (расхождение до 300 МПа по модулю упругости).

В существующей нормативной базе требования, предъявляемые к асфальтобетону (ГОСТ 9128—97), методика оценки основных показателей его свойств (ГОСТ 12801—98), а также требования к конструированию и расчету нежестких дорожных одежд (ОДН 218.046—01, ранее ВСН 46—83), повлекли за собой определенные несоответствия между показателями свойств, характеризующими асфальтобетон как дорожно-строительный материал, и теми необходимыми характеристиками, которые используются при расчете нежестких дорожных одежд. Эти несоответствия заключаются в том, что асфальтобетон, рассматриваемый как дорожно-строительный материал, характеризуется температурой приготовления и укладки, крупностью зернового состава, плотностью, водонасыщением, набуханием и прочностью, определяемой при температурах 0, 20 и 50 °С. Однако, при расчете конструкций дорожных одежд основными расчетными характеристиками являются: модуль упругости при статическом и динамическом нагружении при различных температурах, прочность при изгибе, внутреннее трение и сцепление между частицами. Данные показатели определяются дополнительными методами, предусмотренными в ВСН 46—83 и ОДН 218.046—01, и в качестве расчетных используются усредненные значения, полученные на основе статистической обработки результатов испытаний образцов из различных составов асфальтобетонных смесей. В том и другом случае используемые статические или динамические схемы испытания образцов существенно отличаются от реальной работы асфальтобетона в покрытии [4].

Прочностные показатели асфальтобетона в лабораторных условиях определяются на стандартных цилиндрических образцах, однако в этом методе не предусматривается нормирование асфальтобетона по деформационным характеристикам. Деформационные характеристики асфальтобетона, модули упругости и прочности на растяжение при изгибе определяются на образцах — балочках. Для определения модуля упругости асфальтобетона при повышенных температурах используют метод вдавливания плоского штампа в образец.

В натуральных условиях модули упругости реальных конструкций определяются при испытании статической нагрузкой, передаваемой на жесткий штамп \varnothing 33 см, или при измерении прогиба под колесом автомобиля, следовательно, используются установки динамического нагружения. Данные методики определяют модуль упругости на поверхности покрытия, а модуль упругости нижележащих слоев определяются пересчетом в соответствии с нормами.

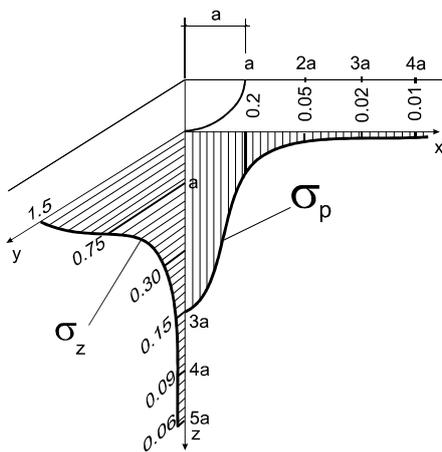
Для сопоставления полученных данных вводятся коэффициенты, учитывающие реальные условия работы дорожной одежды. Существующие методы также не позволяют комплексно охарактеризовать реологические свойства асфальтобетона.

В связи с этим был проанализирован опыт определения прочностных характеристик асфальтобетона различными методами. Исследования показали, что необходимо иметь сведения не только о величине максимального прогиба, но и об очертании чаши прогиба места нагружения. Эти данные позволяют установить значения максимальной кривизны, минимального радиуса кривизны, растягивающих напряжений. В итоге был предложен метод определения прочностных и деформационных характеристик конструктивных

слоев нежестких дорожных одежд вдавливанием сферического штампа. Метод основан на определении деформационно-прочностных свойств упругого полупространства [5].

Рассмотрим на примере одного из конструктивных слоев (слоя асфальтобетона) определение его основных деформационно-прочностных характеристик данным методом. Так как асфальтобетон в реальных условиях работает как упруговязкопластичный материал, при вдавливании сферического штампа упруговязкопластические свойства асфальтобетона будут отражаться в соотношении упругих δ и остаточных $\ell_{\text{ост}}$ деформаций. Следует также отметить, что в местах воздействия штампа может быть различное соотношение частиц минерального материала в асфальтобетоне, поэтому при нагружении штампа статической нагрузкой значения показателей деформаций в различных точках покрытия будут значительно отличаться друг от друга. Этот недостаток можно свести к минимуму при циклическом нагружении сферического штампа ступенчатой нагрузкой в одной точке испытания. В случае неоднократного воздействия на полупространство жестким сферическим штампом с постоянной нагрузкой происходит накопление остаточных деформаций, в месте контакта происходит плотное прилегание штампа к поверхности асфальтобетона, а сформировавшаяся сфера сводит к минимуму влияние неоднородности материала на результаты испытания. Практическое отсутствие остаточных деформаций при последних циклах нагружения позволяет рассматривать асфальтобетон как упругое полупространство, т.е. наблюдается работа материала в упругой стадии.

На основании проведенных испытаний методом вдавливания сферического штампа установим, что давление имеет максимальное значение в центре площадки соприкосновения и равно $1,5p_{\text{ср}}$, на окружности контакта с поверхностью давление обращается в нуль. Эпюра распределения давления представляет поверхность полусфер, что приближается к распределению напряжений от действия колеса автомобиля (рис.).



Распределение напряжений в долях от $P_{\text{ср}}$ под действием шарового штампа

4,5...5 см) глубина погружения штампа ограничивается $L = 2$ мм, радиус отпечатка $a = 15,81$ мм, а активная зона — 47,43 мм.

Для определения деформационно-прочностных свойств асфальтобетона и асфальтобетонных покрытий использовался сферический штамп радиусом 63,5 мм с максимально прикладываемой нагрузкой 200 кгс.

При таком соотношении нагрузки и размеров штампа определение деформационно-прочностных свойств в натуральных условиях для верхних слоев покрытия: величины погружения и среднего давления на поверхности штампа — ограничивается активной зоной упругого полупространства по глубине не больше толщины слоя. Так, для мелкозернистого и песчаного асфальтобетона (толщина слоя —

Для крупнозернистого асфальтобетона (толщина слоя 6...7 см) глубина погружения $l = 3$ мм, радиус отпечатка $a = 19,28$ мм, активная зона 57,86 мм.

В лабораторных условиях определение деформационно-прочностных характеристик производится на стандартных цилиндрических образцах: для песчаного и мелкозернистого асфальтобетона $d = h = 71,4$ мм; для крупнозернистого $d = h = 101$ мм. При этом активная зона по горизонтальной составляющей ограничивается от центра приложения нагрузки для мелкозернистого и песчаного асфальтобетона 31,62 мм, а для крупнозернистого 38,56 мм. Следовательно, активная зона при определении модуля упругости не выходит за пределы образцов, и результаты испытаний образцов в лабораторных условиях и покрытий в натуральных условиях будут характеризоваться достаточно высокой сходимостью.

Данный метод позволяет также определить установившиеся напряжения, угол внутреннего трения и сцепление для асфальтобетона как в лабораторных условиях, так непосредственно на покрытиях автомобильных дорог. При этом определение производится без разрушения покрытий и при различных температурах. В местах, где имеются сдвиговые деформации, можно оперативно оценить, за счет каких факторов они происходят и какие меры необходимы для повышения сдвигоустойчивости.

Для оценки целесообразности применения метода сферического штампа при определении деформационно-прочностных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд были проведены испытания мелкозернистых асфальтобетонных смесей с разной степенью уплотнения (30, 35 и 40 МПа) и различным содержанием битума 5, 5,5 и 6 %.

Методом вдавливания сферического штампа при циклическом нагружении определялись следующие параметры: установившиеся напряжения, при которых материал работает в упругой стадии; количество циклов нагружения до достижения установившихся напряжений; статический и расчетный модули упругости; угол внутреннего трения; сцепление между частицами.

Результаты испытаний методом вдавливания сферического штампа приведены в таблице, при этом показатели результатов при стандартных испытаниях выделены жирным шрифтом.

В зависимости от процентного содержания битума наблюдаются изменения свойств асфальтобетона. Так характеристики, полученные при максимальной величине уплотнения и оптимальном содержании битума методом вдавливания сферического штампа, сопоставимы с показателями, полученными традиционным методом, и отвечают требованиям ГОСТ 9128—97. Данные деформационно-прочностные показатели соответствуют расчетным характеристикам, отраженным в инструкции по проектированию и расчету дорожных одежд нежесткого типа.

Выводы. Предлагаемый метод для оценки прочностных и деформационных характеристик асфальтобетонных покрытий позволяет:

- 1) ускорить оперативность и повысить достоверность оценки качества строительства покрытий, так как предполагается производить сравнение показателей на разных этапах: при подборе смеси; по пробам, взятым из смеси, и непосредственно в натуральных условиях, при устройстве покрытия без его разрушения;
- 2) принимать оперативные решения по внесению изменений в состав смесей, технологию укладки и уплотнения;

3) дорожным организациям получать полную, объективную и достоверную информацию о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильной дороги, ее параметрах и характеристиках, соответствующих требованиям безопасности движения, а также планировать распределение и использование средств, направляемых на содержание, ремонт и реконструкцию.

Сводные показатели физико-механических и деформационно-прочностных свойств асфальтобетона в зависимости от содержания битума

Показатель	Обозначение	Показатели свойств при содержании вяжущего		
		5,0	5,5	6,0
Плотность, г/см³	γ	2,413	2,419	2,409
Водонасыщение, %	W	1,599	1,285	0,915
Набухание, %	H	0,0	0,04	0,02
Деформационно-прочностные показатели при 20 °С				
Прочность при сжатии, МПа	R_{20}	3,42	4,15	3,6
Установившиеся напряжения, МПа	σ_{y20}	3,65	4,41	3,85
Статический модуль упругости, МПа	$E_{ст}$	374	464	428
Расчетный модуль упругости, МПа	E_p	2260	2605	2475
Угол внутреннего трения, МПа	φ_{20}	46,59	51,17	47,51
Сцепление, МПа	C_{20}	0,57	0,58	0,46
Коэффициент Пуассона	ν	0,33	0,34	0,35
Деформационно-прочностные показатели при 50 °С				
Прочность при сжатии, МПа	R_{50}	1,32	1,5	1,3
Установившиеся напряжения, МПа	σ_{y50}	1,58	1,75	1,61
Статический модуль упругости, МПа	$E_{ст}$	209	211	200
Расчетный модуль упругости, МПа	E_p	1548	1555	1506
Угол внутреннего трения, град	φ_{50}	31,68	32,49	36,32
Сцепление	C_{50}	0,18	0,16	0,18
Коэффициент Пуассона	ν	0,35	0,34	0,34
Деформационно-прочностные показатели при 20 °С в водонасыщенном состоянии				
Прочность при сжатии, МПа	$R_{20в}$	3,32	4,00	2,94
Установившиеся напряжения, МПа	$\sigma_{y20в}$	3,32	4,15	3,15
Статический модуль упругости, МПа	$E_{ст}$	194	210	196
Расчетный модуль упругости, МПа	E_p	1462	1543	1473
Угол внутреннего трения, град	$\varphi_{20в}$	48,01	49,05	55,31
Сцепление, МПа	$C_{20в}$	0,22	0,22	0,16
Коэффициент Пуассона	ν	0,29	0,30	0,29

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отраслевые дорожные нормы ОДН 218.046—01 Проектирование нежестких дорожных одежд, М. : Транспорт, 2001. 157 с.
2. *Апестин В.К., Яковлева Ю.М.* Испытание и оценка прочности нежестких дорожных одежд. М. : Транспорт, 1977. 185 с.
3. *Бируля А.К., Михович С.И.* Работоспособность дорожных одежд, М. : Транспорт 1968. 172 с.
4. *Корсунский М.Б.* Практические методы определения напряженно-деформированного состояния конструкций дорожных одежд // Тр. СоюздорНИИ. 1966. Вып. 6. С. 152—155.
5. *Лурье П.И.* Пространственные задачи теории упругости. М. : Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1955. 492 с.

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

© Еремин В.Г., Волокитина О.А., 2009

УДК 625.768.5

Д.В. Ухин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕНЫ ТЕМПЕРАТУР

Рассмотрена математическая модель для расчета температуры автомобильной дороги, которая представлена как многослойная конструкция. Ставятся граничные условия третьего рода на границе воздух — дорога и граничные условия четвертого рода на границе разделов слоев дорожного покрытия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: математическая модель, автомобильная дорога, многослойная конструкция, граничные условия, слои дорожного покрытия.

The article deals with the calculating the temperature of the automobile road which represents a multi-layered structure. Boundary conditions of the 3-d range are presented on the air — road border and boundary conditions of the 4th range-on the border lines of pavement structural layers.

К e y w o r d s: mathematical model, automobile road, multi-layered structure, boundary conditions, pavement structural layers.

Задача определения температуры многослойной конструкции является актуальной во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и при содержании автомобильных дорог. Содержание автомобильных дорог — осуществляемый в течение всего года комплекс профилактических работ по уходу за дорогой и дорожными сооружениями, мероприятий по организации и безопасности дорожного движения, в результате которых поддерживается их нормативное транспортно-эксплуатационное состояние [1]. Сохранность дорог, безопасность движения и эффективность работы автотранспорта зависят от большого количества факторов. Своевременное проведение работ по профилактике, ликвидации или нейтрализации отрицательного воздействия неблагоприятных погодных факторов на условия движения позволяет обеспечивать высокие потребительские качества автомобильной дороги. Зимний период в работе дорожно-эксплуатационных организаций является наиболее сложным и ответственным. На него приходится значительная часть грузовых и пассажирских перевозок, и поэтому работы по зимнему содержанию дорог должны обеспечивать условия для бесперебойного и безопасного движения автомобилей с расчетными скоростями. Дорожные условия, особенно в зимний период, часто являются прямыми или косвенными причинами дорожно-транспортных происшествий, особенно на крутых спусках, подъемах, виражах, развязках, подъездах к мостам. Имеющимися в распоряжении дорожников средствами очистки и содержания дорог невозможно полностью и быстро очистить поверхность от снега и образования наледи. Из-за этого в зимнее время вынужденно снижается скорость движения, образуются скопления автомобилей и возрастает аварийность [2]. Актуальным является применение новых технологий по предотвращению обледенения сложных участков дорог, которые могут обеспечить расчетные скорости, резко снизить аварийность, образование пробок, уменьшить выбросы вредных веществ от автомобилей (из-за заторов, пробок и скоростного режима), улучшить комфортность движения и экологическую ситуацию из-за отмены посыпки пескосоляной смесью сложных участков дорог, особенно вблизи водоемов.

В этих целях следует использовать системы снеготаяния, которые предупреждают образование снежного наката и стекловидного льда.

При разработке систем снеготаяния необходимо учитывать количество осадков, температурный режим, характерный для этой географической зоны, конструктивные слои дорожной одежды, и, самое главное, температурный режим дорожного покрытия, который способствовал бы таянию снега и не позволял развиваться процессам трещинообразования на асфальтобетонном покрытии из-за разницы температур.

Для расчета температуры дорожного покрытия можно воспользоваться уравнением нестационарной теплопроводности, которое позволяет учесть резкое изменение параметров внешней среды и теплоинерционные свойства дорожной конструкции. При формировании математической модели рассмотрим физическую и математическую постановку задачи и выберем метод ее решения.

Дорожная одежда и грунтовое основание является многослойной системой, каждый слой которой имеет определенные теплофизические характеристики: теплопроводность λ и удельную теплоемкость C , которые являются в общем случае функциями координаты X , времени t а также температуры T , плотности ρ и влажности W_1 материала слоя:

$$\lambda = \lambda(x, t, T, \rho, W_1), \quad (1)$$

$$c = c(x, t, T, \rho, W_1).$$

В начальный момент времени $t = 0$ распределение температуры по глубине дорожной одежды и земляного полотна может быть представлено в виде соотношения

$$T_{t=0} = T(x, 0). \quad (2)$$

Под действием периодически изменяющихся метеорологических условий изменяется температурный режим всей дорожной конструкции, а при установлении отрицательных температур начинается процесс промерзания слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна. На границе промерзания образуется зона фазового перехода, в которой происходит выделение теплоты при замерзании или ее поглощение при оттаивании. При переходе от мерзлой зоны к талой скачкообразно изменяются теплофизические характеристики материалов и грунта. Разность температур в слоях дорожной конструкции обуславливает молекулярный перенос теплоты теплопроводностью.

Теплофизические характеристики материалов дорожной одежды и установившийся в ней температурный режим определяют теплоинерционные свойства поверхности дорожного покрытия, а ее температура зависит также от условий теплообмена между атмосферой и дорогой, которые характеризуются суммарным коэффициентом теплообмена [3]:

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_U. \quad (3)$$

Конвективная составляющая коэффициента теплообмена α_K характеризует теплотери покрытия в зависимости от скорости ветра. Из дорожных параметров на процесс конвективного теплообмена оказывают влияние характеристики транспортного потока и придорожная ситуация.

Составляющая α_U учитывает условия притока или потерь тепла излучением в зависимости от радиационного баланса дорожного покрытия, определяемого его поглощающей способностью, цветом, шероховатостью, ровностью и расположением поверхности дороги по отношению к направлению солнечных лучей.

Рассмотрим полную физико-математическую постановку задачи нестационарной теплопередачи через многослойную конструкцию дорожной одежды. На рисунке показана схема конструкции с обозначением слоев (1, 2, 3, ..., n) и характерных границ, соответствующих поверхности дорожной конструкции I и границе дорожной конструкции на глубине H , стыкам материальных слоев II, III, ..., $N - 1$ в его толще. Задача состоит в отыскании измерения температуры $T(x, t)$ во времени t и в пространстве по толщине дорожной конструкции x .

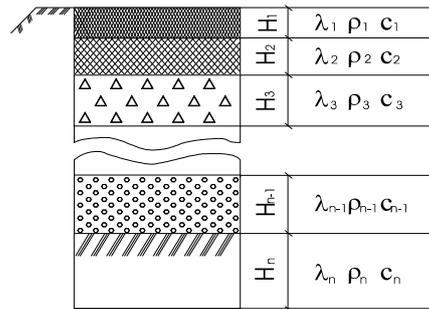


Схема расчета температурного режима конструкции дорожной одежды

Математическая постановка содержит дифференциальные уравнения теплопроводности, описывающие процесс передачи тепла через толщу дорожной конструкции; начальные условия, определяющие распределение температуры в толще и на границах конструкции в начальный момент времени; граничные условия, определяющие условия теплообмена на всех характерных поверхностях [4].

Температурный режим дорожной конструкции и ее поверхности под действием периодически изменяющейся температуры воздуха описывается одномерным уравнением теплопроводности.

$$c\rho \frac{dT(x,t)}{dt} = \frac{d}{dx} \left[\lambda \frac{dT(x,t)}{dx} \right] + q, \quad (4)$$

где $T(x, t)$ — температура в дорожной конструкции на глубине x в момент времени t , °C; q — плотность теплового потока в конструкции, Вт/м.

Переменные $c(x)$, $\rho(x)$, $\lambda(x)$ — заданные значения коэффициентов плотности, теплоемкости, теплопроводности отдельных материалов слоев в дорожной конструкции — ступенчато изменяются от слоя к слою; в общем случае эти коэффициенты могут быть заданы изменяющимися по определенному закону во времени, зависящими от температуры.

Начальные условия обычно задаются в виде таблицы, уравнения распределения температуры в момент начала процесса, т.е. при $t = 0$, — в виде

$$T(x, 0) = f_1(x), \quad (5)$$

$$f_1(x) = T_{0x}. \quad (6)$$

Уравнения теплопроводности могут быть записаны в виде системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами; каждое уравнение записано для отдельного слоя с дополнительными условиями на границах-стыках материальных слоев конструкции дорожной одежды:

$$\begin{aligned} \text{для слоя 1 } c_1\rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} &= \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}; \\ \text{для слоя 2 } c_2\rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} &= \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{для слоя 3 } c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2};$$

$$\text{для слоя } n-1 \ c_{n-1} \rho_{n-1} \frac{\partial T_{n-1}}{\partial t} = \lambda_{n-1} \frac{\partial^2 T_{n-1}}{\partial x^2};$$

$$\text{для слоя } n \ c_n \rho_n \frac{\partial T_n}{\partial t} = \lambda_n \frac{\partial^2 T_n}{\partial x^2}.$$

На границе II (на стыке между слоями 1 и 2) задано граничное условие IV рода, определяемое, как известно, равенством тепловых потоков и температур:

$$\begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{\text{II}} &= \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{\text{II}}; \quad t_1 \Big|_{\text{II}} = t_2 \Big|_{\text{II}}; \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{\text{III}} &= \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} \Big|_{\text{III}}; \quad t_2 \Big|_{\text{III}} = t_3 \Big|_{\text{III}}; \\ \lambda_{n-1} \frac{\partial T_{n-1}}{\partial x} \Big|_N &= \lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial x} \Big|_N; \quad t_{n-1} \Big|_N = t_n \Big|_N. \end{aligned} \quad (8)$$

Граничные условия. Кроме выражений (8) должны быть записаны условия теплообмена на поверхности дорожной конструкции, которая соприкасается с воздухом, и условие на глубине H . На поверхности покрытия происходит сложный теплообмен, определяемый условиями II рода, при которых задана интенсивность теплового потока, и III рода с определением условий теплообмена с окружающей средой. Граничное условие запишем в виде [5]

$$\alpha [T_{\text{п}}(t) - T_{\text{в}}(t)] + \rho_{\text{п}} q_{\text{п}} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_I, \quad (9)$$

где $\rho_{\text{п}}$ — коэффициент поглощения покрытием радиации; $q_{\text{п}}$ — интенсивность падающего на покрытие излучения, Вт/м².

В настоящее время разрабатываются автоматизированные системы снеготаяния, способные поддерживать транспортно-эксплуатационные качества сложных участков дорог в течение зимнего периода, не допуская образования снежного наката и гололеда.

Актуальной является выработка оптимальных решений эксплуатации автоматизированных систем снеготаяния и создания условий безопасного функционирования транспортных средств на сложных участках дорог.

Предложенная математическая модель поможет оптимизировать процесс подбора оборудования для организации строительства комплексов для таяния снега при содержании автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. М., 2003. 39 с.
2. Подольский В.П., Самодурова Т.В., Федорова Ю.В. Экологические аспекты зимнего содержания дорог. Воронеж, 2000. 152 с.
3. Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия. М.: Транспорт, 1965. 284 с.
4. Исаченко В.П. Теплопередача. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1972. 375 с.

© Ухин Д.В., 2009

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691

Т.А. Хежеев, Х.А. Хежеев

ЭФФЕКТИВНЫЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Разработаны огнезащитные составы с применением портландцемента, вспученного вермикулита, туфового песка, негашеной извести, гипса и смолы древесной омыленной (СДО). Рассмотрены процесс приготовления огнезащитной смеси и технология изготовления двухслойных армоцементных плит. Приведены результаты испытания на огнестойкость армоцементных плит с огнезащитным слоем на основе контрольных и предлагаемых составов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: предел огнестойкости, армоцементные плиты, туфовый песок, гидравлическая активность, вспученный вермикулит, гипс, известь-кипелка, смола древесная омыленная (СДО), огнезащитные составы.

Fire-defense compositions with portlandcement, vermiculit, tufsand, gypsum, grow resin are considered. Preparation process of fire-defense compositions and technology of twolayer armocement plate are investigated. The comparison fire test results of armocement plate with fire-defense layer (the control and proposition cases) are gived.

К e y w o r d s: armocement plate, tufsand, vermiculit, gypsum, grow resin, fire-defense layer.

За последнее десятилетие отмечается рост количества пожаров. По данным МЧС РФ в 2006—2007 гг. в РФ зарегистрировано 42 9733 пожара, на которых погибло 32 989 человек (из них 1295 детей), травмировано 27 025 человек, а материальный ущерб составил 16,45 млрд р. [1].

Одной из главных причин гибели людей и ущерба от пожаров является обрушение строительных конструкций. Эффективным способом повышения предела огнестойкости строительных конструкций является нанесение теплозащитных покрытий. В качестве пористых заполнителей используются вспученный вермикулит и перлит [2]. Недостатками этих составов являются высокий расход портландцемента, относительно высокий коэффициент теплопроводности при высоких температурах во время пожара.

Одним из материалов, являющихся эффективной заменой части портландцемента и заполнителя для огнезащитных составов может быть туфовый песок — отходы пиления вулканического туфа. Целесообразность использования этих отходов в качестве заполнителя тепло-огнезащитного раствора и бетона обусловлена высокой огнеупорностью 1200...1280 °С, пористостью, кроме того, пылевидные фракции туфового песка являются активной гидравлической добавкой, снижающей расход цемента. Известно также, что относительная линейная деформация цементного камня с добавкой тонкомолотого пепла в соотношении

60:40 при нагревании до 800...900 °С снижается почти в два раза, уменьшается и температурный коэффициент расширения цементного камня на 50 % [3].

Химический состав отходов пиления вулканического туфа Заюковского месторождения, использованного в исследованиях, приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Химический состав отходов пиления вулканического туфа

Содержание основных компонентов, % от массы								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO	Na ₂ O+ +K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
73,1	13,75	1,75	1,65	1,12	0,23	3,87	0,12	2,0

Туфовый песок является пуццоланом и обладает скрытой гидравлической активностью, т.е. вступает во взаимодействие с продуктами гидратации цемента. В качестве возбудителей скрытой гидравлической активности использовались известь-кипелка и полуводный гипс.

Известь воздушная кальциевая порошкообразная Угловского известкового комбината соответствовала требованиям ГОСТ 9179—77.

Гипс полуводный марки Г-5, нормальнотвердеющий, среднего помола соответствовал требованиям ГОСТ 125—79.

Применялся вспученный вермикулит Ковдорского месторождения с наибольшей крупностью зерен 5 мм и насыпной плотностью 140 кг/м³.

Гранулометрические составы вермикулита и туфового песка приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Гранулометрические составы заполнителей

Наименование материала	Частные остатки на ситах, %					Прошло сквозь сито 0,14
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Вермикулит	26,0	21,3	30,6	14,4	5,1	2,6
Туфовый песок	—	15	18	21	11	35

Для улучшения реологических характеристик огнезащитной смеси и физико-механических свойств раствора и бетона использовалась поверхностно-активная воздухововлекающая добавка СДО, разработанная ВНИИ железобетона и ЦНИИЛХИ (ТУ-81-05-2—78).

Портландцемент применялся М 500.

Воздушную комовую известь предварительно дробили в щековой дробилке, затем тонко измельчали в шаровой мельнице. Отходы пиления вулканического туфа просеивали через сито № 2,5 и высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы. Вспученный вермикулит просеивали через сито № 5.

Приготовление смеси осуществляли в смесителе принудительного действия, в который после подачи воды с добавкой СДО последовательно загружали смесь портландцемента, гипса и извести, затем — туфового песка и вспученного вермикулита, или предварительно перемешанную всухую смесь портландцемента, гипса, негашеной извести, туфового песка и вспученного вермикулита. Перемешивание всех компонентов продолжали до получения однородной огнезащитной сырьевой смеси. Продолжительность перемешивания смеси составляла 1,5...2 мин.

Исследования по определению огнезащитной эффективности предлагаемых огнезащитных составов проводились по температурному режиму «стандартного» пожара, регламентированному ГОСТ 30247.0—94. Для этого формовались армоцементные плиты с огнезащитным слоем послойно вибропротяжным устройством или на стандартной виброплощадке. Фиксацию мелкоячеистой сетки и стержневой арматуры выполняли известными способами. Огнезащитный слой формовали с одновременным армированием тканой сеткой в верхнем уровне (на границе слоев) из смеси подвижностью 3...5 см по погружению конуса СтройЦНИЛа. Огнезащитное покрытие также можно наносить на металлические и железобетонные конструкции в условиях строительной площадки с применением мелкоячеистой сетки вручную или механизировано с использованием штукатурных агрегатов отечественного или зарубежного производства.

Испытания на огнестойкость проводили на образцах размерами 625×500 мм на огневой печи и 190×190 мм на электрической печи в горизонтальном положении. Предел огнестойкости по несущей способности R армоцементных плит оценивали по прогреву тканой сетки в конструктивном слое (на границе слоев) до 300 °С. Влажность мелкозернистого бетона армоцементного слоя и огнезащитных составов к моменту испытаний составляла соответственно 3...4 и 10...12 %. Во время огневых испытаний двухслойных элементов нарушений их целостности не обнаружено.

Составы огнезащитной сырьевой смеси и физико-механические свойства составов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Соотношения компонентов в смеси и физико-механические свойства
огнезащитных составов

№ состава	Соотношение компонентов в смеси, мас. %							Средняя плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности на сжатие R , МПа
	Цемент	Вермикулит	Туфовый песок	Известь	Гипс	СДО	Вода		
1	26,1	14,8	—	—	—	—	59,1	500	1,3
2	33,0	13,6	—	—	—	—	53,4	595	1,7
3	42,8	11,7	—	—	—	—	45,5	740	4,0
4	23,8	16,8	5,8	—	—	0,08	53,52	480	1,2
5	29,0	14,8	7,3	—	—	0,1	48,8	570	1,6
6	35,8	12,3	9,1	—	—	0,13	42,67	730	3,9
7	11,9	16,8	5,8	11,9	0,5	0,08	53,02	470	1,25
8	14,5	14,8	7,3	14,5	0,6	0,1	48,2	560	1,62
9	17,9	12,3	9,1	17,9	0,7	0,13	41,97	720	4,0

Из табл. 3 следует, что предлагаемые составы (№ 4—9) при меньшем расходе портландцемента имеют равную плотность и прочность на сжатие с контрольными составами (№ 1—3), что обусловлено пористостью и гидравлической активностью отходов пиления вулканического туфа, а также воздухововлечением СДО. Использование негашеной извести и гипса в качестве

возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка позволяет уменьшить расход цемента в 2 раза без снижения прочности огнезащитного раствора. Вместе с тем применение добавок приводит к снижению коэффициента размягчения огнезащитного бетона (раствора) с 0,84 до 0,45. Поэтому их можно использовать только в помещениях при относительной влажности не более 60 %.

В табл. 4 приведены результаты испытаний на огнестойкость армоцементных плит с огнезащитным слоем на основе контрольных и предлагаемых составов. Из таблицы видно, что предлагаемые составы обеспечивают более высокие пределы огнестойкости армоцементных плит. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают составы со средней плотностью 560...570 кг/м³.

Т а б л и ц а 4

Результаты испытаний на огнестойкость двухслойных армоцементных плит

№ образца	Двухслойные армоцементные плиты		№ огнезащитного состава	Предел огнестойкости плит, мин	
	армоцементный слой толщиной, мм	огнезащитный слой толщиной, мм		по несущей способности <i>R</i>	по теплоизолирующей способности <i>E</i>
1	2	3	4	5	6
1	20	15	1	58	64
2	20	15	2	62	75
3	20	15	3	52	58
4	20	20	2	153	92
5	20	25	2	270	170
6	20	15	4	74	78
7	20	15	5	78	90
8	20	15	6	66	69
9	20	20	5	174	111
10	20	25	5	318	201
11	20	15	7	78	82
12	20	15	8	84	95
13	20	15	9	70	76
14	20	20	8	182	119
15	20	25	8	332	216

Таким образом, применение в огнезащитных составах на пористых заполнителях отходов пиления вулканического туфа, извести-кипелки, полуводного гипса и СДО позволяет существенно сократить расход портландцемента при одновременном повышении их огнезащитных свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пушенко А.С. Высокопрочный бетон в условиях воздействия высоких температур при пожаре : дис. ... канд. техн. наук / Ростов. гос. строит. ун-т. Ростов-на-Дону, 2008. 167 с.
2. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М. : Стройиздат, 1977. 46 с.
3. Мириев И.М., Дубайшинский Л.Б., Гусейнова Л.Г. Влияние микрозаполнителей из местных материалов на прочностные и жароупорные свойства цементного камня // Жаростойкие бетон и железобетон в строительстве. М. : Стройиздат, 1966. С. 110—115.

Поступила в редакцию в августе 2009 г.

© Хежев Т.А., Хежев Х.А., 2009

УДК 691:53

О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов

МЕТОДЫ БЕЗОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрены основы использования высоких технологий в строительной индустрии с применением ускорителей заряженных частиц и радионуклидных источников излучения. Основное внимание уделено технологии производства композиционных радиационно-модифицированных строительных материалов: бетонополимерных, стеклополимерных и др. Изложены основные аспекты организации производства, радиационной безопасности и экономической эффективности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: безопасное производство, бетонополимерные материалы, композиционный материал, радиационная технология, стеклополимерные материалы, установка с ускорителем электронов.

