

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск **Серия: Строительство и архитектура** **2017**
48(67) Научно-теоретический и производственно-практический журнал

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

- Анопин В. Н., Сабитова Т. А., Карпова О. И.** Планирование геодезических наблюдений за состоянием промышленных зданий и технологического оборудования 4
- Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Степанова Е. А., Цветкова Е. В., Пристансков А. А.** Зависимость осадок дневной поверхности от формы и размеров поперечного сечения подземной выработки и коэффициента бокового давления вмещающего грунта 15
- Воронкова Г. В., Гурова Е. В., Карасев Г. М.** Особенности реконструкции ферм покрытия с изменением расчетной схемы в условиях действующего предприятия 27
- Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Мозгунов М. Д., Адзиев С. М.** Инженерно-геологическая оценка вещественного состава и физико-механических свойств сарматских глин 38
- Перехоженцев А. Г.** Проектирование наружных стен высотных зданий с заданным температурно-влажностным режимом 48

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Голованова А. С., Стефаненко И. В., Акчури Т. К.** Полимерцементная композиция с использованием многокомпонентной полимерной системы холодного отверждения в качестве модификатора бетона 61
- Ермаков О. В., Карпова О. И.** Экспериментальные исследования многофакторности влияния на деформацию ползучести тяжелого бетона 73

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А.** Моделирование процесса гидроциклонирования на виброфильтрующей поверхности корпуса 82

Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Бочков М. И. Расчет многопролетных балок с односторонними связями по МКЭ в форме классического смешанного метода	94
Катерина С. Ю. Расчет балочных конструкций на винклеровском основании методом сплайн-аппроксимаций	109
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фетисов Ю. М. Способы повышения надежности запорного устройства защиты гидропривода строительных машин	119
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Лескин А. И., Гофман Д. И., Катасонов М. В. Улучшение прочностных характеристик низкомарочного и малопрочного щебня путем обработки органическим композитным материалом	130
Макаров А. В., Кульбин С. В. Новый способ усиления мостовых пролетных строений из композитных материалов	140
Михайлов А. В. Оценка привлекательности районов города Донецка по результатам обследования сетевых транспортных потоков	150
Стефаненко И. В., Алексиков С. В. Оценка влияния дорожно-ремонтных работ на безопасность движения	159
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Москвичева Е. В., Кузьмина Т. А., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Запорощенко А. А., Николова О. Е., Ибрагимова З. К. Выбор метода очистки сточных вод предприятий по производству железобетонных изделий	166
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ	
Кузнецова С. В., Махова С. И. Гидрогеохимические аномалии Волгоградской городской агломерации и примеры их ликвидации	175
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ. РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Селиванова Н. В., Ястребова Н. А. Планировочные особенности станиц Усть-Медведицкая и Усть-Хоперская как типичных военно-казачьих поселений	184
Ястребова Н. А. Основные этапы урбанизации Волгоградской области	194
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ	
Торгашина С. Н., Степанова И. Е., Богдалова О. В., Бурлаченко Е. А. Исследования качества обучения графическим дисциплинам	205

Content

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

Anopin V. N., Sabitova T. A., Karpova O. I. Planning of geodesic observations over the condition of industrial buildings and technological equipment	4
Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Stepanova E. A., Tsvetkova E. V., Pristanskov A. A. Dependence of the surface subsidence rep day on the form and size of cross section of the underground development and the lateral pressure coefficient in the inclosing soil	15
Voronkova G. V., Gurova E. V., Karasev G. M. Peculiarities of reconstruction of roof trusses changing the design scheme in the conditions of the enterprise	27
Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Mozgunov M. D., Adziev S. M. Engineering and geological assessment of the composition and physical and mechanical properties of the Sarmatian clays	38
Perekhozhentsev A. G. Design of external walls of high-rise buildings with specified temperature and humidity conditions	48

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Golovanova A. S., Stefanenko I. V., Akhurin T. K. Polymer-cement composition with the use of multi-component polymeric cold curing system as concrete modifier	61
Ermakov O. V., Karpova O. I. Experimental studies of the multifactorial effect on creep deformation of heavy concrete	73

STRUCTURAL MECHANICS

Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A. Modeling of the process of hydrocycloning on vibro-filtering housing surface	82
Ignat'ev A. V., Ignat'ev V. A., Bochkov M. I. Calculation of multispan beams with unilateral constraints for the finite element method in the form of classical mixed method	94
Katerinina S. Yu. Calculation of beam structures with Winkler foundation using spline-approximation method	109

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Fetisov Yu. M. Methods of increase of safety of locking device of hydraulic line of building machines	119
---	-----

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

Leskin A. I., Gofman D. I., Katasonov M. V. The improvement of strength characteristics of low-grade and low-strong crushed stone processed by organic composite material	130
Makarov A. V., Kul'bin S. V. New method of strengthening of bridge spans made of composite materials	140
Mikhailov A. V. Evaluation of attractiveness of districts of the city of Donetsk on the results of the survey of network traffic flows	150
Stefanenko I. V., Aleksikov S. V. Assessment of influence of roadwork on traffic safety	159

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Moskvicheva E. V., Kuz'mina T. A., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Zaporoshchenko A. A., Nikolaeva O. E., Ibragimova Z. K. The choice of the method of sewage treatment at enterprises manufacturing concrete products	166
--	-----

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION. HYDRAULIC SYSTEM AND ENGINEERING HYDROLOGY

Kuznetsova S. V., Makhova S. I. Hydrogeochemical anomalies of Volgograd city agglomeration (HAV) and examples of their elimination	175
---	-----

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE

Selivanova N. V., Yastrebova N. A. Planning features of the villages of Ust-Medveditskaya and Ust-Khoperskaya as typical military-cossack settlements	184
Yastrebova N. A. Main stages of urbanization of Volgograd oblast	194

ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Torgashina S. N., Stepanova I. E., Bogdalova O. V., Burlachenko E. A. The study of the quality of graphic disciplines training	205
---	-----

УДК 528.482:725.4(470.441.47)

В. Н. Анопин, Т. А. Сабитова, О. И. Карпова

Волгоградский государственный технический университет

ПЛАНИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Приведены результаты анализа деформации зданий и сооружений Волгоградской ТЭЦ-2. Предложен дифференцированный подход в определении периодичности выполнения геодезических работ по оценке состояния промышленных зданий и сооружений Нижнего Поволжья. Изложены материалы разработок по рационализации технологий геодезических наблюдений для оценки состояния подкрановых путей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: геодезические наблюдения, репер, деформационная марка, промышленные здания и сооружения, мостовые краны, подкрановые пути.

Для обеспечения необходимого уровня безопасности эксплуатации промышленных предприятий должна периодически выполняться оценка результатов воздействия на их здания и сооружения различных факторов, которые целесообразно группировать в критерии стабильности. Обеспечение надежности запланированного функционирования строительного объекта достигается при систематическом проведении мероприятий, обуславливающих увеличение стабильности всех критериев, находящихся ниже минимального технического уровня безопасности [1].

Наиболее интегральным и универсальным методом оценки интенсивности деформации строительного объекта является исследование с использованием геодезической информации. Основой для планирования геодезических работ являются материалы, содержащиеся в паспорте строительного объекта.

Паспорт строительного объекта должен включать свод документированных сведений о возможном изменении технического состояния здания или сооружения и эксплуатируемого в них технологического оборудования, а также их эксплуатационных документаций (архивация, планирование, оценка соответствия), в которых отражаются результаты всех проверок соответствия технического состояния объекта требованиям, установленным действующим федеральным законодательством (Проект Федерального закона. Об общем техническом регламенте «О безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасном использовании прилегающих к ним территорий». URL: amror.ru/gen_dir/bezop_teh.reg1.htm).

Разработчиками Волгодонского инженерно-технического института предложено дополнительно вводить и впоследствии использовать электронную версию паспорта объекта для обеспечения:

- эффективного контроля текущего состояния объекта;
- планирования на объекте в заранее запрограммированном режиме всех необходимых мероприятий;
- оценки (при необходимости) изменения уровня безопасности по конкретным критериям, приблизившимся или перешедшим в зону предельного состояния;

сбора и систематизации всей информации об объекте от этапа изысканий до этапа окончания его эксплуатации;

формирования электронного банка данных текущего состояния объектов на уровнях: муниципальном, субъекта Российской Федерации, федеральном [1].

Для оценки безопасности зданий и сооружений и их технологического оборудования на этапах инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации необходим учет достаточно большого количества внешних и внутренних факторов. Возможные воздействия наиболее значимых из них выявляются в результате инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий. Обе группы полученных материалов являются основой для оценки комплексной безопасности объекта, состоящей из предусматриваемой строительно-технической и технологической надежности инженерных объектов, а также безопасности воздействия изначально непредусмотренных факторов.

Изначально непредусмотренными факторами, в первую очередь, являются те, которые могут вызвать изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и других условий, приводящие к деформациям сооружений [2]. Они проявляются следующим образом. С течением времени в процессе эксплуатации всех крупных инженерных сооружений происходят определенные изменения. Под постоянным сильным давлением веса сооружения грунты в основании фундамента сжимаются и происходит осадка строения.

С течением времени по мере уплотнения грунтов интенсивность осадок от собственного веса сооружения обычно снижается. При этом осадки на песчаных грунтах характеризуются большими скоростями в начальный период с последующим быстрым затуханием, на глинистых — затухание происходит медленнее, но в течение значительно более продолжительного времени.

Если в результате воздействия изменившихся в процессе эксплуатации факторов сжимаемость грунтов под фундаментом будет неодинаковой или нагрузка на разные части фундамента окажется различной, то осадка их будет идти с разной скоростью. Это приведет к деформациям сооружений, изменению высоты расположения различного технологического оборудования. Особенно значительны деформации при воздействии на грунты техногенных факторов, сильном их увлажнении или пересыхании рыхлых горных пород, выщелачивании из них карбонатов и т. д. При значительных величинах этих воздействий в фундаментах и стенах зданий образуются трещины и разломы, становится невозможной нормальная эксплуатация технологического оборудования и, в первую очередь, подкрановых путей.

Значительная осадка сооружения может быть следствием сильных динамических воздействий, передаваемых на основания при работе мостовых кранов большой грузоподъемности, а также от вибрации агрегатов, движения в непосредственной близости от фундаментов строений тяжелого транспорта, работы молотов и т. д.

В результате длительных динамических воздействий (в течение нескольких лет) грунт под фундаментом от вибраций «разжижается», образуя пустоты, особенно увеличивающиеся под влиянием поднявшихся грунтовых вод, и в определенный момент происходит достаточно резкая осадка фундамента.

Назначением геодезических наблюдений за состоянием сооружений и степенью стабильности установленного в них технологического оборудования является определение величин деформации для оценки их устойчивости и приня-

тия своевременных профилактических мер, обеспечивающих возможность нормальной эксплуатации строений. Кроме того, по материалам наблюдений могут быть выявлены закономерности, учет которых обеспечивает возможность проведения работ, исключающих или сводящих к минимуму при данных условиях эксплуатации интенсивность процессов, вызывающих деформации сооружений.

На крупных ответственных сооружениях наблюдения начинают в процессе их строительства и продолжают в течение всего периода их эксплуатации. Наблюдения выполняют в соответствии со специальным проектом, составленным на основе существующих строительных норм и правил (СНиП). В общем случае он включает: техническое задание на производство работ, общие сведения о сооружении, природных условиях и режиме его эксплуатации, схему размещения глубинных реперов и осадочных марок, принципиальную схему выполнения наблюдений, расчет необходимой точности геодезических измерений [3].

Средняя квадратическая ошибка измерений осадки сооружений обычно допускается около 1 мм. Но при наблюдениях за осадками фундаментов агрегатов, устанавливаемых с высокой точностью, а также сооружений, осадка которых после затухания возобновилась, точность измерений повышают до десятых долей миллиметра [4].

В СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве» рекомендуемым способом наблюдения за осадками является периодическое высокоточное нивелирование специальных геодезических знаков (осадочных марок), установленных на фундаменте сооружения. По результатам наблюдений за ними судят о величине осадки отдельных частей строительного объекта. Закладываемые в фундаменты марки имеют форму полусферической головки с заделываемой бетоном хвостовой частью, изготовленной из нержавеющей металла.

Используемой для оценки величины осадки марок высотной опорой является сеть глубинных фундаментальных реперов, устанавливаемых на значительном расстоянии от сооружения в местах, где сохранность высотного положения геодезического знака может быть гарантирована в течение всего или хотя бы значительного периода планируемой эксплуатации зданий, сооружений и их технологического оборудования. Для достижений необходимой точности результатов наблюдений основание репера закладывают на глубине расположения скальных горных пород.

Места установки осадочных марок на сооружениях выбирают с учетом конструкций фундаментов, нагрузки на отдельные части основания (в том числе и динамической), инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории. В общем случае закладку марок производят вдоль осей фундамента. Для выявления прогибов и перекосов в продольном и поперечном направлениях марки устанавливают в местах, с наиболее вероятным возникновением осадок: по сторонам осадочных и температурных швов, вокруг зон с наибольшей динамической нагрузкой и на участках с меняющимися геологическими условиями [5].

Измерение осадок бетонных сооружений производят с использованием высокоточных и точных нивелиров типа Н05 с оптическими микрометрами и инварных штриховых реек, или электронных цифровых нивелиров типа Ni002 и т.д. Для уменьшения влияния на результаты измерений систематиче-

ских ошибок нивелирование производят строго по одной и той же схеме. Расстояние от нивелира до установленных на марках реек допускаются до 25 м.

При камеральной обработке полевых материалов, после уравнивания нивелирных ходов, вычисляют отметки осадочных марок и составляют ведомости, в которых для каждой марки указывают:

- а) величину осадки между двумя последними циклами,
- б) суммарную осадку с начала наблюдений.

Первый цикл высокоточных геодезических наблюдений обычно начинают после возведения основания здания или сооружения. По его результатам вычисляют исходные отметки всех осадочных марок. Последующие циклы наблюдений повторяют по мере возрастания нагрузки на основания строений. В период эксплуатации сооружения необходимую частоту измерений определяют в зависимости от величины осадок: один цикл в квартал, полгода, год и т. д.

В качестве объекта исследований для выявления необходимой периодичности наблюдений за осадками фундаментов промышленных зданий и сооружений нами было взято крупнейшее энергетическое предприятие Волгограда — ТЭЦ-2. Оно расположено на широкой террасе плоской морской низменной равнины, сложенной характерным для Нижнего Поволжья мощным слоем отложений хвалыньских шоколадных глин [6]. Отличительной особенностью шоколадных глин является их набухание при увлажнении, вспучивание при промерзании влажного грунта, уплотнение при высыхании и под воздействием большой нагрузки. Следствие этих процессов проявляется в деформации сооружений.

На территории ТЭЦ установлено 4 глубинных репера. На фундаментах строений закреплены осадочные марки. В начальный период эксплуатации зданий и сооружений ТЭЦ геодезические наблюдения и оценку интенсивности процессов осадки проводили ежегодно. Затем в связи с постепенным уменьшением численных значений осадки большей части зданий и сооружений постепенно был осуществлен переход к периодическим наблюдениям, продолжающимся до настоящего времени.

В соответствии с требованиями нормативной документации, а именно СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве», ГОСТ 24846-81 «Грунты, методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» и [7, 8], геодезические работы по определению вертикальных перемещений фундаментов строений выполнялось геометрическим нивелированием II класса в два этапа. В первом этапе производились нивелирные работы между глубинными реперами, по результатам которых оценивалась стабильность их состояния, во втором — выполнялись геодезические наблюдения для определения величин вертикальных перемещений деформационных марок. При этом нивелирные ходы включали все деформационные марки между глубинными или рабочими реперами.

Определялись величины вертикальных перемещений фундаментов следующих зданий: административного и лечебного корпусов, столовой, служебных корпусов № 1 и 2, химводоочистки и компрессорной, главного корпуса КТЦ, «Спецэнергоремонта», сооружений мазутонасосной и насосной станций, градирен № 1—3, дымовых труб № 1 и 2, аккумуляторных баков № 1 и 2, фундаментов турбогенераторов № 2—10, котлов № 1—9.

Нами проведен анализ изменения отметок деформационных марок за период 1986—2012 гг. В результате было установлено, что в течение

1986—1999 гг. величины деформаций различных зданий и сооружений ТЭЦ существенно различались. Так, марка № 75, установленная на здании химводоочистки, поднялась на 52 мм, а марка № 92 на противоположной стене опустилась на 22 мм, марки № 216 и 219 на здании насосной опустились на 63 и 67 мм соответственно, при снижении уровня других марок всего на 20...30 мм.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности ежегодной оценки величины перемещения марок № 75, 92, 216 и 219 на этих зданиях, установив периодичность нивелирования марок остальных объектов раз в 3–4 года. Однако в целях экономии средств наши рекомендации не были учтены, и следующее нивелирование всех деформационных марок на объектах ТЭЦ, в том числе и на этих зданиях, было проведено лишь через шесть лет в 2005 году.

Анализ данных последующих наблюдений свидетельствует о том, что в течение периода 2000—2012 гг. интенсивность вертикальных перемещений ряда зданий и сооружений резко возросла. Особенно тревожным явилось то, что имели место значительные отличия в разных их частях.

В итоге за 26-летний период изменения отметок марок административного корпуса варьировали в пределах –53...–18 мм, служебного корпуса № 1 –74...+1 мм, здания электролизной –135...–60 мм, лечебного корпуса –91...–14 мм, здания химводоочистки –25...+62 мм, столовой –100...–5 мм.

Эта интенсификация и разнонаправленность процессов вертикальных перемещений явилось свидетельством значительного изменения условий эксплуатации, вызвавшим отрицательное техногенное воздействие на грунты оснований (их переувлажнение в результате техногенных протечек изношенных трубопроводов и общее изменение гидрогеологических условий, в том числе подъем уровня грунтовых вод и т.д.). В 2012 г. даже глубинный репер № 3 в результате подтопления (в колодце стояла вода) изменил высотное положение в сторону понижения.

В то же время осадочные марки ряда других зданий и сооружений характеризовались относительно небольшими перемещениями в вертикальном направлении или равномерной осадкой, не вызывающей серьезных деформаций строительных объектов. Так, изменение вертикального положения марок на здании компрессорной составило 0...–5 мм, на сооружения градирен № 1 –3 ...+5 мм, № 3 — 0...+3 мм, газоходов –1...+4 мм, дымовой трубы № 1 –4...–6 мм, № 2 — 0...20 мм, фундаментов под турбогенераторами –6...+6 мм, под котлами (с 1999 по 2012 гг.) –5...+8 мм и т. д.

Изложенное свидетельствует о целесообразности в проекте производства геодезических работ планировать ежегодное выполнение наблюдений за ходом вертикальных перемещений деформационных марок на зданиях административного, лечебного и служебного корпусов, электролизной, химводоочистки, насосной станции и столовой. На остальных зданиях и сооружениях может быть установлена периодичность наблюдения раз в три-пять лет.

Для обеспечения качественного мониторинга наблюдений обработка и анализ их результатов должны выполняться в течение длительного периода, по возможности, постоянной группой независимых высококвалифицированных специалистов [3]. Обязательным условием является своевременное восстановление осадочных марок, поврежденных или закрытых в процессе ремонта и эксплуатации зданий и сооружений.

Только последовательный анализ результатов ежегодных наблюдений на объектах с интенсивным перемещением осадочных марок и периодический — на остальных зданиях и сооружениях обеспечит возможность выявления и исключения ошибок геодезических наблюдений, вызванных воздействием вибрации и некоторых других внешних условий, установления причин получения противоречивых данных, определения необходимости введения корректив, т. е. получения соответствующих действительности достаточно точных материалов, и обеспечит максимально обоснованные выводы, обуславливающие возможность разработки рациональных предложений по проведению мероприятий, направленных на ликвидацию условий, вызывающих деформации зданий и сооружений.

Не менее значимы для оценки безопасности эксплуатации промышленных объектов материалы, характеризующие стабильность положения технологического оборудования и, в первую очередь, подкрановых путей.