We have observed the basis of high technology usage in building industry with the application of charged particle accelerators and radionuclide sources of emission. Much attention is given to the technology of production of composite radiologically-modified building materials: concrete polymer materials, glass polymer materials and etc. We have presented the physicochemical characteristics of new materials in comparison with the traditionally processed ones. We have outlined the main aspects of manufacturing organisation, radiological safety and economic effectiveness.

К e y w o r d s: safe production, concrete polymer materials, composite material, radioactive technology, glass polymeric materials, installation with electron accelerator.

Особыми условиями в эксплуатации зданий принято считать в строительной индустрии те, которые по тем или иным признакам могут отличаться от обычных. К особым условиям эксплуатации относятся: строительство высотных домов, зданий для эксплуатации при сейсмических воздействиях, высоких технологических температурах, в условиях вечной мерзлоты, в местах захоронения активных источников излучений, подземных сооружений для прокладки дорог, канализационных, водяных коммуникаций, в местах с грунтами, имеющими аномально высокую активность естественных радионуклидов (ЕРН) и др.

При проектировании зданий, возводимых в сейсмических районах, необходимо руководствоваться требованиями СНиП «Строительство в сейсмических районах» и «Руководства по проектированию жилых и общественных зданий, возводимых в сейсмических районах».

При выборе материала и конструктивной схемы зданий для северных районов страны следует учитывать, что здания возводятся на вечномерзлых грунтах. Решение конструкций в этих условиях принимается в зависимости от типа и свойств грунта, применяемых материалов и характера застройки, температурного режима здания, времени строительства. Предусматривают специальные меры по сохранению вечномерзлого состояния основания или же учитывают возможность неравномерной осадки здания при оттаивании основания.

Материалы и конструкции отдельных цехов промышленных зданий могут подвергаться систематическому воздействию технологических температур выше 50 °С (литейные, электроплавильные и аналогичные горячие цеха).

При систематическом воздействии технологической температуры до 200 °С применяют обычный железобетон на портландцементе (или шлако-

портландцементе); если температура выше 200 °С, применяют специальный жаростойкий бетон.

Благодаря новым технологиям и разработанным материалам специалисты научились создавать эффективные высотные сооружения. Согласно инженерным исследованиям небоскреб в 1000 этажей, т.е. высотой 3 км, — осуществимая задача. Причем решаема даже проблема учета влияния сильных ветров.

К новым эффективным строительным материалам для использования в особо сложных условиях относятся радиационно-сшитые стеклопластиковые трубы, радиационно-модифицированный бетон, гипс, производимые на ускорителях электронов и гамма-установках с низкими эффективными удельными активностями [1].

В результате проведенных исследований установлена возможность реализации технологий радиационного сшивания многослойных стеклопластиковых труб, полимеризации мономера в композиции бетона, гипса и других составляющих с одновременным снижением эффективной удельной активности $A_{эфф}$ и коэффициента эманирования η от технологических воздействий [2].

Установлено, что всем радиационно-производимым материалам свойственно значительное снижение $A_{Ra\ эфф}$ и η , что влияет на использование новых материалов в виде защитных средств для снижения гамма-фона в строящихся и эксплуатируемых зданиях за счет применения отделочных материалов с меньшими (не менее чем в 3 раза) эффективными удельными активностями по сравнению со значениями материалов помещений (зданий).

В последние годы для использования в особых условиях применяют трубобетон [3]. Трубобетон характеризуется большой областью применения в высотных зданиях и сооружениях специального назначения в условиях стесненных деформаций. За счет новой радиационной технологии (см. ниже) возможно снижение расхода бетона в 3...4 раза, стоимость конструкции снижается почти на 50 % за счет уменьшения расхода стали (до 45 %) [1].

Трубобетон эффективно используется в верхних этажах многоэтажных зданий, которые более подвержены ветровым нагрузкам. Известно, что давление ветра на цилиндрическую поверхность в 1,4 раза меньше давления на плоские поверхности.

Как показывает опыт специалистов, наиболее эффективными материалами с высокими физико-химическими и механическими характеристиками являются строительные материалы и изделия, выполненные с использованием источников ионизирующих излучений [1].

Процессы могут быть успешно реализованы как на γ -установках, так и на установках с ускорителями электронов. Выбор источников излучений осуществляется на основе анализа результатов исследований технологического процесса и расчетов производительности и экономических показателей. Радионуклидные источники излучений широко применяют в производстве радиационно-модифицированных материалов, в научных исследованиях, сельском хозяйстве, медицине и других отраслях науки и техники. Для обеспечения экологической безопасности и исключения попадания радиоактивного вещества в окружающую среду радиоактивные материалы, применяемые для изготовления источников, надежно герметизируют, их активность имеет значение ниже порога ядерных реакций (< 10 МэВ) [1].

Основные виды взаимодействия ионизирующих излучений — рассеяние до облучаемого объекта и поглощение в нем, в результате снижается энергия и изменяется первоначальное движение частиц, при поглощении они перестают существовать.

Защитная способность различных составов к ослаблению излучения зависит от атомного номера элементов, образующих защитный материал, или от числа электронов в атомах элементов и энергии излучения.

Для обеспечения безопасности людей возводят защитные экраны из местных строительных материалов, которые используются для возведения промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений.

Для защиты от ионизирующих излучений могут применяться практически все природные материалы: горные породы, концентраты, получаемые при обогащении руд; пески, глины, грунты, вода, а также традиционные строительные материалы: металлы, бетоны, строительные растворы, керамика, силикаты и др.

В материалах для защиты от ионизирующих излучений желателен минимальное содержание элементов, образующих долгоживущие нуклиды: хрома, кремния, никеля, кобальта, марганца, натрия, меди, мышьяка, сурьмы, цинка и некоторых других [3].

Сталь и чугун применяют для устройства защиты от низкоэнергетического фотонного излучения. При этом ослабление гамма-излучений на единицу площади происходит эффективнее, чем в водной или графитовой защите.

Одним из самых лучших материалов для защиты от низкоэнергетических гамма- и рентгеновского излучений является свинец либо бетонополимерный материал (БПМ). Исследования показали, что в качестве вяжущих веществ могут быть использованы цементы и местные добавки.

Общими требованиями к материалам, используемым в особых условиях, являются высокая плотность, прочность, низкая эффективная удельная активность природных радионуклидов в их составе и стойкость к агрессивным воздействиям. Поэтому при разработке новых композитных составов обращается особое внимание на компоненты (добавки, наполнители), а также содержание в них ЕРН. Например, использование местного сырья: алюминиевой пудры, фосфатного связующего с тонкомолотыми добавками и наполнителями, в т.ч. и из отходов промышленности — вместо портландцемента открываются возможности качественного улучшения свойств жаростойких бетонов, расширяются возможности получения целого ряда жаростойких теплоизоляционных материалов, а также газо- и поризованных бетонов.

Исследования взаимодействия алюмохромфосфатного связующего (АХФС) с алюминиевой пудрой показали, что с увеличением количества вводимого алюминия уменьшается время начала интенсивного взаимодействия алюминия со связкой, а температура повышается. Как показано на рис. 1, максимальный эффект наблюдается при введении алюминия в количестве 15...18 %.

Нами проверено, что при большом количестве введенного алюминия процесс стабилизируется, затем время начала интенсивного взаимодействия увеличивается, а температура снижается. Объясняется это определенным соотношением алюминия и фосфатного связующего.

Анализ полученных результатов показал, что начало реакции интенсивного взаимодействия можно в довольно широких пределах регулировать качественным изменением состава связующих. Это имеет значение при выборе технологических параметров изготовления изделий из фосфатного газобетона.

При изготовлении композиций на основе АХФС для ее отвердевания используется алюминиевая пудра, количество которой составляет в смеси с АХФС 10 %.

Исследованиями установлено, что прочность бетона при сжатии зависит от расхода алюминиевой пудры, оптимальное количество которой составляет 5...7 % от массы сухих компонентов сырьевой смеси, и совершенно не зависит от количества добавки шамота (рис. 1).

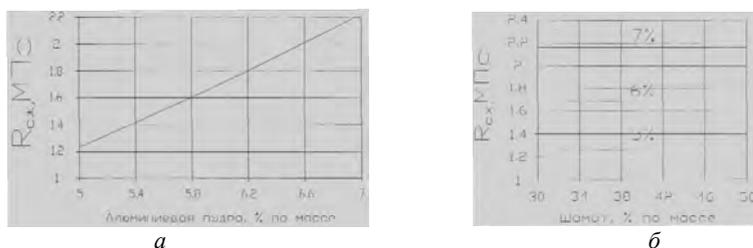


Рис. 1. Влияние содержания алюминиевой пудры (а) и шамота (б) (цифры на кривых) на изменение предела прочности бетона при сжатии. Бетон не подвергался нагреву

При исследовании физико-химических и жаростойких свойств фосфатного газобетона на основе абразивного производства были определены следующие его характеристики: средняя плотность, предел прочности при сжатии после нагрева в интервале температур 105...1400 °С, термическая стойкость, теплопроводность, огнестойкость, усадка, трещиностойкость и долговечность. Исследования долговечности показали, что при уровне приложенного растягивающего напряжения, составляющего 30 % от предела прочности при растяжении, и температуре 800 °С срок службы для бетона с плотностью 800 кг/м³ составляет более 12 лет. Способность материала длительное время противостоять воздействию высоких температур позволяет применять разработанные составы фосфатных жаростойких бетонов в футеровках различных теплотехнических конструкций [5].

Как известно, характеристику бетона определяет его структура, которая, в свою очередь, обуславливается структурой цементного камня и заполнителей. В теле камня имеются многочисленные поры. Пористость существенно влияет на прочность и долговечность, определяет газо- и водонепроницаемость, морозостойкость камня.

Существует несколько способов получения модифицирования бетонов полимерами. Из бетона в смеси с некоторыми синтетическими смолами (фурановыми, перхлорвиниловыми и т.п.) получают так называемый полимербетон, или пластбетон. Добавление в воду затворения водорастворимых мономеров (карбомидных, эпоксидных и др.) с последующим их отверждением, нагреванием или другим способом позволяет получить цементополимеры. Наконец, в результате пропитки готовых бетонных изделий мономерами (метилметакрилатом, стиролом и т.п.) с последующим отверждением их термokatалитическим, радиационным или другим способом в порах изделия получают БПМ [1].

Радиационный способ получения БПМ по сравнению с другими способами придает им более высоких (на 7...15 %) физико-механических свойств. Прочностные показатели БПМ зависят от марок исходного бетона:

марка исходного бетона	200...250	250...350	350...450	450...600
марка получаемого БПМ	800	1000	1200	1400

Принципиальная схема процесса производства БПМ показана на рис. 2. Изготовленные исходные изделия предварительно высушивают до заданной или допустимой влажности, герметизируют в аппарате, аппарат вакуумируют (при этом удаляются воздух и пары воды из пор), пропитывают мономером, далее облучают до завершения процесса полимеризации мономера в порах исходного изделия.

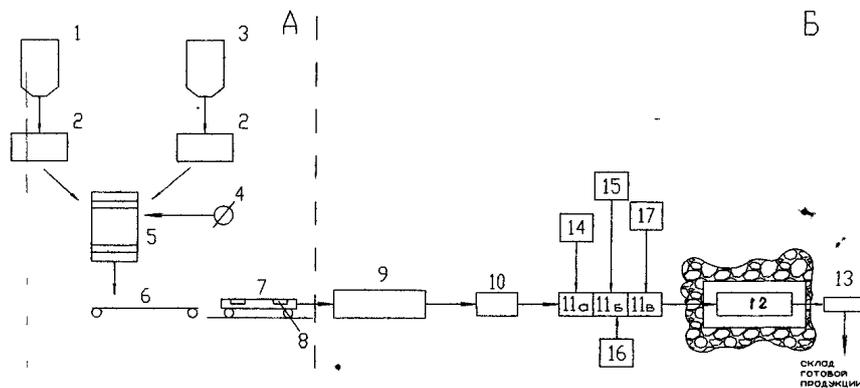


Рис. 2. Технологическая схема производства: А — жаростойкого бетона: 1 — емкость с сухой смесью; 2 — дозаторы; 3 — емкость со связующим; 4 — подача воды; 5 — смеситель; 6 — транспортер подачи готовой смеси; 7 — раскладка смеси; 8 — формы изделий; Б — БПМ: 9 — сушило; 10 — загрузка изделий в РА; 11 — пропиточный узел, в котором: а — РА вакуумируется, б — пропитывается мономером-метилметакрилатом, в — продувается инертным газом; 12 — камера облучения; 13 — РА вскрывается, изделие подается на склад готовой продукции; 14 — форвакуумные насосы; 15 — расходная емкость для мономера; 16 — промежуточный сборник мономера; 17 — баллоны с азотом

Продолжительность основных операций различных изделий приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Ориентировочная продолжительность отдельных стадий модифицирования БПМ

Изделие	Определяющий размер (толщина), м	Продолжительность, ч					
		Вакуумирование	Сушка, °С		Пропитка при давлении, МПа		Полимеризация (при МПД 0,25 Гр/с)
			120	200	0,098	0,39	
Плита	0,05	0,3	24	8	3	2	12
	0,1	0,4	96	30	12	2	13
	0,5	0,5	130	64	18	3	13

При большой толщине бетонных плит скорость сушки значительно возрастает, причем удаление 90 % влаги происходит в первый период, составляющий 25...35 % продолжительности всего цикла сушки. Горячие высушенные изделия охлаждают для снятия внутренних напряжений.

Для вакуумирования и пропитки изделия помещают в РА. Глубину и продолжительность вакуумирования регулируют. С увеличением глубины вакуумирования пропитка ускоряется. Привес мономера при пропитке зависит также от состава и микроструктуры исходного изделия, его геометрических размеров, влажности, длительности и давления при пропитке, вязкости пропитывающего вещества и некоторых других факторов.

Скорость полимеризации мономера в пористой структуре бетона, инициируемая ионизирующим излучением, зависит в основном от мощности поглощенной дозы (МПД). Для различных наполнителей в композиционном материале скорость инициирования различна. Полная полимеризация метилметакрилата (ММА) в бетонных изделиях наступает при поглощенной дозе 15...20 кГр.

Таким образом, технология производства БПМ сводится к следующим операциям: изготовлению бетонных изделий по вышеизложенной технологии, сушке исходных изделий, охлаждению, загрузке изделий в РА, герметизации аппарата, вакуумированию РА, заполнению РА пропиточным составом, сливу остатка пропиточного состава, подаче инертного газа, подаче РА с изделиями в рабочую камеру, радиационной полимеризации, извлечению РА из рабочей камеры облучения, продувке РА инертным газом, выгрузке из РА и подаче изделий на склад готовой продукции.

Анализ развития производства и применения этих материалов показывает, что к началу XXI в. объем их производства составил около 5 % общего объема производства бетона и железобетона в мире. Большой интерес к таким материалам обусловлен возможностями получения БПМ с широким диапазоном свойств, а также высокой экономической эффективностью применения для использования в особых условиях строительства.

Введение в бетон небольшого количества (при массовом содержании примерно 6...8 %) полимеров дает значительное улучшение свойств готового изделия, что позволяет снизить расход вяжущего, металла и других строительных материалов. Расчеты показали, что с учетом свойств БПМ строительные конструкции из них могут быть облегчены на 25...30 %, что позволяет снизить расход компонентов.

Улучшение основных свойств БПМ по сравнению со свойствами исходного бетона приведены в табл. 2. Установлено, что на прочностные характеристики существенно влияют глубина пропитки, привес мономера, а также состав бетона. Испытанный нами БПМ поглощает 6...6,5 % мономера.

Основной целью производства для рассматриваемых нами условий является повышение водонепроницаемости, стойкости к агрессивным средам, морозостойкости, прочности и т. п. Приведенные данные показывают, что прочность БПМ в 3...4 раза выше прочности исходного бетона. Радиационное модифицирование повышает стойкость бетона к истиранию в 10 раз, а морозостойкость в 25 раз. Все это позволило рассчитать расход материалов при замене стандартных бетонных и железобетонных изделий (балок, колонн и т.п.) изделиями из БПМ (табл. 2).

Области применения радиационно-модифицированных материалов определяются их свойствами. Исходные бетоны дешевле радиационно-модифицированных, поэтому использование последних должно определяться высокими или уникальными показателями их свойств. Для практического применения важна высокая прочность, позволяющая уменьшить размеры изделий или исключить применение стали. Высокая водостойкость и низкая водопроницаемость изделий, высокая коррозионная стойкость и стойкость в переменных температурно-влажностных условиях, в том числе при периодическом замерзании-оттаивании, делают изделия из БПМ почти уникальными.

*Результаты расчета возможности замены
стандартных железобетонных изделий радиационно-модифицированными
(при одинаковых физико-механических характеристиках)*

Исходное изделие (все типоразмеры по стандарту)	Расход материалов			
	для исходного изделия		для изделия из БПМ	
	бетон, м ³	сталь, кг	бетон, м ³	сталь, кг
Балки фундаментные				
ФБ	0,5...0,6	22...23	0,2	11...17
ФБИ-1	1,1...1,2	52...54	0,4	26...27
ФБИ-2	2...2,1	196...205	0,7	98...102
Балки покрытий				
БО6	0,6	106...152	0,2	35...100
БО9	1,2	218...302	0,4	73...100
БОП-12	2,2	266...341	0,8	88...115
БОС-12	2,6	330...392	0,9	310...330
БД6	0,7	112...154	0,3	37...50
БД9	1,2...1,8	206...281	0,4...0,6	69...95
ПБ1	0,6...3,2	126...534	0,2...1,1	42...180
ПБ4	0,8...4,4	163...742	0,3...1,5	54...250
ПБ8	0,8...3	119...526	0,3...1	40...175
Колонны				
КПП	0,7...1,3	113...340	0,3...0,5	38...115
КПШ	1,4...3	358...518	0,5...1	119...175
Панели стеновые				
ПСКЛ	1,1	52...156	0,4	17...52
ПСПБ	1,1...1,2	104...212	0,4	35...70
ПСТП	1,2...1,4	196...358	0,4...0,5	65...120
Блоки для стен подвалов				
ФБС-Т	0,13...0,82	0,7...2,4	0,06...0,4	0,7...2,4
ФБВ-Т	0,16...0,24	0,8	0,08...0,12	0,8
ФБП-Т	0,44...0,58	1,5	0,22...0,3	1,5
ФБС-П	0,13...0,82	0,7...2,4	0,06...0,4	0,7...2,4
ФБС-С	0,16...0,24	0,8	0,08...0,12	0,8
ФБП-П	0,44...0,58	1,5	0,22...0,3	1,5
ФБВ-С	0,16...0,24	0,8	0,08...0,12	0,8
ФБП-С	0,44...0,58	1,5	0,22...0,3	1,5

В последние годы в стране наблюдается рост аварийных ситуаций в ЖКХ, вышедшие из строя трубы горячего и холодного водоснабжения влияют на жизнь населения и стабильность обстановки в регионах.

В настоящее время на создание металлических трубопроводов для систем горячего водоснабжения расходуется огромное количество металла, а срок службы таких труб ограничен. В металлических трубах интенсивно образуется накипь, внутренняя коррозия приводит к появлению свищей и течей. Решение проблемы — замена применяемых в настоящее время труб коррозионно-стойкими или стеклополимерными, работающими при 80...90 °С и давлении до 0,6...0,8 МПа.

Один из вариантов схемы установки производства полиэтиленовых и стеклопластиковых труб показан на рис. 3. В установке может быть использован ускоритель электронов, например, типа «Электрон» с максимальной кинетической энергией 0,7 МэВ и током пучка электронов до 10 мА. Развертка пучка электронов позволяет «сшивать» стеклоткань и полиэтилен шириной до 1 м. Скорость подачи материала в камеру полимеризации связующего регулируется от 30 до 350 м/ч. Габариты установки могут быть $3 \times 7 \times 8 \text{ м}^3$ [1].

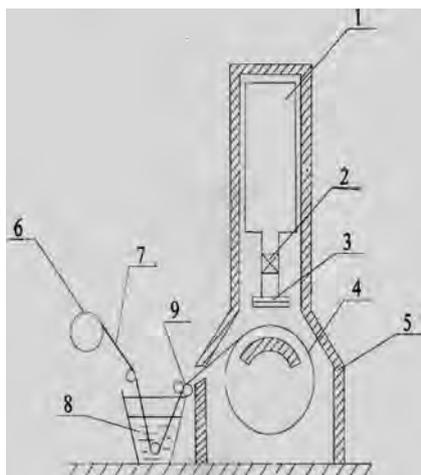


Рис. 3. Схема установки для производства труб (без системы управления): 1 — ускоритель электронов; 2 — вакуумная система; 3 — облучатель; 4 — устройство намотки материала (калибрующий барабан с наматываемой трубой); 5 — индивидуальная защита; 6 — размоточное устройство; 7 — материал; 8 — пропиточная ванна; 9 — калибрующие валки

Стеклоткань через направляющие валики поступает в пропиточную ванну со связующим. Пропитанный материал подается на калибрующие валки, где отжимается лишняя смола, затем на барабан, с помощью которого он транспортируется, прижимается к каждому предыдущему намотанному слою и облучается потоком ускоренных электронов. От числа намотанных слоев зависит толщина трубы и давление при ее эксплуатации.

Для будущего крепления трубопроводов между собой в некоторых участках производимых труб может быть выполнена ступенчатая намотка. Это дает возможность получать трубы с выраженными торцами (любой толщины), при помощи которых производится механическое соединение отдельных участков трубопроводов при прокладке их на территории.

Наиболее важное свойство труб, обусловленное сшитой структурой, — их долговременная прочность при высоких температурах (рис. 4). Такие трубы могут эксплуатироваться в сетях горячего водоснабжения более 25 лет.

Таким образом, материалы, используемые в особых условиях строительства и эксплуатации, должны иметь очень высокую прочность, коррозионную стойкость, морозостойкость, низкую эффективную удельную активность.

Технологическое оборудование состоит из устройства для подачи материала в пропиточную ванну, калибрующих валов (формирующее устройство), устройства намотки материала на форматную обечайку (калибрующий барабан) трубы выбранного диаметра. Последнее перемещается с заданной скоростью вдоль оси, смещая тем самым основу трубы, производя любой (заданный) размер длины.

Установка может быть размещена в обычном производственном помещении, так как выполнена в индивидуальной защите. Системы управления установкой включают: пульта управления ускорителем, технологическим процессом и органы контроля системы измерения параметров пучка, блокировки (датчики, приборы дозиметрического контроля и сигнализации).

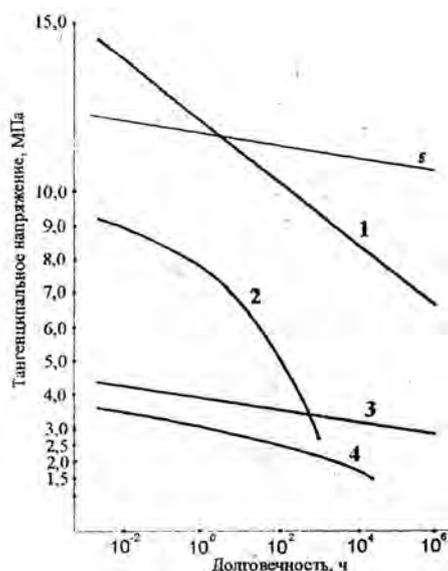


Рис. 4. Долговременная прочность труб из ПЭ и стеклопластика при внутреннем гидростатическом давлении 0,5 МПа: 1 — ПЭВП — облученный; 2 — ПЭВП — необлученный; 3 — ПЭНП — облученный; 4 — ПЭНП — необлученный; 5 — радиационно-сшитый стеклопластик

энергии квантов. Выбор материала защиты выполняют с учетом регионального ценообразования. Толщина защиты рассчитывается по разработанной нами методике. Методика учитывает $A_{эфф}$, плотность защитного материала, площадь помещений и ценовую политику в регионе.

Экономическая эффективность исследований по снижению фоновой активности в зданиях по Волгоградской области оценивается с учетом предложений, утвержденных НКДАР, и составляет более 3 млрд 718 млн р. (в ценах на 2008 г).

В производстве трубобетонных изделий при замене лишь 1 % (2 млн м³) планового задания железобетонных изделий по стране на 2009 г. изделиями из БПМ может быть сэкономлено более 1 млн м³ бетона и 100...400 тыс. т стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности / Ю.Д. Козлов, И.Л. Стефаненко, С.В. Ермолаев и др. М. : Энергоатомиздат, 2006. 715 с.
2. Сидельникова О.П. Радиационный контроль в строительной индустрии. М. : Изд-во АСВ, 2002. 207 с.
3. Мартиросов Г.М., Шахворостов А.И. Трубобетонные элементы из стеклопластиковых труб // Бетон на рубеже третьего тысячелетия : труды Всерос. конф. М. : Изд-во АСВ, 2001. С. 187—197.
4. Трансурановые элементы в окружающей среде / пер. с англ. под ред. Р.М. Алексахина. М. : Энергоатомиздат, 1985.
5. Александров Е.Н. Радиационно-модифицированные материалы и методы их производства для строительства и эксплуатации в особых условиях : дис. ... канд. техн. наук / Е.Н. Александров ; ВолгГАСУ. Волгоград, 2007.

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

© Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д., 2009

Радиационная безопасность не только может оказать влияние на процесс строительства, но и качественно в корне его изменить. С целью предупреждения вредных последствий от воздействия излучения, снижения последствий риска актуальной задачей является снижение мощности дозы в помещениях до возможной наиболее низкой величины.

Мощность дозы гамма-излучения в помещениях существенно зависит от активности ЕРН использованных в них строительных материалов. Для снижения гамма-фона в помещениях нами разработана и проверена на практике методика, обеспечивающая фактическое уменьшение активности [2].

Методика включает определение мощности дозы гамма-излучения стен, потолка, пола помещения с учетом расстояния от поверхности плоскости до детектора; кратности ослабления ионизирующего излучения с учетом

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69.05:658.5:69.003

С.Г. Шеина, Г.Г. Сеферов

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА г. РОСТОВА-НА-ДОНУ В СООТВЕТСТВИИ С ФЕДЕРАЛЬНЫМ ЗАКОНОМ № 185-ФЗ

Выявлена низкая эффективность реализации целевой программы капитального ремонта жилищного фонда г. Ростова-на-Дону. Определены показатели объема жилищного фонда, оставшегося неохваченным действием целевой программы, и денежных средств, необходимых для проведения капитального ремонта в данных многоквартирных домах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: капитальный ремонт, многоквартирные дома, энергоэффективность зданий, жилищный фонд.

The carried out analysis showed low efficiency of the Rostov housing renewal Target program realization. We defined both, indexes of the housing assets not included in the Target program and the amount of money for the realization of the target program.

К e y w o r d s: housing renewal, energy efficiency of the housing, housing assets.

Решение жилищной проблемы в России является одной из важнейших социальных задач. Реформирование и развитие жилищной сферы относятся к приоритетным направлениям социально-экономических преобразований в стране, которые создают необходимые условия для проживания и жизнедеятельности человека. Одной из важнейших стратегических задач функционирования данной отрасли является создание условий для устойчивого и эффективного экономического оборота жилищного фонда, в рамках которого удовлетворяются жилищные потребности граждан, поддерживаются и развиваются стандарты качества строительства и содержания жилья, поэтому решение жилищной проблемы граждан является одним из приоритетов государственной политики в Российской Федерации.

Жилищная обеспеченность в РФ, средний уровень которой составляет 21,1 м² на человека, достигла удовлетворительного уровня с социально-экономической и санитарной точки зрения. Однако качество жилищного фонда, его состояние и технические показатели, особенно в сфере энергоэффективности, существенно отстают от аналогов в развитых зарубежных странах, более того, сам показатель в европейских странах выше в среднем вдвое (в Германии подобный показатель составляет 35 м² на человека, в Швеции — 40).

Общая площадь жилищного фонда РФ составляет около 3 млрд м², порядка 40 % из которого нуждается в проведении капитального ремонта или реконструкции (рис. 1).

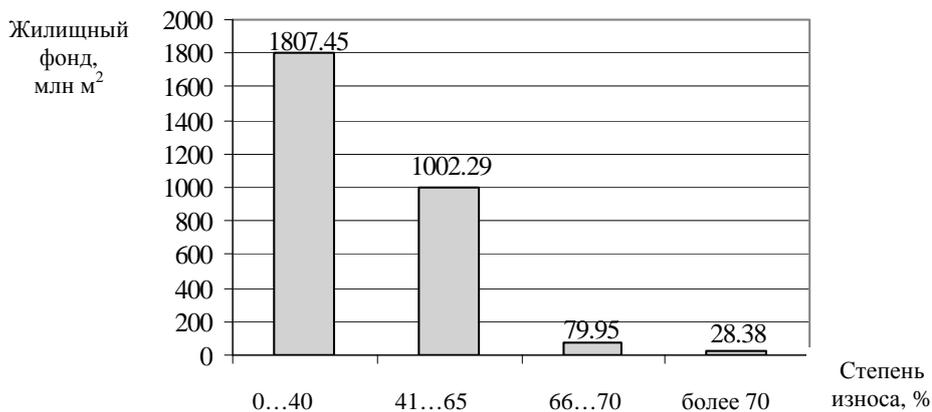


Рис. 1. Степень износа жилищного фонда РФ на 01.01.2008 г.

С целью оказания финансовой поддержки органам государственной власти субъектов РФ по софинансированию проведения капитального ремонта многоквартирных домов и переселения граждан из аварийного жилищного фонда 21.07. 2007 г. был принят Федеральный закон № 185-ФЗ «О фонде содействия реформированию ЖКХ» [1].

Бюджет Фонда составил 240 млрд р., из которых 145 млрд было направлено на проведение капитального ремонта многоквартирных домов и 95 млрд — на переселение граждан из ветхого и аварийного жилищного фонда.

В соответствии с условиями Федерального закона № 185-ФЗ «О фонде содействия реформированию ЖКХ» Ростовская область претендовала на получение 7,8 млрд р., из которых 2,3 млрд получил бюджет г. Ростова-на-Дону. По прошествии двух лет необходим анализ эффективности расходования государственных средств.

Для решения поставленной задачи на первом этапе была проведена инвентаризация жилищного фонда г. Ростова-на-Дону, согласно которой на 01.01.2008 г. в городе насчитывалось 8937 многоквартирных домов. Также в рамках данного этапа была проведена структуризация жилищного фонда по этажности, стоимостным показателям и техническому состоянию.

Для выполнения вышеуказанных операций использована информационно-аналитическая система «Жилищно-коммунальное хозяйство», разработанная учеными Ростовского государственного строительного университета [2].

Структура жилищного фонда по этажности приведена на рис. 2. В Ростове-на-Дону преобладают малоэтажные (1...4-этажные) жилые дома 74 %, но в то же время доля многоквартирных домов средней и повышенной этажности (5 и 9-этажных) значительна — 23 %.

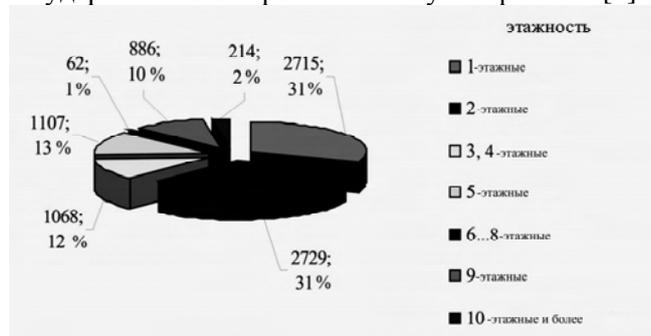


Рис. 2. Структура жилищного фонда г. Ростова-на-Дону по этажности

Стоимостные показатели жилищного фонда Ростова-на-Дону по состоянию на 01.01.2008 г. приведены в таблице.

Число строений	8 937
Общая площадь жилищного фонда, м ²	14 045 260,0
Восстановительная стоимость, млн р.	108 028,82
Стоимостная оценка физического износа для зданий в целом, млн р.	57 680,66
Стоимостная оценка физического износа основных конструктивных элементов зданий, млн р.	14 547,30
Стоимостная оценка морального износа, млн р.	555,38
Стоимостная оценка совокупного износа, млн р.	58 236,04
Среднее значение коэффициента эффективности проведения ремонтных работ	0,596

В процессе выполнения анализа был рассчитан коэффициент эффективности проведения ремонтных работ K , который определяется отношением стоимости ремонтных работ по устранению физического и морального износа к восстановительной стоимости здания:

$$K = \frac{C_{\text{ф.и}} + C_{\text{м.и}}}{C_{\text{в}}}$$

В соответствии с принятой теорией:

при $K < 0,4$ зданию требуется текущий ремонт ($\leq 40\%$);

при $0,4 \leq K < 0,6$ зданию требуется выборочный капитальный ремонт (40...50%);

при $0,6 \leq K < 1,0$ зданию требуется комплексный капитальный ремонт (50...60%);

при $K > 1,0$ стоимость ремонтных работ превышает восстановительную стоимость здания (при значении физического износа $> 60\%$). Капитальный ремонт экономически нецелесообразен.