Практически во всех отраслях тяжелой промышленности мостовой кран является одним из главных механизмов, обеспечивающих технологические процессы. Мостовые краны перемещаются вдоль цеха или рабочей площадки по рельсовым подкрановым путям и монтируются на уровне, обеспечивающем отсутствие помех в эксплуатации установленных в цехе станков и машин. Подкрановые пути воспринимают и распределяют нагрузку от веса кранов и поднимаемых ими грузов на опорные сооружения.

Длина подкрановых балок соответствует расстоянию между осями колонн (шагу колонн). Величина шага колонн, как правило, кратна 6. В зависимости от конструктивных особенностей здания, цеха промышленного предприятия или сооружения шаг колонн может быть равен 6, 12, 18, 24, 30 м. Длина пролета также обычно кратна 6 и составляет 6...42 м. Высота колонн зависит от необходимой высоты подъема грузов [9].

Крепление рельсов к подкрановым балкам может быть подвижным и неподвижным. Преимущественно применяется подвижное крепление, позволяющее наименее трудоемко и наиболее быстро передвигать рельсы при их рихтовке. В условиях непрерывного промышленного производства эти факторы имеют большое значение, так как с остановкой кранов резко осложняется выполнение технологических процессов.

Безопасность работы кранов и определяющая ее надежность подкрановых конструкций в значительной мере зависят от степени сохранения неизменности геометрии подкрановых путей. В процессе эксплуатации путей в результате силового воздействия на них кранов, осадок фундаментов, деформации подкрановых конструкций и влияния других факторов изменяются их геометрические параметры. В результате нарушаются условия работы кранов и подкрановых конструкций, что может вызвать крупные аварии. При значительном отклонении ширины колеи от проектного значения краны сходят с рельсов, а при завышенных продольном или поперечном уклонах опрокидываются стреловые краны.

Для того чтобы подкрановые пути соответствовали техническим требованиям, предусмотрен ряд мероприятий, одним из которых является систематический контроль, в процессе которого определяется фактическая ширина колеи, прямолинейность рельсов, продольный и поперечный уклоны пути.

Подкрановые пути значительно различаются по конструкции, пространственному положению и условиям эксплуатации. Эти различия обусловили

разнообразие геодезических методов наблюдений за их состоянием. Допуски на содержание подкрановых путей довольно жесткие, измерения должны выполняться с необходимой точностью.

В процессе использования подкрановые пути изнашиваются. При этом относительно медленно идущие процессы их естественной деформации в нормальных условиях эксплуатации резко возрастают при осадке или крене опор. Происходит преждевременное разрушение элементов подкрановых путей, следствием которых может быть их переход в стадию непригодности для дальнейшей работы [10].

Правилами предусматривается периодический (не реже чем через 12 месяцев) осмотр подкрановых путей. Конкретные сроки их осмотра и выполнения необходимой рихтовки рельсов устанавливаются графиком.

В процессе исследования состояния подкрановых путей в обязательном порядке проверяют ширину колеи, продольный и поперечный уклоны, отклонение от прямой линии, определяют расстояние между путями одной опоры и расстояние между путями противоположных опор.

Оценку состояния подкранового пути производят по данным планово-высотной геодезической съемки. Величины отклонений от проектных значений не должны превышать соответствующих допусков на содержание пути. При выявлении отклонений геометрических параметров, превышающих эти допуски, эксплуатация кранов приостанавливается.

Методы выполнения геодезических наблюдений подкрановых путей наиболее полно изложены в работе [9]. В ней дано достаточно подробное описание технологий выполнения геодезического контроля за состоянием различных подкрановых путей промышленных предприятий. Однако предлагаемые способы и технологии выполнения геодезических работ в современных условиях часто недостаточно рациональны.

Так, рекомендуемые ими методы измерения ширины колеи (способы микротриангуляции и четырехугольника) требуют большого количества угловых измерений и в настоящее время широкого применения найти не могут вследствие чрезмерной трудоемкости. По нашей оценке значительно более предпочтительны методы непосредственных измерений. И. М. Репалов предлагает способ измерения расстояния между рельсами стальной рулеткой с введением поправок за провис полотна. Однако его нельзя признать рациональным вследствие трудоемкости, необходимости дополнительных вычислений и риска травматизма при выполнении измерений. Разработанные им устройства и приспособления для непосредственного измерения ширины колеи также могут найти очень ограниченное применение (только при условии практически полного прекращения работ кранов, осуществление которого в непрерывном производственном процессе проблематично).

В настоящее время измерение ширины колеи целесообразно выполнять лазерным дальномером (лазерной рулеткой). Его применение значительно упрощает процесс измерений без снижения точности. Так, если, по расчетам И. М. Репалова, общая средняя квадратическая ошибка измерения стальной рулеткой колеи шириной 10 м составляет 1,2 мм; 20 м — 1,5 мм; 30 м — 1,8 мм; 40 м — 2,2 мм, то современными лазерными рулетками она не превышает 1,5...3 мм. Для упрощения, ускорения работ целесообразно использование несложных приспособлений для установки лазерной рулетки и отражателя (экрана) над осями рельсов.

Значительно сложнее решение вопроса выбора эффективного метода определения прямолинейности осей рельсов. Наиболее целесообразно выполнение работы методом створных измерений. Створные прямые линии могут проходить вблизи рельсов на удобном месте для измерений расстояний. Начальную и конечную точки прямой линии желательно располагать соответственно в начале и конце рельсового пути на одинаковом удалении от рельса. При этом И. М. Репалов предлагает все измерения проводить от осей рельсов, являющихся осями симметрии их боковых граней, закрепляя точки осей насечкой керном или зубилом на верхней грани головки рельса, определять величины отклонения оси рельса от прямой линии способами «струны» или «оптического створа».

При способе «струны» вблизи рельса на уровне его верхней грани или на некоторой высоте от рельса он предлагает натягивать струну из тонкой стальной проволоки или капроновой нити и расстояние между струной и осью рельса измерять линейкой с миллиметровыми делениями.

Анализ проведенных нами по этой методике работ показал, что на практике в чистом виде этот способ может найти применение только при наблюдениях за состоянием коротких подкрановых путей, длиной не более 30...40 м, и лишь при отсутствии теодолита. Предлагаемое применение измерителя кривизны В. А. Спирова [11] и зеркального отвеса, не обеспечивая повышения производительности работ, приемлемо только при условии отсутствия вибрации несущих конструкций путей. Разработанный им метод «подвижной хорды», при котором смещение оси рельса от проектной осевой определяется через 40 м, а внутри 40-метровых отрезков вычисляют стрелы от хорд и по их значениям вычисляют боковые смещения («координаты Y »), трудоемок. Рекомендуемый для повышения производительности труда прибор, состоящий из рейки, трех роликов и индикатора часового типа, серийного производства не получил, а следовательно, не может быть поверен в специализированных организациях и официально рекомендован к использованию при выполнении геодезических работ.

В настоящее время по существу единственным рациональным способом определения отклонения рельсов подкрановых путей от прямой линии является способ «оптического створа» с использованием в качестве створной линии визирного луча зрительной трубы теодолита. Величина непараллельности рельса и створной линии определяется методом бокового нивелирования. В работе [9] рассматривается и этот способ, но предлагаемая технология выполнения геодезических работ основывается на том, что, по мнению авторов, непараллельность рельсов возникает в основном за счет их одностороннего износа под воздействием ходовых колес мостовых кранов. Поэтому они считают, что пятку (нулевой штрих) рейки нужно совмещать с осью рельса.

Опыт выполнения нами работ на Волжском трубном заводе свидетельствует о нерациональности этой методики, так как определение и фиксация точек рельсовых осей с последующим совмещением с ними пяти рейки в условиях слабой освещенности подкрановых путей являются весьма трудоемкими операциями, связанными с повышенной опасностью их выполнения. Значительно целесообразнее выполнение бокового нивелирования от линии боковой грани рельса. Для обоснования правомерности применения этого метода нами проведен анализ состояния и хода износа боковых граней рельсов.

В результате было установлено, что износ боковых рельсов подкрановых путей, даже в цехах с наиболее интенсивной работой мостовых кранов большой грузоподъемности, невелик и не превышает 5 мм. При износе, равном 5 мм, отклонение линии грани рельса от его оси за счет одностороннего износа не может быть более 2,5 мм. Эта величина не превышает ошибки геодезического наблюдения. Для луча длиной 200 м и зрительной трубе технического теодолита 4Т30 с двадцатикратным увеличением ошибка визирования составляет 0,9 мм, ошибка отсчета — 2,3 мм; общая ошибка будет равна 2,5 мм ($\sqrt{0,9^2 + 2,3^2}$). Следовательно суммарная ошибка с учетом ошибки за износ рельса при линии длиной 200 м может быть 3,5 мм ($\sqrt{2,5^2 + 2,5^2}$), что более чем на порядок меньше допустимого смещения оси рельса от прямой, составляющего согласно инструкции [10] даже на 30-метровом участке 20 мм. Для контроля боковые смещения рельсовых путей определяют при двух положениях оптического створа (в прямом и обратном направлениях). При этом ошибка бокового нивелирования линии длиной 200 м составит 2,5 мм ($3,5 : \sqrt{2}$), т. е. будет вполне допустима.

Основным методом определения высотного положения подкрановых путей является геометрическое нивелирование с установкой реек непосредственно на головках рельсов. Работу наиболее рационально выполнять по замкнутому ходу со станций, расположенных на противоположной от нивелируемого рельса стороны. Замыкание хода следует осуществлять на жесткой точке угловой колонны, не являющейся несущей для подкранового рельса. Отметки точек целесообразно вычислять в условной системе высот.

Для обеспечения необходимой точности геодезических работ необходимо соблюдать следующие требования геометрического нивелирования подкрановых путей [9]:

- а) короткими лучами;
- б) с соблюдением равенства плеч;
- в) при установке нивелира на полу цеха;
- г) обеспечение прохождения визирного луча вдали от источников тепловыделения и вентиляционных установок;
- д) при неработающей системе отопления (в теплый период времени).

Однако в условиях современных больших (высоких и длинных) цехов реально выполнение лишь условий «а» и «б», да и только при возможности установки нивелира в середине моста крана и взятии отсчетов по рейкам, установленным на предыдущих и последующих точках нивелирных ходов обоих рельсов. На практике такая возможность чаще всего является исключением.

Из вышеизложенного следует, что для рационального планирования и достижения необходимой точности выполнения геодезических работ, необходимых для оценки состояния промышленных зданий и технологического оборудования, нужен творческий подход к разработке методики измерений, обуславливающий обеспечение достаточно высокой производительности труда. Это возможно только на основе как всестороннего анализа комплекса условий выполнения наблюдений в каждом конкретном объекте, так и использования материалов за весь период выполненных геодезических наблюдений за ходом осадки зданий и сооружений при изменяющемся состоянии грунтов их оснований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заяров Ю. В. Разработка системы управления безопасностью эксплуатации зданий и сооружений // Бюллетень союза геодезистов. 2010. № 4. С. 25—28.
2. Анопин В. Н. Изменение инженерно-геологических свойств грунтов при рекультивации деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья // Экологические оценки регионального развития. Материалы круглого стола. Волгоград: ВолГУ, 2009. С. 106—110.
3. Анопин В. Н. Организация производства геодезических работ для определения осадки Вожской ГЭС // Бюллетень союза геодезистов. 2010. № 4. С. 9—10.
4. Инженерная геодезия / под. ред. Д. Ш. Михелева. М.: Академия, 2008. 478 с.
5. Справочник геодезиста. Кн. 2. 2-е изд., перераб. и доп. / под. ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. М.: Недра, 1985. 440 с.
6. Анопин В. Н. Эколого-градостроительная характеристика геоморфологии окрестностей г. Волгограда // Вестник Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии. Сер.: Строительство и архитектура. Юбилейный выпуск. 2002. С. 100—105.
7. Инструкция по нивелированию I—IV классов. М.: Недра, 1990. 166 с.
8. Руководство по наблюдению за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1975. 160 с.
9. Ганышин В. Н., Репалов И. М. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей. М.: Недра, 1972. 108 с.
10. Правила устройства и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов. М.: Недра, 1968.
11. Спиров В. А. Измеритель кривизны ИКС-1 // Известия вузов «Геодезия и аэрофото-съемка». 1964. № 6.

© Анопин В. Н., Сабитова Т. А., Карпова О. И., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Анопин В. Н., Сабитова Т. А., Карпова О. И. Планирование геодезических наблюдений за состоянием промышленных зданий и технологического оборудования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 4—14.

Об авторах:

Анопин Владимир Николаевич — д-р географ. наук, профессор, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AnopinVI.Nik.48@yandex.ru

Сабитова Татьяна Анатольевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ta.sabitova@gmail.com

Карпова Ольга Ивановна — доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, olga.vist@mail.ru

V. N. Anopin, T. A. Sabitova, O. I. Karpova

**PLANNING OF GEODESIC OBSERVATIONS OVER THE CONDITION
OF INDUSTRIAL BUILDINGS AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

The results of the analysis of deformation of buildings and structures of Volgograd CHP Plant-2 are provided. The differentiated approach for the determination of the frequency of performance of geodesic works on the state assessment of industrial buildings and structures in the Lower Volga region is proposed. The proceedings on the development of rationalization technology of geodesic observations to assess the condition of crane runways are represented.

Key words: geodesic monitoring, check point, deformation control benchmark, industrial buildings and structures, overhead cranes, crane runways.

REFERENCES

1. Zayarov Yu. V. [Development of the system of management of operating safety of buildings and constructions]. *Byulleten' soyuza geodezistov* [Bulletin of the union of geodesists], 2010, no. 4, pp. 25—28.
2. Anopin V. N. [Change of engineering and geographical properties of soils under recultivation of degraded landscapes in the Lower Volga Region]. *Ekologicheskie otsenki regional'nogo razvitiya. Materialy kruglogo stola* [Environmental assessment of the regional development. Proceedings of the round-table conference]. Volgograd, VSUACE Publ., 2009. Pp. 106—110.
3. Anopin V. N. [Organization of the production of geodetic works for determination of setting of constructions of the Volga hydroelectric power station]. *Byulleten' soyuza geodezistov* [Bulletin of the union of geodesists], 2010, no. 4, pp. 9—10.
4. Mikhelev D. Sh., ed. *Inzhenernaya geodeziya* [Engineering geodesy]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 478 p.
5. Bol'shakov V. D., Levchuk G. P., ed. *Spravochnik geodezista. Kn. 2* [Geodesist's reference book. Book 2]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 440 p.
6. Anopin V. N. [Ecological town planning characteristic of geomorphology of the suburbs of Volgograd]. *Vestnik Volgogradskoi gosudarstvennoi arhitekturno-stroitel'noi akademii. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. Yubileinyi vypusk* [Bulletin of Volgograd State Academy of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture. Anniversary issue], 2002, pp. 100—105.
7. *Instruktsiya po nivelirovaniyu I—IV klassov* [Instruction on levelling of I—IV forms]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 166 p.
8. *Rukovodstvo po nablyudeniyu za deformatsiyami osnovanii i fundamentov zdaniy i sooruzheniy* [Guidance on supervision over deformations of bases and foundations of buildings and constructions]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1975. 160 p.
9. Gan'shin V. N., Repalov I. M. *Geodezicheskie raboty pri stroitel'stve i ekspluatatsii podkranovykh putei* [Geodetic works at the construction and operation of crane runways]. Moscow, Nedra Publ., 1972. 108 p.
10. *Pravila ustroystva i bezopasnosti ekspluatatsii gruzopod'emnykh kranov* [Rules for design and safe operation of cargo cranes]. Moscow, Nedra Pul., 1968.
11. Spirov V. A. [IKS-1 rotameter]. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos'emka"* [News of Institutions of Higher Education "Geodesy and Aerial Survey"], 1964, no. 6.

For citation:

Anopin V. N., Sabitova T. A., Karpova O. I. [Planning of geodesic observations over the condition of industrial buildings and technological equipment]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 4—14.

About authors:

Anopin Vladimir Nikolaevich — Doctor of Geographic Science, Professor, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AnopinVI.Nik.48@yandex.ru

Sabitova Tat'yana Anatol'evna — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ta.sabitova@gmail.com

Karpova Ol'ga Ivanovna — Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, olga.vist@mail.ru

УДК 624.131.53:622.261.2

**А. Н. Богомолов^{а, б}, О. А. Богомолова^б, Е. А. Степанова^б, Е. В. Цветкова^б,
А. А. Пристансков^б**

^а *Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ЗАВИСИМОСТЬ ОСАДОК ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ И КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ВМЕЩАЮЩЕГО ГРУНТА

Приведены результаты анализа влияния на осадки дневной поверхности формы поперечного сечения, глубины заложения и поперечных размеров подземной выработки при разных численных значениях коэффициента бокового давления вмещающего грунта. Установлено, что при достижении некоторых значений глубины заложения и размеров поперечного сечения выработки влияние указанных факторов становится существенным, и возникает задача об оптимальной форме поперечного сечения выработки, обеспечивающей минимальные по величине осадки земной поверхности.

Ключевые слова: подземная выработка, форма и размер поперечного сечения, осадки земной поверхности, коэффициент бокового давления вмещающего массива.

В работе [1] приведена часть результатов численного моделирования процесса оседания земной поверхности, расположенной над горизонтальными подземными выработками, форма поперечного сечением которых представляют собой квадрат и половину эллипса.

Установлено, что если вмещающий массив однороден и изотропен, то величина максимального перемещения точки земной поверхности, расположенной на оси симметрии выработки, зависит от величины коэффициента бокового давления грунта, глубины заложения выработки H , размеров и формы ее поперечного сечения. Причем, при всех прочих равных условиях, перемещение этой точки земной поверхности, расположенной над полуэллиптической выработкой, всегда значительно меньше, чем в случае, когда форма поперечного сечения представляет собой квадрат.

Показано, что мультиседлообразная форма для всех рассмотренных вариантов расчета имеет седлообразную форму (рис. 1), что согласуется с результатами исследований других авторов и натурных наблюдений [2—12].

При увеличении коэффициента бокового давления вмещающего грунта (породы) ξ_0 и глубины заложения выработки (при неизменных других условиях) величины вертикальных смещений точек дневной поверхности уменьшаются. Увеличение геометрических размеров поперечного сечения выработки, напротив, во всех случаях ведет к увеличению численных значений вертикальных смещений.

Численное решение выполнено в упругой постановке при помощи компьютерных программ [13, 14]. Отметим, что при проведении вычислений величина модуля упругости вмещающих пород принята равной $\frac{E}{\gamma H} = 500$, где

γ — объемный вес пород; H — глубина заложения выработок, т. е. E — есть величина безразмерная. Численные значения вертикальных смещений при

проведении вычислений также получаются безразмерными. Это удобно для количественного анализа, так как нас интересуют не конкретные значения перемещений, а лишь закономерности изменения их величин в зависимости от изменения численных значений переменных расчетных параметров. В качестве таких параметров, как уже говорилось выше, выступают форма и размеры поперечного сечения выработки, глубина ее заложения и коэффициент бокового давления вмещающих пород.