Анализ показал, что около половины (47%) многоквартирных домов Ростова-на-Дону на 01.01.2008 г. нуждаются в проведении капитального ремонта вследствие того, что их совокупный износ составляет 40...60% (рис. 3, 4).



Рис. 3. Распределение общего количества многоквартирных домов по техническому состоянию (общему физическому износу зданий)

Рис. 4. Распределение общей площади многоквартирных домов, тыс. м², по общему физическому износу зданий

В связи с принятием Федерального закона № 185-ФЗ, на городском уровне было принято решение Ростовской-на-Дону городской думы № 291 от

28.08.2007 года «Капитальный ремонт и создание условий для управления многоквартирными домами на территории города Ростова-на-Дону в 2007—2011 годах» [3].

Согласно этой городской целевой программе, были проведены капитальные ремонты в 728 многоквартирных домах на территории г. Ростова-на-Дону в 2008—2009 гг. Общий объем средств, выделенных для финансирования целевой программы за счет бюджетов различных уровней (федерального, местного, муниципальных образований), а также денежных средств граждан, собственников жилых помещений данных многоквартирных домов, составил 2267,79 млн р., при общей потребности 38991,73 млн р. Для более наглядного представления ситуации информацию об объемах жилищного фонда г. Ростова-на-Дону, нуждающегося в проведении капитального ремонта, объемах финансовых средств, выделенных для реализации городских программ капитального ремонта, и, наконец, объемах жилищного фонда, оставшегося неохваченным действием программ, целесообразно представить в виде диаграмм (рис. 5, 6).

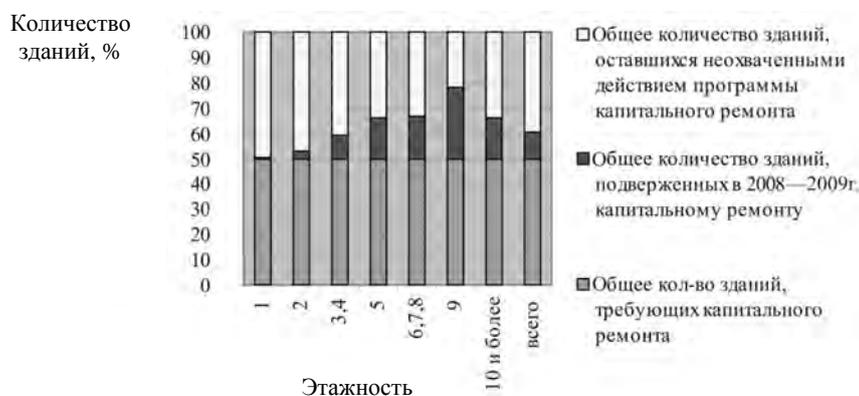


Рис. 5. Диаграмма изменения количества домов различной этажности в результате реализации программы капитального ремонта

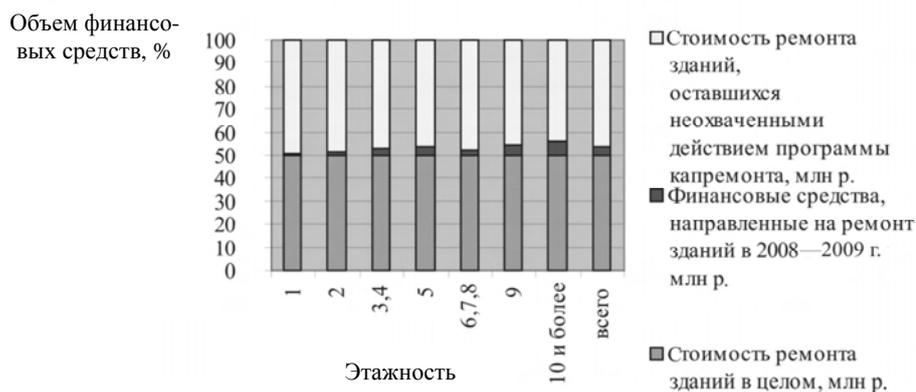


Рис. 6. Диаграмма распределения денежных средств, затраченных на ремонт многоквартирных домов различной этажности

Общее количество домов, оставшихся неохваченными действием целевой программы капитального ремонта, составило 3457 зданий, около 2000 из которых являются зданиями малоэтажными (менее четырех этажей), где произво-

дить капитальный ремонт с экономической точки зрения нецелесообразно. Эти здания предполагаются к ликвидации и переселению жильцов в рамках реализации программы по освоению застроенных территорий «Памятники архитектуры». Здания, отнесенные к этой категории, необходимо сохранять и поддерживать в режиме нормальной эксплуатации. По последним данным, таковых насчитывается порядка 350 зданий. Таким образом, суммарное количество многоквартирных домов, которые необходимо отремонтировать, составляет 1800 зданий.

Эффективность реализации целевой программы может быть выражена в процентном соотношении для зданий различной этажности: 5-этажные — 28; 6...8-этажные — 26; 9-этажные — 50; 10-этажные и более — 32 %.

Вышеуказанные показатели свидетельствуют о том, что проблема капитального ремонта жилищного фонда полностью не решена из-за недостаточного количества средств Фонда и недостаточной эффективности их использования по следующим причинам:

- отсутствие полной инвентаризации жилищного фонда в субъектах РФ;
- отсутствие ресурсного обеспечения программы модернизации жилищного фонда;
- недостаточная подготовленность законодательной базы;
- неподготовленность жителей многоквартирных домов для участия в проектах такого масштаба;
- недостаточная подготовленность ремонтно-строительного комплекса, управляющих компаний;
- отсутствие проектной документации.

Анализ также показал, что при выполнении капитальных ремонтов практически не выполнено одно из энергетических мероприятий — утепление фасадов, в то время как это является одним из видов работ по капитальному ремонту многоквартирных домов в соответствии с Федеральным законом № 185-ФЗ. Проведенный анализ показал низкую эффективность реализации целевой программы капитального ремонта.

Очевидно, следующим этапом реализации программы сохранения и сбережения жилищного фонда Российской Федерации должна стать разработка долгосрочной стратегии энергетической санации жилищного фонда для повышения его энергетической эффективности в соответствии с ФЗ № 111730-5 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности зданий» [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон №185-ФЗ «О фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства» от 21.07.2007 года.
2. Информационно-аналитическая система «Жилищно-коммунальное хозяйство» (Свидетельство № 2008611317 (ИАС ЖКХ — Генератор отчетов), № 2008611318 (ИАС ЖКХ), № 2008611319 (ИАС ЖКХ Адресная система) от 17.03.2008 года об официальной регистрации программ для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент)).
3. Решение Ростовской-на-Дону городской думы № 291 от 28.08.2007 года «Капитальный ремонт и создание условий для управления многоквартирными домами на территории города Ростова-на-Дону в 2007—2011 годах».
4. Федеральный закон № 111730-5 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности зданий».

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

© Шеина С.Г., Сеферов Г.Г., 2009

УДК 628.517.2

Н.П. Алимов

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Рассмотрена математическая модель, лежащая в основе расчета эффективности средств индивидуальной защиты от шума, построенная с учетом описания физических процессов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: условия труда, индивидуальная защита, средства защиты слуха, шумовые нагрузки.

The major element of maintenance of comfortable working conditions are means of an individual defence. On large manufactures often happens it is necessary to protect employees from excessive noise. For this purpose there are means of an individual defence from noise — hearing protection frames. Various protection frames of hearing have design features. Hearing protection frames are calculated on a wide range of noise loadings. Convenient in use, hygienic and comfortable protection frames of hearing are used in many industries.

К e y w o r d s: working conditions, individual defence, noise, hearing protection frames, noise loadings.

В основе метода расчета эффективности средств индивидуальной защиты (СИЗ) от шума лежит математическая модель, построенная с учетом описания физических процессов и обеспечивающая приемлемое соответствие экспериментальным данным. В качестве таковой рассматривается модель СИЗ, приведенная в [1] и представляющая собой звукоизолирующий наушник в форме цилиндрического стакана массы M , который опирается с открытого конца на околоушную часть головы через прокладку с механической упругостью k_1 потерями c_1 . Полученная [1] частотная характеристика звукоизоляции наушника $\bar{\kappa}(\omega)$ имеет вид

$$\bar{\kappa}(\omega) = \frac{S_1}{S_2 \cos \bar{k}l - \frac{i}{\rho \bar{c}} \sin \bar{k}l \left[\bar{c}_1 + i \left(\frac{k_1}{\omega} - \omega M \right) \right]}, \quad (1)$$

где S_1, S_2 — площади соответственно наружного и внутреннего сечений; $\bar{k} = k(1 + i\eta)$ — комплексное волновое число для воздушной полости наушника с поролоновой прокладкой, вносящей акустические потери, обусловленные величиной мнимой части η ; l — эффективная длина внутренней полости; $i = \sqrt{-1}$; ρ и \bar{c} — соответственно плотность воздуха и скорость звука в воздухе; ω — угловая частота.

При этих обстоятельствах скорость звука тоже комплексна и определяется выражением

$$\bar{c} = \frac{\omega}{\bar{\kappa}} = \frac{c}{1 + i\eta}.$$

Универсальной характеристикой воздействующего звукового сигнала детерминированной или случайной природы является его энергетический спектр $N_x(\omega)$.

Входной спектр $N_x(\omega)$ связан с входным спектром $N_y(\omega)$ соотношением [2]

$$N_x(\omega) = \kappa^2(\omega)N_y(\omega), \quad (2)$$

где $\kappa(\omega) = |\bar{\kappa}(\omega)|$ — модуль частотной характеристики [1].

В нашей задаче выходным будет считаться сигнал, воздействующий на ухо на выходе наушника.

На практике уровни шумов измеряются и оцениваются уровнями звукового давления в 8-октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Если известен энергетический спектр сигнала, то получить данные, отвечающие нормативной методике, не представляет особого труда. Для этого следует воспользоваться уже известной формулой из [2]:

$$P_{\text{ср.вх}} = \sqrt{2 \int_0^{\infty} N_x(\omega) d\omega}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ср.вх}}$ — среднее звуковое давление входного сигнала, Н/м².

Для полосового сигнала, учитывая среднее по полосе звуковое давление $P_{\Delta\omega}$ и уровень шума L , получаем следующие выражения:

$$P_{\Delta\omega} = \sqrt{2 \int_{\omega_n}^{\omega_b} N_x(\omega) d\omega}; \quad (4)$$

$$L = 20 \lg \frac{P_{\Delta\omega}}{P_0}, \quad (5)$$

где ω_n и ω_b — соответственно нижняя и верхняя границы частотной полосы.

На практике информация о входном сигнале предстает в иных формулах, обусловленных простотой, наглядностью или традициями. Для наиболее характерных видов сигналов установим связь с энергетическими спектрами.

Синусоидальный сигнал P задается звуковым давлением амплитудой P_0 и частотой ω_0 :

$$P = P_0 \cos \omega_0 t,$$

где t — время, с.

Энергетический спектр синусоидального сигнала P получаем путем усреднения квадрата давления по периоду:

$$N_x(\omega) = \frac{P_0^2}{4} S(\omega - \omega_0),$$

где $S(\omega - \omega_0)$ — дельта-функция.

Среднее значение входного синусоидального сигнала

$$P_{\text{ср.вх}} = \frac{P_0}{\sqrt{2}}$$

получаем с помощью формулы (3).

Дискретный спектр давления составляющих вида $P_i \cos \omega_i t$ ($i = 1, 2, \dots, n$) отвечает следующему энергетическому спектру, полученному путем энергетического сложения:

$$N_x(\omega) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n P_i^2.$$

«Белый шум» задается постоянным значением энергетического спектра $N_x(\omega) = N_0$. Среднее звуковое давление, вычисляемое по формуле (3), дает бесконечность, поэтому модель «белый шум» следует применять для 8-октавных полос частот.

Полоса «белого шума» с заданным постоянным энергетическим спектром после его подстановки в формулу (3) определяется средним по полосе значением давления

$$P_{\Delta\omega} = \sqrt{2N_0(\omega_B - \omega_H)}$$

и соответствующим уровнем звукового давления по аналогии с формулой (5)

$$L = 20 \lg \frac{\sqrt{2N_0(\omega_B - \omega_H)}}{P_0}.$$

Для дальнейших приложений полезна связывающая энергетический спектр «белого шума» с уровнем звукового давления обратная формула

$$N_0 = \frac{P_0^2 10^{0,1L}}{2(\omega_B - \omega_H)}.$$

Если входной сигнал получен в результате измерений шума в октавных полосах и выражен в децибелах уровня звукового давления, то таких сведений для вычисления энергетического спектра недостаточно. Восстановить энергетический спектр можно при дополнительных предположениях о его характере. Например, если заданы уровни звукового давления в октавных полосах, то можно предположить спектр дискретным, состоящим из колебаний восьми частот (при предположении, что октавных полос восемь), равных каждая средней геометрической граничных значений $\sqrt{\omega_H \omega_B}$. Амплитуда каждой составляющей равна заданному значению звукового давления.

В качестве другого варианта можно предположить ступенчатый спектр, состоящий из октавных полос «белого шума», причем средний уровень давления каждой равен измеренному значению. Именно этот вариант рассматривается ниже при вычислении эффективности звукоизоляции.

Если вопрос о характере энергетического спектра входного сигнала решен, то вычисляем спектр выходного сигнала, который при необходимости можем выразить в уровнях звукового давления октавных полос частот. Сравнение входных и выходных характеристик этого рода определит эффективность звукоизоляции по полосам частот.

Для параметров общего уровня выходного сигнала с помощью формул (3), (5) получаем следующие выражения:

$$P_{\text{ср.вх}} = \sqrt{2 \int_0^{\infty} \kappa^2(\omega) N_x(\omega) d\omega}, \quad (6)$$

$$L_{\text{вых}} = 20 \lg \left[\frac{1}{P_0} \sqrt{2 \int_{\omega_H}^{\omega_B} k^2(\omega) N_x(\omega) d\omega} \right]. \quad (7)$$

Для параметров выходного сигнала в полосе частот из формул (2), (4) и (5) получаем выражения:

$$P_{\Delta\omega} = \sqrt{2 \int_{\omega_H}^{\omega_B} k^2(\omega) N_x(\omega) d\omega},$$

$$L_{\Delta\omega} = 20 \lg \left[\frac{1}{P_0} \sqrt{2 \int_{\omega_H}^{\omega_B} k^2(\omega) N_x(\omega) d\omega} \right]. \quad (8)$$

Формула (8) дает возможность выразить выходной сигнал в нормируемых параметрах уровня звукового давления.

Применение полученных выше формул позволяет решить важную практическую задачу: по данным измерения шума с помощью приборов, дающих недостаточную для точных измерений информацию, оценить эффективность звукоизолирующих средств в их конкретных приложениях. Приняв к сведению экспериментальные уровни звукового давления в полосах частот, высказываем гипотезу о характере спектра внутри каждой полосы, потом по данному интегральному уровню звукового давления подбираем формулу энергетического спектра $N_x(\omega)$, который имеет интегральный уровень, отвечающий принятой гипотезе. Далее путем подстановки $N_x(\omega)$ по формуле (8) вычисляем выходной уровень звукового давления. Сравнение измеренного входного уровня с вычисленным выходным дает оценку звукоизоляции.

Отметим, что точные расчеты возможны только при наличии энергетического спектра, измеренного, например, с помощью узкополосного фильтра.

Общепринятой является гипотеза постоянного энергетического спектра в полосе частот (или полосы «белого шума»). Именно эта гипотеза лежит в основе оценки эффективности снижения шума путем вычитания его уровней, воздействующих на орган слуха при использовании средства защиты и без него.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов Н.П., Князев А.С., Лагунов Л.Ф. Расчет эффективности звукоизоляции индивидуальных средств // Проблемы охраны труда : тезисы докладов IV Всесоюз. межвуз. конф., 14—16 сентября 1982 г. Каунас, 1982.
2. Зиновьев А.Л., Филиппов Л.И. Введение в теорию сигналов и цепей. М. : Высшая школа, 1975.

© Алимов Н.П., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 658 (075.8)

С.О. Воронова

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ПРАВОВОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассматриваются источники правовой неопределенности при разработке организационно-технологической документации (ОТД). Проводится анализ основной ОТД на ее соответствие существующим требованиям нормативной документации.

Ключевые слова: организационно-технологическая документация, правовая неопределенность, проект организации работ, проект организации строительства, проект производства работ, строительное производство, проект производства работ краном.

The sources of legal uncertainty at the preparation of organizational-technological documentation package (OTDP) are considered. The analysis of basic OTDP on its conformity to existing legal requirements is pursued.

Key words: organizational-technological documentation package, legal uncertainty, project on organization of building, construction production, project on execution of work with crane, project on organization of work.

Строительное производство представляет собой сложную стохастическую (вероятностную), динамично развивающуюся систему, функционирующую под влиянием ряда случайных факторов, т.е. в условиях неопределенности. Они могут оказывать отрицательное, нейтральное или положительное воздействие на строительный процесс. Своевременное принятие оптимальных организационно-технологических решений строительного производства в условиях неопределенности, направленных на достижение конечного результата, — ввода в действие объекта с необходимым качеством и в установленные сроки, — является актуальной задачей.

Для решения этой задачи необходимо выявить виды неопределенности, возникающие уже на этапе подготовки к строительству — при организационно-технологическом проектировании (ОТП). Строительное производство — система взаимосвязанных элементов, поэтому неполнота и неточность информации на этапе проектирования порождают невозможность выбора конкретного плана действия на этапе производства работ и способствуют увеличению неопределенности.

В настоящее время в строительной отрасли России при возведении объектов особенно остро стоит вопрос о низком уровне разработки организационно-технологической документации (ОТД). Отсутствие должного внимания к качеству проектирования ОТД и со стороны проектировщика, и со стороны заказчика часто приводит к нарушению технологии производства работ, возникновению аварийных ситуаций, падению грузоподъемных механизмов, повышению уровня травматизма работников, снижению качества строительно-монтажных работ, увеличению расхода ресурсов, сроков строительства и, как следствие, к повышению себестоимости работ и увеличению рыночной цены объекта.

На сегодняшний день разработка ОТД осуществляется в условиях ярко выраженной правовой неопределенности, о чем свидетельствует проведенный анализ нормативно-законодательной сферы в области ОТП.

К ОТД относится проект организации строительства (ПОС), проект организации работ по сносу или демонтажу объектов (ПОР), проект производства работ (ППР) и проект производства работ краном (ППРк).

Согласно [1] документом, подтверждающим соответствие проектной документации требованиям градостроительного плана земельного участка и дающим право застройщику осуществлять строительство, реконструкцию объектов капитального строительства, а также их капитальный ремонт, является разрешение на строительство, для получения которого Государственной экспертизе проектов документов территориального планирования и проектной документации необходимо предоставить в обязательном порядке в составе проектно-сметной документации ПОС или ПОР, которые разрабатываются генеральной проектной организацией.

На следующем этапе ОТП специалистами генеральной подрядной организации или субподрядной строительного-монтажной организации на основе решений, принятых в ПОС, разрабатывается ОТД исполнителя работ, в состав которой входят ППР и ППРк.

Разработанный ППРк согласовывается с владельцем грузоподъемной машины, с осуществляющим надзор руководителем организации, разработавшей ППРк, и утверждается руководителем генподрядной строительного-монтажной организации (заказчиком) [2].

На основании ст. 13 Федерального закона от 21.07.1997 П 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и п. 3.2.1 «Положения по проведению экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» РД 10-528-03, утвержденного постановлением Госгортехнадзора России от 04.03.2003 П 5, зарегистрированного Минюстом России 28.03.2003 П 4345, «проекты производства работ кранами подлежат экспертизе промышленной безопасности» [2] и вместе с экспертным заключением регистрируются в Межрегиональном территориальном управлении Ростехнадзора по ЮФО.

В нормативно-законодательных документах, регламентирующих осуществление ОТП на территории Ростовской области, отсутствуют положения по проведению экспертизы ППР. Но ППР в составе полного комплекта исполнительной документации подрядчика необходимо предоставить на рассмотрение в Региональную службу государственного строительного надзора.

За 2006—2007 гг. региональной службой Госстройнадзора Ростовской области проведена 5721 проверка, составлено 3532 предписания, оформлено 4945 технических актов. За отчетный период специалистами службы составлено 1192 протокола об административных правонарушениях и вынесено 1501 постановление на сумму 21,431 млн р. [3].

Анализ статистических данных свидетельствует о том, что на строительной площадке достаточно часто ОТД отсутствует или разрабатывается не в полном объеме, с отступлением от требований нормативных документов. Проведенное исследование в объеме выборки, обеспечивающей ее репрезентативность, показало, что только 5 % анализируемых ПОС полностью соответствуют нормативным требованиям к составу и содержанию ОТД. В таблице приведены показатели несоответствия рассматриваемых документов нормативным требованиям по основным разделам в составе ПОС.

*Несоответствие документов в составе ПОС
нормативным требованиям, % от общего количества рассматриваемых ПОС*

Наименование раздела ПОС	Показатель несоответствия
1. Календарный план	40
2. Строительный генеральный план	7
3. Организационно-технологические схемы возведения здания (сооружения)	67
4. Ведомость объемов строительных, монтажных и специальных работ	73
5. График потребности в строительных конструкциях, изделиях и материалах	80
6. График потребности в основных строительных машинах	80
7. График потребности в основных рабочих кадрах	13
8. Обоснование выбора методов производства строительных, монтажных и специальных работ	7
9. Обоснование потребности в основных строительных машинах	20
10. Обоснование потребности в транспортных средствах, погрузочно-разгрузочных машинах, складском хозяйстве	40
11. Расчеты потребности в электроэнергии, воде, паре, сжатом воздухе	20
12. Расчеты потребности в инвентарных зданиях и временных сооружениях для производства строительного-монтажных работ	20
13. Основные технико-экономические показатели	20
14. Предложения по обеспечению контроля качества строительных и монтажных работ, оборудования, конструкций, материалов	27
15. Предложения по организации службы геодезического и лабораторного контроля	60

Многие специалисты по организации строительства, представители органов экспертизы, проектировщики в области ОТП отмечают отсутствие системности действующей нормативной базы: несвоевременная подготовка и принятие технологических регламентов, недоработка СНиП, противоречие информации, содержащейся в одних действующих документах, другим.

На данный момент существует два действующих нормативных документа, регламентирующих состав ПОС: постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» и МДС 12.81—2007 «Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ». В практике ОТП проектировщики достаточно часто продолжают разрабатывать ПОС в соответствии с требованиями МДС 12.81—2007, руководствуясь тем, что этот нормативный документ не отменен. Но такие ПОС не получают положительного заключения экспертизы как не соответствующие в графической и текстовой части обязательным требованиям разд. 6, п. 3 постановления Правительства РФ № 87 и возвращаются на доработку.

Проектировщики ОТД сталкиваются с отсутствием единой системы условных обозначений в нормативных документах, формул для расчета одного и того же параметра (привязка башенного крана к зданию, расчет кранового пути и т.д.) в различных нормативных источниках, что приводит к возникновению лингвистической неопределенности.

Постановлением Госстроя России от 19.04.2004 г. № 70 СНиП 3.01.01—85* (95) «Организация строительного производства», который строго регламентировал состав и содержание ПОС и ППР и должен исполняться в обязательном порядке всеми участниками строительства объектов, был отменен. 01.01.05 г. был введен СНиП 12-01—2004 «Организация строительства», который имеет рекомендательный характер. В данном нормативном документе отсутствует информация о составе и содержании ПОС, а такой документ, как ППР, определяющий технологию производства работ, не упоминается. В то же время в п. 4.18 СНиП 12-03—2001 «Безопасность труда в строительстве» говорится о том, что осуществление работ без ПОС и ППР не допускается. Но СНиП 12-03—2001 регламентирует состав и содержание проектных решений, мероприятий и требований, касающихся только безопасности труда.

В соответствии с [4] ПОС разрабатывается в полном объеме для объектов капитального строительства, финансируемых полностью или частично за счет средств соответствующих бюджетов, а в остальных случаях необходимость и объем разработки определяются заказчиком.

Лицензии, выдаваемые до 01.01.2009 г. и действующие до 01.01.2010 г., на осуществление строительными организациями проектирования зданий и сооружений давали право на выполнение таких видов работ, как организация строительства (в том числе разработка ОТД в полном объеме) и сметная документация. В связи с вступлением в силу Федерального закона от 22.07.2008 № 148-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» осуществление проектной деятельности в области строительства в отсутствие лицензии разрешается на основании свидетельства о допуске к определенным видам работ, выданному саморегулируемой организацией. Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 9 декабря 2008 года № 274, утвержден Перечень видов работ по подготовке проектной документации по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. Но разработка ППР и сметной документации не входит в данный перечень работ. Следовательно, можно сделать вывод, что для выполнения данных видов работ нет необходимости в свидетельстве о допуске и членстве в саморегулируемой организации.

Таким образом, еще до начала разработки ОТД проектировщик сталкивается с таким источником неопределенности, как нормативно-законодательная среда (правовая неопределенность).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации. М. : Юрайт-Издат, 2007. 96 с.
2. Методические рекомендации о порядке разработки проектов производства работ грузоподъемными машинами и технологических карт погрузочно-разгрузочных работ (РД-11-06—2007). Сер. 10. Вып. 72. М. : Науч.-техн. центр по безопасности в пром-сти, 2007. 236 с.
3. *Власов В.В.* К нарушителям — штрафные санкции // Вестник (строительство, архитектура, инфраструктура) : отраслевой журнал. 2008. № 2.
4. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

© Воронова С.О., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 69.057.47

И.Ю. Зильберова, О.В. Саар

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ НА ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Выявлены особенности организации и последовательности выполнения технологических процессов на различных линейно-протяженных объектах. Предложен алгоритм расчета и выбора эффективности взаимодействия комплектов машин и механизмов при разработке ПОС и ППР, а также в реальном производстве.

К л ю ч е в ы е с л о в а: линейно-протяженные объекты, комплекты машин и механизмов, проект организации строительства, проект производства работ.

In article features of the organization and sequence of performance of technological processes on various linearly-extended objects are revealed. The algorithm of calculation and a choice of interaction's efficiency of complete sets of cars and mechanisms is offered by working out of the project of the organization of building and the project of manufacture of works, and also use in real manufacture.

K e y w o r d s: linearly-extended object, complete sets of cars and mechanism, project of the organization of building, project of manufacture of works, choice of the technological decision, manufacture of works.

В настоящее время приоритетным направлением развития страны является реализация крупных национальных проектов в сферах образования, здравоохранения и обеспечения жильем. Для выполнения национального проекта «Доступное и комфортное жилье — гражданам России» в субъектах разрабатываются различные региональные и городские программы, направленные на повышение уровня комфортного проживания граждан.

На сегодняшний день в г. Ростове-на-Дону на ряду с программами, направленными на строительство и реконструкцию жилищного фонда, городской думой принята «Программа комплексного развития системы инженерной инфраструктуры г. Ростова-на-Дону 2006—2015 гг.». Разрабатываются и выполняются программы по капитальному строительству, ремонту и реконструкции магистральных трубопроводов, насосных станций, водопроводных сетей с использованием новейших материалов.

Основной целью программы является создание условий для снижения уровня износа коммунальной инфраструктуры и приведения ее в соответствие со стандартами качества, обеспечивающими комфортные условия проживания и улучшения экологической обстановки в городе.

В современных условиях региональные и городские программы строительства и реконструкции систем инженерной инфраструктуры характеризуются жесткими ресурсными ограничениями и большим количеством участников. В связи с этим особенно актуальными становятся вопросы организации и проектирования строительных процессов при производстве работ по инженерному оборудованию территории застройки. Недостаточно внимания уделяется разработке методик формирования и выбора комплектов машин при производстве работ на линейно-протяженных объектах. Решение этой задачи особенно актуально в сложившихся экономических условиях, так как эффективное внедрение оптимального варианта производства работ может

значительно увеличить экономию капиталовложений, если для выполнения механизированных работ использовать наиболее рациональные, максимально приспособленные для конкретных условий производства строительные машины. Поэтому необходимо решать задачи подбора комплектов машин, необходимых для выполнения как отдельных технологических операций, так и их комплексов. Разработка новых методов повышения эффективности организационно-технологического проектирования при производстве на линейно-протяженных объектах является актуальной проблемой и имеет научное и практическое значение [1].

Общая теория организационно-технологического проектирования рассматривалась в работах В.А. Устинова, Т.С. Одинцовой, Р. Радера и др., однако сегодня она не отражает в полной мере вопросы взаимосвязи организационно-технологических и управленческих систем. Нет четкого алгоритма выбора организационно-технологических решений при производстве работ на линейно-протяженных объектах [2].

Отсутствие четких решений предопределяет необходимость решения ряда логических задач для повышения эффективности и надежности организационно-технологического проектирования, например, разработки новых подходов, методов и алгоритмов при организационно-технологическом проектировании производства работ на линейно-протяженном объекте с целью стабилизации уровня надежности, сроков выполнения работ и ввода объектов в эксплуатацию.

Строительство подземных сооружений основывается на тех же принципах, что и строительство надземных, однако имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при разработке ПОС и ППР и непосредственно при осуществлении монтажных работ.

К основным особенностям относятся:

большая линейная протяженность;

обязательное наличие дополнительных технологических процессов, таких как испытание и наладка систем для сдачи в эксплуатацию;

зависимость плана выполнения работ от сторонних организаций, которые должны обеспечить подготовку к проведению работ;

одновременное выполнение работ на большом количестве объектов;

значительная территориальная разобщенность;

большое количество механизированных процессов [3].

Современное строительство невозможно без широкого применения машин и механизмов. Эффективность механизации определяется не только совершенством применяемых технических средств, но и рациональностью их подбора применительно к конкретным условиям.

В связи с этим, рассматривая весь технологический процесс устройства линейно-протяженных объектов, их необходимо разбить на основные, главные, обеспечивающие, вспомогательные и транспортные операции. В зависимости от способа технологии выполнения работ необходимо выбрать главные операции и для них подобрать основные машины и механизмы [1]. В соответствии с техническими характеристиками основных механизмов необходимо также выбрать вспомогательные машины и механизмы (рис. 1).



Рис. 1. Схема устройства линейно-протяженного объекта (трубопровода)

Наиболее трудоемкая операция, от выполнения которой зависит темп строительства, называется основной строительной операцией, а выполняющая ее машина — ведущей машиной. Все остальные строительные операции называются вспомогательными, а выполняющие их машины — комплектующими машинами.

Подбор машин и их количество зависят от конкретного вида работы, ее объема, условий выполнения и, естественно, от технических характеристик и производительности каждой машины. Сначала подбирается ведущая машина (или несколько таких машин), затем под нее подбираются комплектующие машины.

В предыдущие годы были разработаны получившие широкое практическое применение методики подбора машин и механизмов по их основным техническим характеристикам. В настоящее время требуются методики, позволяющие оценить производительность машин и механизмов при увеличении интенсивности производства и снижении затрат. Для решения этой задачи необходимо определить показатели, которые будут оценивать организационно-технологические решения на этапе проектирования схем производства работ линейно-протяженных объектов.

Рассмотрим методику оценки машин и механизмов, используемых только при производстве работ на линейно-протяженных объектах: трубоукладчик, бульдозер, экскаватор, автогрейдер, трубовоз и т.д.

С учетом всех особенностей производства работ при строительстве линейно-протяженных объектов разработан алгоритм выбора решения по эффективному комплектованию машин и механизмов [3].

Так как особенности технологии выполнения процессов при устройстве линейно-протяженных объектов определяются условиями производства простых, комплексных и сложных процессов, технику процессов можно описать с помощью основных технологических и временных оценок, участвующих в производстве средств труда (машины, оборудование) и взаимодействия их с предметами труда (материалы и элементы конструкций).