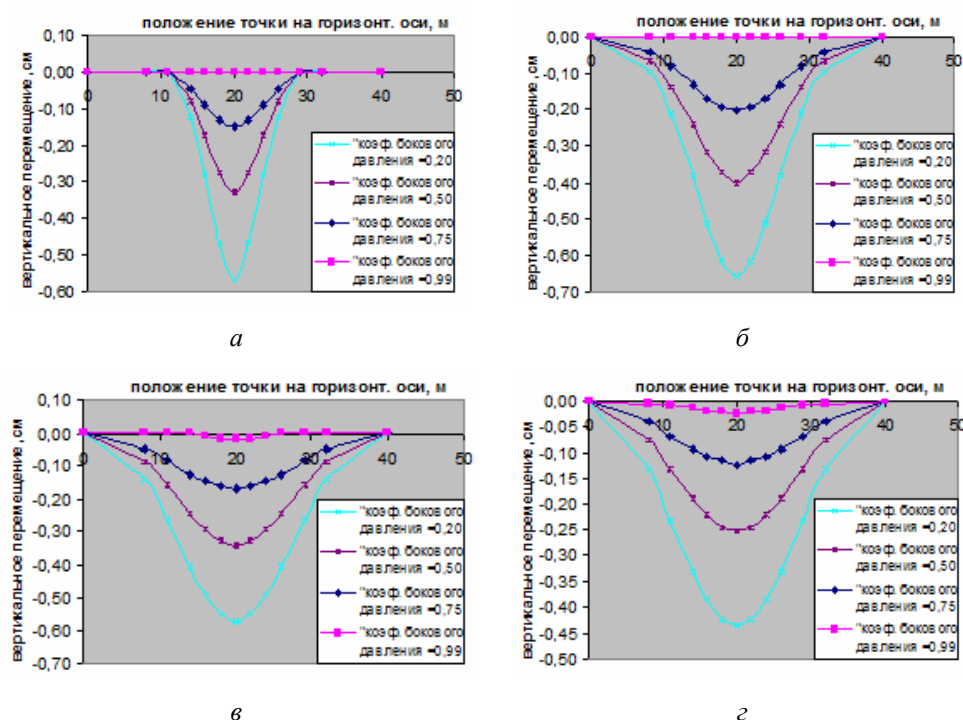


Рис. 1. Графики оседания земной поверхности над подземной выработкой (полуэллипс размером 4×4 м), отработанной на глубине 5,2 м (а); 10,0 м (б); 15,2 м (в) и 20 м (г) при различных численных значениях $\xi_0 = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99$

В данной работе поставлена задача: установить особенности изменения величин вертикальных перемещений точек земной поверхности, расположенных на оси симметрии выработки, при условии, что сечения выработок имеют форму квадрата, половины эллипса, окружности, дельтоиды и астроиды в зависимости от их геометрических размеров, глубины заложения и величины коэффициента бокового давления вмещающего массива. Принято, что поперечные размеры выработок (стороны квадрата, в который вписаны соответствующие геометрические фигуры (рис. 2)) принимают значения $2,4 \times 2,4$ м; $4,0 \times 4,0$ м; $8,0 \times 8,0$ м, глубина заложения выработок $H = 5,2$ м; 10,0 м; 15,2 м и 20 м, а величина коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99$.

Как видно из рис. 2, поперечные размеры дельтоиды несколько больше поперечных размеров остальных фигур. Будем считать, что при расчете это идет в запас.

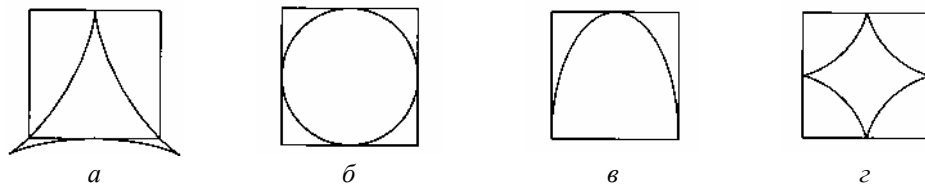


Рис. 2. Формы поперечного сечения подземной выработки: дельтоида (а); круг вписан в квадрат (б); половина эллипса вписана в квадрат (в); астроида вписана в квадрат (г)

На рис. 3—5 приведены графические интерпретации зависимостей вида, которые показывают, как изменяются величины вертикального смещения точек земной поверхности, лежащей на оси симметрии выработок с сечением в виде квадрата, круга, половины эллипса и дельтоиды, по мере увеличения глубины их заложения.

Качественный анализ кривых показывает, что для выработок с любой, из рассмотренных форм поперечного сечения, при значениях коэффициента бокового давления грунта $\xi_0 \geq 0,75$ вогнуты вниз, на всех кривых имеется локальный максимум, который соответствует глубине заложения выработок равной, приблизительно, $H = 10$ м. Исключение составляют только кривые, построенные для выработок квадратного сечения с поперечными размерами 4×4 м при коэффициенте бокового давления вмещающего грунта $\xi_0 \leq 0,75$ и с поперечными размерами 8×8 м при всех рассмотренных численных значениях этого коэффициента. Эти кривые с достаточной для практики степенью точности аппроксимируются прямыми линиями.

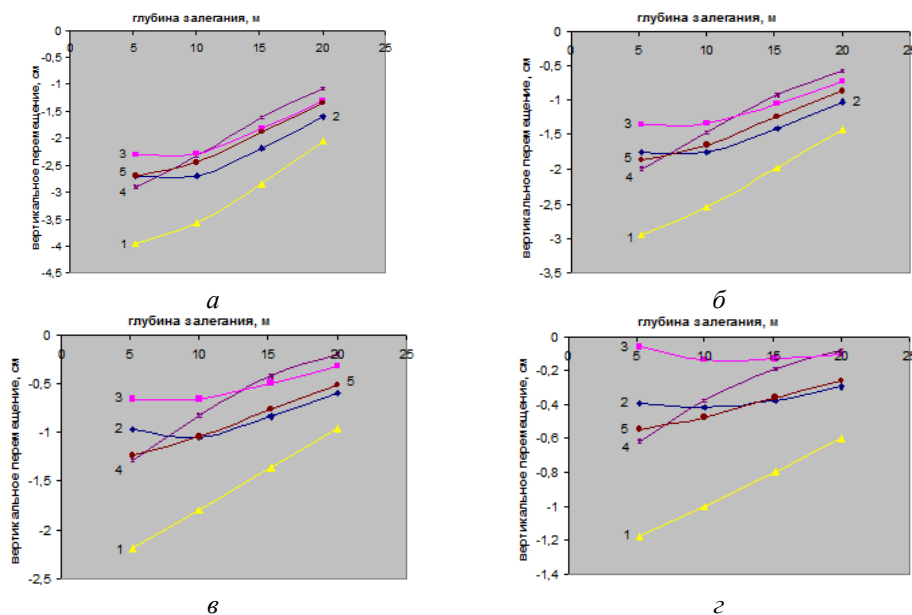


Рис. 3. Кривые $\delta = f(H)$ зависимости величины вертикального смещения точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии выработки с сечением в виде квадрата (1), круга (2), половины эллипса (3), дельтоиды (4) и астроида (5), при условии, что их поперечные размеры 8×8 м, а величина коэффициента бокового давления вмещающего грунта принимает значения $\xi_0 = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99$ — а; б; в; г соответственно

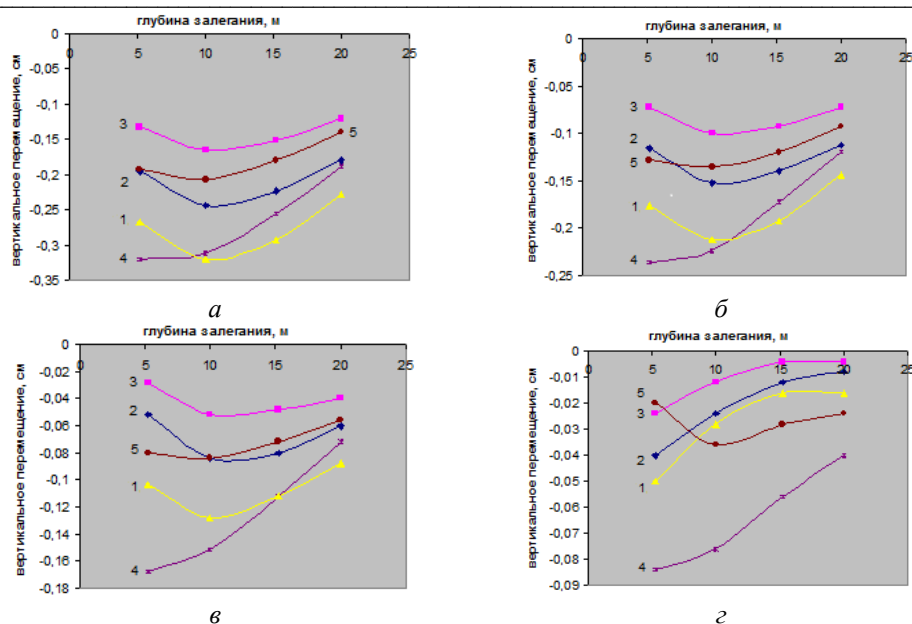


Рис. 4. Кривые $\delta = f(H)$ зависимости величины вертикального смещения точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии выработки с сечением в виде квадрата (1), круга (2), половины эллипса (3), дельтоиды (4) и астроида (5), при условии, что их поперечные размеры $2,4 \times 2,4$ м, а величина коэффициента бокового давления вмещающего грунта принимает значения $\xi_0 = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99$ — а; б; в; г соответственно

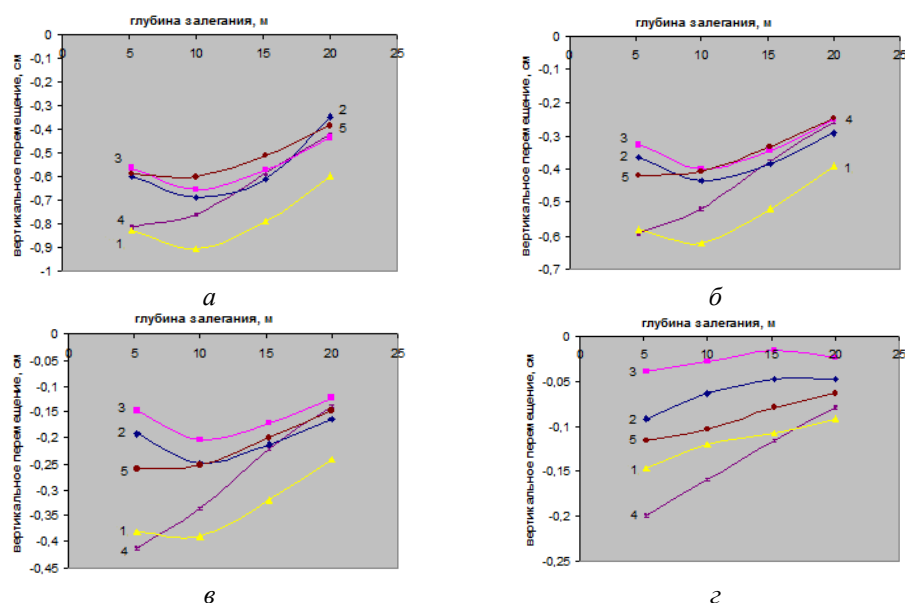


Рис. 5. Кривые $\delta = f(H)$ зависимости величины вертикального смещения точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии выработки с сечением в виде квадрата (1), круга (2), половины эллипса (3), дельтоиды (4) и астроида (5), при условии, что их поперечные размеры 4×4 м, а величина коэффициента бокового давления вмещающего грунта принимает значения $\xi_0 = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99$ — а; б; в; г соответственно

При $\xi_0 = 0,99$ знак кривизны меняется на противоположный, кривые становятся выпуклыми, за исключением уже оговоренных и кривых, построенных для выработок, расположенных на глубине 20 м, которые имеют размеры поперечного сечения 8×8 м.

На рис. 6—10 приведены графические интерпретации зависимостей вида $\delta = f(\xi_0)$, построенные для выработок, имеющих те же характеристики. На этих рисунках хорошо видно, что полученные кривые близки к прямым линиям, т. е. зависимость величины вертикального смещения точек, расположенных на пересечении осей симметрии выработок и линии дневной поверхности, практически линейно зависят от величины коэффициента бокового давления (распора) вмещающего грунта.

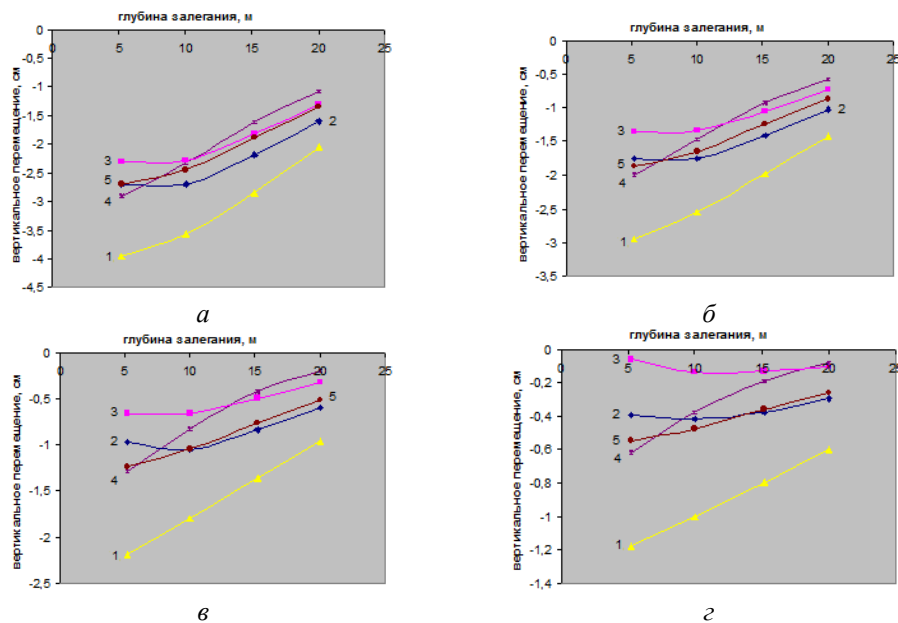


Рис. 6. Кривые $\delta = f(H)$ зависимости величины вертикального смещения точки земной поверхности, лежащей на оси симметрии выработки с сечением в виде квадрата (1), круга (2), половины эллипса (3), дельтоиды (4) и астроида (5), при условии, что их поперечные размеры 8×8 м, а величина коэффициента бокового давления вмещающего грунта принимает значения $\xi_0 = 0,2; 0,5; 0,75; 0,99$ — а; б; в; г соответственно

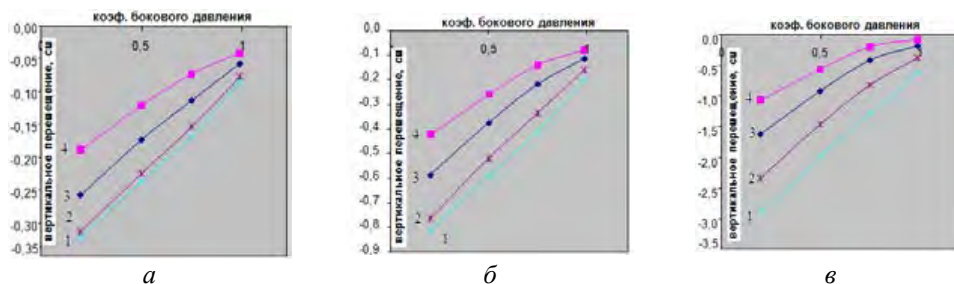


Рис. 7. Кривые зависимостей вида $\delta = f(\xi_0)$ для выработок, имеющих контур в виде дельтоиды, с поперечными размерами 2,4 м (а); 4 м (б); 8 м (в), расположенных на глубине 5,2 м (1); 10 м (2); 15,2 м (3) и 20 м (4)

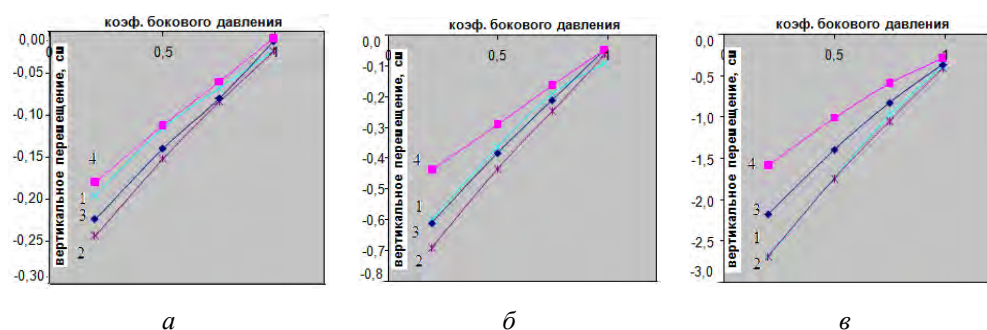


Рис. 8. Кривые зависимостей вида $\delta = f(\xi_0)$ для выработок, имеющих контур в виде окружности, с поперечными размерами 2,4 м (а); 4 м (б); 8 м (в), расположенных на глубине 5,2 м (1); 10 м (2); 15,2 м (3) и 20 м (4)

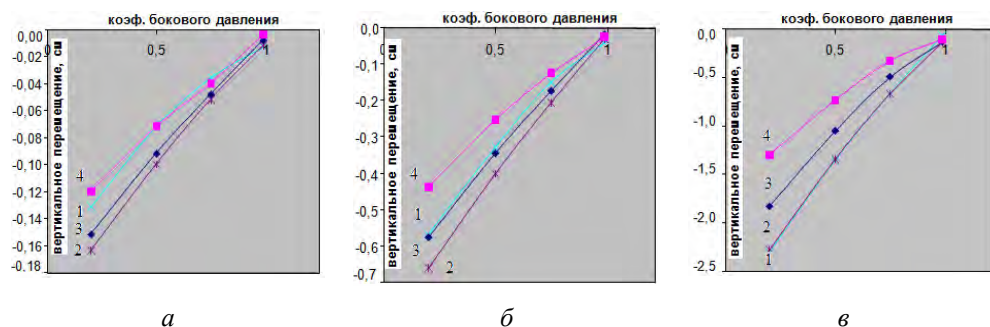


Рис. 9. Кривые зависимостей вида $\delta = f(\xi_0)$ для выработок, имеющих контур в виде половины эллипса, с поперечными размерами 2,4 м (а); 4 м (б); 8 м (в), расположенных на глубине 5,2 м (1); 10 м (2); 15,2 м (3) и 20 м (4)

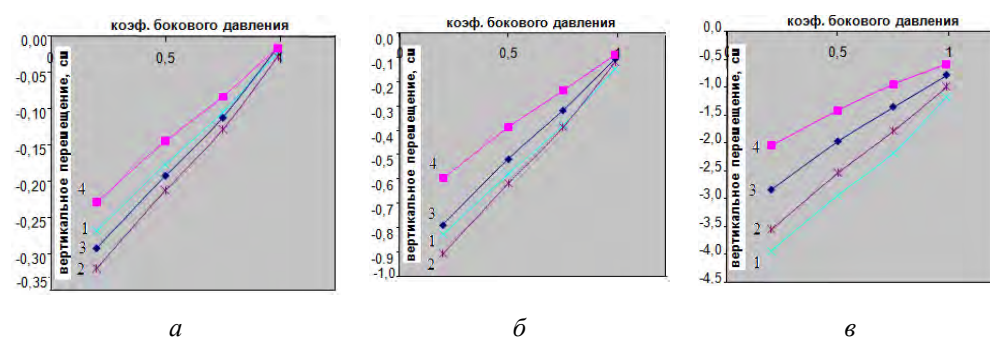


Рис. 10. Кривые зависимостей вида $\delta = f(\xi_0)$ для выработок, имеющих контур в виде квадрата, с поперечными размерами 2,4 м (а); 4 м (б); 8 м (в), расположенных на глубине 5,2 м (1); 10 м (2); 15,2 м (3) и 20 м (4)

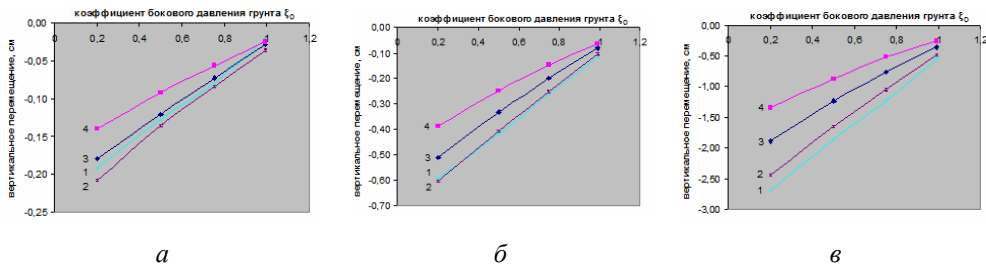


Рис. 11. Кривые зависимостей вида $\delta = f(\xi_0)$ для выработок, имеющих контур в виде астроида, с поперечными размерами 2,4 м (а); 4 м (б); 8 м (в), расположенных на глубине 5,2 м (1); 10 м (2); 15,2 м (3) и 20 м (4)

Следует отметить, что при численном значении коэффициента бокового давления вмещающего грунта, близком по величине единице ($\xi_0 = 0,99$), величины вертикальных смещений этих точек, расположенных над выработками квадратной, круглой и полуэллиптической формы, стремятся вне зависимости от глубины заложения выработки к пределу, который для каждой формы поперечного сечения выработки имеет свое численное значение.