Эти условия предлагается оценивать группой показателей и коэффициентов: n_0 — единичный состав звена; r — рабочая зона, на которой располагается выполняемая продукция (определяется зоной работы одной захватки); r^1 — рабочая зона, необходимая единичному составу для работы (определяется зоной работы механизма); q_0 — величина, которая принимает значения соответствующие приведенной производительности разных машин и механизмов (для трубоукладчика — грузоподъемность и высота подъема груза, для экскаватора — емкость ковша); $t_{ц0}$ — время единичного состава звена; t_0 — время взаимодействия машины и элементов конструкций; l — общая длина наиболее короткого пути машины на захватке; l^1 — путь, на котором происходит взаимодействие машины и элементов конструкций; $v_{ср}$ — средняя скорость движения механизма; q_1 — приведенная производительность; $t_{ц1}$ — продолжительность процесса; η^1 — коэффициент, который определяет, насколько приведенная производительность соответствует требуемой производительности. Для любых вариантов коэффициент η^1 будет всегда находиться в пределах $0 < \eta^1 \leq 1$; η^1 — коэффициент, который зависит от продолжительности взаимодействия машины и элементов конструкций, пути взаимодействия машины и элементов конструкций, скорости движения механизмов; характеризует целесообразность использования данного механизма отдельно или в комплекте и находится в пределах: $\eta^1 \geq 1$; ρ — интенсивность производства, зависит от значения коэффициентов η^1 и η^1 ; изменение величины этого показателя приведет к значительному изменению стоимости производства.

Параметры продолжительности процесса, единичного состава звена и коэффициенты η^1 и η^1 позволяют определить единичный состав механизмов

для простых и комплексных процессов с общей сменной интенсивностью. Также эти параметры являются основой для разработки проектного решения по подбору механизмов (рис. 2).

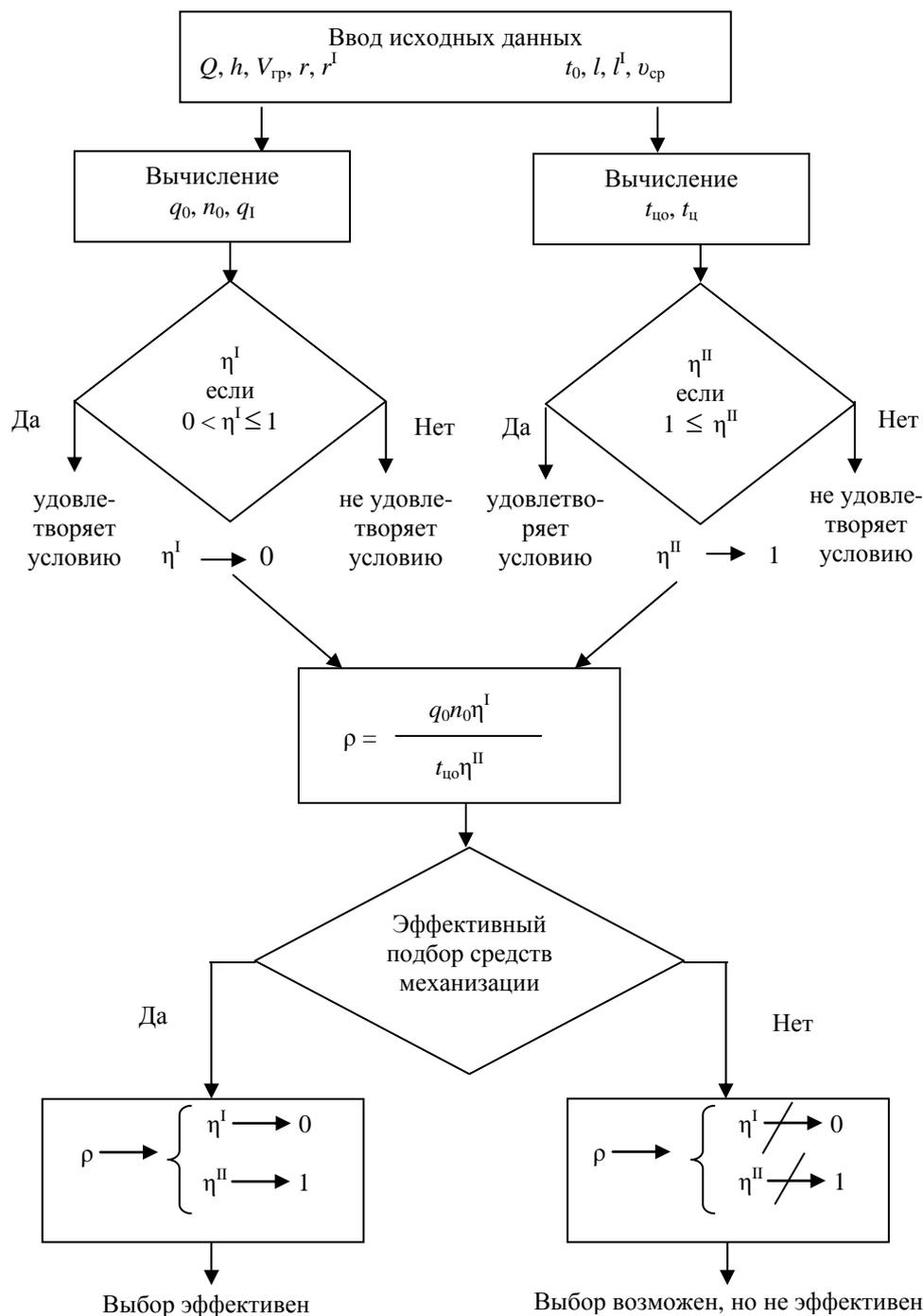


Рис. 2. Алгоритм эффективного выбора средств механизации при производстве работ на линейно-протяженных объектах

Таким образом, для осуществления оценки принятия организационно-технологических решений при производстве линейно-протяженных объектов на основе показателей производительности машин исходными данными являются: основные технические характеристики машин или механизмов, длина рабочей зоны, длина короткого пути механизма на захватке, путь, на котором происходит взаимодействие машины и элементов конструкций, средняя скорость движения машины [2].

Для того чтобы процесс выполнялся с заданной интенсивностью, вычисляем единичный состав звена и приведенную производительность механизма. Для определения целесообразности использования данного механизма отдельно или в комплекте вычисляем продолжительность взаимодействия машины и элементов конструкций и время движения без взаимодействия по наиболее короткому пути от начала до конца цикла.

Для наиболее эффективного комплектования машин и механизмов определяем показатель интенсивности производства, который зависит от коэффициентов η^I и η^{II} . Чем они более удовлетворяют условиям, тем целесообразность использования подобранных средств механизации эффективнее.

Результаты проверочного расчета, проведенного на основании данных по проектам, реализованным в г. Ростове-на-Дону и Ростовской области, показали, что данная методика позволяет осуществить оценку организационно-технологического решения на этапе проектирования. Полученные значения показателя интенсивности производства по анализируемым объектам говорят о том, что значения интенсивности производства превысили требуемые условия алгоритма, что привело к существенному замедлению срока строительства, уменьшению производительности и, как следствие, увеличению сметной стоимости строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костюченко В.В., Крюков К.М., Кудинов О.А. Менеджмент строительства. Ростов н/Д: Феникс, 2002. 448 с.
2. Костюченко В.В. Организационно-технологические строительные системы. Ростов н/Д : Феникс, 1994. 238 с.
3. Зиневич А.М., Прокофьев В.И. Технология и организация строительства магистральных трубопроводов больших диаметров. М. : Недра, 1979. С 421.

© Зильберова И.Ю., Саар О.В., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ,
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ
И ОСВЕЩЕНИЕ**

УДК 628.511.1:[621+691]

В.Н. Азаров, О.И. Бессараб, О.В. Кабаев

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЯ
МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ РАБОЧИХ ПОМЕЩЕНИЙ
ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ И СТРОЙИНДУСТРИИ**

Освещены вопросы выделения пыли в воздушную среду рабочих помещений на предприятиях машиностроения и стройиндустрии. Обоснована важность измерения скорости оседания для подбора вентиляционного оборудования в месте интенсивного образования пыли. Получены формулы, учитывающие зависимость между скоростью оседания частицы, ее диаметром и коэффициентом формы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мелкодисперсная пыль, вентиляция, скорость оседания, коэффициент формы.

Industrial processes in the enterprises of the building mechanical and industry engineering are accompanied by the significant emission of the dust in the air of working rooms. Rate of fall is one of the important characteristics for choosing the ventilating equipment in the place of the intensive dusting. We derived the formula taking into consideration the dependence between the rate of fall of the particle, its diameter and the coefficient of its form.

K e y w o r d s: finely divided dust, ventilation, rate of subsidence, form factor dust, air of working rooms.

Для определения стационарной скорости оседания шарообразных частиц, как правило, используется известная формула Стокса

$$U_s = \frac{g\rho_q(d_{95})^2}{18\nu}, \quad (1)$$

где d_{95} — диаметр, при котором частицы, составляющие 95 % от массы всей смеси, имеют меньший диаметр; g — ускорение силы тяжести; ρ_q — плотность частиц; ν — динамическая вязкость воздуха.

Формула (1) не применима для определения скорости оседания нешарообразных частиц, так как их форма имеет огромное влияние на величину силы сопротивления, а значит, и на скорость оседания частицы. Согласно Канкелю, скорость падения частицы неправильной формы всегда меньше, чем у сферической частицы эквивалентного веса; максимальное отклонение может достигать 50 %.

Кроме того, применение формулы (1) корректно только в условиях стоксовского сопротивления, т.е. при условии

$$\text{Re} = \frac{g\rho\rho_{\text{ч}}(d_{95})^3}{18\nu^2} < 0,1, \quad (2)$$

где ρ — плотность среды, в которой происходит осаждение.

В случае невыполнения условия (2) будет иметь место погрешность при вычислении скорости оседания частиц, причем ошибка при $\text{Re} = 0,1$ уже составляет около 1,7 % [1]. Определим скорость свободного падения частицы на примере минераловатной пыли.

Скорость свободного падения твердой частицы равна по величине скорости витания и противоположна ей по направлению в том случае, когда режим обтекания твердой частицы в потоке газа тот же, что и при падении твердой частицы в неподвижной среде. Поэтому задачу определения скорости оседания пыли, можно свести к определению скорости ее витания.

Основным условием, необходимым для нахождения частицы во взвешенном состоянии, а следовательно, для определения скорости витания, является равенство силы тяжести и аэродинамической силы [1, 2]:

$$mg = \xi f \rho_{\text{с}} \frac{|U|U}{2}, \quad (3)$$

где m — масса частицы, кг; ξ — коэффициент сопротивления частицы; $\rho_{\text{с}}$ — плотность среды, кг/м³; U — скорость оседания частицы, м/с; f — площадь миделевого сечения, м².

Площадь миделевого сечения падающей частицы будем вычислять через произведение площади миделевого сечения шарообразной частицы эквивалентного диаметра (диаметр шара объемом, равным объему рассматриваемой частички) и коэффициента формы $K_{\text{ф}} \in [0,1]$. Данный поправочный коэффициент введен Н.А. Фуксом и равен отношению сопротивления среды движению частицы неправильной формы и сферической частицы того же объема [1]. Н.А. Фукс определил значения этого коэффициента, согласующиеся с данными Канкеля, для эллипсоидов, цилиндров и других тел [1].

Однако для частиц более сложной формы определение динамического коэффициента формы является трудоемкой задачей. Трудности, возникающие при сопоставлении динамических и геометрических размеров частиц неправильной формы, могут быть преодолены путем замены реальных частиц близкими по форме эллипсоидами, динамические свойства которых известны. Если известны диаметры частицы: стоксовский d_s (т.е. диаметр шара с той же скоростью оседания), эквивалентный d_v (т.е. диаметр шара объемом, равным объему частицы) и проекционный d_p (т.е. диаметр круга площадью, равной площади проекции частицы), — то можно рассчитать размеры эквивалентного эллипсоида, а далее определить коэффициент формы, пользуясь следующей формулой [1]:

$$K_{\text{ф}} = \frac{(d_s)^2}{(d_v)^2}. \quad (4)$$

Заметим, что величины стоксовского (седиментационного) и эквивалентного диаметров различны и совпадают лишь в случае шарообразной частицы, причем различие возрастает по мере уменьшения коэффициента сферичности частицы, равного отношению поверхности шара объемом, равным объему данной частицы, к ее поверхности, поэтому в качестве коэффициента формы частицы представляется возможным использовать коэффициент ее сферичности. В реальных ситуациях определенный таким образом коэффициент сферичности вычислить трудно, поэтому при проведении расчетов коэффициент формы частицы мы вычисляли как отношение ее эквивалентного диаметра к максимальному, что более практично и дает незначительную погрешность в конечных результатах.

Коэффициент сопротивления частицы ξ в формуле (3) можно определить по формуле Г.Л. Барбуха и А.А. Шрайбера, которые предложили стандартную кривую аппроксимировать кусочными зависимостями вида

$$\xi = ARe^n. \quad (5)$$

Для случая $Re < 1$ $A = 25,6$, $n = 1$; для случая $1 \leq Re < 2$ $A = 26,3$, $n = 0,8$.

При $Re < 1$, после всех подстановок в формулу (3) получим

$$U^2 = 0,052 \frac{d\rho_{\text{ч}}gRe}{K_{\text{ф}}\rho_{\text{с}}}, \quad (6)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частицы, кг/м³.

Подставляя в (6) значение критерия Re , находим скорость оседания минераловатной пыли:

$$U = 0,052 \frac{\rho_{\text{ч}}g d^2}{\nu K_{\text{ф}}}, \quad (7)$$

где ν — динамическая вязкость среды, Па·с;

Введем коэффициент

$$B = 0,052 \frac{\rho_{\text{ч}}g}{\nu}. \quad (8)$$

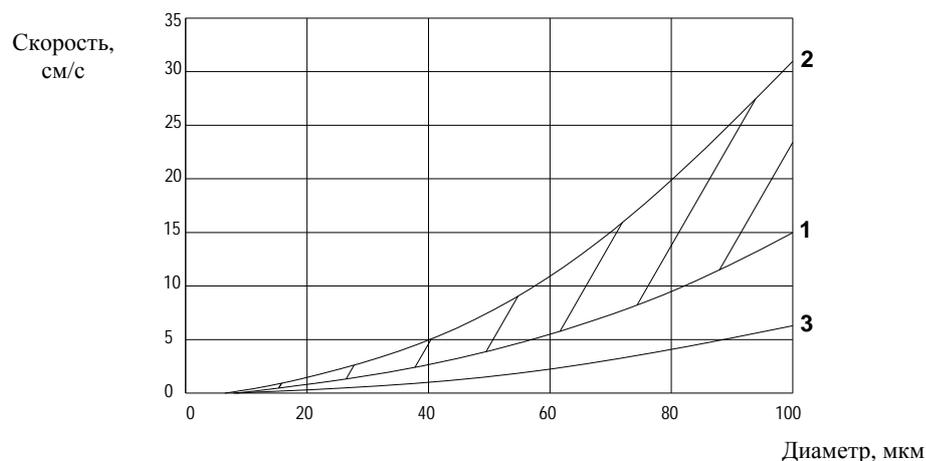
Тогда (7) можно переписать в виде

$$U = \frac{Bd^2}{K_{\text{ф}}}. \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что зависимость скорости оседания от диаметра — параболического типа.

На рисунке приведены графики зависимостей скорости осаждения частиц минераловатной пыли от диаметра при $K_{\text{ф}} = 0,71$ (кривая 1), $K_{\text{ф}} = 0,34$ (кривая 2), рассчитанных по формуле (1). Заштрихованная область дает представление о коридоре допустимых скоростей оседания пыли минераловатной, рассчитанных с учетом формы частиц.

Для сравнения построена зависимость скорости оседания круглой частицы от диаметра, рассчитанная по формуле Стокса. Сравнительный анализ представленных зависимостей показывает, что расчет по формуле Стокса, не учитывающей форму частицы, дает значительно более низкие результаты.



Зависимости скорости оседания частиц от диаметра: 1 — при $K_{\phi} = 0,71$; 2 — при $K_{\phi} = 0,34$; 3 — по формуле Стокса для шарообразной частицы

Полученное аналитическое выражение, учитывающее зависимость между скоростью оседания частиц, ее диаметром и коэффициентом формы, позволяет более эффективно подходить к выбору пылеулавливающего оборудования систем обеспыливающей вентиляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М. : Изв. АН СССР. 1957. 352 с.
2. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М. : Наука, 1981. 174 с.
3. Азаров В.Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.26.01, 03.00.16. Ростов н/Д, 2004. 47 с.
4. Балтернас П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов. М. : Стройиздат, 1991.

© Азаров В.Н., Бессараб О.И., Кабаев О.В., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 66.074.511

В.Г. Диденко, О.С. Власова

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТКИ ВЫБРОСОВ ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

Приведен анализ функциональных характеристик и условий эффективной работы газоочистного оборудования применительно к особенностям плазменной резки и сварки труб.

К л ю ч е в ы е с л о в а: газоочистка, выбросы, трубоэлектросварочный цех.

In this article there has been done analysis of functional characteristics and conditions of effective work of the clearing's gases equipment with reference to features plasma is given weldings of pipes are sharp also.

К e y w o r d s: clearing's gases, equipment, gas purification, electrowelding pipes of shops.

При плазменной резке и сварке металлов под воздействием высоких температур интенсивно образуются субмикронные аэродисперсные частицы, происходят термохимические превращения составляющих электродов и их покрытий, восстановление углекислого газа, окисление азота и т.д. В случае сварки (резки) покрытых консервантами либо краской конструкций в газовую фазу могут выделяться хлористый водород HCl, хлор Cl₂, фосген СОСl₂, четыреххлористый углерод ССl₄, трихлорэтилен ССl₂=СНСl, сернистый и серный ангидриды SO₂, SO₃, сероводород H₂S, фосфор Р₄, фосфорный ангидрид Р₅О₅, фосфин РН₃ и другие токсичные соединения.

На предприятиях трубоэлектросварочных производств основное применение нашли фильтры «сухой» очистки, которые обеспечивают эффективную очистку выбросов от твердодисперсных включений.

Однако фильтры «сухой» очистки малоэффективны применительно к нейтрализации выбросов установок плазменной резки и сварки в виду неоднородности — наличия газообразных примесей — в первую очередь оксидов азота и углерода.

Очистка от оксидов азота и других кислых газовых примесей наиболее эффективно реализуется в аппаратах «мокрой» очистки. При очистке выбросов трубоэлектросварочных производств они нашли применение в основном из-за надежной работы в условиях высоких температур и многокомпонентности выброса.

Для очистки вентиляционных выбросов ТЭСЦ в настоящее время преобладает использование «мокрых» пылеуловителей ударно-инерционного типа — ротоклонов различных конструкций.

Проведенные исследования показывают, что при увеличении доли мелкодисперсных частиц в очищаемых газах степень их очистки в ротоклонах падает. Кроме того, они малоэффективны для улавливания газовых примесей. Поэтому устройства этого вида нельзя рассматривать как удовлетворяющие условиям очистки газов, отводимых от установок плазменной резки металлов.

В рассматриваемых условиях более предпочтительны интенсивные пенные аппараты безрешеточного типа с самоорошением, фракционная эффективность которых для пылей разной плотности представлена на рис. 1.

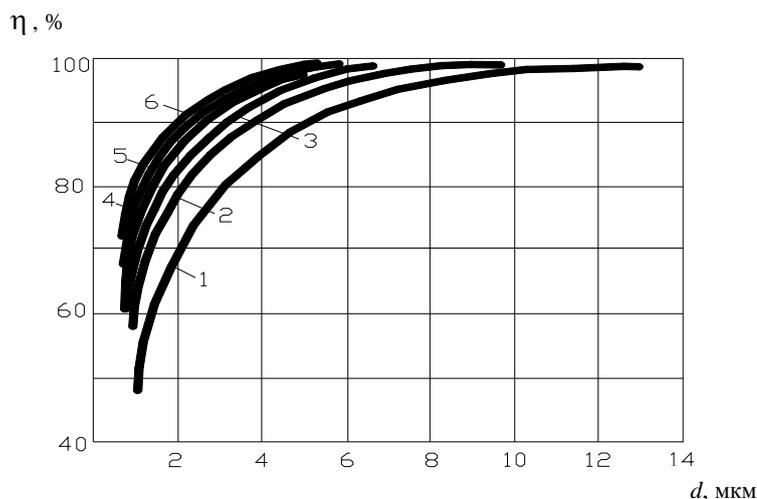


Рис. 1. Фракционная эффективность пенно-вихревого аппарата для пылей различной плотности: 1 — $\rho_t = 1000 \text{ кг/м}^3$; 2 — $\rho_t = 2000 \text{ кг/м}^3$; 3 — $\rho_t = 3000 \text{ кг/м}^3$; 4 — $\rho_t = 4000 \text{ кг/м}^3$; 5 — $\rho_t = 5000 \text{ кг/м}^3$; 6 — $\rho_t = 6000 \text{ кг/м}^3$

Из приведенных на рис. 1 данных следует, что в аппаратах этого вида удовлетворяющий эффект очистки дисперсной фазы сварочного аэрозоля ($\rho_{св} > \rho_t \approx 25 \text{ кг/м}^3$) может быть достигнут лишь для частиц размером более 3 мкм.

В то же время выполненные инпакторным методом исследования дисперсного состава выбросов установок плазменной резки и сварки труб показывают, что от 50 до 55 % частиц из дисперсной фазы имеют размеры менее 3 мкм. Из этого следует, что, как и аппараты ударно-инерционного действия (ротоклоны, ПВМ и др.), вихре-пенные аппараты будут малоэффективными для очистки таких выбросов. Кроме того, перечисленные типы аппаратов, предназначенные в основном для обеспыливания газов, обладают рядом технологических недостатков:

- ограничение скорости газа в зоне контакта, с увеличением которой режим перемешивания газа и жидкости становится неустойчивым и, как следствие, эффективность процесса очистки газов падает;

- соотношения геометрических размеров основных рабочих узлов выбраны, как правило, на основе экспериментальных исследований без оптимизации расчетной основы их конструкции применительно к очистке неоднородных выбросов;

- невозможность обеспечения расчетного режима очистки при изменении расхода газа через аппарат.

Из анализа режимно-технологических особенностей формирования выбросов трубоэлектросварочных производств была разработана модификация батарейного многофункционального вихреинжекционного пенного скруббера ВИПС для очистки газоздушных выбросов от средне- и мелкодисперсных пылей с начальной концентрацией до 10 г/м^3 и газообразных компонентов с начальной концентрацией до 1,5 % по объему.

Скрубберы ВИПС (рис. 2) представляют собой унифицированные блочные многокамерные модули, нормализованные по числу камер инжекторов и

типоразмерам в номенклатурный ряд с производительностью от 4 до 25 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ очищаемого газа. Унифицированная конструкция модулей скрубберов ВИПС позволяет компоновать из них соответствующие газоочистные установки производительностью до 150 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ очищаемого газа.

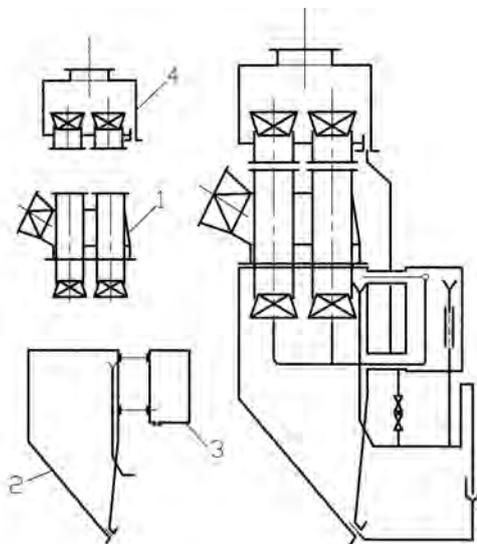


Рис. 2. Скруббер модификации ВИПС-МБ (многофункциональный батарейный): 1 — технологический блок; 2 — вспомогательный блок; 3 — контрольно-регулирующий блок; 4 — сепарационный блок

Процессы разделения (очистки) пылегазовоздушной смеси могут осуществляться по двухступенчатому циклу (с предварительным кондиционированием очищаемого потока) или одноциклично — с прямой подачей разделяемой смеси через закручиватели инжекторов в пенный слой. При высокой начальной запыленности ($C_n < 1 \text{ г}/\text{м}^3$) скрубберы данной модификации оснащаются устройством механизированного вывода уловленной пыли в виде увлажненной массы и периодической или непрерывной смены ЖТС (при $C_n < 1 \text{ г}/\text{м}^3$) в поддоне вспомогательного блока.

Технологическую основу конструкции и действия скрубберов ВИПС-БМ составляют отличительные признаки, защищенные АС № 1526773 ВОИД 47/02, патент № 1530223 ВОИД 47/02, патент № 1586784 ВОИД 45/12, патент № 4778087/26, патент № 1607870 ВОИД 47/00.

Степень очистки газовых примесей — до 99 % (по свойствам ЖТС).

По данным опытно-промышленных испытаний (рис. 3) газоочистная установка на основе скрубберов ВИПС-БМ обеспечивает эффективную очистку выбросов от установок плазменной резки и сварки соответственно до 98,2 и 97,8 %. Одновременно эффективность улавливания диоксидов азота и углерода при использовании поглотителя на основе трибутил фосфата составляла соответственно 90 и 96 %. Эти результаты позволяют рассматривать скрубберы ВИПС-БМ как наиболее перспективные газоочистные аппараты для очистки выбросов установок плазменной резки и сварки труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Очистка промышленных газов от пыли / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, И.К. Решидов. М. : Химия, 1981. 392 с.: ил.
2. Диденко В.Г. Повышение функциональных возможностей аппаратов мокрой газоочистки на основе унификации структурных схем // Человек, труд, экология : Всесоюз. конф. Волгоград, 1990. С. 75—77.
3. Диденко В.Г. Вопросы классификации при совершенствовании аппаратов мокрой пылегазоочистки // Повышение энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха : тез. докл. науч.-практ. конф., 17—18 сент. 1986 г. Волгоград, 1986. С. 53—56.

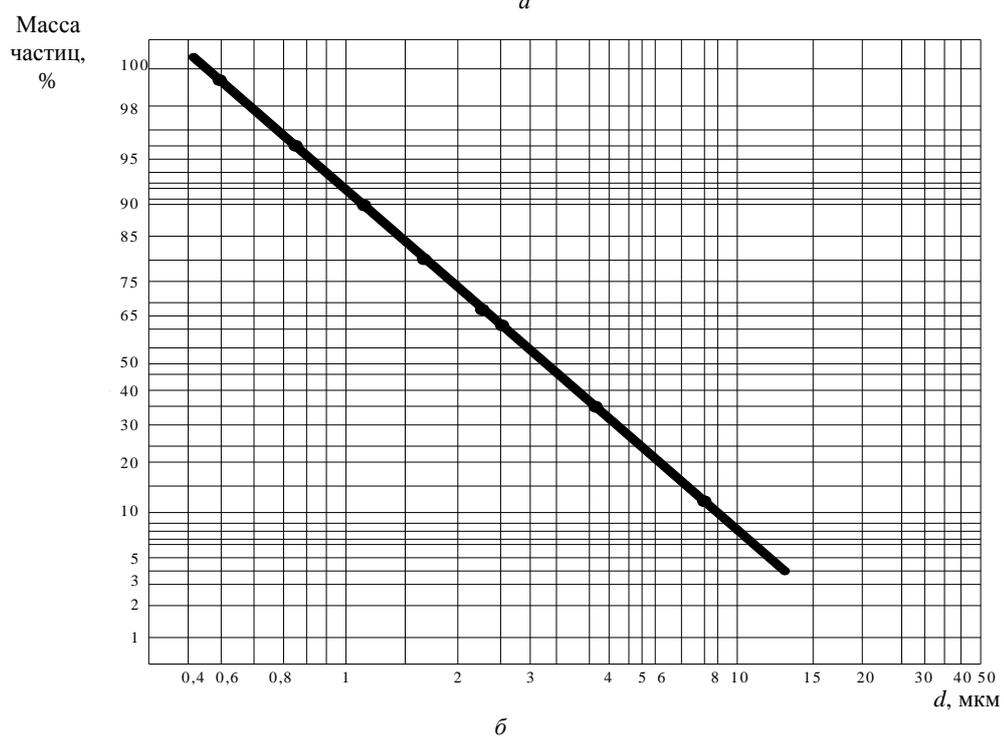
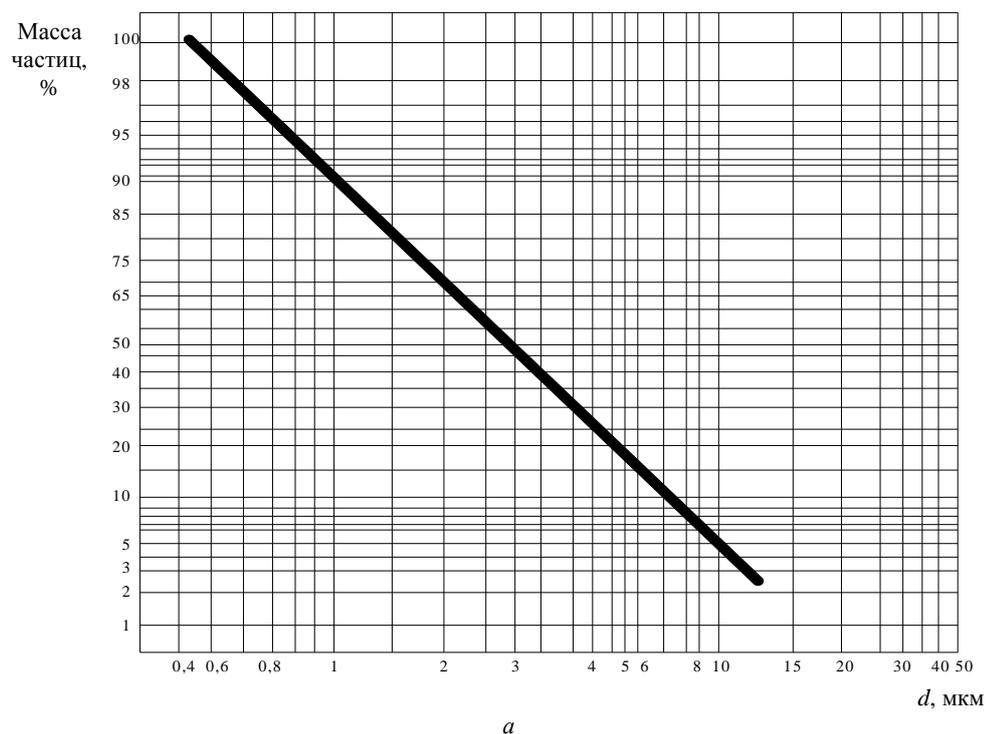


Рис. 3. Дисперсный состав аэрозольных частиц в выбросах установок плазменной резки (а) и сварки (б) труб

© Диденко В.Г., Власова О.С., 2009

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

УДК 621.3.01

Л.Р. Куш

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРАЛИЗАТОРА ТОКСИЧНЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗОГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Приведены результаты лабораторных экспериментов по определению геометрических параметров и эффективности работы устройства для снижения токсичных продуктов сгорания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: корпускулярное легирование, нейтрализатор токсичных продуктов сгорания, гетерогенный катализ, радиус Дебая, газогорелочные устройства.

Laboratory experiments to determine the geometric parameters and the effectiveness of the neutralizer of toxic combustion products are conducted.

K e y w o r d s: corpuscular doping, neutralizer of toxic products of combustion, heterogeneous catalysis, the Debye radius, gas burner units boilers.

Развитие энергетики и промышленности неизбежно сопровождается увеличением потребления топлива и ростом количества образующихся токсических веществ. Поступление в атмосферный воздух в огромных объемах продуктов сгорания топлива от котлов, промышленных печей, а также отработанных газов автомобилей изменяет его состав, часто приближая концентрации токсических веществ к опасным по биологическому действию на человека, животных и растения.

Оксиды азота являются основным видом вредных выбросов при сжигании газообразного топлива. Их содержание определяет токсичность продуктов сгорания природного газа на 90...95 % [1]. Одним из главных источников техногенных выбросов оксидов азота в атмосферу является теплоэнергетика, поэтому уже в конце 1980-х гг. проблема снижения концентрации NO_x в уходящих газах теплоэнергетических станций была выдвинута в нашей стране на уровень национальной программы. Практика показывает, что решение этой проблемы ни с помощью технологических (топочных) мероприятий, ни на основе различных технологий очистки дымовых газов не обеспечивает необходимого уровня снижения оксидов азота [2].

Одним из способов подавления оксидов азота при сжигании газозоодушных смесей газогорелочными устройствами в котельных установках является применение специального устройства — нейтрализатора токсичных продуктов сгорания (НТПС), работа которого основана на закономерностях гетерогенного катализа. Каталитический слой НТПС получен перспективным технологическим приемом — методом корпускулярного легирования [3, 4].

Методы исследования НТПС включали анализ и обобщение исследований в имеющихся литературных источниках, математическое и физическое моделирование, обработку результатов эксперимента и их сопоставление с результатами теоретических исследований.

В лабораторных условиях были проведены эксперименты по обоснованию геометрических параметров и эффективности использования НТПС. Исследования проводились на лабораторной установке, состоящей из бытовой

газовой горелки, дымовой трубы и НТПС, выполненного в виде сетки, поверхность которой подвергалась корпускулярному легированию ионами и нейтралями нитрида молибдена (рис. 1).

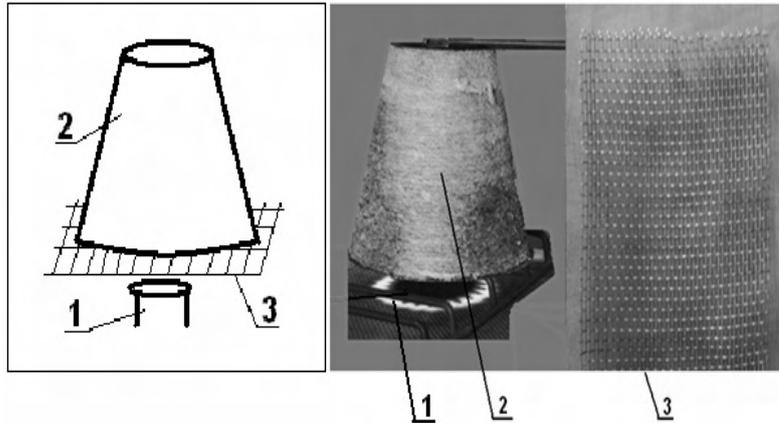


Рис. 1. Схема и внешний вид экспериментальной установки исследования нейтрализатора токсичных продуктов сгорания: 1 — газовая горелка; 2 — дымовая труба; 3 — нейтрализатор

Для оценки геометрических параметров ячейки нейтрализатора, обеспечивающих свободный проход пламени сквозь НТПС, применен радиус Дебая r_D , см, — расстояние, на котором кулоновское поле любого заряда плазмы экранируется окружающими его зарядами противоположного знака:

$$r_D = \sqrt{\frac{kT}{4\pi n e^2}},$$

где k — постоянная Больцмана, Дж/К; T — температура газовой среды, К; n — концентрация зарядов, $1/\text{см}^3$; e — единица заряда, Кл.

Изменение радиуса экранирования в зависимости от концентрации зарядов показано на рис. 2.

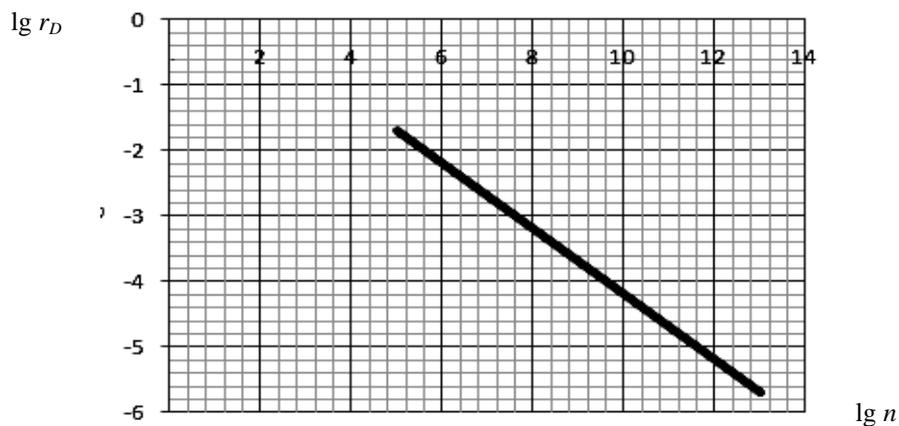


Рис. 2. Зависимость радиуса экранирования от концентрации зарядов в газе

Согласно проведенным расчетам практические размеры ячеек нейтрализатора не будут препятствовать прохождению пламени через него, так как для слабоионизированной плазмы, к которой относится пламя, радиус экранирования составил сотые доли сантиметра.

В процессе эксперимента исследовались НТПС с различными площадями ячеек. Результаты исследований приведены в таблице.

Технические характеристики дымовых газов газогорелочного устройства в зависимости от площади ячеек НТПС

Режим работы	Площадь ячеек, мм ²	Монооксид азота NO, ppm	Монооксид углерода CO, ppm	Двуокись углерода CO ₂ , %	Кислород O ₂ , %	Температура T, °C
С нейтрализатором	4	16	7	3,3	1,2	396,5
	10	18	7	4	13,9	430
	25	21	4	3,8	14,3	553
Без нейтрализатора	—	28	3	4	13,9	621,5

На рис. 3 приведены зависимости параметров дымовых газов при различных значениях площади ячеек нейтрализатора.

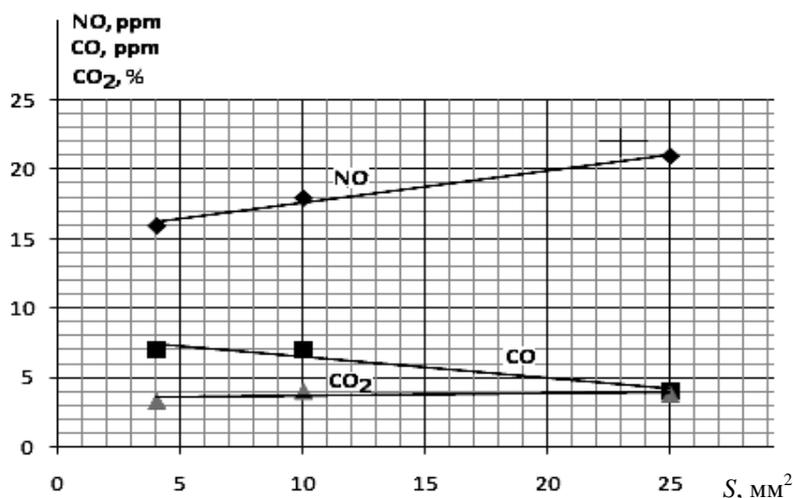


Рис. 3. Зависимости параметров оксидов азота и углерода дымовых газов газогорелочного устройства от площади ячеек нейтрализатора

Сравнение режимов работы газовой горелки (табл.) позволяет сделать вывод о том, что присутствие нейтрализатора токсичных выбросов улучшает показатели дымовых газов по содержанию в них оксидов азота на 20 % и более. Чем меньше сечение ячейки нейтрализатора, тем содержание NO_x ниже, что можно объяснить большей поверхностью соприкосновения газовой смеси с каталитической поверхностью.

Для уточнения месторасположения НТПС рассматривались два варианта размещения: в начале зоны горения факела при $l = 0,5d$ (d — диаметр газовой насадки) и на расстоянии $l = 2d$.

На рис. 4 показаны результаты эксперимента по содержанию оксидов азота дымовых газов. Из графика видно, что в зоне основного горения при $l > 0,5d$ значительно возрастает содержание оксидов азота, так как каталитические реакции проявляются в начальной зоне пламени, т.е. ближе к корню факела, а в центре факела происходит выгорание основного количества топлива.

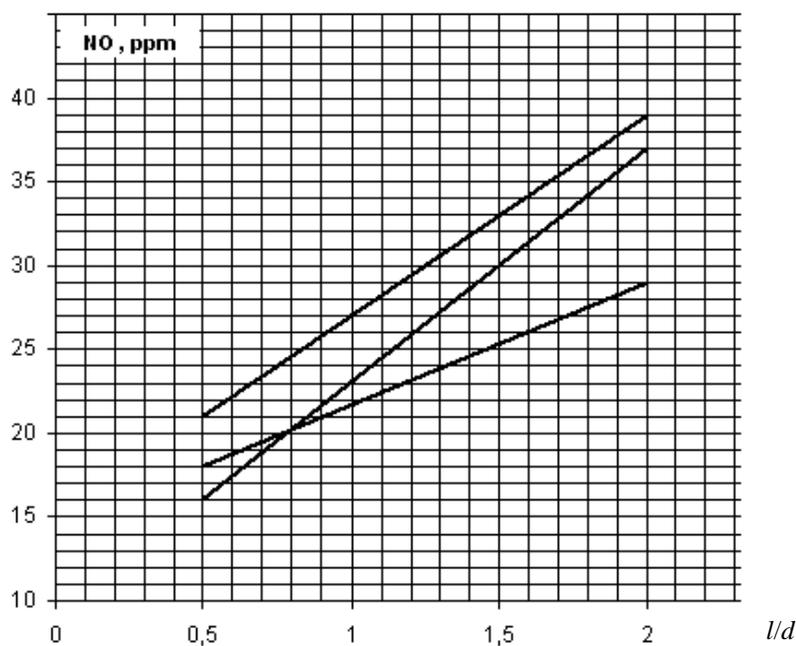


Рис. 4. Зависимости параметров оксидов азота дымовых газов газогорелочного устройства от расстояния между насадком газовой горелки и нейтрализатором для разных сечений ячеек: 1...4, 2...10, 3...25

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о том, что предложенный нейтрализатор токсичных продуктов сгорания, предназначенный для газогорелочных устройств котельных установок, обеспечивает снижение выбросов оксидов азота при сжигании газообразного топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива Л. : Недра, 1988. 311 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 3. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 1024 с.
3. Куц Л.Р., Злобин В.Н., Фокин В.М. Применение корпускулярного легирования в теплогенерирующих установках / Инновации в науке и образовании — 2008 : материалы VI Юбилейной междунар. науч. конф., 21—23 октября 2008 г. Калининград : Изд-во КГТУ, 2008. С. 209—211.
4. Пат. № 2009105011/22 (006667). Рос. Федерация : МПК F 23 Д 14/12 Газовая горелка / В.Н. Злобин, Л.Р. Куц, В.М. Фокин; заявл. 12.02.2009 ; опубл. 11.03.2009. 3 с.

© Куц Л.Р., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 697.942.2:536.24.02

А.Г. Аверкин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КОНТАКТНОМ АППАРАТЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОЗДУХА ВОДОЙ

Предложена модифицированная методика определения площади поверхности тепломассопереноса в контактном аппарате на основе числа единиц переноса. Число единиц переноса определяют для оценки как теплового, так и массообменного процесса на основе метода графического интегрирования с применением *I-d*-диаграммы влажного воздуха.

К л ю ч е в ы е с л о в а: тепломассоперенос, контактный аппарат, графическое интегрирование.

A modified method for determining the surface area heat and mass transfer in the contact device based on the number of transfer units. The number of transfer units are defined to assess the heat and mass transfer processes based on the method graphic diffraction integration with the use of *I-d*-diagram of humid air.

K e y w o r d s: heat and mass transfer, contact apparatus, graphic diffraction integration.

Контактные аппараты для тепловлажностной обработки воздуха водой широко применяются в различных отраслях промышленности, в частности в системах санитарной очистки воздушных выбросов, в системах кондиционирования воздуха (СКВ) при создании микроклимата помещений различного назначения и др.

В СКВ контактные аппараты конструктивно выполняют в виде камер форсуночного распыления, сотового орошения [1]. В них воздушный поток непосредственно контактирует с водой. Контакт обеспечивают путем распыления воды с помощью механических форсунок, применения орошаемой насадки (листовой, кольцевой и др.). В результате тепломассообмена воздух при этом может или увлажняться и охлаждаться, или осушаться и охлаждаться.

Использование для расчета типового оборудования базовых уравнений тепломассообмена в большинстве случаев затруднено из-за невозможности прямого определения величины поверхности тепломассопереноса.

Оценка эффективности работы и теплотехнический расчет камер форсуночного распыления и других контактных аппаратов осуществляются с применением коэффициентов эффективности и основаны на графических построениях процесса тепловлажностной обработки воздушного потока на *I-d*-диаграмме влажного воздуха [1, 2].

Коэффициенты эффективности, характеризующие отношение теплообмена в реальном процессе к максимально возможному теплообмену при различной ориентации идеальных процессов, не были получены в результате какого-либо математического вывода или анализа [2].

Метод оценки эффективности работы форсуночных камер при обработке экспериментальных данных с помощью чисел единиц переноса явной теплоты NTU_d и полной теплоты NTU был предложен Е.В. Стефановым [2, 3]. Эти показатели широко применяются для расчетов процессов и аппаратов химической технологии как за рубежом [4], так и в нашей стране [5].

Метод числа единиц переноса позволяет оценить действительную эффективность тепловых и массообменных процессов, объективно сравнить разные по конструкции аппараты и производить их расчеты, когда неизвестна истинная поверхность тепло- и массообмена.

В отечественной литературе для показателя числа единиц переноса принято буквенное обозначение N или n [5]. Нами будут применяться символы: N_t — для обозначения числа единиц переноса полной теплоты, символ n_t — числа единиц переноса явной теплоты, n_m — числа единиц переноса массы.

В [2, 3] показано

$$n_t = \frac{\alpha F}{cG} = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t_p}; \quad (1)$$

$$N_t = \frac{\beta_c F}{G} = \frac{I_1 - I_2}{\Delta I_p}; \quad (2)$$

$$n_m = \frac{\beta_d F}{G} = \frac{d_1 - d_2}{\Delta d_p}; \quad (3)$$

$$n_m = \frac{\beta_p P_6 F}{0,622G} = \frac{P_1 - P_2}{\Delta P_p}, \quad (4)$$

где α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); β_c , β_d , β_p — коэффициенты массоотдачи, отнесенные соответственно к разности концентраций, влагосодержаний и парциальных давлений, кг/м² (ед. дв. силы); F — поверхность тепло- и массообмена, м²; G — расход воздуха, кг/с; c — теплоемкость влажного воздуха, Дж/(кг·К); t , I , d и P — температура, °С, энтальпия, кДж/кг, влагосодержание воздуха, г/кг, и парциальное давление водяных паров, кПа, соответственно (индекс 1 отвечает начальному состоянию, индекс 2 — конечному состоянию воздуха); Δt_p — средняя разность температур между воздухом и водой (движущая сила процесса), °С; ΔI_p — средняя разность энтальпий между воздухом и водой (движущая сила процесса), кДж/кг; Δd_p — средняя разность влагосодержаний между воздухом и водой (движущая сила процесса), г/кг; ΔP_p — средняя разность парциальных давлений водяных паров у поверхности водной фазы и в воздухе, кПа; P_6 — барометрическое давление, кПа.

Для оценки отклонения реального процесса от идеального Е.В. Стефанов ввел критерий совершенства процесса [3]:

$$\xi = \frac{n_t}{N_t} = \frac{\alpha}{\sigma c}. \quad (5)$$

Очевидно, метод оценки эффективности работы контактных аппаратов для тепловлажностной обработки воздуха с помощью чисел единиц переноса можно использовать также для их конструктивного и поверочного расчета.

Для определения числа единиц переноса могут быть применены графические методы, разработанные для расчета массообменных процессов, в частности метод графического интегрирования [5], включающий следующие стадии:

1) построение рабочей и равновесной линий процесса в соответствующей системе координат. В качестве системы координат предлагается исполь-

зовать I - d -диаграмму влажного воздуха. Для контактных аппаратов графическими построениями на I - d -диаграмме являются кривая насыщенного воздуха $\varphi = 100\%$ (равновесная линия); прямая линия процесса, характеризующая тепловлажностную обработку воздуха (рабочая линия);

2) построение графической зависимости $\frac{1}{Y - Y^*} = f(Y)$ на основе рабочей и равновесной линий процесса. Здесь Y и Y^* — рабочие и равновесные параметры, характеризующие состояние воздушного потока при тепловлажностной обработке воздуха, соответственно.

В качестве данных параметров могут быть приняты температура (для оценки теплообмена) или парциальное давление водяного пара, влагосодержание (для оценки массообменного процесса);

3) определение числа единиц переноса n_t или n_p по уравнению

$$n_t = \int_{t_B}^{t_O} \frac{dt}{t - t^*} = f m_1 m_2; \quad (6)$$

$$n_p = \int_{p_B}^{p_O} \frac{dp}{p - p^*} = f m_1 m_2, \quad (7)$$

где t и t^* — рабочая (текущая) и равновесная температура воздуха, соответственно, °С (рис. 1); p и p^* — рабочее (текущее) и равновесное парциальное давление водяных паров в воздушном потоке, соответственно, кПа; f — площадь криволинейной трапеции в принятых величинах (рис. 2); m_1 и m_2 — масштаб измеряемых величин по оси абсцисс и ординат.

Ниже приведены графические построения на I - d -диаграмме влажного воздуха (рис. 1), графические зависимости к определению числа единиц переноса (рис. 2) в соответствии с приведенными рекомендациями.

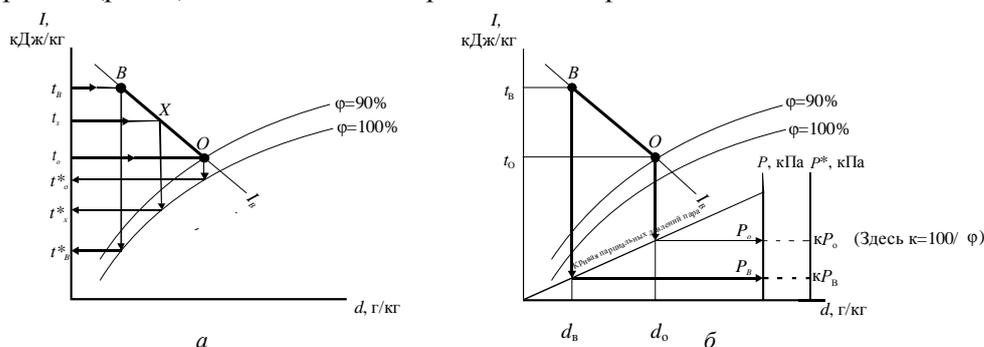


Рис. 1. Определение равновесных характеристик при тепловлажностной обработке воздуха в режиме адиабатического увлажнения воздуха: а — определение равновесных температур t^* ; б — определение равновесных парциальных давлений p^*

В качестве базового варианта на рис. 1 приведено построение адиабатического (изоэнтальпийного) процесса охлаждения и увлажнения воздуха в виде прямой BO .

Точка B характеризует начальное состояние воздуха на входе в контактный аппарат, точка O отвечает конечному состоянию воздуха на выходе из аппарата.

Здесь же (рис. 1, *a*) схематично в виде стрелок показано определение равновесных значений температуры для точек *B*, *O* и для промежуточных *X*-точек; определение рабочих и равновесных им парциальных давлений водяных паров приведено на рис. 1, *б*.

На основе этих данных построены графические зависимости, представленные на рис. 2.

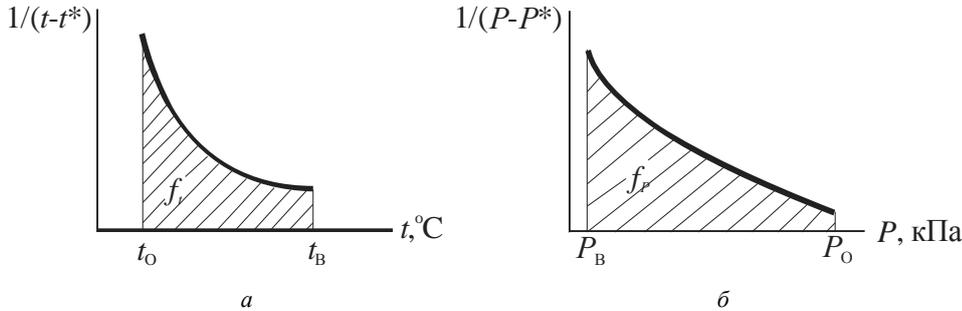


Рис. 2. Графические зависимости к определению числа единиц переноса: *a* — зависимость $1/(t-t^*) = f(t)$; *б* — зависимость $1/(P-P^*) = f(P)$

Определение кинетических коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи в уравнениях (1)—(4) осуществляется на основе теории подобия с применением тепловых и диффузионных критериев подобия [5].

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{l}; \tag{8}$$

$$\beta = Nu^* \frac{D}{l}, \tag{9}$$

где *l* — определяющий линейный размер, м; λ — коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К); *D* — коэффициент диффузии водяных паров в воздухе, м²/с; Nu, Nu* — критерии Нуссельта для теплового и диффузионного (массообменного) процесса соответственно.

Критерии Нуссельта определяют по критериальным уравнениям, приведенным в [3—6]. Например, если тепло- и массообмен происходит с поверхности капля, в условиях вынужденной конвекции, применимы уравнения (при Re = 1...220)

$$Nu = 2 + 1,07Re^{0,48}Pr^{0,33}Gu^{0,175}; \tag{10}$$

$$Nu^* = 2 + 0,85Re^{0,52}(Pr^*)^{0,33}Gu^{0,135}, \tag{11}$$

где Re — критерий Рейнольдса; Pr, Pr* — критерий Прандтля, тепловой и диффузионный соответственно; Gu — критерий Гухмана.

Требуемая поверхность теплообмена в контактном аппарате, отвечающая отрезку *BO* (см. рис. 1), в соответствии с уравнением (1) равна

$$F = \frac{Gcn_t}{\alpha}. \tag{12}$$

Требуемая поверхность массообмена для рассматриваемого процесса на основе уравнения (4):

$$F = \frac{0,622Gn_m}{\beta_p P_6}. \quad (13)$$

Для полной оценки тепло- и массопереноса в аппаратах СКВ Е.В. Стефанов ввел понятие о совершенстве процесса [2]:

$$\xi = \frac{n_t}{n_m}. \quad (14)$$

Процесс тепло- и массообмена в аппарате считается совершенным, если $\xi = 1$. Отмечается [3], что на практике встречаются случаи, когда $\xi \neq 1$. Такие случаи возникают при различии площадей поверхности тепло- и массообмена. Приведенная методика дополнительно позволяет проводить анализ подобных ситуаций.

Выводы. Усовершенствована методика по определению площади поверхности тепло- и массообмена в контактных аппаратах СКВ на основе применения числа единиц переноса при поверочных и конструктивных расчетах. Определение числа единиц переноса осуществляется методом графического интегрирования, необходимые графические построения и расчеты предлагается производить на основе *I-d*-диаграммы влажного воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокорин О.Я., Дерипасов А.М. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха : каталог. М. : ИКФ «Каталог», 2002. 91 с.
2. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. СПб : АВОК Северо-Запад, 2005. 400 с.
3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч. 1. Теоретические основы создания микроклимата здания / В.И. Полушкин, О.Н. Русак, С.И. Бурцев и др. СПб : Профессия, 2002. 160 с.
4. Кейс В.И., Лондон А.Л. Компактные теплообменники пер. с англ. М. : Энергия, 1967. 222 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М. : Химия, 1971. 784 с.
6. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. М. : Высшая школа, 1971. 460 с.

© Аверкин А.Г., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 624.138.9

А.Б. Пономарев, А.В. Захаров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Освещена проблема использования геотермальной энергии грунтов для отопления и кондиционирования зданий на примере зарубежных стран. Приведены результаты исследовательских работ по использованию данной технологии в гидрогеологических и климатических условиях г. Перми.

К л ю ч е в ы е с л о в а: геотермальная энергия грунта, тепловая энергия грунта, энергетические фундаменты.

Survey on use of geothermal energy of soils for heating and air-conditioning of buildings on an instance of foreign countries is presented. Results of exploratory works on use of the given production engineering in hydro-geological and environmental conditions of Perm.

К e y w o r d s: geothermal energy of a ground, ground thermal energy, the power bases.

Геотермальная энергия или тепловая энергия грунта всегда вызывала особый интерес у человечества. Над проблемой ее использования работали многие ученые. Первый прорыв в этой области был совершен еще в 1855 г., когда был изобретен тепловой насос, позволяющий использовать тепловую энергию грунта.

Однако широкое применение геотермальных систем пришлось только на 80-е гг. прошлого века. Основным стимулом массового использования послужило, прежде всего, набирающее силу экологическое движение в развитых странах Европы и Северной Америки, которое способствовало развитию применения альтернативных экологически чистых источников энергии. Безусловно, не последним фактором были и далеко недешевые традиционные энергоносители.

В настоящее время большинство частных домов в таких странах, как Австрия, Швеция, Канада, строятся с применением этих систем. Для примера: только в Австрии возведено более 100 000 малоэтажных зданий и коттеджей с использованием геотермальной энергии для отопления и кондиционирования.

В России геотермальные системы в свое время не нашли применения, возможно, по причине того, что наша страна обладает значительным запасом нефти и газа; возможно, из-за отсутствия на тот момент грамотной экологической политики государства. В настоящее время внедрение этой технологии в России тормозит, с нашей точки зрения, отсутствие фундаментальных исследований вопроса ее применимости в геологических и климатических условиях нашей страны.

Несколько слов о назначении и преимуществах геотермальных систем. Надо понимать, что хотя геотермальные системы и относят к альтернативным источникам энергии, их не используют для получения электроэнергии в чистом виде, как например, системы, основанные на солнечной энергии или энергии ветра. Использование тепловой энергии в этих целях нерентабельно: исследования показали, что коэффициент полезного действия составляет ме-

нее 10 %. Зато при ее использовании в целях отопления или охлаждения (кондиционирования) зданий можно добиться снижения эксплуатационных затрат на 30...60 %, в зависимости от климатических и геологических условий местности.

Помимо того, что геотермальная энергия — экологически чистый и возобновляемый источник, несомненное преимущество таких систем по сравнению с другими альтернативными видами энергии заключается в том, что они независимы от погодных условий.

Современные геотермальные системы для отопления или кондиционирования здания состоят из трех основных частей: системы трубопроводов, погруженных в грунтовый массив, или контактирующих с грунтом (первичный контур); системы трубопроводов, предназначенных для отопления или кондиционирования (вторичный контур); теплового насоса, объединяющего эти системы трубопроводов.

Первичный контур служит для получения тепловой энергии грунта и располагается, как правило, в теле энергетических фундаментов или других подземных сооружений. В качестве энергетических фундаментов могут использоваться сваи, фундаментные плиты, «стена в грунте», диафрагмы, стены подземных этажей и другие конструкции, контактирующие с грунтом. Существуют примеры использования стен (оболочки) метрополитенов в качестве термоактивных подземных элементов.

Вторичным контуром является замкнутая система отопления здания, которая может существенно не отличаться от привычных для нас систем. В качестве теплоносителя может использоваться вода, антифриз или их смесь.

Функции теплового насоса заключаются лишь в том, чтобы повысить температуру теплоносителя из первичного контура, которая составляет, как правило, 5...15 °С до необходимой — в пределах 30...50 °С. Принцип работы теплового насоса похож на принцип работы холодильной установки: он понижает температуру теплоносителя из грунта и передает полученное тепло теплоносителю в системе отопления (при кондиционировании — наоборот).

Безусловно, стоимость самой геотермальной системы и ее монтажа накладывает свой отпечаток на общую стоимость здания. Период окупаемости такой системы составляет порядка 10 лет. Однако эти системы довольно интенсивно используются во многих странах, особенно в частном домостроении, поскольку при длительной эксплуатации возможно добиться снижения затрат на отопление и кондиционирование на 30...60 %, при этом система требует минимального эксплуатационного обслуживания.

В настоящее время сотрудниками кафедры строительного производства Пермского государственного технического университета ведутся исследования этого вопроса с целью разработки практических рекомендаций по применению данной технологии. Основной задачей проводимых исследований является количественная оценка тепловой энергии, которую можно получать в климатических и гидрогеологических условиях Пермского края.

Для этих целей выбрана экспериментальная площадка в г. Перми, проведены инженерно-геологические изыскания, ведется мониторинг температуры и уровня грунтовых вод в грунтовом массиве.

Согласно проведенным инженерно-геологическим изысканиям, экспериментальная площадка сложена четвертичными аллювиально-делювиальными

глинистыми грунтами в подошве с галькой до 60...70 % общей толщиной 11,6 м, перекрытыми толщей насыпных грунтов толщиной 6,0. Коренными породами являются аргиллиты, вскрытые на глубине 17,6 м.

Насыпные грунты представлены суглинком от тугопластичного до мягкопластичного в основании с примесью до 60...70 % строительного мусора (щебень, битый кирпич, стекло, дерево).

Четвертичные аллювиально-делювиальные отложения представлены в основном глиной от твердой до тугопластичной, подстилаемой галечниковым грунтом с заполнителем твердой супесью (гравия и гальки до 60...70 %).

При изысканиях подземные воды встречены на глубинах 6,5 и 16,0 м.

В настоящий момент проводится натурный эксперимент по изучению распределения температуры в грунте по глубине.

Мониторинг распределения температуры в грунте проводится путем установки термопреобразователей сопротивления (датчиков температуры) в грунтовом массиве.

Для определения границ исследования колебаний температуры в грунтовом массиве по глубине проведен анализ существующих исследовательских работ, который показал, что температура грунта стабильна начиная с глубины 10...15,0 м.

При определении границ исследования также учитывались инженерно-геологические условия Пермского края, а именно: глубина залегания коренных пород — аргиллитов — составляет, как правило, 15...20 м от уровня поверхности, соответственно, отметка подошвы фундаментов зданий и сооружений располагается не ниже этого диапазона глубин.

На основании проведенного анализа граница исследования распределения температуры в грунтовом массиве принята 20 м. Шаг установки термопреобразователей сопротивления для обеспечения достаточной точности построения графика распределения температур по глубине принят 1,0 м.

К настоящему моменту получены данные мониторинга распределения температуры в грунтовом массиве за период с октября 2008 г. по сентябрь 2009 г., которые приведены на диаграмме (рис. 1).

Анализ результатов мониторинга распределения температуры в грунтовом массиве показал, что колебания температуры в нем начиная с глубины 6,0 м незначительны. Максимальное отклонение от средней температуры не превышает 0,75 °С. Температура грунтового массива начиная с глубины 6,0 м составляет от 13 до 10 °С, постепенно уменьшаясь с глубиной, причем до глубины 12,0 м — 12, с 10 до 16 м — 11, с глубины 16 м — 10 °С.

Также в настоящий момент ведется мониторинг верхнего горизонта грунтовых вод. Получены данные за период с октября 2008 г. по сентябрь 2009 г. (рис. 2).

По результатам мониторинга УГВ установлено, что средний уровень грунтовых вод составляет –2,53 м, при этом минимальный — в зимний период. Колебания УГВ во времени незначительны, максимальный перепад составляет 0,62 м.

В дальнейшем планируется провести численное моделирование для определения количественных характеристик получаемой тепловой энергии. Для этих целей планируется применить программный комплекс GeoStudio.

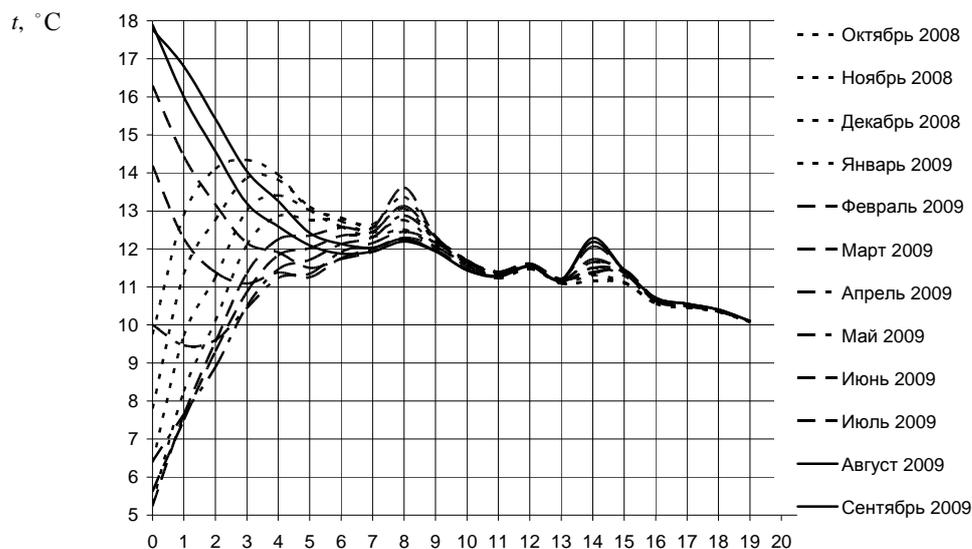


Рис. 1. Диаграмма распределения температуры в грунтовом массиве по глубине

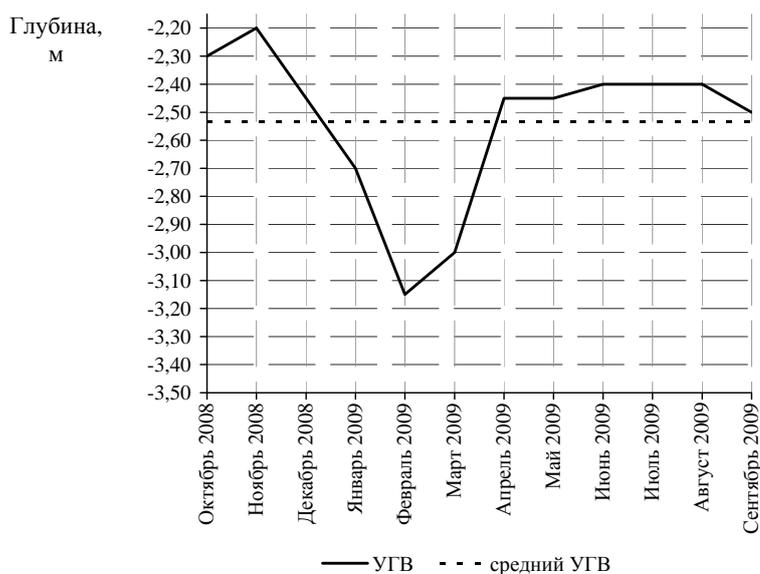


Рис. 2. Диаграмма изменения уровня грунтовых вод

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пономарев А.Б., Захаров А.В. К вопросу о постановке экспериментов по использованию геотермальной энергии грунтов оснований // Актуальные научно-технические проблемы современной геотехники : межвуз. тематич. сб. тр. Т. 1. СПб, 2009.