Однако этого нельзя сказать в том случае, когда поперечное сечение подземной выработки имеет форму дельтоиды и, от части, астроида (см. рис. 7 и 11).

Для удобства количественного анализа влияния переменных расчетных параметров составлена таблица, в которой приведены безразмерные численные значения вертикальных смещений точек земной поверхности, лежащей на оси симметрии выработки, которые вычислены для всех рассмотренных в работе вариантов.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что численные значения вертикальных смещений рассматриваемых точек, зависят от поперечных размеров выработки, формы ее поперечного сечения, глубины заложения и коэффициента бокового давления. Если рассматривать выработки, у которых размеры поперечного сечения не превышают 4×4 м, то окажется, что при всех прочих равных условиях наибольшие перемещения соответствуют выработке с формой поперечного сечения в виде дельтоиды.

Далее в порядке уменьшения величин перемещений следуют выработки, имеющие форму поперечного сечения в виде квадрата, круга и половины эллипса. Причем численные значения перемещений в зависимости от формы выработки отличаются друг от друга незначительно.

Аналогичный вывод сделан автором работы [14], где сказано, «что форма контура незначительно влияет на величину сдвижения, так что при расчете контур в большинстве случаев можно заменить прямоугольником такой же высоты».

В работе [14] не приведены данные о величине коэффициента бокового давления вмещающего грунта, а лишь сказано, что «проведены расчеты на интеграторе ЭГДА-6/51». Графическая интерпретация результатов, полученных автором работы [14], приведены на рис. 12.

Вертикальные смещения точек земной поверхности, лежащих на оси симметрии выработки

Форма и размер поперечного сечения																
ξ_0	Полуэл- липс, $2,4 \times 2,4$ м	Квад- рат, $2,4 \times 2,4$ м	Круг, $2,4 \times 2,4$ м	Дель- тоида, $2,4 \times 2,4$ м	Аст- роида, $2,4 \times 2,4$ м	Полу- эл- липс, 4×4 м	Квад- рат, 4×4 м	Круг, 4×4 м	Дель- тоида, 4×4 м	Аст- роида 4×4 м	Полу- эл- липс, 8×8 м	Квад- рат, 8×8 м	Круг, 8×8 м	Дель- тоида, 8×8 м	Аст- рои- да, 8×8 м	
	Вертикальные смещения при глубине заложения выработки 5,2 м															
	0,2	-0,1320	-0,2680	-0,1960	-0,3200	-0,1920	-0,5680	-0,8300	-0,6000	-0,8160	-0,5920	-2,3000	-3,9480	-2,7080	-2,9080	-2,6920
	0,5	-0,0720	-0,1760	-0,1160	-0,2360	-0,1280	-0,3280	-0,5800	-0,3640	-0,5920	-0,4200	-1,3520	-2,9520	-1,7480	-1,9920	-1,8680
	0,75	-0,0280	-0,1040	-0,0520	-0,1680	-0,0800	-0,1480	-0,3800	-0,1920	-0,4120	-0,2600	-0,6600	-2,1880	-0,9760	-1,2920	-1,2360
0,99	0,0012	0,029	0,022	-0,0840	-0,0200	-0,0012	-0,0500	0,0440	-0,2000	-0,1160	-0,0160	-1,1520	-0,3080	-0,6160	-0,5440	
Вертикальные смещения при глубине заложения выработки 10,0 м																
0,2	-0,1640	-0,3200	-0,2440	-0,3120	-0,2080	-0,6600	-0,9100	-0,6920	-0,7640	-0,6040	-2,2760	-3,5680	-2,6960	-2,3400	-2,4440	
0,5	-0,1000	-0,2120	-0,1520	-0,2240	-0,1360	-0,4000	-0,6200	-0,4360	-0,5200	-0,4080	-1,3400	-2,5520	-1,7520	-1,4640	-1,6520	
0,75	-0,0520	-0,1280	-0,0840	-0,1520	-0,0840	-0,2040	-0,3900	-0,2480	-0,3360	-0,2520	-0,6640	-1,7960	-1,0560	-0,8240	-1,0480	
0,99	0,0008	0,0022	0,0019	-0,0760	-0,0360	0,0000	-0,1100	-0,0320	-0,1600	-0,1040	-0,1320	-1,0000	-0,4160	-0,3760	-0,4760	
Вертикальные смещения при глубине заложения выработки 15,2 м																
0,2	-0,1520	-0,2920	-0,2240	-0,2560	-0,1800	-0,5760	-0,7900	-0,6120	-0,5880	-0,5120	-1,8240	-2,8440	-2,1840	-1,6240	-1,8880	
0,5	-0,0920	-0,1920	-0,1400	-0,1720	-0,1200	-0,3440	-0,5200	-0,3840	-0,3760	-0,3320	-1,0480	-1,9800	-1,4040	-0,9240	-1,2400	
0,75	-0,0480	-0,1120	-0,0800	-0,1120	-0,0720	-0,1720	-0,3200	-0,2120	-0,2200	-0,2000	-0,4920	-1,3680	-0,8360	-0,4200	-0,7600	
0,99	0,0017	-0,0120	-0,0040	-0,0560	-0,0280	-0,0160	-0,1100	-0,0480	-0,1160	-0,0800	-0,1280	-0,7960	-0,3760	-0,1880	-0,3600	
Вертикальные смещения при глубине заложения выработки 20,0 м																
0,2	-0,1200	-0,2280	-0,1800	-0,1880	-0,1400	-0,4360	-0,6000	-0,3480	-0,4240	-0,3880	-1,2960	-2,0560	-1,5960	-1,0760	-1,3480	
0,5	-0,0720	-0,1440	-0,1120	-0,1200	-0,0920	-0,2520	-0,3900	-0,2920	-0,2600	-0,2480	-0,7320	-1,4240	-1,0200	-0,5680	-0,8720	
0,75	-0,0400	-0,0880	-0,0600	-0,0720	-0,0560	-0,1240	-0,2400	-0,1640	-0,1400	-0,1480	-0,3240	-0,9600	-0,6000	-0,2000	-0,5160	
0,99	-0,0040	-0,0160	-0,0080	-0,0400	-0,0240	-0,0240	-0,0900	-0,0480	-0,0800	-0,0640	-0,2500	-0,5960	-0,2920	-0,0840	-0,2600	

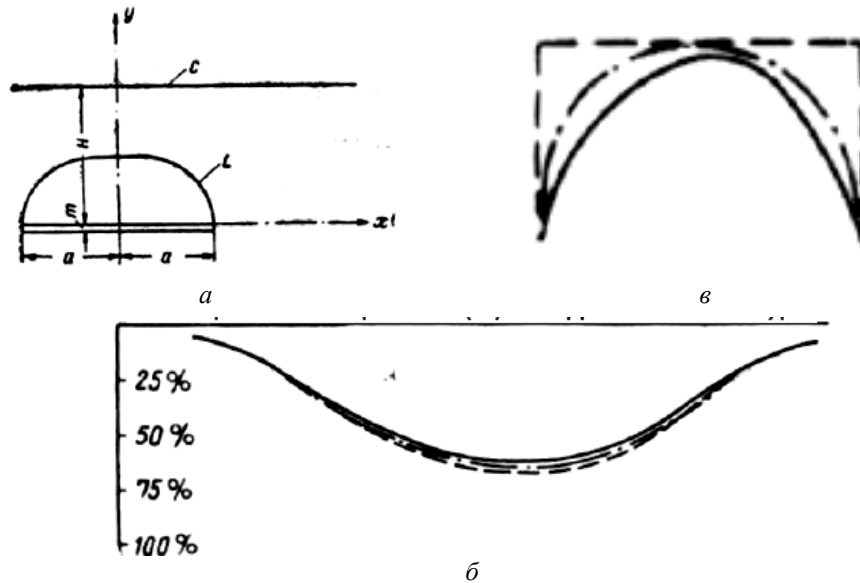


Рис. 12. Расчетная схема (а); влияние формы контура области разрушения на величину перемещений поверхности (б); принятая форма контура (в) (Цитируется по работе [14])

Если поперечный размер выработок составляет 8×8 м, а глубина заложения равна 15,2 м и более, то картина меняется. Если для этих условий ранжировать форму выработок в порядке увеличения вертикальных перемещений рассматриваемых точек, то минимальные перемещения будут соответствовать выработке, имеющей поперечное сечение в виде дельтоиды, затем следуют выработки с поперечным сечением в виде половины эллипса, круга и квадрата. Например, если рассмотреть выработки с поперечным размером 8×8 м, расположенных на глубине 20 м, при условии, что коэффициент бокового давления вмещающих пород равен $\xi_0 = 0,2$, то окажется, что вертикальные перемещения рассматриваемых точек дневной поверхности, расположенные над выработками с сечением в виде половины эллипса, круга и квадрата, соответственно в 1,2; 1,48 и 1,9 раза больше, чем точек, расположенных над выработкой, сечение которой имеет форму дельтоиды. Если коэффициент бокового давления $\xi_0 = 0,99$, то разница перемещений составляет почти 3; 4 и 7 раз соответственно.

Вывод: вертикальные перемещения точек земной поверхности, находящихся над выработкой, при условии, что глубина ее заложения более 15,2 м, а размеры поперечного больше чем 4×4 , существенным образом зависят от формы поперечного сечения и коэффициента бокового давления вмещающего грунта. Следовательно, возникает задача об оптимальной форме поперечного сечения выработки, обеспечивающей минимальные по величине осадки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Численный анализ оседания земной поверхности над горизонтальными выработками / А. Н. Богомолов, Е. А. Степанова, О. А. Богомолова, Е. В. Цветкова, Е. М. Либурацков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 12—26.

2. *Кульпин Л. Г.* Баренцево море. Прогноз и преодоление техногенных осложнений при разработке газовых гигантов в условиях гидратонасыщенности придонных слоев и опускания дна моря // Труды международной технологической конференции «Новые технологии разработки и повышения нефтеотдачи». М., 2005. С. 1—8.
3. Осадки грунта, вызванные проходкой тоннелей (на примере Тегеранского метро) / Х. Чакери, А. Талебинежад, М. Мусави, Б. Юнвер // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 4. С. 12—15.
4. *Карасев М. А.* Прогноз оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений глубокого заложения в условиях Санкт-Петербурга // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 248—254.
5. Спутниковый радарный интерферометрический мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна / Ф. К. Низаметдинов, Д. В. Мозер, Н. И. Гей, А. С. Туякбай, А. Д. Каранеева // Геоматика. 2014. № 4. С. 70—77.
6. *Пыжов С. В., Антощенко Н. И., Филатьев М. В.* Теоретическое обоснование параметров минимально возможной степени подработанности земной поверхности при выемке угольных пластов // Збірник наукових праць ДонДТУ. 2014. № 2 (43). С. 30—34.
7. *Писаренко М. В., Борисов И. Л.* Использование ГИС-технологий для определения ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 1(39). С. 69—71.
8. *Петрухин В. П., Исаев О. Н., Шарафутдинов Р. Ф.* Определение зоны влияния строительства коммуникационных тоннелей // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013.. № 4. С. 24—27.
9. *Карасев М. А., Беляков Н. А.* Прогноз деформаций земной поверхности при строительстве станций метрополитена в твердых глинах // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 1. С. 139—155.
10. *Бугаёва Н. А.* Научные основы стохастического прогноза деформаций земной поверхности при ее подработке // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірнично-геологічна». 2011. Вип. 13(178). С. 63—69.
11. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / под общ. ред. В. А. Букринского и Г. В. Орлова. М.: Недра, 1984. 247 с.
12. Богомолов А. Н. ФЕА. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617889 от 23 июля 2015 г.
13. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
14. *Лавирус Л. С.* К вопросу расчета перемещений земной поверхности, вызванных подземными работами // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1961. № 1. С. 20—22.

© Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Степанова Е. А., Цветкова Е. В., Пристансков А. А., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Зависимость осадок дневной поверхности от формы и размеров поперечного сечения подземной выработки и коэффициента бокового давления вмещающего грунта / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, Е. А. Степанова, Е. В. Цветкова, А. А. Пристансков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 15—26.

Об авторах:

Богомолов Александр Николаевич — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; проф. кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, banzaritcyn@mail.ru

Богомолова Оксана Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры математики и информационных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, banzaritcyn@mail.ru

Степанова Екатерина Александровна — аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ekserstepan@bk.ru

Цветкова Елена Владимировна — канд. техн. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, Elentsvetkova@yandex.ru

Пристансков Андрей Александрович — аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, E. A. Stepanova, E. V. Tsvetkova, A. A. Pristanskov

DEPENDENCE OF THE SURFACE SUBSIDENCE REP DAY ON THE FORM AND SIZE OF CROSS SECTION OF THE UNDERGROUND DEVELOPMENT AND THE LATERAL PRESSURE COEFFICIENT IN THE INCLOSING SOIL

The article provides the results of the analysis of how the form of cross section, the laying depth and the lateral size of the underground development influence the surface subsidence per day at different numerical values of the lateral pressure coefficient in the containing soil. It is established that at some values of the laying depth and the sizes of cross section of the development the influence of the identified factors becomes essential, and the task concerning the most appropriate form of cross section of the development providing minimal surface subsidence arises.

Key words: underground development, cross section form and size, surface subsidence, lateral pressure coefficient in the inclosing soil.

REFERENCES

1. Bogomolov A. N., Stepanova E. A., Bogomolova O. A., Tsvetkova E. V., Liburatskov E. M. [The numerical analysis of ground surface subsidence over horizontal developments]. *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], 2016, iss. 45(64). Pp. 12—26.
2. Kul'pin L. G. [Barents Sea. Forecast and overcoming of technogenic complications when developing gas giants in the conditions of hydrate saturation of bottom layers and lowering of seabed]. *Trudy mezhdunarodnoi tekhnologicheskogo simpoziuma «Novye tekhnologii razrabotki i povysheniya nefteotdachi»* [Proc. of the Int. Tech. Symposium "New Technologies of Development and Increase in Oil Recovery"]. Moscow, 2005. Pp. 1—8.
3. Chakeri H., Talebinejad A., Moosavi M., Ünver B. Tunneling-induced ground movements on Tehran Metro. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, September 2012, 49(4), pp. 132—138.
4. Karasev M. A. [Prediction of surface settlements duo to construction of underground structures in geological condition of Saint Petersburg]. *Zapiski Gornogo instituta* [Proceedings of the Mining Institute], 2013, vol. 204, pp. 248—254.
5. Nizametdinov F. K., Mozer D. V., Gei N. I., Tuyakbai A. S., Karaneeva A. D. [Satellite radar interferometric monitoring of subsided areas in the Karaganda coal basin]. *Geomatika* [Geomatics], 2014, no. 4, pp. 70—77.
6. Pyzhov S. V., Antoshchenko N. I., Filat'ev M. V. [Theoretical justification for the parameters of lowest possible level of subsided earth surface at the extraction of a coal layer]. *Zbirnik naukovikh prats' DonDTU* [Set of scientific works of DonDTU], 2014, no. 2 (43), pp. 30—34.
7. Pisarenko M., Borisov I. [The use of the GIS technologies for calculating the anticipated movement and deformations of the earth surface]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie* [Mine surveying and subsurface use], 2009, no. 1(39), pp. 69—71.
8. Petrukhin V. P., Isaev O. N., Sharafutdinov R. F. Determination of the Zone of Influence of Utility-Tunnel Construction. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, September 2013, 50(4), pp. 164—170. DOI: 10.1007/s11204-013-9229-5
9. Karasev M. A., Belyakov N. A. [Estimation of surface settlements troughs due to subway station construction in claystone]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [News of the Tula state university. Sciences of Earth], 2016, iss. 1, pp. 139—155.

10. Bugaeva N. A. [Scientific basis for the stochastic prognosis of the deformations of the earth surface in case of its subsidence]. *Naukovi pratsi DonNTU. Series "Girnichno-geologichna"*, 2011, iss. 13(178), pp. 63—69.
11. Bukrinskii V. A., Orlov G. V., ed. *Sdvizhenie gornykh porod i zemnoi poverkhnosti pri podzemnykh razrabotkakh* [Movement of rocks and earth surface at underground extraction]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 247 p.
12. Bogomolov A. N. *FEA. Certificate of State Registration of the Computer Programme no. 2015617889 dated July 23, 2015.*
13. Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Nestratov M. Yu., Nestratov N. N., Potapova N. N., Stepanov M. M., Ushakov A. N. *Ustoichivost' (napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie)* [Stability (stress-strain state)]. Patent RF, no. 2009613499, 2009.
14. Lapidus L. S. [Towards the issue of calculation of earth surface haul caused by underground works]. *Osnovaniya, fundamente i mekhanika gruntov* [Soil Mechanics and Foundation Engineering], 1961, no. 1, pp. 20—22.

For citation:

Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Stepanova E. A., Tsvetkova E. V., Pristanskov A. A. [Dependence of the surface subsidence rep day on the form and size of cross section of the underground development and the lateral pressure coefficient in the inclosing soil]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 15—26.

About authors:

Bogomolov Aleksandr Nikolaevich — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; Professor of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnic University. 29, Komsomolskii Prospekt, Perm', 614990, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

Bogomolova Oksana Aleksandrovna — Candidate of Engineering Science, Docent of Mathematics and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, banzaritcyn@mail.ru

Stepanova Ekaterina Aleksandrovna — Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ekserstepan@bk.ru

Tsvetkova Elena Vladimirovna — Candidate of Engineering Science, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Elentsvetkova@yandex.ru

Pristanskov Andrei Aleksandrovich — Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 69.059.7

Г. В. Воронкова, Е. В. Гурова, Г. М. Карасев

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассматриваются основные этапы реконструкции несущих стропильных металлических ферм на промышленном предприятии. Реконструкция проводится без остановки технологического процесса. Исследуется напряженно-деформированное состояние ферм до начала, в процессе и после реконструкции. Предложено оригинальное решение изменения очертания нижнего пояса фермы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: реконструкция, стальные конструкции, ферма, аналитический расчет.

В процессе длительной эксплуатации сооружений возникает необходимость в изменении технологических процессов, которые требуют проведения реконструкции отдельных несущих элементов.

Реконструкция промышленных зданий и сооружений чаще всего связана с расширением производства, изменением технологических процессов, установкой нового оборудования и т. п. Для выполнения таких работ требуется усиление, изменение или замена конструкций в короткие сроки и желательно без остановки производства. Эта задача также усложнена тем, что при разработке документации для проведения реконструкции необходимо учитывать стесненные условия ее проведения, насыщенность действующим технологическим оборудованием, инженерными сетями и коммуникациями [1, 2].

Основным требованием при реконструкции является максимальное использование существующих конструкций, пригодных по своим прочностным и деформационным характеристикам к новым условиям эксплуатации [3—5].

Учитывая все это, каждый этап реконструкции должен быть тщательно продуман и спланирован с учетом мероприятий, обеспечивающих прочность и устойчивость реконструируемых конструкций.

Представленная в данной статье работа выполнена по заявке фирмы CRYOVAC (CJSC Sealed Air Corporation). Объектом обследования и расчета на ЗАО «Силд Эйр-Каустик» являлись стропильные фермы ПФ18-4.9 цеха № 120 корпус 9-3 в осях Л÷П, 9÷13. Руководителем проекта являлся Георгий Михайлович Карасев.

Здание, в котором проводилась реконструкция, введено в эксплуатацию в 1975 г. и использовалось для производства пленки «Повиден» марки ВУ, У и пакетов из пленки марки ВУ. Генеральный проектировщик и проектировщик технологической части — «Грейс-Италия», г. Пассирана. Проектировщик строительной части ПКОО АОТ «Каустик», г. Волгоград. В январе 1995 г. в цехе произведена замена технологического регламента и началось производство пленки многослойной ББ-3, БКР-1 и пакетов из пленки ББ-3, БКР-1, ВВ4L.