2. Захаров А.В. Результаты мониторинга распределения температуры в грунтовом массиве // Современные технологии в строительстве. Теория и практика : материалы науч.-практ. конф. аспирантов, молодых ученых и студентов строит. ф-та. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2009.

© Пономарев А.Б., Захаров А.В., 2010

Поступила в редакцию
21.01.10

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.35.52

А.А. Сизов, Н.С. Серпокрылов

НАДЕЖНОСТЬ ОЧИСТКИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД

Обоснован выбор технологий очистки периодических сбросов сточных вод по модифицированному коэффициенту готовности $K_{м.г}$, учитывающему вероятностные технические, экологические и экономические компоненты. Величина $K_{м.г} = 0,93$ обуславливает преимущества физико-химической технологии при очистке периодических сбросов сточных вод.

К л ю ч е в ы е с л о в а: периодические сбросы, хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды, модифицированный коэффициент готовности, выбор технологии очистки.

The choice of technologies of treatment of periodic sewage discharges by the modified availability ratio AR that takes into consideration the probabilistic technical, environmental and economic components is substantiated. The value of AR = 0,93 causes the advantages of physicochemical technology for treatment of periodic sewage discharges.

К е у w o r d s: periodic discharges, economic-household and industrial sewage, the modified availability ratio, the choice of treatment technology.

В ГОСТ 25150—82 «Канализация. Термины и определения» [1] отсутствует понятие периодических сбросов сточных вод, несмотря на наличие их в практике водоотведения: от населения (например, базы выходного дня, работающие 1...2 сут в неделю); промышленности (производство комплексных и индивидуальных удобрений 5...6 сут в месяц); в сельском хозяйстве (получение посевного материала для овощей 7...10 сут в год) и т.п. При этом на очистные сооружения сточные воды могут как поступать по трубопроводам при достаточно стабильной климатической и сезонной температуре, так и доставляться автотранспортом при температуре около нуля в холодный период года.

Для очистки сточных вод таких объектов в России и за рубежом преимущественно используются малогабаритные очистные сооружения различного типа, сочетающие узлы механической, биохимической и физико-химической обработки, отличающиеся особенностями аппаратного и конструктивного оформления, применяемыми материалами, энергоемкостью, степенью автоматизации [2, 3]. Выбор той или иной технологии ведется чаще всего исходя из эколого-экономических принципов:

применение технических решений и технологий, адекватных климатическим условиям, составу и режиму поступления вод;

гибкость управления процессом очистки при изменении состава сточных вод;

применение технологий в блочно-модульном исполнении, позволяющем в широком диапазоне регулировать технологические параметры процесса очистки и выбирать оптимальную схему в соответствии с исходным составом вод;
 высокий уровень автоматизации систем очистки с учетом отсутствия квалифицированного персонала для обслуживания таких очистных сооружений;
 обеспечение требований к качеству очищенных вод, предъявляемых к сбросу в открытый водоем;
 использование малоотходных технологий очистки (безреагентных методов).

В связи с диверсификацией экономики происходит переориентация промпредприятий на выпуск продукции по конкретным заказам, поэтому на неопределенное время приостанавливается производство и, соответственно, образование сточных вод или изменяется номенклатура выпускаемой продукции, что, в свою очередь, вызывает изменение состава сточных вод. Традиционно выбор технологии производится технико-экономическим сравнением, однако при этом не учитывается период вывода на рабочий режим очистных сооружений, что является одним из основных требований для режимов периодических сбросов сточных вод.

Для периодических режимов сброса принятые в практике проектирования принципы выбора технологий очистки сточных вод нуждаются в корректировке и дополнении. При сохранении основного требования к минимальному воздействию на окружающую среду определяющей оценкой выбора при этом становится готовность очистной установки к выполнению функций нормативной очистки в часы (сутки) водоотведения.

В то же время отсутствуют рекомендации по обоснованию технологических схем очистки периодических сбросов сточных вод, а принципы выбора оптимальной технологии должны быть дополнены интегральной характеристикой, учитывающей время безотказной работы, время запуска и вывода на режим сооружений, плату за сброс недостаточно очищенных сточных вод в пусковой период [4]. В качестве такой характеристики предлагается модифицированный коэффициент готовности как результирующая оценка надежности технологии очистки периодических сбросов сточных вод по техническим, экономическим и экологическим критериям.

В системах водоотведения с периодическим сбросом сточных вод определяющим становится пуско-наладочный режим эксплуатации очистных сооружений: работа 1...2 сут, режим ожидания от нескольких часов и более.

Наименьшую продолжительность пуско-наладочных работ имеют физико-химические технологии [3], которые для условий периодического сброса сточных вод становятся предпочтительными. Поэтому, учитывая стохастический генезис и неравномерность водоотведения сточных вод, выбор технологий очистки предлагается вести по модифицированному коэффициенту готовности, включающему вероятностные технические, экономические и экологические составляющие (табл. 1).

Тогда обобщенный коэффициент готовности будет определен как среднегеометрическое значение из частных коэффициентов (табл. 1) [5]:

$$K_{м.г} = \sqrt[5]{K_{т.г} K_{т.и} K_{э} K_{п.р} K_{э.л}}$$

Значения составляющих модифицированного коэффициента готовности могут быть получены экспериментально-теоретическими исследованиями. Из

анализа теоретических положений физико-химической очистки периодических сбросов сточных вод для стационарных и передвижных установок оптимальными, на настоящем этапе знаний, являются приведенные ниже конструктивные решения технологических схем.

Т а б л и ц а 1

Комплексные показатели надежности очистной установки (ОУ) сточных вод (СВ)

Показатель	Характеристика
Коэффициент технологической готовности $K_{т.г} = T_0 / (T_0 + T_n)$	Вероятность того, что ОУ окажется работоспособной в произвольный момент времени T_0 , включая период T_n , в течение которого ведется пуск ОУ при поступлении СВ
Коэффициент технического использования $K_{т.и} = T_0 / (T_0 + T_n + T_p)$	Отношение математического ожидания времени обеспечения нормативной очистки СВ в ОУ за некоторый период эксплуатации T_0 к сумме математических ожиданий T_0 , времени пуска T_n и времени ремонтов T_p за тот же период эксплуатации
Коэффициент сохранения эффективности очистки $K_э = Q_t / Q_d$	Характеризует степень влияния отказов элементов ОУ на эффективность очистки СВ. Определяется отношением объема нормативно очищенных СВ Q_t к общему объему Q_d обработанных СВ
Коэффициент полезной работы $K_{п.р} = (T_{рб} - T_в) / T_{рб}$	Отношение разности времени работы $T_{рб}$ и вывода на режим $T_в$ ОУ ко времени очистки СВ $T_{рб}$ за один и тот же период
Коэффициент экологической эффективности ОУ $K_{эл} = П_n / (П_n + П_d)$	Отношение платы за сброс нормативно очищенной СВ $П_n$ к сумме $П_n$ и дополнительной платы за сверхнормативный сброс недостаточно очищенных СВ $П_d$

1. Узел механической очистки рекомендуется принимать в виде сетчатых устройств с прозорами 1,5...2,0 мм вследствие высокого значения коэффициента готовности 0,95 (по литературным данным). При этом из хозяйственных сточных вод можно обеспечить выделение до 30 % механических примесей, а из промышленных, в зависимости от типа загрязнений, — до 80 %.

2. Узел выделения белков, жиров, углеводов, ПАВ и других высокомолекулярных соединений введением коагулянтов и флокулянтов, который обеспечивает эффект очистки сточных вод до 60...85 %, при коэффициенте оперативной готовности не менее 0,9.

3. Узел фильтрования через волокнистую загрузку, например из полимерных ершей, повышающих ремонтпригодность фильтра и регенерируемость загрузки, с извлечением остаточных количеств различных примесей из сточных вод, прошедших коагуляцию, флокуляцию и отстаивание, до 85...95 %. Коэффициент сохранения эффективности очистки при этом достигает 0,93...0,95.

4. Узел глубокой доочистки сточных вод от органических и минеральных примесей фильтрованием осветленных сточных вод через загрузку различных видов адсорбентов-катализаторов. Однако для определения коэффициента технического использования и эффективности очистки хозяйственных и промышленных сточных вод в зависимости от типа, фракционности, высоты слоя катализатора, регенерационных режимов и т.п., имеется недостаточно данных. Поэтому их значения определялись экспериментально [6, 7].

Исследования выполнялись на лабораторных стендах, на пилотных установках в полупроизводственных и производственных условиях на мобильной очистной станции. Для осаждения части загрязнений использовались коагулянты «СКИФ» и «Аква-Аурат™ 30» ОАО «Аурат» и флокулянт ПАА. Тонкую взвесь выделяли на ершовом фильтре.

Промышленное апробирование разработанной технологии проводилось на реальных периодических сбросах сточных вод производства минеральных удобрений (ОАО «ЕвроХим-БМУ», г. Белореченск Краснодарского края) с помощью передвижной мобильной установки, обеспечивающей собственные потребности в электроэнергии и воздухе. Очищенная вода использовалась для технических нужд: промывок и регенераций фильтров, приготовления рабочих растворов реагентов.

В установке смонтированы узлы растворения и дозирования коагулянта и флокулянта, их смешения со сточной водой, отстаивания, две ступени фильтрования: на фильтре с ершовой загрузкой и клиноптилолитом с размером фракций 2...3 мм. Для регенерации цеолита предусмотрены растворы NaOH и NaCl, расчетный расход воды составлял 1 м³/ч. После развертывания установки с походного в рабочее состояние (необходимое время составляет 2...3 ч) в течение трех месяцев были проведены опытно-промышленные испытания (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показатели очистки ПСВ на передвижной установке

Точки отбора проб после	Показатели состава сточных вод после обработки, мг/дм ³								
	P-PO ₄ ³⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻	Cl ⁻	Взвеш. вещ-ва	XПК	БПК _{полн}	БПК ₅
УФС	10,5	2,109	12,4	0,42	13,47	194,4	163,6	14,69	110,5
Ершового фильтра	0,662	1,718	11,2	0,40	70,2	6,5	38,08	4,32	3,25
Цеолита	<0,05	0,8	13,8	0,37	73,7	5,7	25,38	4,32	3,25

На основании полученных результатов очистки ПСВ на мобильной установке был составлен проект реконструкции существующих очистных сооружений, после реализации которого в течение двух лет обеспечивается нормативная очистка. Усредненные показатели исходных ПСВ, сбрасываемых 1 раз в 12...14 сут, за период испытаний, мг/дм³: взвешенные вещества 230; перманганатная окисляемость 19; БПК₅ — 60; ХПК — 123; фосфаты (по P) — 15,3; азот аммонийный — 7,8, азот нитритов — 0,11, нитратов — 4,5; фториды — 0,45, pH 5...8,5. В процессе работы в отстойнике образовывался взвешенный слой со средней концентрацией взвешенных веществ 973 мг/л. Очищенные сточные воды соответствовали установленным нормам сброса сточных вод в городскую систему водоотведения.

Выполним расчет модифицированного коэффициента готовности по эксплуатационным данным промышленных очистных сооружений (табл. 3) при следующих показателях режима водоотведения: Q = 100 м³/ч, T_о = 30 сут, сброс сточных вод 5 сут, T_п = 2 ч, T_р = 3 ч, T_{рб} = 24 ч.

Тогда из данных табл. 3 модифицированный коэффициент готовности очистной установки периодических сбросов сточных вод

$$K_{м.г} = \sqrt[5]{K_{т.г} K_{т.и} K_{э} K_{п.р} K_{э.л}} = \sqrt[5]{0,99 \cdot 0,97 \cdot 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,96} = 0,95.$$

Т а б л и ц а 3

Расчет модифицированного коэффициента готовности очистной установки

Коэффициент	Расчет коэффициента
Технологической готовности $K_{т.г} = T_o / (T_o + T_n)$	$K_{т.г} = 30 \cdot 24 / (30 \cdot 24 + 5 \cdot 2) = 0,99$
Технического использования $K_{т.и} = T_o / (T_o + T_n + T_p)$	$K_{т.и} = 30 \cdot 24 / (30 \cdot 24 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 5) = 0,97$
Сохранения эффективности очистки вод $K_3 = Q_t / Q_d$	$K_3 = (24 - 2) \cdot 5 \cdot 100 / 100 \cdot 24 \cdot 5 = 0,92$
Полезной работы $K_{п.р} = (T_{рб} - T_v) / T_{рб}$	$K_{п.р} = (24 - 2) \cdot 5 / 24 \cdot 5 = 0,92$
Экологической эффективности $K_{эл} = П_n / (П_n + П_d)$	$K_{эл} = (5 \cdot 24 \cdot 100) \cdot 1 / ((5 \cdot 24 \cdot 100) \cdot 1 + (5 \cdot 2 \cdot 100) \cdot 5) = 0,96$

В зависимости от требований к очищенным сточным водам из технологической схемы могут быть исключены отдельные элементы, например фильтр с загрузкой из адсорбента-катализатора, тогда, соответственно, производится перерасчет $K_{МГ}$.

Выполненные расчеты показывают [7], что модифицированный коэффициент готовности станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью 1000 м³/сут составляет: сооружений биологической очистки — 0,91; физико-химической очистки — 0,98. Разница в 7 % обусловлена увеличенной оплатой сброса недостаточно очищенных сточных вод за более длительный период пусковых, наладочных и / или ремонтных работ на станциях биологической очистки.

По мере накопления фактических данных значения $K_{МГ}$ будут уточняться, однако, как показывает опыт эксплуатации трех установок, его величина не будет ниже 0,93, что обуславливает преимущества физико-химической технологии при очистке периодических сбросов сточных вод по техническим, экологическим и экономическим показателям. Это также обосновывает целесообразность выбора технологии очистки такой категории сточных вод по модифицированному коэффициенту готовности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 25150—82 «Канализация. Термины и определения». М. : Изд-во стандартов, 1984. 8 с.
- Афанасьева Ф.А., Иванов А.П., Ловцов А.Е. Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на компактных установках // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 11. С. 34—39.
- Блажко С.И., Андреев Ю.С., Гришин Б.М. Технология двухступенчатой физико-химической очистки сточных вод как альтернатива сооружениям биологической очистки // Известия высш. учеб. заведений. Строительство. 2007. № 3. С. 120—124.
- Мойжес О.В., Киндерова К.В. Оценка стабильности работы сооружений биологической очистки сточных вод с помощью математического аппарата случайных величин // Сб. тезисов конгресса в рамках ВейстГЭК-2007. М., 2007.
- Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М. : Мир, 1973. 957 с.
- Сизов А.А., Литвиненко В.А., Зубов М.Г. Экспериментальное обоснование технологических параметров очистки сточных вод на мобильной установке // Технология очистки воды Техновод-2008 : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. Калуга, 26—29 февр. 2008 г. ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск : ОНИКС+, 2008. С. 205—209.
- Сизов А.А. Обобщенный критерий надежности очистки периодических сбросов сточных вод // Строительство-2009 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д : РГСУ, 2009. С. 22—25.

© Сизов А.А., Серпокрылов Н.С., 2009

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

УДК 628.54

Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубанов

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ШЛАМОВ

Исследовано влияние механохимической активации при переработке шламов гальванических производств на эффективность извлечения тяжелых металлов. Приведены результаты извлечения электрофлотационным способом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гальванический шлам, сточные воды, тяжелые металлы, хлорид-ионы, механическая активация, термическая обработка, выщелачивание, электрофлотация.

Influence Mechanical and chemical activation is investigated at processing slag galvanic manufactures on efficiency of extraction of heavy metals. Results of extraction electric method flotation.

K e y w o r d s: galvanic slag, sewage, heavy metals, chlorides-ions, mechanical activation, thermal processing, electric method flotation.

В процессе очистки сточных вод гальванического производства образуется значительное количество шламов, относящихся к промышленным отходам 2-го и 3-го классов опасности. Поэтому вопросы их экологически безопасной утилизации являются очень актуальными.

Полноценное извлечение ионов тяжелых металлов из отходов гальванических производств объясняется не только необходимостью защиты окружающей среды, но и ценностью самих металлов. В связи с этим все более пристальное внимание обращают на себя технологии, позволяющие эффективно извлекать ионы металлов из гальванических шламов и сточных вод, тем самым снижая их класс опасности до 4-го и 5-го. Катионы металлов в гальваническом шламе находятся в малорастворимых и слаборастворимых формах в виде гидроксидов, карбонатов, гидрокарбонатов, сульфидов.

Авторами были проведены исследования по повышению эффективности извлечения тяжелых металлов из гальванических шламов путем перевода их в растворимую форму с последующим выделением из раствора флотационным методом.

Объектом исследований служил шлам гальванического цеха, содержащий, мг/кг: Zn — 46625; Ni — 1433; Cu — 12750; Fe — 20100; Ca — 115500; песок, карбонаты магния, натрия — 767811; и сточная вода этого же цеха, содержащая те же самые компоненты. Водородный показатель сточной воды составлял $pH = 2,5$.

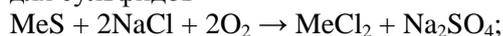
Цель исследований заключалась в снижении вредного воздействия на окружающую среду токсичных отходов гальванического производства в виде шламов и образующихся сточных вод за счет извлечения из них ценных компонентов в виде тяжелых металлов: Zn, Ni, Cu, Fe.

Для достижения поставленной цели была разработана технологическая схема, включающая смешение гальванического шлама с добавками, содержащими хлорид-ионы, в соотношении $Cl^- : \sum Me^{n+} =$ не менее 1:1, механохимическую активацию полученной смеси путем измельчения в шаровой мельнице сухого помола, последующую термическую обработку в муфельной

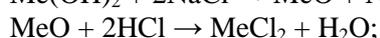
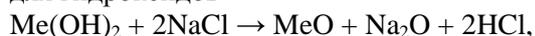
печи при температуре 450...550 °С, выщелачивание полученного спека сточной водой собственного гальванического производства при $\text{pH} \leq 3$, отделение раствора от осадка путем фильтрации, и извлечение металлов из полученного раствора методом электрофлотации при повышенном $\text{pH} = 8...10$.

Механохимическая активация шлама с хлорид-ионами интенсифицирует образование при нагреве до температуры 450...550 °С водорастворимых соединений в виде хлоридов металлов. Предположительный химизм протекающих процессов перехода сульфидов, гидроксидов и карбонатов металлов в водорастворимые хлориды, момент того представлен следующими схемами:

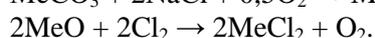
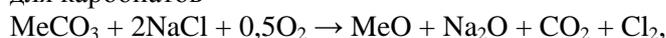
для сульфидов



для гидроксидов



для карбонатов



Механическую активацию образцов смеси проводили при различной длительности (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Соответствие № образцов и длительности механоактивации

№ образца	1	2	3	4	5	6
Длительность механоактивации, ч	2	4	6	8	10	14

При обработке порошков в планетарной шаровой мельнице на фоне измельчения происходят структурные изменения в веществе: образуется множество дефектов, вещество становится реакционноспособным. При обработке нескольких реагентов происходит взаимодействие между ними — *химическая реакция*. Однако, как и при термической активации твердофазных реакций, для инициирования механохимической реакции нужно подвести к порошку достаточное количество механической энергии [1].

В связи с этим было выбрано оптимальное число оборотов барабана шаровой мельницы.

В процессе механической активации в шаровой мельнице контролировали изменение размеров частиц порошка с помощью лазерного анализатора частиц Mikro Sizer 201. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Зависимость изменения размеров частиц D , мкм, от длительности помола, ч

№ образца	Размеры частиц D , мкм	Заданные значения весовой доли P , %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1		1,22	2,10	3,53	5,87	9,42	15,3	26,4	47,1	97,5	600
2		1,25	2,15	3,41	5,39	8,54	12,2	19,9	33,1	81,0	600
5		1,27	2,31	3,73	5,82	8,78	12,7	21,5	33,6	59,7	600
3		1,13	1,88	3,08	4,93	7,97	12,0	19,6	32,8	62,0	600
4		1,25	1,97	2,88	4,08	5,99	9,26	15,9	25,2	55,8	600
6		1,19	1,86	2,73	3,42	3,64	7,4	13,6	22,4	51,3	600

При выщелачивании кислыми сточными водами собственного производства аналогичного состава ионы металлов переходят в водный раствор, тем самым повышая концентрацию содержащихся в сточной воде аналогичных металлов.

Остаточные концентрации тяжелых металлов в осадке после выщелачивания приведены в табл. 3. Измерение концентраций проводили атомно-адсорбционным методом.

Т а б л и ц а 3

*Остаточные концентрации тяжелых металлов выщелачивания
механоактивированного гальваношлама*

№ образца	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
	Цинк	Медь	Железо	Никель
1	15302,4	3844,3	16383,5	1102,3
2	13986,8	3412,1	15153,5	993,6
3	11114,8	2789,7	10,979,0	903,2
4	10432,1	2270,7	6845,1	564,4
5	5834,4	1374,7	3625,2	375,2
6	2265,1	649,1	1865,5	176,9

Анализ полученных результатов показал, что при увеличении длительности помола тонкость помола изменилась незначительно. Как следует из табл. 2, весовая доля 90 % частиц уменьшилась от 97,5 до 51,3 мкм, т.е. в 1,9 раза. Но эффективность извлечения металлов из шламов возросла более чем в 5 раз (Zn — в 6,8 раз; Cu — в 5,9 раз; Fe — в 8,7 раз; Ni — в 6,3 раза). Следовательно, длительность процесса механической активации в присутствии добавки, т.е. повышение подводимого количества механической энергии, оказывает существенное влияние на эффективность образования водорастворимых соединений.

По сравнению с исходными концентрациями металлов в шламе эффективность извлечения составила: Zn — 85,2 %; Cu — 83,1 %; Fe — 88,6 %; Ni — 84,3 %.

Таким образом, полученные результаты соответствуют одному из главных положений механоактивации: может быть механоактивация без измельчения, но *не может быть измельчения без активации* [2].

Отсюда следует, что под действием внешних сил увеличивается запас энергии измельчаемого вещества за счет увеличения поверхностной энергии, которая способствует ускорению физико-химических процессов. А именно, чем больше число ударов, придаваемых частицам вещества, чем больше скорость удара и чем меньше интервал между следующими друг за другом ударами, тем большая возникает активность вещества и его реакционная способность [3].

В связи с этим можно сделать вывод, что механическая активация способствует как разложению карбонатов и оксидов, происходящему главным образом при обычных процессах помола в лабораторных шаровых и вибромельницах, так и образованию разных веществ, например, хлористых или сернистых соединений; увеличению растворимости труднорастворяющихся веществ; ускорению химических реакций, а также понижению температуры, необходимой для реагирования спекания твердых веществ [4].

Раствор после отделения от осадка фильтрованием помещали в электрофлотационную камеру объемом 1 л. Флотационный процесс производили при плотности тока 50 ма/см^2 в течение 20 мин при повышенном $\text{pH} = 8 \dots 10$. Повышение pH раствора производили с помощью едкого натра. В качестве пенообразователя и собирателя при флотационном извлечении металлов использовали ПАВ анионного типа — алкилбензолсульфонат натрия (сульфонол) в количестве 5 мг/л и ксантогенат калия в количестве 3 мг на 100 мг ионов металлов в растворе.

Применение метода электрофлотационного извлечения ионов металлов из растворов обусловлено его эффективностью. Изменяя электрические параметры процесса можно обеспечить оптимальную дисперсность пузырьков воздуха, не разрушая пенный слой. Наряду с электродными процессами в электрофлотационном аппарате протекают объемные химические реакции, которые приводят к таким явлениям, как изменение природы и растворимости флотоконцентрата, растворению или образованию осадка, разрушению комплексообразователей, что способствует повышению качества процесса.

Полученный пенный концентрат высушивали и подвергали последующему прокаливанию при температуре $600 \text{ }^\circ\text{C}$ с получением металлического порошка.

Таким образом, предлагаемая технология одновременного обезвреживания сточных вод и шламов гальванического производства позволит снизить воздействие токсичных веществ на окружающую среду и получить ценную продукцию в виде металлического порошка, который можно использовать в промышленных целях.

В свою очередь, активация измельчением может найти применение при решении вопросов комплексного использования минеральных ресурсов и снижения вредного воздействия продуктов переработки промышленности на окружающую среду. В частности, это могут быть: утилизация отходов производства и ликвидация отвалов; очистка сточных вод с улавливанием на активированной поверхности ценных (и вредных) компонентов; облагораживание торфа, угля и горючих сланцев перед сжиганием с одновременным извлечением металлов, серы и других ценных компонентов; замена обжига различных концентратов безобжиговым процессом, основанным на механоактивации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аввакумов Е.Г.* Механические методы активации химических процессов. Новосибирск : Наука, Сиб. отд., 1986. 303 с.
2. *Биленко Л.Ф.* Закономерности измельчения в барабанных мельницах. М. : Недра, 1984. 200 с.
3. *Хинт Й.А.* Об основных проблемах механической активации. Таллин, 1977. 14 с.
4. *Сиденко П.М.* Измельчение в химической промышленности. 2-е изд., перераб. М. : Химия, 1977. 368 с.

© Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 628.543

Ю.К. Рубанов, И.В. Старостина, Е.В. Блайдо, М.М. Флорес Ариас

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОДЫ И ПОЧВЫ

Рассмотрена разработка порошкового сорбента на основе мелкодисперсного железорудного концентрата, получаемого при обогащении железной руды методом мокрой магнитной сепарации с добавлением отходов металлургического производства: самораспадающегося электросталеплавильного шлака, полученного способом сухого охлаждения, и пыли ЭДСП.

К л ю ч е в ы е с л о в а: отходы металлургического производства, шлак, пыль, электродуговые сталеплавильные печи, железорудный концентрат, магнитный сорбент, сорбционная очистка, нефтепродукты.

The article focuses on the development of powder sorbent on the basis of fine iron ore concentrate, obtained with the enrichment of iron ore by wet magnetic separation with the addition of waste metallurgical production — itself decaying electric furnace slag obtained by means of dry cooling, and dust, and dust electric-steel melting furnaces.

K e y w o r d s: a waste metal factory, slag, a dust electro arc steel-smelting furnaces, iron an ore concentrate, a magnetic sorbent.

Рост масштабов производства и повышение требований к качеству воды диктуют поиск все более эффективных способов удаления загрязнений из природных, попутно-добываемых и сточных вод производств различного назначения и, прежде всего, нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего комплекса, возврата очищенных стоков для повторного их использования. Нефтяное загрязнение отличается от других антропогенных воздействий тем, что оно дает не постоянную, а «залповую» нагрузку на среду, вызывая ее быструю ответную реакцию. При оценке последствий такого загрязнения не всегда можно однозначно судить о возможности возврата экосистемы к ее устойчивому состоянию. Во всех мероприятиях, связанных с ликвидацией загрязнения и восстановлением экосистемы, необходимо исходить из главного принципа: не нанести экосистеме больший вред, чем тот, который уже нанесен при загрязнении [1]. Среди методов, успешно применяющихся для решения этой задачи, сорбционная очистка воды является одним из наиболее эффективных способов. К преимуществам сорбционного метода можно отнести: возможность удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости, отсутствие вторичных загрязнений и управляемость процессом.

Под сорбционной очисткой воды обычно подразумевается сорбция вещества на поверхности или в объеме твердого материала [2]. Любое тело в пространстве ограничено поверхностью, и, следовательно, вещество его потенциально является сорбентом. Однако в практике очистки воды используются лишь сорбенты с развитой или специфической поверхностью, применение которых значительно эффективнее.

История применения сорбентов неразрывно связана с микропористыми углеродными материалами — активными углями.

Большая часть разлитых нефтепродуктов (НП) собирается механическим путем, с последующим уничтожением или (и) частичной утилизацией путем сжигания. Несобранный остаток НП различными методиками осаждается на дно акватории порта, причем количество такого осадка достигает со временем, весьма значительной величины.

Существующие методы сбора остатков пролитых НП сводятся к поглощению их различного типа адсорбентами, либо к созданию на поверхности с помощью ПАВ и эмульгаторов водонефтяных эмульсий (ВНЭ). Оба эти метода затрудняют, либо вообще исключают возможность последующей утилизации собранных НП и требуют дополнительных затрат на их переработку [3].

Одним из наиболее прогрессивных методов решения данной задачи является модификация физических свойств поверхностной пленки НП с целью придания ей магнитных свойств путем введения в нее порошка ферромагнитного материала с последующим ее сбором при помощи магнитной ловушки. Метод обладает экологическими и техническими преимуществами, но не получил широкого распространения по ряду причин: сложности получения магнитных порошков, недостаточной плавучести, небольшой сорбционной емкости.

Авторами статьи исследованы сорбционные свойства порошковых сорбентов на основе мелкодисперсного железорудного концентрата, получаемого при обогащении железной руды методом мокрой магнитной сепарации с добавлением в качестве сорбентов отходов металлургического производства — самораспадающегося электросталеплавильного шлака, полученного способом сухого охлаждения, и пыли электродуговых сталеплавильных печей (ЭДСП). Гидрофобизацию смесей осуществляли гидрофобизатором «Ярко» завода «Ярославские краски». Полученные сорбенты исследовали на нефтеемкость и плавучесть. Доказано, что данные сорбенты способны модифицировать физические свойства поверхностной пленки разливов НП, а также сорбировать их из объема.

Из технологических и физико-химических свойств полученных сорбентов следует отметить:

- 1) сравнительную простоту технологии получения, управляемость и надежность воспроизведения основных характеристик;
- 2) стабильность в химическом отношении и совместимость со всеми нефтепродуктами;
- 3) высокую дисперсность и ярко выраженные гидрофобные свойства;
- 4) способность хорошо впитывать (сорбировать) НП пылевым слоем при контакте;
- 5) возможность с минимальными энергетическими затратами отдавать собранные НП, с сохранением при этом исходных физико-химических свойств, позволяя многократно использовать порошки в циклах сбор — регенерация.

Экспериментально в лабораторных условиях был апробирован способ модификации физических свойств поверхностной пленки НП (до 1 кг/м^2). Каждый адсорбент в виде порошка распылялся над плавающим пятном НП. При контакте с НП адсорбент проникает внутрь нефтяного пятна и сообщает ему магнитные свойства. Пятно превращается в плавающие сгустки, способные притягиваться магнитным полем. Для собирания НП с поверхности воды использовали магнитный собиратель.

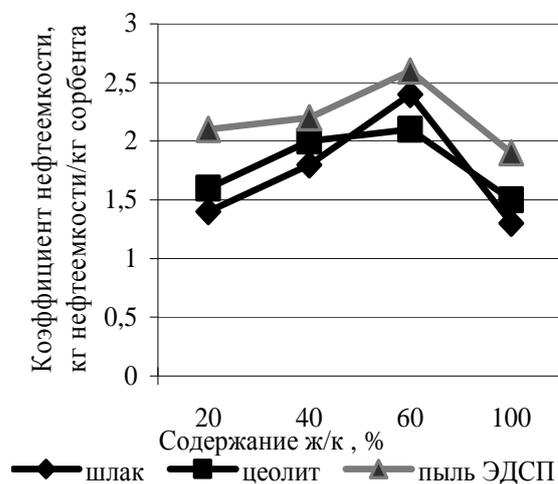
Нефтеемкость была определена с помощью коэффициента нефтеемкости K , на основании которого проводили сравнения эффективности сорбентов [4]. Ко-

эффицент может быть выражен как отношение масс поглощенной нефти или НП к массе сорбента, т.е. так называемой массовой нефтеемкости сорбента:

$$K = M_a / M_{\text{сорб}},$$

где M_a — масса сорбированной нефти, кг; $M_{\text{сорб}}$ — масса сорбента, кг.

Результаты исследований представлены в виде графиков на рисунке.