За время эксплуатации корпуса технологический регламент изменялся неоднократно. Изменение технологических регламентов не сопровождалось

изменениями расчетных схем и действующих нагрузок на основные несущие конструкции здания. Последнее изменение регламента, пятое по счету, позволило приступить к производству пленки ББ-3, БКР-1 и пакетов из пленки ББ-3, БКР-1 и ВВ4L. При этом технологическое оборудование заняло межферменное пространство и разместилось на вновь возведенной двухуровневой рабочей площадке.

Необходимость выполнения данной работы обусловлена изменением технологического процесса, потребовавшего перемещения транспортных тележек по рабочей площадке в уровне нижних поясов стропильных ферм. На рис. 1 показаны существующие конструкции и рабочая площадка, возведенная в связи с изменением технологического процесса.

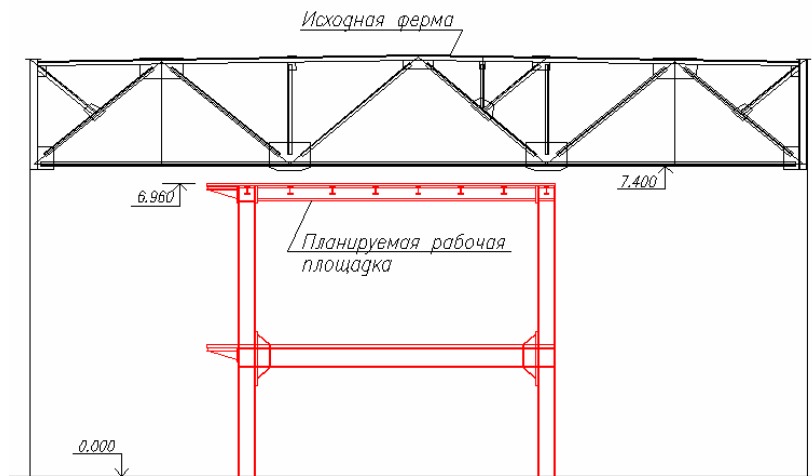


Рис. 1. Существующие конструкции ферм и планируемая рабочая площадка

Для обеспечения беспрепятственной транспортировки грузов, потребовалось изменение расчетной схемы стропильных ферм с удалением стержня нижнего пояса. Для этого было проведено детальное исследование напряженно-деформированного состояния элементов ферм, разработаны рабочие чертежи в стадии КМД для выполнения реконструкции ферм и даны рекомендации по производству работ.

После учета всех внешних факторов была принята расчетная схема фермы с трапециевидным очертанием нижнего пояса с треугольной стойкой, обусловленной наличием несущих двутавровых балок рабочей площадки под узлами фермы (рис. 2). Шпренгельные затяжки довольно часто используются для увеличения несущей способности различных строительных конструкций [6—11]. Тем не менее патентный поиск по принятому решению аналогов не выявил. На рис. 2 показана шпренгельная затяжка с измененным нижним поясом фермы.

При исследовании напряженно-деформированного состояния конструкций сначала были проведены аналитические расчеты.

1. Статический расчет исходной фермы на расчетные нагрузки с учетом и без учета снега с определением усилий в элементах и перемещений узлов (рис. 3).

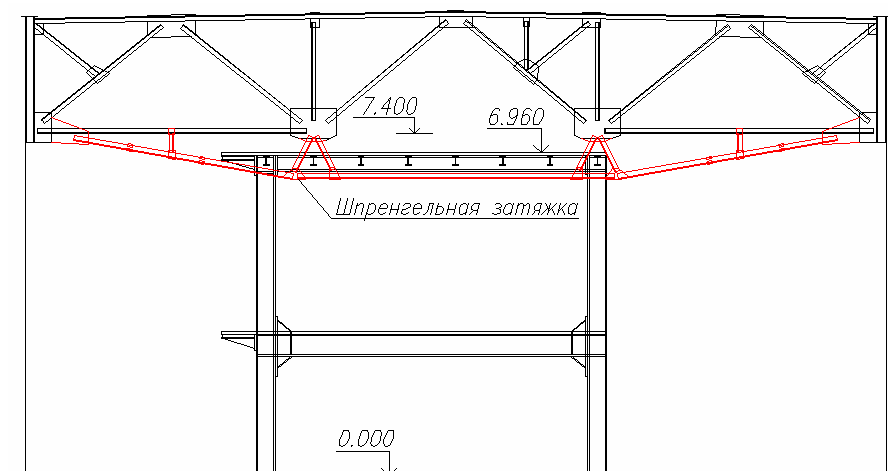


Рис. 2. Несущая стропильная ферма после реконструкции

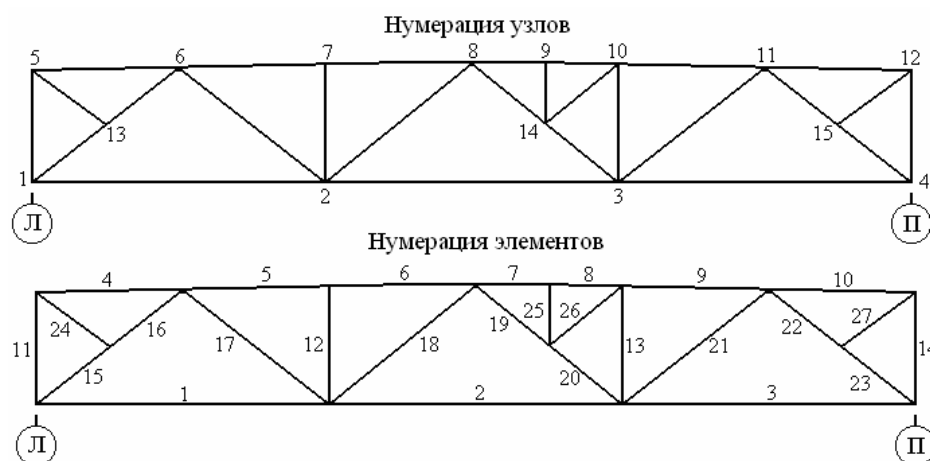


Рис. 3. Расчетная схема исходной фермы

2. Статический расчет фермы после реконструкции на фактические нагрузки от покрытия с учетом и без учета снега (рис. 4) с определением усилий в элементах и перемещений узлов.

Очевидно, что самое простое решение поставленной задачи при монтаже нижнего пояса соответствует установке шпренгеля без предварительного напряжения с последующим удалением стержня 2 нижнего пояса (см. рис. 3). Однако исследование показало, что это приведет к значительному перераспределению усилий и дополнительным вертикальным перемещениям узлов.

Наиболее рациональным оказался вариант, обеспечивающий при монтаже шпренгеля нулевое усилие в удаляемом стержне. Такое состояние можно создать, если в узлах 2 и 3 существующей фермы (см. рис. 2) приложить вертикальные компенсирующие нагрузки.

В табл. 1 приведены усилия в элементах фермы при различных сочетаниях нагрузок.

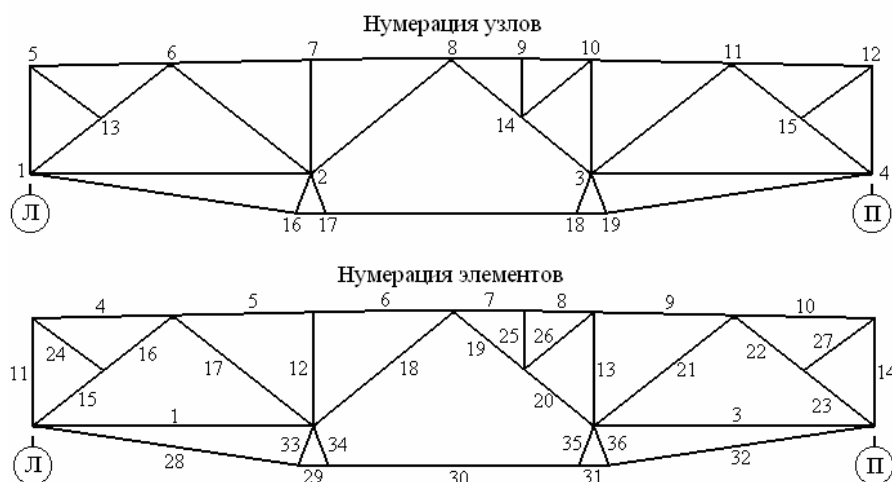


Рис. 4. Расчетная схема фермы после реконструкции

Таблица 1

Сравнение усилий в стержнях фермы до и после подъема

№ ст.	Усилия, кН					
	от расчетной нагрузки		от фактической нагрузки		от фактической + компенсирующей нагрузки	
	с учетом снега	без учета снега	с учетом снега	без учета снега	с учетом снега	без учета снега
1	441,99	387,77	271,80	217,69	27,18	21,77
2	767,69	673,69	472,21	378,20	0	0
3	441,88	387,77	271,80	217,69	27,18	21,77
4	0	0	0	0	0	0
5	-694,56	-609,51	-427,22	-342,18	53,40	42,77
7	-737,97	-647,61	-453,93	-363,56	26,70	21,39
9	-694,56	-609,51	-427,22	-342,18	53,40	42,77
10	0	0	0	0	0	0
11	-73,50	-64,50	-45,21	-36,21	-45,21	-36,21
12	-147,00	-129,00	-90,42	-72,42	-90,42	-72,42
15	-574,73	-504,35	-353,51	-283,14	-35,35	-28,31
17	328,54	288,31	202,09	161,86	-104,80	-83,94
18	-96,64	-84,81	-59,44	-47,61	-70,49	-56,45

Из табл. 1 видно, что при подъеме фермы компенсирующей нагрузкой усилия в стержнях 5, 7, 9 меняют знак с отрицательного на положительный, т. е. стержни в данном состоянии будут растянутыми.

Усилие в стержне 17 меняет знак с положительного на отрицательный, т. е. элемент из растянутого становится сжатым, следовательно, его необходимо дополнительно проверить на устойчивость.

Также установлено, что при отсутствии снега на покрытии контрольными параметрами будут: величина компенсирующей нагрузки $F = 162,945$ кН в каждом узле; вертикальное перемещение узлов $\delta = 17,84$ мм; относительная деформация удаляемого стержня $\epsilon = 6,82 \cdot 10^{-4}$.

Реализация принятой схемы потребовала дополнительных исследований напряженно-деформированного состояния фермы от действия фактических и компенсирующих нагрузок.

3. Статический расчет на единичные силы, приложенные в узлах 2 и 3, с определением усилий в элементах.

Данный расчет по определению компенсирующей нагрузки проводился методом сил. Рассматривалось дополнительное нагружение фермы единичными силами. После определения единичного усилия в стержне 2 (см. рис. 3) было составлено каноническое уравнение метода сил, из которого находилось значение компенсирующей нагрузки.

4. Статический расчет фермы, нагруженной расчетной фактической нагрузкой от покрытия и двумя силами, приложенными в неопорных узлах нижнего пояса фермы, направленными вверх, обеспечивающими нулевое усилие в стержне 2, с определением усилий в элементах и перемещений узлов. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Сравнение усилий в стержнях фермы с учетом и без учета компенсирующей нагрузки

№ ст.	Усилия, кН			
	Фактическое нагружение		С учетом предварительного напряжения	
	перекрытие + снег	перекрытие	перекрытие + снег	перекрытие
1	-112,19	-89,96	-85,01	-68,09
2	0	0	0	0
3	-112,19	-89,96	-85,01	-68,09
4	0	0	0	0
5	-298,06	-238,72	-244,66	-195,95
7	-324,76	-260,11	-298,06	-238,72
9	-298,06	-238,72	-244,66	-195,95
10	0	0	0	0
11	-45,21	-36,21	-45,21	-36,21
12	-90,42	-72,42	-90,42	-72,42
15	-268,01	-214,66	-303,36	-242,97
17	119,61	95,80	14,81	11,86
18	-62,41	-49,99	-132,90	-101,44
28	322,92	258,63	322,92	258,63
29	345,30	276,56	345,30	276,56
33	-61,00	-48,86	-61,00	-48,86

Сравнивая усилия, легко установить, что стержень 17 после снятия компенсирующей нагрузки будет растянут, следовательно, сжатие стержня будет происходить только во время подъема фермы. В стержне 18 усилие после реконструкции составит -132,90 кН, что на -36,26 кН больше, чем в типовой ферме. Значит, необходим расчет стержня на устойчивость.

С учетом найденного значения компенсирующей нагрузки был проведен поверочный аналитический расчет несущей стропильной фермы.

Полученные внутренние усилия, деформации и перемещения стали контрольными при разработке проекта производства работ. Результаты расчета показаны в табл. 3.

Таблица 3

Результаты поверочного расчета

№ стержней	Материал, расчетное сопротивление, МПа	Сечение	Расчетное усилие, кН	Несущая способность, кН
4, 10	Ст. 3, $R = 210,0$	2L90×90×6	–77	–350
5, 6, 7, 8, 9	Низколегированная сталь, $R = 290,0$	2L125×125×8	–738	–738
1, 3	Низколегированная сталь, $R = 290,0$	2L110×110×7	+463	+880
2	Низколегированная сталь, $R = 290,0$	2L110×110×7	+835	+880
15, 16, 22, 23	Ст. 3, $R = 210,0$	2L100×100×12	–595	–688
17, 21	Ст. 3, $R = 210,0$	2L90×90×6	+439	+445
18, 19, 20	Ст. 3, $R = 210,0$	2L100×100×7	–214	–274
12, 13	Ст. 3, $R = 210,0$	2L70×70×5	–156	–157

Несущие конструкции покрытия в реконструированном виде исследовались на различные возможные эксплуатационные воздействия. В качестве наиболее вероятного рассматривался горизонтальный удар в узле 2 грузовой тележкой массой 200 кг, движущейся со скоростью 0,5 м/с.

Сравнение полученных усилий и перемещений с результатами расчета на стационарные воздействия показало, что напряженно-деформированное состояние ферм и связей обеспечено по всем стержням с достаточным коэффициентом запаса и безаварийная работа здания после реконструкции гарантирована [12, 13].

Затем проводилась проверка прочности и устойчивости стержней реконструированной фермы и расчет сварных швов [14, 15].

Расчет на устойчивость стержней 1 и 3 нижнего пояса и раскосов 17, 21, 33, 36 показал, что устойчивость стержней обеспечена. Однако, учитывая возможность превышения расчетных параметров при подъеме фермы, было принято решение уменьшить расчетную длину стержня устройством дополнительного узла в середине панели и, помимо этого, необходима установка дополнительных прокладок для обеспечения совместной работы уголков. Пространственная жесткость по нижним поясам ферм обеспечивалась дополнительными крестообразными связями.

Работа по реконструкции проводилась в несколько этапов.

1 этап. Подготовительные работы.

На этом этапе проводились работы по подготовке узлов и элементов фермы к реконструкции. Для этого были срезаны фасонки промежуточных узлов нижнего пояса, приварены дополнительные фасонки к фасонкам существующих ферм и ребра жесткости по оси стойки основной фермы до низа фасонки. Была проведена разметка осей и намечены границы прохождения обушка и пера. Установлены дополнительные прокладки. Прорезаны отверстия в настиле рабочей площадки для пропуска уголков треугольной стойки шпренгельной затяжки.

Установлены с двух сторон каждого узла гидравлические домкраты мощностью не менее 15 т. с., и на них был оперт передаточный механизм, поставленный под узел фермы.

Строго под реконструируемыми узлами фермы были поставлены стойки из трубы $\varnothing 159$ и установлены контрольно-измерительные приборы на нижнем поясе фермы.

Контрольно-измерительные приборы должны фиксировать три параметра: вертикальную силу F_1 подъема фермы в каждом узле с помощью гидравлических динамометров; величину вертикального перемещения δ , которая может быть легко получена с использованием прогибомеров любой конструкции, в частности прогибомером конструкции Н. Н. Аистова ПАО-5; величину относительной деформации ε стержня 2 основной фермы, которая может контролироваться либо рычажными тензометрами с базой 20...250 мм, либо электрическими тензометрами.

Также были рассчитаны контрольные параметры, обеспечивающие нулевое усилие в элементе 2.

В зависимости от времени года, т. е. при наличии или отсутствии снега на покрытии, контрольные параметры имеют различное значение: при отсутствии снегового покрова $F_1 = 162,945$ кН, $\delta = 17,84$ мм, $\varepsilon = 6,82 \cdot 10^{-4}$.

При наличии снегового покрова $F_1 = 203,445$ кН, $\delta = 22,28$ мм, $\varepsilon = 8,52 \cdot 10^{-4}$.

На фотографии (рис. 5) показано состояние конструкции, положение приборов перед началом второго этапа.



Рис. 5. Подготовительные работы для подъема фермы

2 этап. Подъем фермы.

Для подъема фермы домкратами были разработаны следующие указания. Нагружение фермы должно быть симметричным. Величина усилия в каждом домкрате должна быть одинаковой. Увеличение нагрузки — ступенчатое, ступень нагрузки не должна превышать $F_1/10$. После каждой ступени увеличения нагрузки делать выдержку 20 мин. После достижения любым из трех

параметров контрольного значения увеличение нагрузки прекратить. Проверить соответствие двух оставшихся параметров контрольным значениям. При этом необходимо учитывать, что основным параметром является ε — относительная деформация стержня 2 нижнего пояса. Достижение параметром ε контрольного значения соответствует окончанию процесса нагружения. Выдерживать ферму под нагрузкой после окончания подъема в течение 30 мин.

3 этап. Монтаж нижнего трапециевидного пояса фермы.

4 этап. Демонтаж элемента нижнего пояса исходной фермы.

Демонтаж стержня 2 нижнего пояса фермы осуществлялся поэтапно. Сначала перо и обушок уголка были прорезаны на 70 мм, а затем, оставшийся металл был равномерно нагрет до температуры приблизительно 600 °С (рис. 6). Это обеспечило статическое перераспределение усилий и постепенное горизонтальное смещение узлов 2 и 3. Процесс разгрузки контролировался тензометром, установленным на стержне 2. После того, как деформации прекратились, нижний пояс был демонтирован полностью.



Рис. 6. Демонтаж нижнего пояса фермы

5 этап. Разгрузка фермы.

Уменьшение нагрузки также как и при подъеме ступенчатое, ступень нагрузки не должна превышать $F_1/10$. При этом необходимо следить за состоянием стержней. В случае возникновения нештатной ситуации процесс разгрузки нужно было прекратить, зафиксировать систему и вызвать разработчиков проекта.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предложенный вариант устройства трапециевидного нижнего пояса позволяет выполнить комплекс реконструктивных мероприятий без остановки технологического процесса и не оказывает влияния на параметры его эксплуатационной пригодности.

В настоящее время все конструкции промышленного цеха находятся в работоспособном состоянии. Проведенные плановые обследования не выявили отклонений эксплуатационных характеристик от заданных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vulnerability and retrofitting of existing buildings in Cyprus. Paper 17 / D. Hadjiloizi, A. Tournazis, C. Z. Chrysostomou, K. Pilakoutas, Ch. Kyriakides // 13th ECEE. London, 2002.
2. Ripke H., Druschke J. Rationalisierung der Maschinenraumlosung fur Personenaufzuge durch Einsatz raumlicher Betonelemente // Zeitschrift der TU Dresden. 1976. № 5/6. Pp. 31—48.
3. Василькин А. А., Щербина С. В. Построение системы автоматизированного проектирования при оптимизации стальных стропильных ферм // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 21—37. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.2.21-37
4. Василькин А. А. Оптимизация стальных конструкций с использованием САПР // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1 (54). С. 116—124.
5. Deng J., Marcus M. K. Lee, Stuart S. J. Moy. Stress analysis of steel beams reinforced with a bonded CFRP plate // Composite structures. 2004. Vol. 65. No. 2. Pp. 205—215. doi:10.1016/j.compstruct.2003.10.017
6. Алексаикин Е. Н., Веселов В. В., Булатов М. С. Предварительно напряженная шпренгельная ферма: патент на полезную модель RUS 165406 20.10.2016.
7. Исаев А. В., Кузнецов И. Л. Вариантность критериев оптимальности при синтезе рационального конструктивного решения на примере стальных стропильных ферм // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 1(11). С. 92—98.
8. Дегтярев Г. В., Кенбас С. С., Дегтярев В. Г. Способ реконструкции промышленных и гражданских зданий: патент на изобретение RUS 2460861 11.02.2011.
9. Семикин П. В., Бацунова Т. П. Реконструкция промышленных зданий с учетом конструктивных особенностей // Региональные архитектурно-художественные школы. 2012. № 1. С. 143—147.
10. Raafat El-Hacha, Hossam El-Agroudy, Sami H Rizkalla. Bond Characteristics of High-Strength Steel Reinforcement // ACI Structural Journal. 2006. Vol. 103. No. 6. Pp. 771—782.
11. Reinforcement of a steel beam using a heated high-strength steel plate / M. Sakano, H. Namiki, N. Horikawa, S. Yamamoto, H. Ta-dano, Y. Osakada, K. Okabe // Technol Rep Kansai Univ. 2002. No. 44. Pp. 113—117.
12. Ким Ю. Г., Боровик Г. М. Диагностика технического ресурса по параметрам фактического состояния стальных пролетных строений со сквозными главными фермами // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2016. Т. 1. С. 409—414.
13. Kim. T., Whittaker A. S., Bertero V. V. Experimental evaluation of plate-reinforced steel moment-resisting connections // Journal of Structural Engineering. 2002. Vol. 128. No. 4. Pp. 483—491.
14. Шестаков С. А., Попов А. В., Душко О. В. Сварные металлические конструкции. Расчет и проектирование: учеб. пособие. Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. 110 с.
15. Морозова Д. В., Серова Е. А. Исследование влияния конструктивного решения узлов металлических конструкций при вариантном проектировании // Экология и строительство. 2015. № 2. С. 4—8.

© Воронкова Г. В., Гурова Е. В., Карасев Г. М., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Воронкова Г. В., Гурова Е. В., Карасев Г. М. Особенности реконструкции ферм покрытия с изменением расчетной схемы в условиях действующего предприятия // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 27—37.

Об авторах:

Воронкова Галина Вячеславна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, vvkala@mail.ru

Гурова Елена Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Карасев Георгий Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, vvqala@mail.ru

G. V. Voronkova, E. V. Gurova, G. M. Karasev

PECULIARITIES OF RECONSTRUCTION OF ROOF TRUSSES CHANGING THE DESIGN SCHEME IN THE CONDITIONS OF THE ENTERPRISE

The authors consider the main stages of reconstruction of load-bearing metal roof trusses at an industrial enterprise. The reconstruction is carried out without stopping the technological process. Stress-strain state of the trusses before, during and after their reconstruction is investigated. The original solution to the change of the outline of the lower belt of a truss is offered.

Key words: reconstruction, steel structures, roof truss, analytical calculation.

REFERENCES

1. Hadjiloizi D., Toumazis A., Chrysostomou C. Z., Pilakoutas K., Kyriakides Ch. Vulnerability and retrofitting of existing buildings in Cyprus. Paper Reference 177. *13th ECEE*. London, 2002.
2. Ripke H., Druschke J. Rationalisierung der Maschinenraumlosung fur Personenaufzuge durch Einsatz raumlicher Betonelemente. *Zeitschrift der TU Dresden*, 1976, no. 5/6, pp. 31—48.
3. Vasil'kin A. A., Shcherbina S. V. [Development of a computer-aided design system for optimization of steel trusses]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering], 2015, no. 2, pp. 21—37. DOI: 10.22227/1997-0935.2015.2.21-37
4. Vasilkin A. A. [Optimization of Steel Structures Using Cad-Systems]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Vestnik of TSUAB], 2016, no. 1 (54), pp. 116—124.
5. Deng J., Marcus M. K. Lee, Stuart S. J. Moy. Stress analysis of steel beams reinforced with a bonded CFRP plate. *Composite structures*, 2004, 65(2), pp. 205—215. doi:10.1016/j.compstruct.2003.10.017
6. Aleksashkin E. N., Veselov V. V., Bulatov M. S. *Predvaritel'no napryazhennaya shprengel'naya ferma: patent na poleznuyu model'* *RUS 165406 20.10.2016* [Prestressed truss. Pat. on useful model *RUS 165406 20 October, 2016*].
7. Isaev A. V., Kuznesov I. L. [Variance of optimality criteria at synthesis of rational constructive solution based on steel roof trusses example]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of KSUAE], 2009, no. 1(11), pp. 92—98.
8. Degtyarev G. V., Kenekas S. S., Degtyarev V. G. *Sposob rekonstruktsii promyshlennykh i grazhdanskikh zdaniy: patent na izobretenie* *RUS 2460861 11.02.2011* [Method of reconstruction of industrial and civil buildings. Pat. on invention *RUS 2460861 11 February, 2011*].
9. Semikin P. V., Batsunova T. P. [Reconstruction of industrial buildings taking into account design specifics]. *Regional'nye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly* [Regional architectural and art schools], 2012, no. 1, pp. 143—147.
10. Raafat El-Hacha, Hossam El-Agroudy, Sami H Rizkalla. Bond Characteristics of High-Strength Steel Reinforcement. *ACI Structural Journal*, 2006, 103(6), pp. 771—782.
11. Sakano M., Namiki H., Horikawa N., Yamamoto S., Ta-dano H., Osakada Y., Okabe K. Reinforcement of a steel beam using a heated high-strength steel plate. *Technol Rep Kansai Univ.*, 2002, 44, pp. 113—117.
12. Kim Yu. G., Borovik G. M. [Diagnostics of technical resource for parameters of real state of steel spans with through main trusses]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v 21 veke* [Scientific-technical and economic cooperation of countries in Asia and Oceania in 21 century], 2016, vol. 1, pp. 409—414.
13. Kim. T., Whittaker A. S., Bertero V. V. Experimental evaluation of plate-reinforced steel moment-resisting connections. *Journal of Structural Engineering*, 2002, 128(4), pp. 483—491.

14. Shestakov S. A., Popov A. V., Dushko O. V. *Svarnye metallicheskie konstruksii. Raschet i proektirovanie* [Welded steel structures. Calculation and design]. Volgograd, VSUACE Publ., 2007. 110 p.

15. Morozova D. V., Serova E. A. [Research of influence of constructive solutions to the nodes of metal structures under random design], *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction], 2015, no. 2, pp. 4—8.

For citation:

Voronkova G. V., Gurova E. V., Karasev G. M. [Peculiarities of reconstruction of roof trusses changing the design scheme in the conditions of the enterprise]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 27—37.

About authors:

Voronkova Galina Vyacheslavna — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, vvqala@mail.ru

Gurova Elena Vladimirovna — Candidate of Engineering Science, Docent of Examination and Exploitation of Real Estate Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, eun.cafedra@yandex.ru

Karasev Georgii Mikhailovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, vvqala@mail.ru

УДК 624.131.1
624.131.23

Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, М. Д. Мозгунов, С. М. Адзиев

Волгоградский государственный технический университет

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ САРМАТСКИХ ГЛИН

Рассматриваются условия залегания, свойства и состав сарматских глин, распространенных в пределах акватории Сарматского моря. Дается анализ изменчивости состава и свойств глин данной территории, анализируются причины, обуславливающие эту изменчивость. Установлено, что основными факторами, определяющими различия в составе и свойствах сарматских глин из Центрального Предкавказья и Северного Причерноморья, являются: генетические — различная величина солености воды Сарматского бассейна в его восточных и западных частях, а также зональные климатические — различная степень увлажнения обеих территорий в послесарматское время.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сарматские глины, инженерно-геологические свойства, коэффициент агрегированности, свободное набухание, давление набухания.

Введение. Промышленно-хозяйственное освоение территорий неизбежно вызывает нарушение баланса компонентов природной среды, меняется режим подземных вод, повышается влажность массивов глинистых пород, может развиваться подтопление застроенных территорий, сопровождаемое набуханием грунтов оснований инженерных сооружений, на склонах образуются оползни.

Сарматские отложения распространены в южной Европейской части России и в соседних государствах и часто находятся в пределах глубин активной зоны фундаментов инженерных сооружений на территории от Карпат до Прикаспия. Серьезную проблему при строительстве представляют набухающие глины, являющиеся структурно-неустойчивыми грунтами, при изменении влажности они изменяют свои физико-механические свойства. При длительном водонасыщении глин изменяются почти все показатели их свойств, в результате чего увеличивается сжимаемость и снижается прочность. В настоящее время отсутствует общепринятая методика прогноза показателей свойств глин в основаниях инженерных сооружений при длительном их взаимодействии с водой. Существующие методы прогноза прочности на основе кратковременного замачивания глинистых пород, применяемые в проектно-изыскательных организациях России и сопредельных государств, не могут обеспечить надежные значения показателей их прочности. Кратковременные исследования не учитывают изменения состава и свойств глин, происходящие в результате длительного времени взаимодействия их с водой. Выполненные исследования ставят своей целью изучение проблемы продолжительного взаимодействия сарматских глин с водой и особенностей изменения их состава и физико-механических свойств при диффузионном выщелачивании.

Сарматские отложения залегают в южной части Русской плиты и распространены по берегам Черного моря, на Кавказе, в Крыму и переходят на восточную сторону Каспия. Впервые сарматские отложения были отделены от третич-

ных отложений Гернесом в 1847 году в Венском бассейне. Геологическим изучением этих отложений занимались в разное время Э. Зюсс, Н. П. Баррбот де Марни, Д. Л. Иванов, Н. И. Андрусов, Г. В. Абих, П. А. Православлев, В. П. Колесников, С. А. Гатуев, В. А. Кузнецов, Е. Е. Милановский, К. А. Прокопов, К. Н. Паффенгольц, В. Е. Хаин. Инженерно-геологическим изучением этих отложений занимались Ю. И. Шпильберг, С. А. Шагоянц, С. И. Чарноцкий, П. В. Царев, А. М. Моношко, С. И. Пахомов, А. И. Клименко, Г. П. Михайловский, А. Н. Криштофович, О. К. Ланге, Н. А. Григорович-Березовский, Р. С. Зиангиров, Ю. И. Олянский, А. А. Аносова, Т. И. Робустова, Г. И. Клинова, Е. А. Сорочан, Ю. М. Абелев и др.

Выполненный анализ степени изученности проблемы позволил сделать следующие выводы. За более чем 200-летний период изучения сарматских отложений на территории юга Русской плиты достаточно полно решены вопросы генезиса, стратиграфии и литологии. Установлено, что сарматские глины могут обнажаться на склонах, часто являясь причиной образования оползней, или служат основанием инженерных сооружений на территории северного Предкавказья и Причерноморья. Инженерно-геологическое изучение сарматских глин для целей строительства выполнялись в основном в послевоенный период. Начиная с 70-х годов XX века планомерные систематические исследования были сконцентрированы преимущественно в двух регионах: Северном Причерноморье и Центральном Предкавказье, где эти отложения глины были в пределах глубин активной инженерной деятельности [1].

Инженерно-геологическая характеристика сарматских глин

Общая характеристика территории. В настоящей статье проанализированы вещественный состав и инженерно-геологические свойства сарматских глин из двух указанных регионов. Первый приурочен к области избыточного увлажнения (коэффициент увлажнения $K_{ув} = 1,1$) в г. Ставрополь, второй — к области недостаточного увлажнения (коэффициент увлажнения $K_{ув} = 0,80 \dots 0,72$) в республике Молдова. Данная территория включает в себя: область Центрального Предкавказья (в пределах Ставропольской возвышенности) и область Северного Причерноморья (междуречье рек Прута и Днестра). Сарматские глины на территории Ставропольской возвышенности залегают неглубоко и часто выходят на поверхность. Границей их распространения служит: на севере — граница Ставропольского края, с. Ипатово; на юге — севернее г. Черкеска; на западе — западнее г. Армавира; на востоке — Калаус-Кумское междуречье. В Северном Причерноморье сарматские глины распространены повсеместно в междуречье Прута—Днестра, где они часто обнажаются на поверхности или перекрываются разновозрастной толщей лессовых пород.

Наиболее распространенными отложениями сармата являются: в Северном Причерноморье — средне- и верхнесарматские, в Центральном Предкавказье — нижне- и среднесарматские. Рельеф Северного Причерноморья и юго-западной части Центрального Предкавказья одинаковый и представляет собой сильно изрезанную возвышенность, расчленённую густой овражно-балочной сетью. Показатели эрозионного расчленения поверхности обеих территорий почти одинаковые. На этих территориях преобладают отрицательные неотектонические движения, которые пришли на смену положительным движениям на фоне локальных устойчивых поднятий. Здесь в неотектонический этап наблюдалась коренная перестройка структуры, особенно в пе-

риферийных частях Русской платформы, в которых тенденция к погружению повсеместно преодолевалась восходящими тектоническими движениями. Эта перестройка существенно изменяла напряжения в массивах пород, к этому времени сформировавшихся в обоих прогибах. Обе описываемые территории значительно различаются по степени увлажнения. Юго-западная часть Центрального Предкавказья относится к увлажненной зоне и зоне избыточного увлажнения, а Северное Причерноморье — к зоне недостаточного увлажнения. Это, несомненно, повлияло на формирование физико-механических свойств сарматских глин из этих обоих регионов, так как степень увлажнения является важнейшим фактором, изменяющим состояние и свойства глинистых пород в постгенетическую стадию.

Природа формирования свойств сарматских глин тесно связана с историей и режимом морского бассейна, в котором происходило накопление осадков в сарматское время, и с последующими условиями их существования. Сарматское море занимало территорию от Венского бассейна до пустыни Кара-Кумы. (рис. 1) Это был сложный замкнутый бассейн, состоящий из системы внутренних морей, соединенных друг с другом проливами. По солености он приближался к современному Черному морю. Соленость морской воды изменялась как в горизонтальном направлении, так и по времени. В Сарматский бассейн входили крупные заливы и проливы. В районе Предкавказья в то время существовали два залива и один пролив: Терской и Кубанский заливы и Ставропольский пролив. Вдоль побережья Кавказского острова в прибрежно-мелководной узкой зоне накапливались разнородные по составу обломочные отложения.

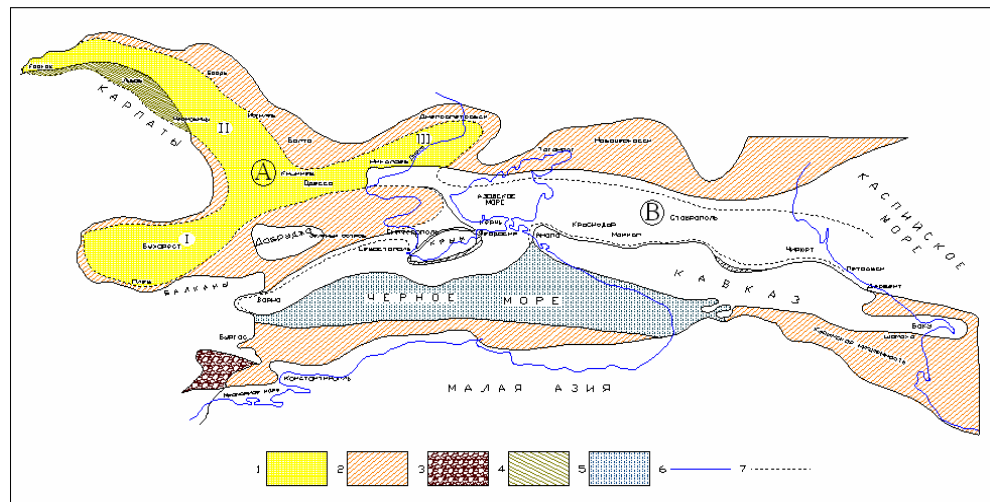


Рис. 1. Контуры Сарматского моря (по Н. И. Андрусову): I — Дакийский залив; II — Галицийский залив; III — залив Конки: 1 — район распространения 2-го средиземноморского яруса (покрытого сарматскими отложениями); 2 — трансгрессирующие сарматские отложения; 3 — «понтические» слои Хохштеттера в бассейне Эркене (фация сарматского и мзотического яруса); 4 — область, покинутая морем после отложения 2-го средиземноморского яруса; 5 — вероятное присутствие чокракских, спаниодонтовых и сарматских слоев; 6 — вероятная береговая линия Сарматского моря; 7 — вероятная береговая линия моря во время отложения чокракских слоев; А — район исследования незасоленных сарматских глин междуречья Прут—Днестр; Б — район исследования засоленных сарматских глин Центрального Предкавказья

Н. И. Андрусов, исследуя морскую фауну Сарматского моря [2], доказал, что соленость воды Галицийско-Подольско-Докийской и Крымско-Кавказской частей была различной. В первой — воды были менее соленые, во второй — более соленые. Этому способствовало опреснение воды западной части Сарматского моря поверхностными водами с территории сегодняшней Восточной Европы, а поверхностный сток с Крымско-Кавказского региона в то время был небольшим. На такое распределение солености воды восточной и западной частей Сарматского моря указывает распространение пресноводного моллюска *Cerithium*. В отложениях Дакийского и Галицийского заливов он встречается в большом количестве, а на востоке — полностью исчезает. Это свидетельствует о том, что сарматские отложения в восточной части откладывались из более соленой воды, чем отложения из западной части морского бассейна.

Состав и физико-механические свойства сарматских глин. Фундаментальными исследованиями по инженерно-геологическим свойствам сарматских глин служат две монографии: А. М. Монюшко и Ю. И. Олянского [3] и А. М. Монюшко [4]. Эти работы использовались при сравнительной инженерно-геологической оценке данных пород. Первая — для сарматских глин из междуречья Прута и Днестра, вторая — для глин, распространенных в Центральном Предкавказье. Рассмотрение результатов химических анализов водной вытяжки из пород показало, что сарматские глины с территории Северного Причерноморья являются незасоленными, сухой остаток у них не превышает величину 0,3 г/100 г сух. пор. На территории Центрального Предкавказья степень засоленности глин колеблется от слабой до высокой (от 0,29 до 8,3 г/100 г сух. пор) Она различная во всех горизонтах сармата и в каждом из них. Наибольшая засоленность достигает до 7,8...8,3 г/100 г сух. пор и приурочена к элювиальной зоне нижнего и среднего сармата.

По засоленности сарматские глины из Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья существенно различаются, первые — преимущественно незасоленные, вторые — засоленные [5, 6].

Гранулометрический состав глин из Центрального Предкавказья и Северного Причерноморья [7] достаточно однородный, что свидетельствует о преобладающем в сарматское время сносе терригенного материала с одной геологической области — Русской плиты.

Большое содержание водорастворимых солей в глинах из Центрального Предкавказья отразилось на степени их агрегированности. Коэффициенты агрегированности среднесарматских глин для глинистых частиц (менее 0,005 мм) в 2,5 раза здесь выше, чем у глин из Северного Причерноморья (табл. 1). Минеральный состав глинистой фракции, по данным [8] включает в себя минералы: монтмориллонит и гидрослюда. В виде примесей присутствуют: смешаннослойные минералы, каолинит, кальцит, сидерит. Количественные соотношения между монтмориллонитом и гидрослюдой непостоянны. В целом у глин из Центрального Предкавказья преобладает монтмориллонит, что может объясняться более высокой вулканической активностью в сарматское время Кавказских гор (на востоке) либо стадийным преобразованием гидрослюдистых минералов постгенетическими процессами, воздействующими на глинистые образования во влажной климатической зоне Центрального Предкавказья.