Изменение коэффициента нефтеемкости в зависимости от разных составов сорбентов (железородный концентрат + шлак; железородный концентрат + пыль ЭДСП)

Для сравнения значений нефтеемкости предлагаемого сорбента использовался природный сорбент — цеолит марки X. На рисунке показано, что адсорбционные свойства шлака и пыли ЭДСП не уступают свойствам природного сорбента, а пыль ЭДСП характеризуется наилучшими сорбционными свойствами. Кроме этого, в отличие от остальных исследуемых сорбентов цеолита и шлака, адсорбент на основе железородного концентрата и пыли ЭДСП обладает повышенной плавучестью, причем запас плавучести составляет более

72 ч [5], что достаточно для завершения операции по очистке поверхности ибору отработанного сорбента.

Следовательно, результаты экспериментов и выполненные теоретические оценки эффективности и себестоимости показали большую перспективность предлагаемых способов очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитных сорбентов на основе отходов металлургического производства и могут служить основой для проведения крупномасштабных испытаний в условиях реального разлива. Это позволяет рекомендовать использование электросталеплавильных шлаков и пыли электродуговых сталеплавильных печей в качестве сорбентов для удаления нефтепродуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исмалов Н.М. Пиковский Ю.И. // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М. : Наука, 1988. С. 222—230.
2. Арене В.Ж., Гридин О.М. Эффективные сорбенты для ликвидации нефтяных разливов // Экология и промышленность России. 1997. С. 32—37.
3. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 268 с.
4. Мерициди И.А., Шлапаков А.В. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности водоемов // Производственная безопасность : сб. науч. тр. / УКАНГ. 2007. Вып. 4. С. 52—57.
5. Очистка окружающей среды от углеводородных загрязнений / В.Ж. Арене, А.З. Саушин, О.М. Гридин, А.О. Гридин. М. : РАЕН ; Интербук, 1999.

© Рубанов Ю.К., Старостина И.В., Блайдо Е.В., Флорес Ариас М.М., 2009

Поступила в редакцию в декабре 2009 г.

**ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ
И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 72.033.001

Ю.Ф. Трейман

**ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ
ПОСЕЛЕНИЙ СРЕДНЕВЕКОВОЙ АЛАНИИ НА ВЕЛИКОМ ШЕЛКОВОМ ПУТИ**

Рассмотрена проблема территориально-пространственного расположения городов средневековой Алании во взаимосвязи с северокавказскими трассами Великого шелкового пути, которые сформировались раньше времени возникновения большинства из рассматриваемых поселений. В результате проведенного анализа выявлена система расселения западных алан.

К л ю ч е в ы е с л о в а: архитектура средневековой Алании, Великий шелковый путь, система расселения.

The problem of a territorially-spatial arrangement of cities Medieval Alania in interrelation with North Caucasian lines of the Great silk way which were generated ahead of time occurrence of the majority of considered settlements is developed. As a result of the lead analysis the system of moving of the Western alans is revealed.

К e y w o r d s: architecture of medieval Alania, Great silk way, system of moving.

В древности и в средние века из Китая на запад через страны Средней и Передней Азии шли караванные торговые дороги, составляющие Великий шелковый путь. В период средневековья несколько ответвлений данного пути следовали через территорию Западной Алании и Кавказский хребет к берегам Черного моря в Византию. Сведения об этом содержатся в византийских письменных источниках VI—IX вв. К настоящему времени исследователями локализовано два направления северокавказского отрезка Великого шелкового пути — Мисимианская и Даринская дороги.

Мисимианский путь шел из Севастополиса через крепости Герзеула, Цебельдинского нагорья — бывшую территорию Апсилии в Кодорское ущелье и территорию мисимиан к Клухорскому перевалу. Этот отрезок пути насыщен археологическими памятниками VI—X вв. Перешагнув через Клухорский перевал, Мисимианский путь далее следовал по территории Алании. Дорога шла через снежник Клухорское озеро и спускалась вдоль реки Гоначхир в ущелье реки Теберды. Фрагмент древней мощеной дороги шириной 3 м обнаружен П.А. Утяковым и Е.П. Алексеевой на 15-м километре, на правом берегу Гоначхира.

На отрезке между устьем Гоначхира и аулом Теберда исследователями зафиксирован ряд памятников аланского времени. В 4 км выше устья Гонач-

хир, на левом берегу Теберды расположены аланская крепость и могильник, засвидетельствованные П.А. Утяковым и доследованные В.А. Кузнецовым. На обоих берегах р. Хаджибея — левого притока р. Теберды — расположена группа аланских поселений, в которой особо выделяется крепость Хаджибей, расположенная высоко над долиной Теберды. Еще одна крепость находится на левом берегу р. Уллу-Мурджу — правого притока Теберды, напротив крепости Хаджибей. Вышеупомянутые три крепости имеют визуально-пространственные связи, поэтому они могли составлять единый фортификационный комплекс, контролировавший входы в ущелье р. Теберды.

Концентрация памятников свидетельствует о значительной заселенности данной территории в аланский период. Очевидно, что поселения и крепости расположенные здесь, имели стратегическое значение. Во-первых, они расположены на пограничной территории между аланами, мисимианами и сванами и имели оборонительное значение. Во-вторых, эти крепости могли контролировать Клухорский перевал и проходящий через него отрезок международной торговой дороги и первыми встречали торговые караваны. Так как отрезок пути через перевал был наиболее сложным в преодолении, возможно караваны делали здесь небольшую стоянку, во время которой сменяли вьючных животных, пополняли запасы продовольствия, осуществляли товарообмен. Таким образом, в месте расположения вышеупомянутых крепостей можно выделить первый на территории Алании остановочный пункт.

Следующая группа поселений расположена на расстоянии около 15 км севернее по ущелью р. Теберды. Памятники сосредоточены в ущелье р. Муху — левого притока Теберды. По ущелью этой реки идет древняя горная тропа через Мухинский перевал в соседнее ущелье р. Аксаут. Доминирующей среди поселений на р. Муху и ее притоке — Азгеке — является крепость Муху, возвышающаяся на горе, обращенной в Тебердинское ущелье. В непосредственной близости от крепости находятся могильники VII—IX и IX—XII вв. Вокруг крепости сохранились фрагменты еще нескольких поселений. По-видимому, вышеупомянутые поселения и крепость, с одной стороны, контролировали входы через Мухинский перевал из соседних ущелий, с другой — являлись вторым остановочным пунктом на международном пути.

Нижележащая группа поселений находится на расстоянии около 30 км по течению Теберды. Это Амгатинское городище, расположенное на горном отроге, обращенном в долину Теберды, и находящийся напротив, на правом берегу реки, замок Аргы-Кала. Эти два поселения скорее всего имели значение торгово-ремесленных центров и также были привязаны к проходившей по ущелью р. Теберды торговой дороге.

В междуречье Теберды и Кубани, на реке Гиляч — левом притоке Кубани, расположено Гилячское городище, над ним находится средневековая крепость Къала. На правом берегу р. Кыркол — левом притоке Кубани, неподалеку от Гиляча, расположено еще одно городище. Вышеупомянутые три городища находятся на соседних горных вершинах в пределах визуальной доступности.

В 8 км северо-восточнее от Амгатинского городища и напротив вышеупомянутой группы поселений, на левом берегу Теберды, на утесе Буруш-Сырты над п. Нижняя Теберда расположен Сентинский храм в комплексе с мавзолеем. В.И. Марковиным здесь было доследовано богатое женское захо-

ронение. Среди находок — византийская шелковая ткань с золотой надписью XI в. На левом берегу Кубани, над селом Коста Хетагурова, на расстоянии 18 км от Сентинского храма, на горе Шоана расположен Шоанинский храм X в. Вышеупомянутые храмы имеют похожее местоположение в ландшафте. Своими силуэтами они обращены в ущелья рек и образуют визуально-пространственные связи с расположенными вокруг средневековыми поселениями.

Подобное местоположение храмов обусловлено тем, что по Мисимианскому пути наряду с торговыми караванами шли византийские миссионеры, для которых был важен выбор места для строительства будущих храмов, так как от этого зависела эффективность христианизации алан. Значимым в данной ситуации являлось большое сосредоточение вокруг храмов аланских поселений и крепостей. Храмы возведены на вершинах гор с учетом аланских сакральных традиций, а так же представляют собой визуальные ориентиры для идущего по ущелью. В данном случае раскрывается принцип расположения храма над поселением, описанный В.В. Пишулиной, в котором выражается «христианское понятие об универсальной значимости христианского храма для всех верующих, а не только для конкретной патронимической общности» [1].

На левом берегу Теберды, на горных вершинах Джингирик и Дардон, между Сентинским и Шоанинским храмами расположены два городища с одноименными названиями и относящиеся к ним могильники. Эти городища могли иметь значение ремесленных центров, обеспечивавших потребности расположенных на соседних вершинах христианских храмов и крепостей.

Наконец, завершает группу поселений во главе с двумя крестовокупольными храмами две крупных крепости, расположенные друг напротив друга на противоположных берегах Кубани. Хумаринская крепость возвышается на правом берегу реки над аулом Хумара. Каракентская крепость расположена на левом берегу Кубани над поселком Орджоникидзевский. Эти крепости возникли в месте выхода реки на предгорную равнину и напоминают своеобразные ворота. Подобное местоположение крепостей обусловлено существованием здесь важной развилки Мисимианского пути. Выше описанная группа поселений во главе с Хумаринской и Каракентской крепостями контролировала выход на предгорную равнину и представляла собой третий остановочный пункт на аланском отрезке Мисимианского пути.

Достигнув междуречья Кубани и Теберды, Мисимианская дорога разветвлялась на два направления. Одно из направлений продолжало идти по левому берегу Кубани через ворота, образованные крепостями Каракент и Хумара, до места впадения в нее р. Андрикота и сворачивало на запад. Другое направление переходило на правый берег Кубани по естественному мосту в районе поселка Каменномостский и продолжалось в восточном направлении. Это направление шло по ущелью р. Мары — правого притока Кубани через Кисловодскую котловину по долинам рек Подкумки и Кумы к низовьям Волги и далее в Среднюю Азию.

В устье р. Мары на противоположных берегах расположены две фланкирующие крепости: Шупшурун на правом берегу и Кара-Сырт на левом. Вероятно, эти крепости контролировали восточное ответвление Мисимианского пути.

На правом берегу р. Мары А. Фирковичем отмечены две каменных плиты, установленных по обеим сторонам дороги напротив друг друга. На одной из плит высечено изображение якоря, на другой — изображение византийского креста. По мнению В.А. Кузнецова, эти плиты — придорожные знаки, благословляющие и направляющие путников [2]. Подобные знаки в виде вертикальных камней и статуй с крестами найдены в ущельях рек Большого Зеленчука, Урупа, Кяфара, Бижгона и т.д. Можно также предположить, что подобными плитами обозначен путь, который прошли византийские миссионеры, проповедовавшие христианство.

Кроме выше упомянутых фланкирующих крепостей Шупшурун и Кара-Сырт в ущелье р. Мары на протяжении около 20 км до перевала Гумбаши других городищ не найдено. Эта территория отмечена как зона альпийских пастбищ.

Западное направление начиналось на левом берегу Кубани в месте впадения в нее р. Андрикота (Инджуркота) и следовало по границе гор и предгорий параллельно Северо-Кавказскому хребту в ущелье р. Большой Зеленчук, пересекая при этом реки Кардоник, Аксаут и Маруху. В.А. Кузнецовым отмечено, что западное направление связывало Мисимианский путь с Даринской дорогой.

Достигнув Зеленчукского ущелья, дорога шла через культурно-политический и религиозный центр Западной Алании, располагавшийся на Нижне-Архызском городище. В X—XIV вв. на Нижне-Архызском городище существовала аланская митрополия, на территории которой располагался кафедральный собор Алании. До настоящего времени здесь сохранилось множество памятников христианской и языческой культуры, среди которых три крестово-купольных храма и 12 одноапсидных церквей и часовен; каменные плиты и менгиры с крестами; наскальная икона Иисуса Христа; святилище в форме круга диаметром 88 м и т.д. Концентрация этих памятников свидетельствует о большом сакральном значении данного ущелья, входы в которое охранялись расположенными на горных вершинах крепостями. Дальнейшее направление пути следовало в ущелье р. Большой Лабы, где соединялось с Даринским путем и вело к перевалам в Абхазию.

Даринский путь, локализованный в ущелье р. Большой Лабы, шел через один из трех перевалов (Азапш, Санчаро, Лаба). В ущелье на отрезке между устьями рек Пхии и Большой Лабы расположена группа памятников аланского времени. Среди них остатки средневековой городища и расположенные в его окрестностях фрагменты крепостных стен. Вероятно, данное городище в прошлом было крепостью, контролировавшей восточное ответвление Даринского пути, начинающееся в устье Пхии и ведущее в соседнее ущелье р. Большого Зеленчука. На развилке пути у устья Пхии С.В. Вагановым зафиксирован вертикально стоящий камень-менгир с четырехугольным сечением, представлявший собой придорожный знак, указывающий возможное направление пути.

Следующая группа памятников сосредоточена в окрестностях долины Загедан. На левом берегу р. Загедана — правого притока Большой Лабы — расположена Круглая крепость. В 3 км северо-восточнее, на правом берегу Большой Лабы, у устья ее притока — Большой Ажогги расположено еще одно городище с одноапсидной церковью. В непосредственной близости от него,

напротив устья р. Дамхурца находится городище с одноименным названием. Вышеупомянутые три городища находятся на соседних горных вершинах и имеют между собой визуально-пространственные связи.

Долина Загедан аналогично долине Теберды была удобным местом для остановки торговых караванов перед и после восхождения на перевал. Концентрация памятников свидетельствует о значительной заселенности данной территории в аланский период. Группа поселений и крепостей, расположенных здесь имела значение, подобное поселениям, сосредоточенным у входа в Тебердинскую долину. Расположенные в долине Загедан аланские крепости контролировали перевалы в ущелье р. Большой Лабы и проходящий через них отрезок международной торговой дороги и первыми встречали торговые караваны. Таким образом, здесь можно выделить первый остановочный пункт после преодоления перевалов и спуска в ущелье. Как и на остановочных пунктах Мисимианского пути, торговые караваны могли делать здесь небольшую стоянку, во время которой сменяли вьючных животных, пополняли запасы продовольствия, осуществляли товарообмен. Вышеуказанные подперевальные остановочные пункты в ущельях Теберды и Большой Лабы связаны между собой древней тропой, идущей параллельно Северо-Кавказскому хребту. Это обстоятельство указывает на единство и согласованность остановочных пунктов в системе торговых дорог на территории Алании.

За пределами долины Загедан на протяжении 45 км до урочища Нахшир расположена совокупность равномерно распределенных городищ. Это городище на р. Малый Блыб, городище на р. Рожкао и Грушовое городище, расположенные на левом берегу Большой Лабы и связанные с проходящей здесь международной торговой дорогой. Вокруг этих городищ сосредоточенно множество более мелких средневековых селищ. Возможно, вышеуказанные три крупных поселения имели значение торгово-ремесленных центров, обслуживающих данный отрезок Даринского пути. Они находятся на одинаковом расстоянии друг от друга, равном около 15 км. Вероятно, это расстояние соответствовало 1 безостановочному переходу торгового каравана по дороге в условиях пересеченной местности.

В районе урочища Нахшир расположена еще одна развилка Даринского пути, ведущая в ущелье р. Урупа. Это направление сначала идет по ущелью р. Бахмутки и приводит к левому берегу Урупа, далее следует по его ущелью до выхода в предгорья. Место развилки отмечено придорожным знаком в виде каменной плиты с крестом, расположенной на водоразделе рек Урупа и Большой Лабы, у истока р. Бахмутки. Подобные плиты были отмечены у развилки мисимианского пути в устье Мары.

Дальнейшее направление основной ветви Даринского пути поднималось на водораздельный хребет Большой Лабы и Урупа и следовало по нему до Мощевой Балки. В районе Мощевой Балки исследователями отмечена большая концентрация памятников аланского периода. Наиболее крупным является Мощевое городище с могильником VII — IX вв. в Мощевой балке, где были найдены многочисленные образцы шелковых тканей и захоронение китайского купца.

По мнению А.А. Иерусалимской, Мощевая балка была ключевым пунктом, контролировавшим выход к перевалам. Свидетельством этого являются аланские могильники, содержащие шелковые ткани согдийского производст-

ва, составляющие около 60 % от всего шелкового импорта; китайский шелк (18...20 %), византийские ткани (около 25 %) [3]. По заключению А.А. Иерусалимской подобное изобилие шелков можно объяснить неэквивалентным товарообменом и взиманием пошлин за перевалы и проход по данной территории [4].

В непосредственной близости от Мощевого городища расположено городище Псемен на берегу реки с одноименным названием. Эта группа памятников расположена на правом берегу Большой Лабы. Напротив них, на левом берегу Большой Лабы, известны городище на горе Гриб, Нижне-Бескесское и Гамовское городища с прилегающими к ним могильниками. Вышеперечисленные памятники находятся в пределах визуальной доступности друг от друга и составляют единую группу поселений, представляющую собой крупный остановочный пункт на трассе Даринского пути, который контролировал выходы к перевалам с одной стороны и выходы к предгорьям с другой.

Замыкают эту группу поселений две крепости, фланкирующие оба берега Большой Лабы. Это Первомайское городище на правом берегу и расположенное напротив, на левом берегу, Подскальное городище. И.В. Каминской и Каминским прослежен и зафиксирован фрагмент древней дороги, идущей в северном направлении от Мощевого городища по водораздельному хребту к городищу Псемен и далее по ущелью р. Татарки к южным воротам Первомайского городища. Две вышеупомянутые крепости расположены на границе гор и предгорий и образуют своеобразные ворота, подобно Хумаринской и Каракентской крепостям в ущелье р. Кубани.

В результате проведенного анализа выявлена территориально-пространственная схема расселения западных алан (рис.), представляющая собой систему остановочных пунктов, сформировавшихся на северокавказских трассах Великого шелкового пути. Остановочные пункты возникали на стратегически важных участках торговых дорог и представляли собой комплексы поселений и крепостей, объединенных между собой визуальнo-пространственными и функциональными связями. Среди них можно выделить остановочные пункты: 1) на границе гор и предгорий, контролировавшие выходы в предгорные долины; 2) контролировавшие выходы к перевалам; 3) расположенные на развилках торговых путей.

К остановочным пунктам, контролирующим выходы в предгорные долины, относятся группа поселений во главе с Хумаринской и Каракентской крепостями на Мисимианском пути и группа поселений во главе с Первомайской и Подскальной крепостями на Даринском пути.

В местах спуска перевальных дорог в ущелья рек Теберды, Аксаута, Большого Зеленчука и Большой Лабы наблюдаются значительные скопления аланских поселений, образующих группы, контролировавшие перевальные дороги в расположенные по соседству горные ущелья. Эти поселения, с одной стороны, имели оборонительное значение, с другой — могли выполнять функцию своеобразных таможенных застав. Следует отметить, что выше перечисленные форпосты были связаны между собой горными тропами, идущими параллельно Северо-Кавказскому хребту, и образовывали единую систему подперевальных остановочных пунктов.

На развилках торговых путей также наблюдаются значительные скопления аланских крепостей, представляющих собой остановочные пункты. Это

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 502.17 + 504.03

М.А. Шубин, А.М. Шубин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДТОПЛЕНИЯ ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Исследованы процессы подтопления территорий: повышение уровня грунтовых вод, образование верховодки, увеличение влажности пород на территории г. Волгограда. Основным фактором развития процессов признана инженерно-хозяйственная деятельность, включающая регулирование поверхностного стока, ликвидацию оврагов, неумеренные поливы зеленых насаждений, утечки из водных магистралей. Предложены мероприятия по защите территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подтопление, грунтовые воды, поверхностный сток, овраги, водные магистрали.

Taking Volgograd city as an example, there are investigating the processes of ground water rising, formation of irregular temporary water layers, and ground moistening. The main cause of progressing of such processes is connected with human activities: overland runoff regulation, elimination of ravines, improper watering of trees and shrubs, losses from water mains. High intensity of progression of ground water rising requires active protective measures.

K e y w o r d s: ground water rising, overland runoff, water mains, ravines.

Анализ результатов изучения гидрогеологических процессов на застроенных территориях в Нижнем Поволжье показывает, что здесь повсеместно распространены такие процессы, как повышение уровня грунтовых вод (УГВ), образование верховодки, увеличение влажности пород из-за изменения условий тепловлагопереноса. В свою очередь они являются главной причиной возникновения таких процессов, как набухание и просадка грунтов, оползни и др. Типичным примером разнообразного проявления техногенного воздействия на геологическую среду застроенных территорий является подтопление г. Волгограда, исследования которого проводятся в течение длительного времени.

Первые количественные данные о развитии этого процесса опубликованы в 1966—1972 гг. [1—3]. Масштабы проявления подтопления, ущерб городскому хозяйству обусловили необходимость детального изучения режима подземных вод с оборудованием большого количества наблюдательных скважин, которое проводилось Нижневолжской гидрогеологической и инженерно-геологической партией Мингео РСФСР. Режимные наблюдения по скважинам при строительстве объектов выполнялись также Нижне-Волжским трестом инженерно-строительных изысканий и другими проектно-изыскательскими организациями. В процессе исследований было установлено, что при развитии города произош-

ли значительные изменения естественного рельефа, а также возникли различные искусственные формы рельефа в зоне застройки. Коренному изменению в составе общей планировки подвергалась овражно-балочная сеть, что изменило транзит поверхностного стока и ее дренирующую способность [4].

В сложном геологическом строении территории города принимают участие преимущественно песчано-глинистые породы палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. Влияние тектоники на эти слои выразилось в их слабонаклонном залегании. Пространственно-геологическое строение осложнено характерной особенностью Волжского склона, выражающейся в унаследованности современных эрозионных форм рельефа от прошлых геологических эпох и наличии погребенных долин на склоне и террасах у его подножья. В толще переслаивающихся водопроницаемых и водоупорных пород, осложненной врезами погребенных долин, формируются водоносные горизонты с различным положением уровней грунтовых вод.

Инженерно-хозяйственная деятельность оказывает большое влияние на формирование подземных вод, изменяя условия их питания и разгрузки, причем с каждым годом воздействие на окружающую среду становится все более интенсивным. Нарушение баланса подземных вод приводит к формированию подтопленных участков. Этот процесс проявляется на обширных застроенных территориях и вызван совокупностью разнообразных причин, важнейшей из которых является перераспределение осадков и поверхностного стока за счет изменения расчлененности рельефа [5]. Интенсивная нивелировка, засыпка оврагов и балок сопровождается изменением дренированности территории и, как следствие этого, подъемом уровня грунтовых вод, заболачиванием понижений рельефа. Повышение уровня происходит с различной скоростью, составляющей от нескольких сантиметров до 0,3...0,4 м/год. Абсолютная величина повышения уровня в отдельных случаях достигает 5...10 и более метров. Помимо этого происходит формирование верховодки и новых водоносных горизонтов. При подъеме уровня грунтовых вод до отметок заглубления подземных частей сооружений наблюдается подтопление, вызывающее множество негативных явлений, приводящих к выводу из строя зданий, сооружений и коммуникаций.

В пределах города развитие процесса подтопления отмечается практически во всех палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложениях. Участки подтопления с глубиной залегания уровня грунтовых вод менее 2,0...2,5 м сформированы в основном, на водоупорных глинах майкопской серии, хвалыньских глинах, озерно-аллювиальных глинах Бекетовской низины. Своеобразие геологического строения территории города заключается в том, что породы палеогена, неогена и четвертичного периода представляют собой слоистую толщу, сложенную чередующимися водоупорными и проницаемыми породами, прорезанными балками и оврагами. Горизонты грунтовых вод формируются на водоупорах. Если в северной части города от границы балки Отрадной участки подтопления преимущественно формируются на глинах киевской свиты майкопской серии, гипсометрически занимающих возвышенные части рельефа, то в южной части подтопление происходит в четвертичных морских и озерно-аллювиальных отложениях, слагающих равнинные территории и понижения рельефа.

Наибольшую площадь зона подтопления с УГВ до 0,5 м занимает в Кировском и северной части Красноармейского районов (Бекетовская низина).

Здесь активно протекают процессы заболачивания и засоления поверхности. Минерализация грунтовых вод на этом участке достигает 20...50 г/л.

Другие крупные зоны подтопления территории расположены в Краснооктябрьском (пос. Вишневая Балка), Дзержинском (пос. Ангарский, Кишечный, Жилгородок) и Ворошиловском районах города. Здесь подтопление чаще развивается на участках распространения ергенинских отложений при их незначительной мощности и близком залегании к поверхности подстилающих майкопских глин, т.е. в местах выклинивания вод ергенинских отложений. Опасны в отношении развития подтопления также майкопские глины на участках, где они подвергались выветриванию и приобрели трещиноватость. В толще отложений мечеткинской свиты на участках, где вблизи поверхности проницаемые породы подстилаются относительно водоупорными (песчаники, алевролиты), также отмечается подтопление, аналогичное вышеописанному.

На участках, сложенных хвалынскими отложениями, картина подтопления сложная и связана с пестротой литологического состава пород. Наиболее обширные площади подтопления формируются в южной части Волгограда (Заканалье), где «шоколадные» водоупорные глины лежат на небольшой глубине и имеют значительную площадь распространения.

Формирование режима грунтовых вод происходит в условиях воздействия многообразных факторов, нередко с противоположной направленностью. По характеру влияния на режим можно выделить следующие территории: 1) районы преимущественного влияния сезонного полива, включающие зеленые зоны, частный сектор застройки и садово-огородные участки в черте города; 2) районы преимущественного влияния капитальной застройки, подземных водных коммуникаций, ливневой канализации и асфальтирования.

В пределах вышеперечисленных районов выделяются дополнительно участки преимущественного влияния перетока грунтовых вод из соседних водоносных горизонтов в областях их разгрузки и участки преимущественного влияния подпора, нарушения естественного стока и дренированности территории (например, Бекетовская низина).

За чертой застроенных территорий основное влияние на формирование режима имеют климатические факторы, в пределах же застройки их влияние безусловно сказывается в значительной мере, но они нередко нарушены проявлениями искусственных факторов.

Характер формирования нарушенного режима грунтовых вод во многом зависит от глубины залегания грунтовых вод, мощности и состава зоны аэрации. Направленность режима (многолетняя и сезонная) во многом связана с комплексным влиянием режимообразующих факторов, отражая их многообразие. Следует лишь отметить, что с увеличением глубины залегания грунтовых вод меняется характер режима, меньше сказывается влияние антропогенных факторов, больше видна общая направленность режима в сторону увлажнения территорий, связанная с региональным изменением естественного режима, на которое накладывается искусственное пополнение грунтовых вод.

Вообще глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ) в немалой степени определяет формирование его режима. При глубине УГВ до 5 м, т.е. близко от поверхности, он четко реагирует на поступление воды в горизонт (осадки, полив), но в то же время многолетние изменения проявляются гораздо слабее. В данном случае на любое повышение УГВ более активно влияет

дренирующая способность поверхности (балки, овраги, микропонижения) и испаряемость. Величина амплитуды сезонных и эпизодических колебаний уровней зависит от состава зоны аэрации и ее мощности.

В связи с этим проявление многих негативных процессов, связанных с высоким уровнем грунтовых вод (подтопление участков и домовладений, просадка и набухание грунтов, вызывающие разрушение фундаментов сооружений), происходит на тех участках, где глубина залегания грунтовых вод составляет до 2,5 м (подтопленные участки) и от 2,5 до 5 м (участки проявления подтопления). Многолетние, годовые, сезонные и эпизодические амплитуды подъема УГВ определяют продолжительность подтопления: от нескольких месяцев (весенний подъем УГВ, полив в вегетационный период, длительные утечки) до нескольких дней (эпизодические утечки).

Расположение подтопляемых участков в пределах территории города показано на карте масштаба 1:25000 (рис. 1), составленной по материалам стационарных гидрогеологических наблюдений по скважинам режимной сети Волгоградской геологоразведочной экспедиции по состоянию на 2002 г., когда многолетние наблюдения были прекращены из-за отсутствия финансирования.



■ — 1; □ — 2

Рис. 1. Карта распространения участков подтопления на территории г. Волгограда с глубиной залегания грунтовых вод, м: 1 — до 2,5; 2 — 2,5...5

Эти данные уточнялись сведениями об уровнях грунтовых вод, полученными в последние годы при проведении изысканий под строительство в Нижневолжском тресте инженерно-строительных изысканий, ЗАО «Радиан» и других организациях. При этом была установлена тенденция к незначительному сокращению площади подтопляемых участков и снижению уровня грунтовых вод на отдельных территориях, что подтверждается и в опубликованных материалах [6].

Подобная тенденция может объясняться, в первую очередь, рядом техногенных факторов: сменой частных домовладений с неумеренными поливами приусадебных участков на многоэтажную застройку, снижением доли утечек из магистралей, улучшением строительной подготовки и планировки территорий, строительством дренажных сооружений. Не исключено и влияние природных климатических факторов, определяющих засушливость территории и общее региональное понижение уровня подземных вод. При этом следует учитывать, что зоны подтопления с очень высоким уровнем грунтовых вод (Бекетовская низина, участки Ангарского поселка, Вишневой Балки и др.) практически не испытывают подобных изменений, которые могут быть заметны на сравнительно «новых» территориях Центрального, Дзержинского и Тракторозаводского районов.

Анализ графиков многолетних гидрорежимных наблюдений по скважинам показывает переход от быстрого роста уровня грунтовых вод в начале массовой застройки в 1960—1970-е гг. к стабилизации и даже некоторому снижению уровня в последние годы наблюдений (рис. 2).

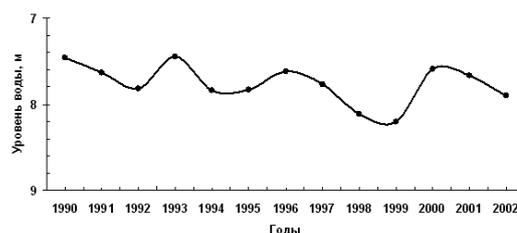


Рис. 2. График режима подземных вод по скважине № 4146 (Центральный район, майкопские отложения)

Необходимо восстановить практику многолетних стационарных наблюдений за режимом грунтовых вод по скважинам на всей территории города [7].

Дальнейшее развитие процесса подтопления следует рассматривать в уже сложившихся нарушенных условиях (изменение рельефа, нарушения стока, перераспределение осадков в условиях нарушения их инфильтрации и т.д.). Качественный и количественный прогноз изменения уровней под воздействием техногенных факторов возможен лишь по конкретным участкам после учета и анализа всех условий, а во многих случаях после проведения дополнительных наблюдений и исследований. Такой подход правомерен к застроенным участкам со сложившимися условиями подтопления.

При освоении новых участков в первую очередь необходимо предусматривать мероприятия, исключающие нарушение поверхностного стока (ливневые, дренажные системы) и увеличение инфильтрации атмосферных осадков.

Общие рекомендации по изучению процесса подтопления сводятся к выявлению закономерностей формирования грунтовых вод в определенных природных и искусственных условиях. Необходимо изучить дренированность участка, состав и мощность зоны аэрации, характер застройки территории, возможные эпизодические или постоянные искусственные факторы пополнения горизонта грунтовых вод. На основе результатов мониторинга режима грунтовых вод следует разработать прогнозы многолетнего изменения уровней, сезонных и срочных колебаний, их амплитуды и сроков наступления экстремумов. Прогнозы должны стать основой для разработки защитных мероприятий.

Комплекс мероприятий по защите территории от подтопления включает:

- устройство водонепроницаемых отмостков вокруг зданий;
- удаление полос зеленых насаждений от зданий на расстояние не менее 2,5 м;
- соблюдение правил укладки водонесущих сетей;

- сооружение вентиляционных устройств в подвальных помещениях и под фундаментами;

- планировочные работы (подъем территорий);

- понижение уровня подземных вод с помощью дренажа.

На вновь осваиваемых территориях дренажи являются профилактическим мероприятием по борьбе с деформациями и подтоплением зданий и сооружений. Тип дренажа выбирается в зависимости от геолого-гидрогеологических условий и от источника обводнения. Низкая проницаемость грунтов и высокая плотность застройки обуславливают трудности в создании эффективных схем как горизонтальных, так и вертикальных дренажей.

Для защиты территории от подтопления водами техногенных накопленных, сформировавшихся в насыпных и намывных отложениях, во всех засы-

панных балках и оврагах необходимо устройство горизонтального дренажа. Засыпку вновь осваиваемых участков балок и оврагов следует производить организованным способом с обязательным устройством дренажа, обеспечивающего отвод подземных и поверхностных вод.