Т а б л и ц а 1
Гранулометрический и микроагрегатный состав среднесарматских глин

Статистические характеристики	Северное Причерноморье				Коэф. агрегированности для частиц $\leq 0,005$ мм	Центральное Предкавказье				Коэф. агрегированности для частиц $\leq 0,005$ мм
	Содержание фракций, %			Коэф. агрегированности для частиц $\leq 0,005$ мм		Содержание фракций, %				
	Песок $\geq 0,05$ мм	Пыль 0,05...0,01 мм	Глина $\leq 0,005$ мм			Песок $\geq 0,05$ мм	Пыль 0,05...0,01 мм	Глина $\leq 0,005$ мм		
Пределы колебания от и до	$0,3 \div 6,78$ $0,2 \div 8,11$	$10,9 \div 42,1$ $19,5 \div 71,2$	$46,1 \div 93,0$ $23,4 \div 74,8$		$1,0 \div 2,22$	$0,2 \div 36,0$ $0,7 \div 65,1$	$1,5 \div 72,2$ $0,0 \div 84,1$	$0,7 \div 79,0$ $0,1 \div 36,8$		$1,0 \div 83,4$
Среднее $\bar{X}$	$2,02$ $3,77$	$24,07$ $49,04$	$72,97$ $47,19$		$1,73$	$8,96$ $25,05$	$22,81$ $58,62$	$68,17$ $15,33$		$4,45$
Стандартное отклонение S	$1,10$ $18,01$	$10,53$ $15,42$	$12,4$ $16,62$		$0,44$	$7,50$ $13,03$	$12,64$ $19,86$	$12,95$ $17,89$		$6,1$
Кол-во опред.	$15/15$	$15/15$	$15/15$		15	$74/57$	$89/57$	$89/57$		55
Дисперсия S^2	$1,21$ $324,36$	$108,99$ $237,78$	$153,76$ $276,22$		$0,64$	$56,25$ $169,78$	$159,77$ $394,42$	$167,7$ $320,0$		$37,21$
Коэф. вариации V, %	$84,30$ $51,20$	$44,0$ $31,44$	$17,0$ $35,0$		$41,57$	$83,71$ $52,02$	$55,41$ $33,08$	$19,0$ $116,7$		$137,08$

Примечание: в числителе — результаты гранулометрического анализа, в знаменателе — микроагрегатного.

Состояние и физические свойства сарматских глин обеих территорий характеризуются неоднородностью по площади и глубине залегания, что обусловлено условиями осадконакопления и последующего преобразования их под воздействием процессов диагенеза, эпигенеза в тектоническом активном регионе.

Средние значения природной влажности w для среднесарматских глин из Центрального Предкавказья и Северного Причерноморья равны 0,36 и 0,23; влажности предела текучести w_L — 0,65 и 0,48; пористости n — 50,5 и 40,5 %; плотности — 1,74 и 2,00 г/см³ соответственно (табл. 2 и 3).

Т а б л и ц а 3

*Показатели физико-механических свойств
среднесарматских глин из Северного Причерноморья*

Показатели	Статистические характеристики					
	Кол-во определений N	Пределы колебаний от и до	Среднее $\bar{X}$	Стандартное отклонение S	Дисперсия S^2	Коэф. вариации V , %
Плотность ρ , г/см ³	631	1,70...2,13	2,00	0,071	0,0050	3,54
Природная влажность w	631	0,14...0,45	0,23	0,038	0,0014	16,37
Предел текучести w_L	631	0,35...0,77	0,48	0,072	0,0052	14,99
Предел раскатывания w_p	631	0,17...0,42	0,24	0,036	0,0013	14,84
Число пластичности J_p	631	0,18...0,42	0,24	0,043	0,0018	17,74
Пористость n , %	631	28,1...58,1	40,50	3,60	12,96	19,0
Коэффициент уплотненности K_d	631	0,56...1,42	1,04	0,13	0,0169	12,43
Свободное набухание ε_{sw}	38	0,21...0,32	0,33	0,083	0,007	45,31
Давление набухания $P_{sw} \cdot 10^5$ Па	28	1,25...5,00	4,21	2,689	7,231	63,93
Пластическая прочность $P_m \cdot 10^5$ Па	27	1,80...12,8	4,92	1,619	2,621	32,85

Показатели прочности глин, по методу консолидированного среза, следующие: Центральное Предкавказье: $c = 0,5 \cdot 10^5$ Па, $\varphi = 30,5$ град.; Северное Причерноморье: $c = (1,39 \text{ и } 1,34) \cdot 10^5$ Па, $\varphi = 9,4 \text{ и } 20,3$ град. Остаточная прочность у первых — до 50 % (по удельному сцеплению) и до 80 % (по углу внутреннего трения), у вторых — до 20...25 % (по углу внутреннего трения) [9].

Наиболее набухающими являются глины верхнего сармата из Северного Причерноморья. Величины их свободного набухания ε_{sw} составляют 0,21...0,32 (среднее 0,33). Эти глины также характеризуются высокой дисперсностью и повышенным содержанием монтмориллонита в глинистой фракции. Наименее набухающие $\varepsilon_{sw} = 0,11$ — глины среднего сармата из Центрального Предкавказья, залегающие на поверхности и подверженные

воздействию атмосферных осадков зоны избыточного увлажнения и, как следствие, агрегатизации. Величина давления набухания P_{sw} глин из Центрального Предкавказья и Северного Причерноморья составляет в среднем $0,36 \cdot 10^5$ Па и $4,21 \cdot 10^5$ Па соответственно (табл. 2, 3).

Такие различия в составе, состоянии и физических свойствах сарматских глин из обоих регионов нашли свое отражение в их набухаемости и механических свойствах. Более засоленные глины из Центрального Предкавказья с более высоким содержанием монтмориллонита из зоны избыточного увлажнения отличаются повышенной влажностью и невысокой плотностью. Они характеризуются значительно меньшим набуханием, чем менее засоленные глины из зоны недостаточного увлажнения Северного Причерноморья. Наибольшие различия наблюдаются для величины давления набухания (на 1...1,5 порядка), в то время как по величине свободного набухания различия меньше. Аналогично и с показателями прочности. Величина удельного сцепления глин из Центрального Предкавказья в среднем в 3 раза меньше, чем глин из Северного Причерноморья. Однако угол внутреннего трения у них в среднем в 1,5-3 раза выше, так как на его величину влияет степень агрегированности грунтовых частиц и включения различных солей [10].

Таким образом, основными факторами, определяющими различия в показателях состава и свойств сарматских глин из Центрального Предкавказья и Северного Причерноморья являются: генетические — различная величина солёности воды Сарматского бассейна в его западных и восточных частях и зональные климатические — различная увлажненностью обеих территорий в послесарматское время.

Выводы

1. Сарматские глины в краевых прогибах юга Русской плиты служат основанием для инженерных сооружений на территории от Северного Причерноморья до Центрального Предкавказья и часто являются причиной образования на склонах оползней.

2. Глинистые отложения сармата накапливались в Сарматском морском бассейне, восточная часть которого характеризовалась повышенной солёностью воды, по сравнению с западной, где происходило разбавление морской воды поверхностным стоком с Русской плиты. Вследствие этого на востоке сформировались глинистые породы с более высокой минерализацией порового раствора, чем на западе.

3. Такие различия в химическом составе поровых вод глинистых пород обусловили разную их степень агрегатизации грунтовых частиц: на востоке — более высокую, чем на западе, что нашло свое отражение в существенном различии микроагрегатного состава глин обоих регионов при достаточно одинаковом их гранулометрическом составе. Последний свидетельствует об одной площади сноса терригенного материала в Сарматское море — Русской плиты.

4. Постгенетические преобразования глинистых пород, вследствие залегания их в различных по степени увлажнения климатических зонах, совместно с разными условиями осадконакопления обусловили различия в показателях физических свойств глин из обоих регионов: на востоке — более влажные, менее плотные, сильнопористые отложения, а на западе — прямо наоборот.

5. Все различия в составе и физических свойствах глин обоих регионов нашли свое отражение в их набухаемости и прочности. Более засоленные глины из Центрального Предкавказья, отличающиеся повышенной влажностью, набухают меньше, чем одновозрастные отложения из Северного Причерноморья. Давление набухания у первых в среднем на 1 порядок меньше, чем у вторых. Такая же закономерность имеет место и с прочностью, но различия в показателях прочности сарматских глин из обоих регионов несколько меньше.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монюшко А. М. Роль техногенеза в формировании инженерно-геологических свойств глин. М.: Недра, 1985. 143 с.
2. Андрусов Н. И. Южнорусские неогеновые отложения. Ч. II—III (Сарматский ярус): избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 1. 711 с.
3. Монюшко А. М., Олянский Ю. И. Инженерно-геологические особенности сармат-меотических глин Молдовы. Кишинев: Штиинца, 1991. 172 с.
4. Монюшко А. М. Инженерно-геологическая оценка сарматских глин. М.: Наука, 1974. 135 с.
5. Богомолов А. Н., Олянский Ю. И. Инженерно-геологические аспекты взаимодействия глинистых пород с водой при техногенезе (на примере сарматских глин и лёссовых пород). Волгоград: ВолгГАСУ, 2016. 358 с.
6. Олянский Ю. И. Особенности изменения состава глин при длительном взаимодействии с водой // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. № 4(17). С. 213—217.
7. Олянский Ю. И., Богомолов А. Н., Тихонова Т. М. Сарматские глины. Состав, физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению. Германия: Palmarium academic publishing, 2013. 239 с.
8. Оценка устойчивости сармат-меотических глин к длительному обводнению / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. И. Шиян // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2010. № 1. С. 62—68.
9. Олянский Ю. И., Чарыкова С. А., Тихонова Т. М. Прочность сарматских глин // Казанская наука. 2010. № 9. С. 1013—1016.
10. Олянский Ю. И. Оценка устойчивости сармат-меотических глин к длительному обводнению // Сергеевские чтения. М.: ГЕОС, 2007. Вып. 9. С. 147—151.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Мозгунов М. Д., Адзиев С. М., 2017

Поступила в редакцию
в апреле 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Инженерно-геологическая оценка вещественного состава и физико-механических свойств сарматских глин / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, М. Д. Мозгунов, С. М. Адзиев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 38—47.

Об авторах:

Олянский Юрий Иванович — д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, olyansk@list.ru

Щекочихина Евгения Викторовна — канд. геол.-минерал. наук, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, karnat.1@yandex.ru

Мозгунов Максим Дмитриевич — магистрант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, olyansk@list.ru

Адзиев Сайгид Мурадович — магистрант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, evg-schek@yandex.ru

Yu. I. Olyanskii, E. V. Shchekochikhina, M. D. Mozgunov, S. M. Adziev

ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE COMPOSITION AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE SARMATIAN CLAYS

The work deals with the conditions of occurrence, composition and properties of the Sarmatian clays that are widespread within the water area of the ancient Sarmatian Sea. The analysis of the variability of the composition and properties of clays on the specified territory is given, and the causes of this variability are analyzed. It has been established that the main factors determining the differences in the composition and properties of the Sarmatian clays of the Central Ciscaucasia and the Northern Black Sea Region are: genetic - the different salinity of the water of the Sarmatian basin in its western and eastern parts and the zonal climatic - different humidification of both territories in After Sarmatian time.

Key words: Sarmatian clays, engineering and geological properties, aggregation coefficient, swelling, swelling pressure.

REFERENCES

1. Monyushko A. M. *Rol' tekhnogeneza v formirovanii inzhenerno-geologicheskikh svoystv glin* [The role of technogenesis in the formation of engineering and geological properties of clays]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 143 p.
2. Andrusov N. I. *Yuzhnorusskie neogenovye otlozheniya. Ch. II—III (Sarmatskii yarus): izbrannye trudy* [South Russian Neogene deposits. p. II—III (Sarmatian stage): selected works]. Moscow, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1961, vol. 1. 711 p.
3. Monyushko A. M., Olyanskii Yu. I. *Inzhenerno-geologicheskie osobennosti sarmat-meoticheskikh glin Moldovy* [Engineering and geological features of Sarmatian clays in Moldova]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1991. 172 p.
4. Monyushko A. M. *Inzhenerno-geologicheskaya otsenka sarmatskikh glin* [Engineering and geological assessment of Sarmatian clays]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 135 p.
5. Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I. *Inzhenerno-geologicheskie aspekty vzaimodeystviya glinistykh porod s vodoi pri tekhnogeneze (na primere sarmatskikh glin i lessovykh porod)* [Engineering and geological aspects of interaction of clay rocks with water during technogenesis (by the example of Sarmatian clays and loess rocks)]. Volgograd, VSUACE Publ., 2016. 358 p.
6. Olyanskii Yu. I. [Specifics of the change in clay composition under long interaction with water]. *Yuzhno-Rossiiskii vestnik geologii, geografii i global'noi energii* [South Russian Bulletin of geology, geography and global energy], 2006, no. 4(17), pp. 213—217.
7. Olyanskii Yu. I., Bogomolov A. N., Tikhonova T. M. *Sarmatskie gliny. Sostav, fiziko-mekhanicheskie svoystva, tipizatsiya po ustoychivosti k obvodneniyu* [Sarmatian clays. Structure, physical and mechanical properties, type designs by resistance to water supply]. Palmarium academic Publishing House, Germany, 2013. 239 p.
8. Olyanskii Yu. I., Bogomolov A. N., Shiyan S. I., Shchekochikhina E. V. [Assessment of sarmathian-meotic clay resistance to long-term watering]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Environmental Geoscience], 2010, no. 1, pp. 62—68.
9. Olyanskii Yu. I., Charyrova S. A., Tikhonova T. M. [Strength of Sarmatian clays]. *Kazanskaya nauka* [Kazan science], 2010, no. 9, pp. 1013—1016.
10. Olyanskii Yu. I. [Assessment of the stability of Sarmatian clays to long flood]. *Sergeevskie chteniya* [Sergeevskiye readings]. Moscow, GEOS, 2007, iss. 9, pp. 147—151.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Mozgunov M. D., Adziev S. M. [Engineering and geological assessment of the composition and physical and mechanical properties of the Sarmatian clays]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 38—47.

About authors:

Olyanskii Yurii Ivanovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, olyansk@list.ru

Shchekochikhina Evgeniya Viktorovna — Candidate of Geological and Mineralogical Science, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, karnat.1@yandex.ru

Mozgunov Maksim Dmitrievich — Master's Degree student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, olyansk@list.ru

Adziev Saigid Muradovich — Master's Degree student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, evg-schek@yandex.ru

УДК 691.3:532.62

А. Г. Перехоженцев

Волгоградский государственный технический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНЫХ СТЕН ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ЗАДАНЫМ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ РЕЖИМОМ

Представлен критический анализ действующих норм по теплозащите зданий и даны рекомендации по комплексному расчету наружных ограждений высотных зданий, обеспечивающему требуемый уровень энергосбережения, теплового комфорта в помещениях и отсутствие конденсации влаги в конструкциях ограждений в холодный период года.

К л ю ч е в ы е с л о в а: высотные здания, наружные ограждения, тепловой комфорт помещений, тепловая защита, энергосбережение, влажностный режим конструкций.

Введение. В настоящее время в мегаполисах все большую популярность получают высотные здания, где возводятся не только многоэтажные жилые кварталы, но и здания высотных многофункциональных комплексов. Одной из многочисленных задач, обусловленных высотой, является специфика проектирования наружных ограждающих конструкций зданий. Ведь именно эти конструкции, как показано в [1—15], воспринимают все климатические воздействия на здание. Действующие строительные нормы и правила учитывают большинство особенностей, обуславливающих применение наружных ограждений зданий в высотном строительстве. Однако, наряду со специфическими особенностями проектирования, необходимо обеспечить и традиционные, а именно, обеспечение ими теплового комфорта в помещениях, который определяется радиационной температурой внутреннего воздуха помещения [16—20]. Для ограждающих конструкций условие комфортности определяется разностью температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности наружного ограждения ($\Delta t^H = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В проекте СП «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» (первая редакция) в п. 10 наружные ограждающие конструкции высотных зданий предлагается проектировать в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». На первый взгляд все логично. Новый нормативный документ использует уже действующий. Все было бы хорошо, если бы действующий СП 50.13330.2012 не содержал явные ошибки и ничем не обоснованные, так называемые коэффициенты.

Так, например, в соответствии с п. 5.2. этого СП, нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{тр}} m_{ph}, \quad (1)$$

где $R_o^{\text{тр}}$ — базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ГСОП, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут} / \text{год}$, региона строительства и определять по табл. 3 СП; m_p — коэффициент, понижающий это базовое

сопротивление теплопередаче, который будут определять в регионах, т. е. сначала принимают завышенное значение базового сопротивления, а потом регионы должны понижать его. При этом значения коэффициента почему-то не зависят ни от климатической характеристики региона, ни от условий эксплуатации помещения и должны быть не менее: 0,63 — для стен; 0,95 — для светопрозрачных конструкций; 0,8 — для остальных ограждающих конструкций.

Возникает вопрос: «Кто и как определил эти значения?»

Ошибочно определяются и базовые сопротивления теплопередаче в табл. 3 СП, которые представляют собой линейные зависимости сопротивлений теплопередаче от градусо-суток отопительного периода, представленные в примечании к данной таблице в следующем виде:

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где ГСОП — градусо-сутки отопительного периода, °С·сут; a , b — коэффициенты, значения которых принимают по табл. 3 СП.

Вызывает недоумение, каким образом в правой части уравнения (2) сопротивление теплопередаче складывается с «коэффициентом» b . Кто и как определил его значение и почему он равен 1,4 для стен как в Красноярске, так и в Сочи?

Очевидно, что в уравнении (2) оба слагаемых правой части уравнения должны иметь размерность сопротивления теплопередаче, т. е. первое и второе слагаемые представляют собой сопротивления теплопередаче. Следовательно, для того чтобы первое слагаемое имело размерность сопротивления теплопередаче, то коэффициент a должен иметь размерность $\text{м}^2/\text{Вт сут}$ и по своей сути он является коэффициентом энергосбережения.

Ошибка норм заключается в том, что второе слагаемое b по физической сути не безликий «коэффициент» (как его представляют в данных нормах), который не зависит от условий эксплуатации здания, а минимальное допустимое сопротивление теплопередаче при нулевом значении коэффициента a . Следовательно, b — это сопротивление теплопередаче конструкции, которое должно обеспечить минимальные санитарно-гигиенические условия в помещении (СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях»).

Нормирование сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий по условиям комфортности и энергосбережения. Таким образом, из уравнения (2) следует, что требуемое сопротивление теплопередаче ограждения должно складываться из двух составляющих: сопротивления теплопередаче $R_o^{\text{мин}}$, обеспечивающего минимальные санитарно-гигиенические требования и дополнительного сопротивления теплопередаче R_o^3 , обеспечивающего заданный уровень энергосбережения и требуемый уровень комфорта в помещении, т. е.

$$R_o^{TP} = R_o^{\text{мин}} + R_o^3. \quad (3)$$

Минимальное нормативное сопротивление теплопередаче $R_o^{\text{мин}}$, безусловно, зависит от климатических условий района строительства и условий

эксплуатации здания. Это сопротивление определяется по известной формуле (5.4) данного СП, в которой в качестве нормируемого перепада температур Δt^H должна быть принята минимальная допустимая санитарная норма, т. е. $(t_b - \tau_p)$ — разность между температурой воздуха помещения и температурой точки росы. Это позволит учитывать не только температурный, но и влажно-температурный режим эксплуатации помещения.

Таким образом, с учетом требований по энергосбережению требуемое сопротивление теплопередаче непрозрачных участков ограждений должно определяться по формуле

$$R_o^{TP} = \frac{n(t_b - t_n)}{(t_b - \tau_p)\alpha_b} + k_{эн} (t_b - t_{оп}) z_{оп} \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где $k_{эн}$ — нормируемые коэффициенты энергосбережения, $\text{м}^2/\text{Вт сут}$, соответствующие значениям коэффициентов $a \cdot 10^4$ в табл. 3 СП; τ_p — температура точки росы, определяемая для расчетных параметров внутреннего воздуха в помещении (температуры t_b и относительной влажности воздуха), в соответствии с функциональным назначением помещения и требованиями ГОСТ 30494-96.