В районах распространения подземных вод в слабопроницаемых отложениях из защитных мероприятий от подтопления наиболее целесообразно устройство горизонтальных дренажей. На участках существующей застройки с разветвленной сетью подземных коммуникаций наиболее эффективными будут лучевые дренажи. Для защиты линейных в плане сооружений (водопроводящие коммуникации) рекомендуется применять линейные дренажи.

В Кировском районе, где наблюдается подпитывание вод бекетовского и хвалынского горизонтов водами ергенинских отложений, возможно устройство перехватывающего дренажа со стороны водораздела. Этот тип дренажа рекомендуется также для защиты от подземных вод, приуроченных к нижней части толщи ергенинских кварцевых песков при глубине залегания 5 м в Краснооктябрьском районе. При значительной мощности обводненных песков для понижения уровня подземных вод возможно применение вертикального дренажа с откачкой воды.

Для борьбы с подтоплением зданий и сооружений водами, сформировавшимися на алевроитовых прослоях и глинах в толще ергенинских отложений и в мечеткинских слоях над оливково-зелеными глинами, необходимо сооружение вертикального дренажа со сбросом вод в нижележащие горизонты ергенинских отложений, в водоносный комплекс, заключенный в отложениях верхнецарыцынской подбиты и мечеткинских слоев. Возможно также устройство горизонтальных дренажей, тяготеющих к трассам водонесущих коммуникаций.

Необходима оценка экономической эффективности защитных мероприятий с учетом их высокой стоимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бондаренко В.И.* Обводнение грунтов на застроенной территории // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 105—117.
2. *Брылев В.А., Самусь Н.А.* Антропогенные изменения геолого-геоморфологической обстановки на территории г. Волгограда // Антропогенные воздействия на природные комплексы и экосистемы. Волгоград, 1976. С. 33—42.
3. *Кавеев Т.С.* О некоторых случаях обводнения в зоне аэрации // Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966. С. 118—127.
4. *Самусь Н.А., Игнатенко О.Н., Самусь А.Н.* Техногенное подтопление территории Волгоградской агломерации и тенденции его развития в последние годы // Поволжский экологический вестник. Вып. 11. Волгоград, 2005. С. 293—298.
5. *Шубин М.А.* Деформации берегового склона р. Волги в связи с процессом подтопления г. Волгограда // Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях. Белгород, 1972. С. 45—49.
6. *Шубин М.А.* Воздействие инженерных мероприятий на подземные воды в Нижнем Поволжье // Воздействие хозяйственной деятельности на геосреду Нижнего Поволжья : тр. Межрегион. конф. Волгоград, 1984. С. 78—81.
7. *Шубин М.А.* Литомониторинг: теоретические и прикладные аспекты. Волгоград : Принт, 2005. 276 с.

© Шубин М.А., Шубин А.М., 2009

Поступила в редакцию
в декабре 2009 г.

УДК 621.181: 502.3

С.А. Чебанова, В.И. Воробьев, В.Д. Балычев

РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ НАЛОЖЕНИЯ ФАКЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ВЫСОКИХ НАГРЕТЫХ ОРГАНИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Освещен вопрос влияния наложения факельных выбросов на загрязнение атмосферного воздуха от двух высоких нагретых организованных источников. При рассмотрении случаев наложения факельных выбросов было выявлено, что при полном наложении происходит увеличение концентраций загрязняющих веществ. Существующая модель расчета концентраций загрязняющих веществ, в соответствии с этим, требует поправки с учетом наложения факельных выбросов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: факельные выбросы, загрязнение атмосферного воздуха, концентрация загрязняющих веществ, наложение факельных выбросов.

In the article we deal with the influence of pollution plume overlapping of two high heated sources on air pollution. Considering the cases of pollution plume overlapping, we displayed that when overlapping the pollution plume completely, the increase of contaminants concentration occurs. According to it, the existing evaluation model of contaminants concentration is to be corrected considering pollution plume overlapping.

К e y w o r d s: plume pollution, air pollution, contaminants concentration, overlapping of the pollution plume.

Было рассмотрено предприятие топливно-энергетического комплекса (ТЭК) — Волгоградская ТЭЦ-2. Предприятие находится в промышленной зоне Красноармейского района г. Волгограда. На предприятии производится тепловая и электрическая энергия посредством сжигания мазутного топлива в котлах ТЭЦ.

Расчет выделения загрязняющих веществ (ЗВ) от сжигания топлива в котлоагрегатах ТЭЦ был выполнен согласно утвержденным природоохранными организациями нормативным документам [1, 2, 3].

В результате сгорания топлива в котлоагрегатах котельной в атмосферу выбрасываются следующие ЗВ: азота диоксид (301); азота оксид (304); сера диоксид (330); мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий) (2904) [4—10].

Продукты сгорания топлива от котлоагрегатов отводятся через два высоких нагретых источника выброса (трубы) высотой 80 и 150 м, диаметры устья труб — 6 и 8 м соответственно. Расстояние между центрами труб — 135,5 м.

Суммарный выброс загрязняющих веществ (ВЗВ) — 466,90155 г/с; или 6428,016 т/год (по данным утвержденного в 2005 г. Нижневолжским управлением Ростехнадзора Проекта ПДВ загрязняющих веществ в атмосферу от предприятия Волгоградская ТЭЦ-2, разработанного на основе инструкции [11]).

Расчет рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе произведен по унифицированной программе «УПРЗА-Эколог» (версия 3.0), реализующей положение ОНД-86 [3]. Программа позволяет по данным об источниках выброса примесей и условиях местности рассчитывать разовые (осредненные за 20...30-минутный интервал) концентрации примесей в приземном слое атмосферы при неблагоприятных метеорологических условиях.

Анализ степени воздействия источников загрязнения атмосферного воздуха проводился на высоте 2 м (зона дыхания), на зимний период (максимальная загрузка котлоагрегатов). Для определения уровня загрязнения приземного слоя атмосферы задавалось 19 контрольных точек на промышленной и селитебной территориях.

Расчет рассеивания показал, собственные выбросы предприятия суммарно с фоном создадут в расчетных точках в приземном слое атмосферы максимальные концентрации:

по азота диоксиду (301) — 0,79 ПДК (вклад фона 0,50 ПДК), или $0,158 \text{ мг/м}^3$;

по азота оксиду (304) — 0,02 ПДК или $0,008 \text{ мг/м}^3$;

по серы диоксиду (330) — 0,24 ПДК (вклад фона 0,058 ПДК), или $0,12 \text{ мг/м}^3$;

по мазутной золе теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий) (2904) — 0,02 ПДК, или $0,0004 \text{ мг/м}^3$.

Результаты расчета представлены на рис. 1 (а—г).

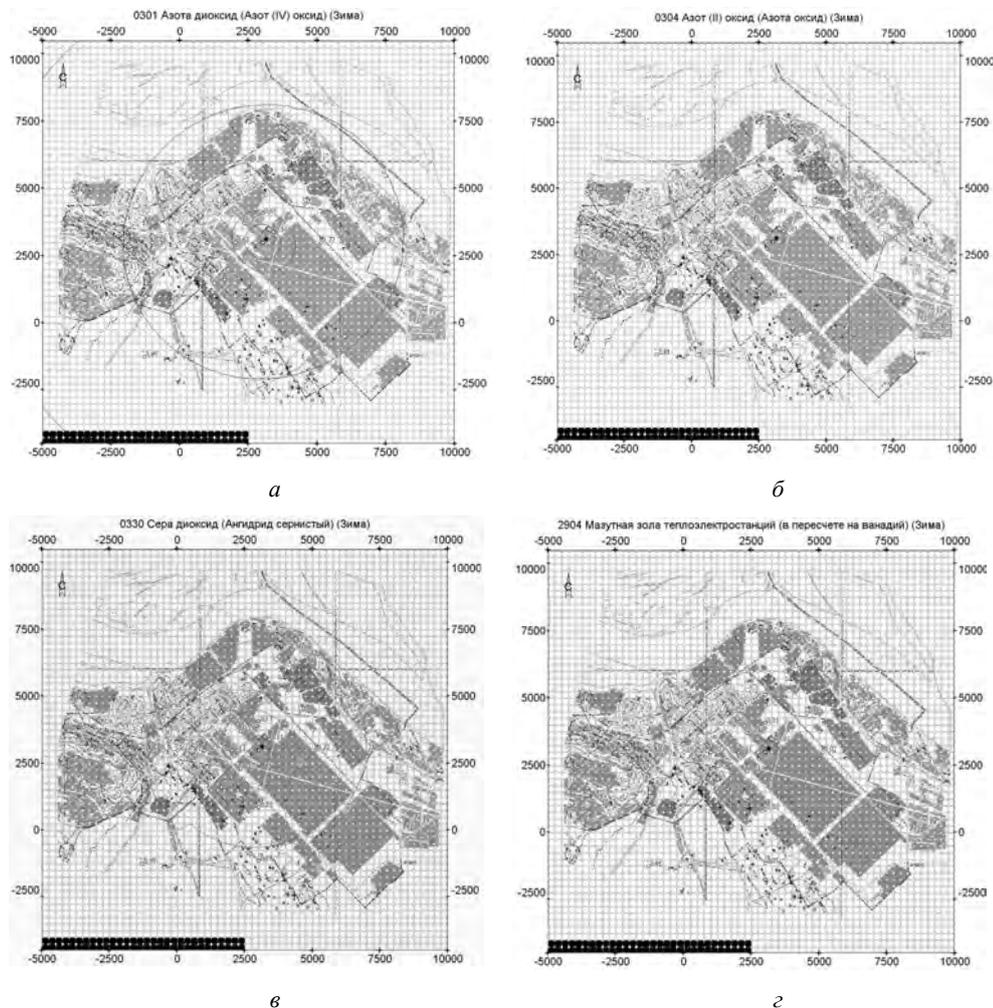


Рис. 1. Карты рассеивания по расчетным данным: а — азота диоксида (301); б — азота оксида (304); в — серы диоксида (330); г — мазутной золе теплоэлектростанций (2904)

На основе анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

расчет рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе не выявил превышений ПДК в расчетных точках не по одному из веществ;

максимальная концентрация ЗВ наблюдается в расчетной точке № 3 — 0,79 ПДК по азота диоксиду (вклад предприятия — 0,29 ПДК или 0,058 мг/м³);

по диоксиду серы максимальная концентрация ЗВ также в расчетной точке № 3 — 0,24 ПДК (вклад предприятия — 0,182 ПДК, или 0,091 мг/м³);

по оксиду азота и мазутной золе теплоэлектростанций ВЗВ Волгоградской ТЭЦ-2 создадут незначительное загрязнение атмосферного воздуха (максимум 0,02 ПДК).

Для определения влияния наложения факельных выбросов на концентрации ЗВ в 2004—2006 гг. были проведены инструментальные замеры с помощью сильфонного аспирометра в 19 контрольных точках [12]. Расчет рассеивания проводился в тех же расчетных точках, в которых проводились инструментальные замеры, для двух веществ: серы диоксида (SO₂) (код 330); азота диоксида (NO₂) (код 301).

Инструментальные замеры проводились для трех случаев вектора направления ветра:

1) совпадает с вектором, соединяющим центры высоких близкорасположенных нагретых источников (полное наложение выбросов);

2) лежит под углом в 45° к вектору, соединяющему центры высоких близкорасположенных нагретых источников (частичное наложение выбросов);

3) лежит под углом в 90° к вектору, соединяющему центры высоких близкорасположенных нагретых источников (наложения выбросов не происходит).

Средние значения инструментальных замеров приведены в таблице.

По результатам инструментальных замеров построены карты рис. 5—7.

Из сравнения рис. 1 и 2—4 видно, что данные, полученные расчетным методом, значительно отличаются от инструментальных замеров.

Особенно эта разница заметна в первом случае (рис. 2): происходит полное наложение выбросов загрязняющих веществ.

Во втором случае (рис. 3). Разница между расчетными значениями и инструментальными замерами при частичном наложении факелов выбросов менее заметна.

В третьем случае (рис. 4). Расчетные и экспериментальные значения в случае, когда наложения выбросов не происходит, практически совпадают.

Выводы. Современная действующая модель расчета концентраций загрязняющих веществ согласно ОНД-86 не учитывает наложения факельных выбросов от высоких нагретых источников [4], соответственно существует вероятность загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий. Математическая модель учета такого наложения также не разработана.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон РФ от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Российская газета. 12 января 2002. № 6.

2. Закон РФ от 4.05.1999 г. № 3-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» // Российской газете. 13 мая 1999 г.

3. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями».

4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД – 86. М. : Госкомгидромет, 1986.
5. Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы. ОНД-90. Утверждено Госкомприродой 1990 г. Спб. : Петербург. дом науч.-техн. пропаганды, 1992.
6. Перечень и коды веществ, загрязняющий воздух, 2002 г.
7. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (доп. и перераб.) / НИИ Атмосфера. Спб., 2005.
8. Методические указания по расчету выбросов оксида азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций РД. 34.02.304-95 / АООТ «ВТИ». ; АО ЦКТИ. М., 1995.
9. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций СО 153-34.02.304-2003 / ОАО «ВТИ». М., 2003.
10. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС, РД 34.02.305-98 / АООТ «ВТИ». М., 1998.
11. Инструкция о порядке рассмотрения, согласования и экспертизы воздухоохраных мероприятий и выдачи разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферу по проектным решениям. ОНД 1-84 / Госкомгидромет. М., 1984.
12. Типовая инструкция по организации системы контроля промышленных выбросов в атмосферу в отраслях промышленности / ГГО им. Воейкова. М., 1986.

Средние значения инструментальных замеров ВЗВ Волгоградской ТЭЦ-2

Параметры проведения инструментальных замеров

Вектор направления ветра совпадает с вектором, соединяющим центры высоких близкорасположенных нагретых источников (полное наложение выбросов) (северо-восточное направление ветра)	Вектор направления ветра лежит под углом 45° к вектору, соединяющему центры высоких близкорасположенных нагретых источников (частичное наложение выбросов) (восточное направление ветра)	Вектор направления ветра лежит под углом 90° к вектору, соединяющему центры высоких близкорасположенных нагретых источников (наложения выбросов не происходит) (юго-восточное направление ветра)
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Концентрации ЗВ в исследуемых точках (доли ПДК)

№ точки	Исследуемое вещество		№ точки	Исследуемое вещество		№ точки	Исследуемое вещество	
	SO ₂	NO ₂		SO ₂	NO ₂		SO ₂	NO ₂
1	0,121	0,818	1	0,097	0,681	1	0,079	0,548
2	0,255	1,034	2	0,208	0,913	2	0,172	0,685
3	0,357	1,189	3	0,300	0,995	3	0,238	0,780
4	0,254	1,013	4	0,210	0,848	4	0,166	0,667
5	0,228	0,913	5	0,234	0,918	5	0,169	0,661
6	0,310	1,067	6	0,311	1,058	6	0,227	0,762
7	0,296	1,034	7	0,300	1,029	7	0,220	0,753
8	0,270	0,989	8	0,273	0,988	8	0,196	0,721
9	0,229	0,904	9	0,224	0,909	9	0,168	0,672
10	0,143	0,641	10	0,186	0,842	10	0,149	0,658
11	0,215	0,741	11	0,270	0,972	11	0,215	0,749
12	0,161	0,666	12	0,170	0,681	12	0,170	0,658
13	0,216	0,765	13	0,217	0,769	13	0,215	0,756
14	0,107	0,568	14	0,107	0,581	14	0,108	0,576
15	0,226	0,770	15	0,229	0,766	15	0,230	0,760
16	0,218	0,757	16	0,217	0,766	16	0,218	0,750
17	0,197	0,721	17	0,196	0,720	17	0,200	0,730
18	0,294	1,044	18	0,221	0,768	18	0,217	0,776
19	0,256	0,985	19	0,186	0,727	19	0,189	0,731

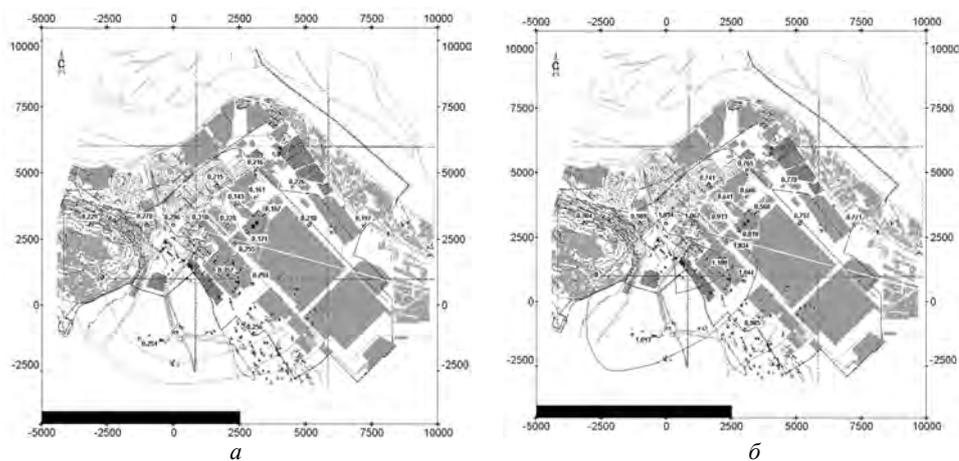


Рис. 2. Карта рассеивания серы диоксида (330) (а) и азота диоксида (301) (б) при полном наложении выбросов (по инструментальным замерам)

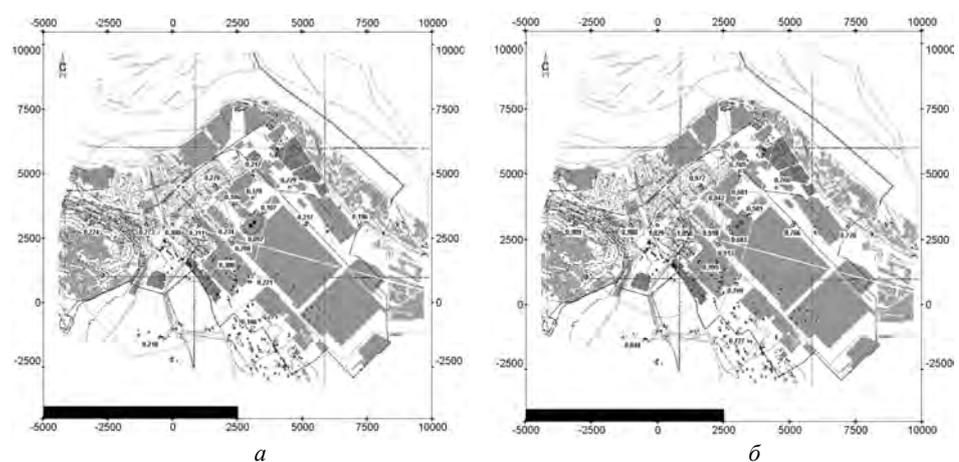


Рис. 3. Карта рассеивания серы диоксида (330) (а) и азота диоксида (301) (б) при частичном наложении выбросов (по инструментальным замерам)

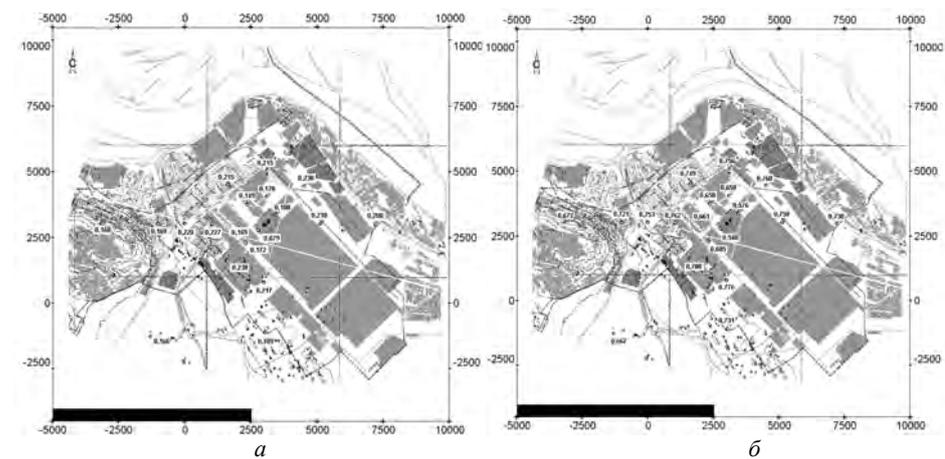


Рис. 4. Карта рассеивания серы диоксида (330) (а) и азота диоксида (301) (б) при отсутствии наложения выбросов (по инструментальным замерам)

Поступила в редакцию в январе 2010 г. © Чебанова С.А., Воробьев В.И., Балычев В.Д., 2010

НАШИ АВТОРЫ

- Абдулжалилов Осман Юсупович** преподаватель, Махачкалинский филиал Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ-ТУ), 8-(8442)-96-99-85, msmadi@dagestan.ru
- Аверкин Александр Григорьевич** канд. техн. наук, проф., профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 8-(8412)-92-94-10, algraw@mail.ru
- Азаров Валерий Николаевич** заслуженный эколог РФ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере ВолгГАСУ, (8-8442)-96-98-07, ptb2006@mail.ru
- Алексиков Сергей Васильевич** д-р техн. наук, доц. кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, руководитель Института транспортного строительства ВолгГАСУ, 8-8442-96-99-85, para34rus@mail.ru
- Алимов Николай Петрович** начальник отдела аттестации и сертификации, ВНИИ охраны и экспертизы труда, г. Москва, (8-449)-164-99-84, vcot-apr@mail.ru
- Бальчев Владимир Дмитриевич** канд. с.-х. наук, ведущий специалист ООО «Волга-Эколон», г. Волгоград, 8-903-373-99-99, vdbalychev@mail.ru
- Бандурин Николай Григорьевич** д-р техн. наук, проф., профессор кафедры строительной механики ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-98-17, bandurin_ng@mail.ru
- Бессараб Ольга Игоревна** канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере ВолгГАСУ, 8-(8442)-37-12-76, otdel_eco@mail.ru
- Блайдо Елена Викторовна** аспирант кафедры промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 8-920-202-03-18, blaido@yandex.ru
- Бондарев Борис Александрович** д-р техн. наук, проф., действительный член академии транспорта РФ, почетный дорожник РФ, советник РААСН, проф. кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-(4742)-32-80-82, mailbox@stu.lipetsk.ru
- Боровик Виталий Сергеевич** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-98-39, postmaster@vgasu.ru
- Власова Оксана Сергеевна** ст. преподаватель кафедры отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности ВолгГАСУ, 8-903-370-27-52, vlasova_oksana@mail.ru
- Волокитина Ольга Анатольевна** аспирант кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 8-(4732)-71-52-02, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, dixi.o@mail.ru
- Воробьев Владимир Иванович** канд. техн. наук, доц., проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ, 8-902-384-25-99, info@vgasu.ru
- Воронова Светлана Олеговна** аспирант кафедры организации строительства, Ростовский государственный строительный университет, инженер, НИИ территориального управления и градостроительного планирования, г. Ростов-на-Дону, 8-(8632)-53-85-76, attestaciia@mail.ru
- Гучкин Игорь Сергеевич** канд. техн. наук, проф., профессор кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 8-(841)-52-43-95, sdimokn@rambler.ru
- Диденко Василий Григорьевич** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, руководитель Института экологии ВолгГАСУ, 8-(8442)-97-49-09, postmaster@vgasu.ru
- Еремин Владимир Георгиевич** канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой проектирования автомобильных дорог и мостов, декан механико-автомобильного факультета, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 8-(4732)-71-52-02, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84
- Жиделёв Андрей Викторович** канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотрудник Управления научных исследований и разработок, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-99-65, postmaster@vgasu.ru
- Захаров Александр Викторович** ст. преподаватель кафедры строительного производства, Пермский государственный технический университет, 8-(342)-244-20-91, spstf@pstu.ac.ru
- Зильберова Инна Юрьевна** канд. техн. наук, доцент кафедры организации строительства, Ростовский государственный строительный университет, 8-(8632)-29-93-44, zilberova@rambler.ru
- Игнатьев Александр Владимирович** канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой прикладной математики и вычислительной техники ВолгГАСУ, р.т. 8-(8442)-96-99-45, alignat@gmail.com
- Кабаев Олег Васильевич** аспирант кафедры инженерной графики, метрологии и стандартизации ВолгГАСУ, 8-(8442)-25-10-38, kabn_88@mail.ru
- Казачкова Людмила Олеговна** аспирант, ассистент кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-98-39, postmaster@vgasu.ru
- Калошина Светлана Валентиновна** ассистент кафедры строительного производства, Пермский государственный технический университет, 8-(342)-244-20-91, spstf@pstu.ac.ru
- Карлушко Марина Олеговна** студентка гр. АДМ-1-08 ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-99-85, maripusik2004@mail.ru
- Козлов Юрий Дмитриевич** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительных материалов и специальных технологий ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-99-57, postmaster@vgasu.ru
- Кокоев Мухамед Нургалиевич** канд. экон. наук, д-р техн. наук, советник РААСН, профессор, Кабардино-Балкарский государственный университет, 360030, КБР, г. Нальчик, ул. Мечиева, д. 91, 8-(8662)-47-50-50
- Куц Людмила Романовна** ст. преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-98-86, postmaster@vgasu.ru
- Панков Александр Викторович** Volgograd State Architectural-Building University (VolgGASU), art. lecturer in Electricity and heat, 400074, Volgograd, Academicheskaya, 1
- Пономарев Андрей Будимирович** аспирант кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 8-927-367-24-56, Pankupols@mail.ru
- д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства, Пермский государственный технический университет, 8-(342)-244-20-91, spstf@pstu.ac.ru

Романов Сергей Иванович	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства транспортных систем ВолгГАСУ, 8-917-842-71-69, postmaster@vgasu.ru
Рубанов Юрий Константинович	канд. техн. наук, доц., профессор кафедры промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 8-(4722)-30-99-38, yrubanov@yandex.ru
Саар Ольга Владимировна	аспирант, ассистент кафедры организации строительства, Ростовский государственный строительный университет, 8-(8632)-69-75-08, saar1954@mail.ru
Сафронов Дмитрий Николаевич	аспирант кафедры строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 8-927-389-60-34, sdi-mokn@rambler.ru
Серпокрылов Николай Сергеевич	заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры водоснабжения и водоотведения, Ростовский государственный строительный университет, гл. науч. консультант, ООО «Акватрат», 8-(8633)-69-51-10, serpokrilov@nm.ru
Сеферов Григорий Григорьевич	аспирант кафедры городского строительства и хозяйства, Ростовский государственный строительный университет, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, 8-918-555-63-13, seferov85@mail.ru
Сидельникова Ольга Петровна	д-р техн. наук, проф., проф. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-98-07, postmaster@vgasu.ru
Сизов Андрей Андреевич	аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Ростовский государственный строительный университет, 8-(8632)-63-44-20, ans@mail.ru
Стадник Александр Юрьевич	аспирант кафедры строительства транспортных систем ВолгГАСУ, 8-906-168-58-32, postmaster@vgasu.ru
Старостина Ирина Викторовна	канд. техн. наук, доц., доцент кафедры промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 8-(4722)-55-47-96, starostinairinav@yandex.ru
Токач Юлия Егоровна	аспирант кафедры промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 8-910-322-17-71, tokach@bk.ru
Трейман Юлия Феликсовна	аспирант кафедры истории архитектуры и искусства и архитектурной реставрации, Институт архитектуры и искусств Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, 8-(8632)-00-44-14, treyman-17@yandex.ru
Углова Евгения Владимировна	канд. техн. наук, доц., доцент кафедры автомобильных дорог, Ростовский государственный строительный университет, 8-(8632)-63-77-76, dortransnii@mail.ru
Ухин Дмитрий Владимирович	аспирант кафедры строительства автомобильных дорог, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 8-(4732)-36-18-89, 8-920-411-58-34, dmitry_ouhin@mail.ru
Флорес Ариас Мария Мелисса	Voronezh state university of architecture and Construction Engineering Post-graduate of Road Construction Dept., Russia, Voronezh
Хежев Толя Амирович	аспирант кафедры промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 8-920-201-04-31, meli0214@mail.ru
Хежев Хасанби Анатольевич	д-р техн. наук, проф. кафедры строительного производства, Кабардино-Балкарский государственный университет, 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, 8-(8662)-42-02-93, (8-8662) 42-17-08, hejev_tolya@mail.ru
Чебанова Светлана Александровна	студент спец. «Промышленное и гражданское строительство», Кабардино-Балкарский государственный университет, 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, 8-(8662)-42-17-08
Черноусов Роман Николаевич	ассистент кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ, 8-909-388-26-81, sveta_nes@mail.ru
Черноусов Николай Николаевич	аспирант кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-(4742)-32-80-82, kaf-st@stu.lipetsk.ru
Черячукин Владимир Викторович	канд. техн. наук, доц., доцент кафедры сопротивления материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-(4742)-39-80-72, mailbox@stu.lipetsk.ru
Шейна Светлана Георгиевна	канд. техн. наук, проф., профессор кафедры сопротивления материалов и теории упругости, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 8-(8412)-55-44-60, VVChery@mail.ru
Шубин Михаил Алексеевич	д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой городского строительства и хозяйства, Ростовский государственный строительный университет, 8-(8632)-27-75-83, RGSU-GSH@mail.ru
Шубин Алексей Михайлович	заслуженный эколог РФ, д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ, 8-(8442)-95-61-06, m-shubin@yandex.ru
	канд. экон. наук, доцент кафедры экономики и управления проектами в строительстве ВолгГАСУ, 8-905-333 35-43, a-shubin@yandex.ru

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: postmaster@vgasu.ru (в теме письма указать наименование кафедры, 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.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении **выписки из решения совета института (для авторов из ВолгГАСУ), выписки из протокола заседания кафедры и одной рецензии. К статьям по разделам технических и естественных наук прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати.**

В статье приводятся:

индекс УДК;

на русском и английском языках: **инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация (до 500 знаков), ключевые слова.**

На отдельном листе (и в отдельном файле) помещаются:

сведения об авторах (фамилия, имя, отчество (полностью, кириллицей и латиницей);

на русском и английском языках: ученая степень, звание, должность, место работы, наименование и код научной специальности (по Номенклатуре ВАК), по которой автор проводит диссертационное исследование;

почтовый адрес (кириллицей и латиницей), телефон и адрес электронной почты для связи с редакцией и контактные данные: адрес электронной почты и телефон — для публикации их в журнале).

Текст статьи и сведения об авторах заверяются личной подписью автора (авторов) статьи.

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 (Сур) № 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*, 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 (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные **библиографические 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 (Сур) № 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.

В рецензии должны быть освещены вопросы соответствия содержания статьи заявленной теме; актуальности, научной новизны; соответствия изложения материала методологическим основам строительных наук и архитектуры; языка, стиля изложения; наличия необходимого графического, табличного материала, формул. Подпись рецензента заверяется в порядке, установленном в организации, где рецензент работает.

Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование). Копия заключения предоставляется автору статьи (имя рецензента не сообщается).

При наличии в рецензии рекомендаций по доработке и исправлению автор должен учесть их при подготовке нового варианта статьи или аргументировано (частично или полностью) их опровергнуть. Доработанная (переработанная) автором статья направляется на рецензирование.

Статья, не рекомендованная рецензентом к публикации, к повторному рассмотрению не принимается.

Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается редколлегией журнала.

После принятия редколлегией решения о публикации статьи ответственный секретарь информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала в течение трех лет.

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. Корректурa 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 авторов 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»

Примерные 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. 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).

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: gorachevaoc@mail.ru.

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8-442)-96-98-46. E-mail: postmaster@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**.

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» — E85343
(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 зарегистрирован

Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и
охране культурного наследия, свидетельство Эл № ФС77-26286 от 17.11.06,

ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство № 226 от 20.10.08 № гос. рег. 0421000065 (на 2010 г.),

Международным центром ISSN, ISSN 1994-0351,

включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация на сайте журнала www.vestnik.vgasu.ru. Доступ свободный.

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.

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 E29507.

Журнал зарегистрирован

Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и
охране культурного наследия, свидетельство ПИ № ФС77-27329 от 28.02.07,

Международным центром ISSN, ISSN 1994-3520,

включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru.

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура
2010. Вып. 17 (36)

Редактор *О.Е. Горячева*

Корректор *М.Л. Песчаная*

Компьютерная правка и верстка *О.Е. Горячева, О.В. Горячева*

Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин, М.А. Назарова*

Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е.В. Хромова*

Подписано в печать 09.02.10. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Уч.-изд. л. 12,1. Усл. печ. л. 13,8. Тираж 500 экз. Заказ №

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Отпечатано в ООО «Царицынская полиграфическая компания»
400117, г. Волгоград, б-р 30-летия Победы, 11а