Для светопрозрачных конструкций остекления вместо температуры точки росы τ_p принимают допустимую температуру на поверхности стекла, равную $\tau_p = 3^\circ\text{C}$, получим

$$R_o^{TP} = \frac{n(t_b - t_n)}{(t_b - \tau_o)\alpha_b} + k_{эн} (t_b - t_{оп}) z_{оп} \cdot 10^{-4}. \quad (5)$$

Нормируемые коэффициенты энергосбережения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормируемые коэффициенты энергосбережения¹

№	Здания и помещения	Коэффициенты энергосбережения $k_{эн}$, $\text{м}^2/\text{Вт сут}$				
		стен	перекрытий чердачных и над неотапливаемыми помещениями	покрытий и перекрытий над проездами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей с верт. остеклением
1	Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	3,5	4,5	5,0	0,35	0,25
2	Общественные здания, кроме п. 1, а также административные и бытовые	3,0	3,5	4,0	0,30	0,25
3	Производственные здания	2,0	2,0	2,5	0,25	0,2

¹ Коэффициенты энергосбережения $k_{эн}$ для непрозрачных ограждений соответствуют коэффициентам $a \cdot 10^4$, приведенным в табл. 3 СП-50-13330-2012.

Сравнение результатов расчета требуемых сопротивлений теплопередаче R_o^{TP} и расчетов температуры на внутренней поверхности t_b непрозрачной части наружных стен по (4) и (5) приведено в табл. 2 в сравнении с расчетом по СП.

Т а б л и ц а 2

*Сравнение значений, рассчитанных по СП и по формулам (4),
(5) для различных регионов*

Город	$t_{хл},$ °C	ГСОП °C сут	R_o^{TP} СП	R_o^{TP} ф-ла	ΔR_o	$\tau_b, ^\circ\text{C}$ СП	$\tau_b, ^\circ\text{C}$ ф-ла	R_o^{TP} окна ф-ла
Волгоград	–25	3952	2,78	1,94	0,84	18,1	17,3	0,44
Калининград	–19	3648	2,68	1,76	0,92	18,3	17,4	0,39
Краснодар	–19	2682	2,34	1,42	0,92	18,1	16,8	0,33
Красноярск	–40	6341	3,62	2,96	0,66	18,1	17,7	0,63
Москва	–28	4943	3,13	2,32	0,81	18,2	17,6	0,50
Ростов-на-Дону	–22	3523	2,63	1,74	0,89	18,2	17,2	0,41
Сочи	–3	979	1,74	0,55	1,19	18,5	16,4	0,19

Как видно из табл. 2, применение «коэффициента» b приводит к необоснованному увеличению сопротивления теплопередаче и к перегреву внутренней поверхности конструкции, а следовательно, к тепловому дискомфорту. При этом величина b , приведенная в СП, дает завышенное значение термического сопротивления практически для всех регионов. Значения этих превышений весьма значительные. Так, в пересчете на толщину кирпичных стен это превышение, м, составляет для Красноярска — 0,46, Москвы — 0,57, Краснодара — 0,64 и Сочи — 0,83. Как видим, это не только приводит к значительному перерасходу строительных материалов, трудозатрат на их изготовление, но и к расходу тепловой энергии на их изготовление. О каком энергосбережении или энергоэффективности может идти речь? Кроме того, излишний вес конструкций, что особенно важно для высотных зданий, приводит к дополнительным нагрузкам как на несущие конструкции, так и на фундаменты [21, 22].

Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на тепловой комфорт помещения. Для высотных зданий одним из специфических факторов, влияющих на тепловой комфорт помещений, является ветровой режим [9; 10; 23—26; 27, с. 104—112; 28], который оказывает существенное влияние на воздухопроницаемость ограждающих конструкций с воздухопроницаемыми наружными слоями.

Удельный расход воздуха, инфильтрующегося через часть ограждения от наружной поверхности до сечения i , W_{n-i} , обычно определяют по формуле

$$W_{n-i} = \Delta p / \Sigma R_{inf(n-i)}, \quad (6)$$

где $\Sigma R_{inf(n-i)}$ — сумма сопротивлений воздухопроницанию слоев части ограждения от наружной поверхности до сечения i ; Δp — перепад давлений между внутренней и наружной поверхностями ограждения, определяемый по формуле

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_b) + 0,03\gamma_n \cdot (v \cdot \xi)^2, \quad (7)$$

где H — высота здания от уровня пола первого этажа до отметки пола этажа следующего за рассматриваемым, м; γ_n, γ_v — удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха; v — максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь с повторяемостью 16 % и более; ξ — коэффициент изменения расчетной скорости ветра по высоте здания, определяемый по табл. 3.

Следует обратить внимание на то, что в уравнении (7) скорость ветра, умноженная на коэффициент ξ в квадрате. Влияние ветрового режима на здание, как показывают многочисленные исследования [9—15, 27, с. 104—112, 28—37], а следовательно, и на наружные ограждения весьма существенны. В уравнении (7) влияние второй составляющей уравнения, так называемого ветрового напора, становится определяющим, что вызывает в холодный период года инфильтрацию холодного воздуха через конструкцию и соответственно понижение температуры внутренней поверхности наружного ограждения. Эффект понижения температуры за счет инфильтрации холодного воздуха через конструкцию ограждения, к сожалению, в действующих нормах никак не учитывается. Наиболее существенное влияние инфильтрация оказывает на перераспределение температуры в конструкциях, имеющих небольшое сопротивление инфильтрации поверхностных слоев.

Таблица 3

Коэффициент изменения расчетной скорости ветра по высоте здания ξ

Высота здания, м	Коэффициент ξ при расчетной скорости ветра, м/с								
	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10
50	2,3	1,8	1,8	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2
100	2,8	2,4	2,2	1,9	1,8	1,7	1,5	1,4	1,2
150	3,2	2,8	2,5	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4
200	3,5	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0	1,8	1,7	1,4
300	3,8	3,4	3,0	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6

Расчет распределения температуры с учетом инфильтрации холодного воздуха через наружное ограждение определяют по формуле, предложенной автором в [27, с. 104—112]:

$$\tau_i = \frac{t_v - (R_v + \Sigma R_i)[(t_v - t_n) / R_o - c \cdot W_{n-i} \cdot \tau_n]}{1 + c \cdot W_{n-i} \cdot (R_v + \Sigma R_i)}, \quad (8)$$

где R_v — сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения; ΣR_i — сумма термических сопротивлений слоев конструкции от внутренней поверхности до слоя i ; W_{n-i} — удельный расход воздуха, инфильтрирующегося через часть ограждения от наружной поверхности до сечения i .

Нормирование сопротивления паропрооницанию по условию отсутствия накопления влаги в конструкции в холодный период года

Необходимым условием нормирования сопротивления паропрооницанию должно быть условие ненакопления влаги в конструкции в холодный период года. Это условие будет выполняться, если поток пара, входящего в конструкцию, будет равен выходящему из него, т. е. $P_{вх} = P_{вых}$. В предельном состоянии в конструкции может образоваться плоскость конденсации влаги, в

которой действительное парциальное давление водяных паров будет равно максимальному значению. В графическом исполнении линия парциальных давлений должна коснуться кривой максимальных давлений, т. е. $e = E$. Температура в точке касания t_k равна температуре конденсации.

Идея метода, представленная автором в [26], заключается в том, что максимальная упругость водяных паров не зависит от условий эксплуатации конструкции, а является постоянной функцией температуры. В расчетном диапазоне температур (от +20 до -30 °C) функцию $E = f(t)$ с достаточной для инженерных расчетов точностью можно описать полиномом третьей степени:

при $t > 0$

$$E^+ = 0,044t^3 + 1,13t^2 + 48t + 611; \quad (9)$$

при $t < 0$

$$E^- = 0,015t^3 + 1,43t^2 + 48t + 611. \quad (10)$$

При заданных параметрах эксплуатации ограждающей конструкции (e_b, e_n, t_b, t_n) предельный градиент $\Delta E_{пр} = (e_b - e_n)/(t_b - t_n)$ будет равен первым производным уравнений (9), (10) для соответствующих температур, т. е.

при $t > 0$

$$\Delta E_{пр} = 0,132t^2 + 2,3t + 48; \quad (11)$$

при $t < 0$

$$\Delta E_{пр} = 0,045t^2 + 2,86t + 48. \quad (12)$$

Значение температуры t_k в плоскости конденсации можно определить по формулам, представляющим решения уравнений (11), (12):

для градиентов $\Delta E_{пр}$, значения которых больше 48, по формуле

$$t_k^+ = -8,71 + \sqrt{7,575\Delta E_k - 287,7}; \quad (13)$$

для градиентов $\Delta E_{пр}$, значения которых меньше 48, по формуле

$$t_k^- = -31,1 + \sqrt{22,2\Delta E_k - 99,5}; \quad (14)$$

для градиентов $\Delta E_{пр} = 48$ температура $t_k = 0$.

По температуре t_k по формулам (9), (10) определяют значение максимального парциального давления $E(t_k) = E_k$ в плоскости конденсации. Положение плоскости конденсации ($e = E_k$) зависит от конструктивного решения наружного ограждения и определяется по соответствующему распределению температуры в конструкции.

Зная эти параметры, несложно вычислить сопротивление паропрооницанию конструкции от внутренней поверхности до плоскости конденсации $R'_{п}$.

Требуемое сопротивление паропрооницанию определим из условия равенства потоков пара, которое вошло в плоскость конденсации и которое вышло из нее в холодный период года, соответственно будет равно

$$R_{оп}^{тп} = R'_{п} \left(1 + \frac{E_k - e_n}{e_b - E_k} \right). \quad (15)$$

Комплексный расчет параметров тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций зданий

Для выполнения требований норм по энергосбережению наружные ограждающие конструкции, как правило, должны представлять собой многослойные системы, в которых всегда можно выделить два слоя, один из них выполняет функцию теплозащиты, а другой регулирует диффузию пара в ограждении [26]. При этом для обеспечения надежных эксплуатационных свойств многослойная конструкция должна отвечать следующим требованиям:

$$\begin{cases} R_o^{tp} = R_b + \sum R_{ik} + \frac{\delta^{yt}}{\lambda^{yt}} + \frac{\delta^{пи}}{\lambda^{пи}} + R_n, \\ R_n^{tp} = R_{вп} + \sum R_{пik} + \frac{\delta^{yt}}{\mu^{yt}} + \frac{\delta^{пи}}{\mu^{пи}} + R_{пн}, \end{cases} \quad (16)$$

где R_b , R_n , $R_{вп}$, $R_{пн}$ — соответственно сопротивления тепло- и влагообмена внутренней и наружной поверхности ограждения; $\sum R_{ik}$, $\sum R_{пik}$ — суммы термических сопротивлений и сопротивлений паропрооницанию конструктивно заданных слоев ограждения;

$$R^{yt} = \frac{\delta^{yt}}{\lambda^{yt}}, R^{пи} = \frac{\delta^{пи}}{\lambda^{пи}}, R^{yn} = \frac{\delta^{yt}}{\mu^{yt}}, R_{пн}^{пи} = \frac{\delta^{пи}}{\mu^{пи}} — термические сопротивления$$

и сопротивления паропрооницанию утепляющего и пароизоляционного слоев; r — коэффициент теплотехнической однородности.

Зная требуемые сопротивления теплопередаче и паропрооницанию, подставляя соответствующие значения в систему (16), можно определить либо толщины слоев утеплителя и пароизоляции δ^{yt} и $\delta^{пи}$, либо их сопротивления.

Рассмотрим методику комплексного расчета на примере.

Пример. Требуется определить толщину утеплителя и допустимую толщину наружного слоя из керамзитобетона, представляющего собой в данном случае пароизоляцию в трехслойной стеновой панели, если толщина внутреннего слоя из керамзитобетона задана конструктивными требованиями и равна 120 мм.

Исходные данные. Волгоград, жилой дом. Условия эксплуатации «А»:

$t_b = 20$ °C; $t_n = t_{хп} = -25$ °C; $t_x = -14$ °C; $t_{оп} = -2,2$ °C; $z_{оп} = 178$ сут; $\phi_b = 60$ %; $\phi_n = 85$ %; $\tau_p = 12$ °C (при $t_b = 20$ °C и $\phi_b = 60$ %).

Характеристики материалов:

керамзитобетон $\gamma_o = 1600$ кг/м³; $\lambda_A = 0,67$ Вт/(м °C); $\mu = 0,09$ мг/(м·ч·Па);

пенополистирол $\gamma_o = 40$ кг/м³; $\lambda_A = 0,041$ Вт/(м °C); $\mu = 0,05$ мг/(м·ч·Па);

$E_b = 2338$ Па; $e_b = E_b \cdot \phi_b / 100 = 1402,8$ Па; $E_n = 181$ Па; $e_n = E_n \cdot \phi_n / 100 = 154$ Па.

ГОСП = $(20 - (-2,2)) \cdot 178 = 3952$ °C·сут.

$R_o^{tp} = (t_b - t_n) / (t_b - \tau_p) \cdot \delta_b + k \cdot \text{ГОСП} \cdot 10^{-4} = (20 + 25) / (20 - 12) \cdot 8,7 + 3,5 \cdot 0,3952 = 2,03$ м² °C/Вт.

Коэффициент теплотехнической однородности $r = 0,65$. $R_o^{tp} = 3,12$ м² °C/Вт.

$\Delta \tau = (t_b - t_n) (1 - 0,158 / R_o^{tp}) = 34 (1 - 0,158 / 3,12) = 32,28$ °C;

$\Delta e = e_b - e_n = 1403 - 154 = 1249$ Па; $\Delta e / \Delta t = 1249 / 32,28 = 38,7$ Па / °C;

$t_k^- = -31,1 + \sqrt{22,2 \times 38,7 - 99,5} = -3,5$ °C.

По формуле (10) определим соответствующее температуре $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ максимальное парциальное давление водяных паров в плоскости конденсации $E_k = 458\text{ Па}$.

Определим сопротивление теплопередаче до плоскости конденсации:

$$R_k = (t_b - t_k) \cdot R_o^{tp} / (t_b - t_n) = (20 + 3,5) \cdot 3,12 / (20 + 14) = 2,16\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}.$$

По величине сопротивления теплопередаче R_k определим слой, в котором расположена плоскость конденсации.

$$R_b = 0,115\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}; R_1 = 0,12 / 0,67 = 0,179\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C/Вт};$$

$$R_k^{yt} = 2,16 - 0,115 - 0,179 = 1,866\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}.$$

Плоскость конденсации расположена в утеплителе на расстоянии от внутренней поверхности слоя, равном

$$\delta' = R_k^{yt} \cdot \lambda^{yt} = 1,866 \cdot 0,041 = 0,076\text{ м}.$$

Сопротивление паропрооницанию слоев конструкции от внутренней поверхности до зоны конденсации будет равно

$$R_n' = (0,12 / 0,09) + (0,076 / 0,05) = 1,33 + ,52 = 2,85\text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию определим по формуле

$$R_{on}^{tp} = R_n' \left(1 + \frac{E_k - e_n}{e_b - E_k} \right) = 2,85 \left(1 + \frac{458 - 154}{1403 - 458} \right) = 3,77\text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Подставляя значения R_o^{tp} / r и R_n^{tp} в систему уравнений (16), получим

$$\begin{cases} 3,12 = 0,115 + 0,179 + \frac{\delta_{yt}}{0,041} + \frac{\delta_{пи}}{0,67} + 0,043; \\ 3,77 = 1,33 + \frac{\delta_{yt}}{0,05} + \frac{\delta_{пи}}{0,09}. \end{cases}$$

Решая систему двух уравнений с двумя неизвестными получим: $\delta_{yt} = 0,08\text{ м}$ (не менее) и $\delta_{пи} = 0,07\text{ м}$ (не более).

Общая толщина конструкции составит

$$\delta_k = 0,12 + 0,08 + 0,07 = 0,270\text{ м}.$$

Заключение. Таким образом, представленная методика инженерного расчета позволяет запроектировать многослойную конструкцию наружного ограждения высотного здания, которая будет обладать не только надежными теплозащитными свойствами, обеспечивающими тепловой комфорт в помещении, но и исключит конденсацию влаги в конструкции в холодный период года. При этом весь расчет занимает менее одной страницы. В действующем СП отсутствует основная целевая задача проектирования наружных ограждающих конструкций — это тепловая защита зданий для создания теплового комфорта в помещениях. Вместе с тем в документ включены материалы, которые входят в круг задач, решаемых специалистами по отоплению и вентиляции и которые могут быть решены только после подбора соответствующе-

го оборудования. При этом системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха подбираются и рассчитываются для конкретного объемно-планировочного решения, а не наоборот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дыховичный Ю. А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности. М.: Рипол Классик, 2013. 254 с.
2. Бекмаматова Л. Н., Алексеенко В. Н., Жиленко О. Б. Особенности оценки ветрового воздействия на высотные здания // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2016. № 1(30). С. 4—12.
3. Земцова О. Г., Шеин А. И., Бочкарев Р. В. Ветровые нагрузки на сооружения в виде давления переменного ветрового потока // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 11-1(43). С. 31—34.
4. Поддаева О. И., Дубинский С. И., Федосова А. Н. Численное моделирование ветровой аэродинамики высотного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 9. С. 23—27.
5. Разработка и верификация многоблочных вычислительных технологий для решения нестационарных задач строительной аэродинамики высотных зданий в рамках подхода URANS / С. А. Исаев, Н. И. Ватин, П. А. Баранов, А. Г. Судаков, А. Е. Усачов, В. В. Егоров // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1(36). С. 103—109.
6. Дубинский С. И. Расчеты высотных сооружений при ветровом воздействии // САПР и графика. 2005. № 10. 12 с.
7. Зверев Е. М. Возникновение волны сдвига при поперечном ударе по высотному зданию // Строительство и реконструкция. 2015. № 3(59). С. 67—74.
8. Yin Zhou, Kijewski T., Kareem A. Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database // Journal of Structural Engineering. 2003. Pp. 395—404. DOI: 10.1061/~ASCE!0733-9445~2003!129:3~394!
9. Егорычев О. О., Чуринов П. С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 20—22.
10. Сергеевцев Е. Ю., Зубков Д. А., Румянцев А. А. Изучение динамических характеристик высотного здания // Вестник МГСУ. 2011. № 4. С. 266—272.
11. Кравченко Г. М., Труфанова Е. В., Долженко А. В. Динамический расчет зданий на ветровые нагрузки с учетом пульсационной составляющей // Журнал APRIORI. Сер.: Естественные и технические науки. 2013. № 1. С. 1—7.
12. Ching-Wen C., Jing-Jong J. Case study of wind-resistant design and analysis of high mast structures based on different wind codes // Journal of Marine Science and Technology. 2008. Vol. 16. No. 4. Pp. 275—287.
13. Бурцева О. А., Кабельков В. А. Оценка ветрового воздействия и исследование устойчивости высотных сооружений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки. 2014. № 3(178). С. 59—65.
14. Григорьев С. М., Сапожникова А. И. Динамический анализ влияния собственных и собственных сопутствующих колебаний на характер деформирования высотного здания // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 1(132). С. 27—31.
15. Johari H., Desabrais K. Vortex shedding in the near wake of a parachute canopy // Journal of Fluid Mechanics. 2005. Vol. 536. Pp. 185—207.
16. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / пер. с венг. М.: Стройиздат, 1981. 248 с.
17. Fanger P. O. Thermal Comfort. McGrawHill, 1970. 244 p.
18. Andrskevicius R., Bielinskis F. Investigation of temperature variations in heated rooms // Pap. of 4-th conf. of VGTU. 2000. Pp. 215—222.
19. Keller B., Magyari E. A simple calculation method of general validity for the design-parameters of a room/building, minimizing its energy and power demand for heating and cooling in a given climate. Zurich, 1998. 57 p.
20. Табуницыков Ю. А., Шилкин Н. В. Аэродинамика высотных зданий // АВСК. 2004. № 8. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2662
21. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, А. В. Перельмутер. М.: АСВ, 2007. 482 с.

22. Соколов В. А., Страхов Д. А., Сияков Л. Н. Расчет сооружений башенного типа на динамические воздействия с учетом податливости свайного фундамента и основания // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 4. С. 46—50. doi: 10.5862/MSE.39.5
23. Расчет аэродинамики и дождевого увлажнения стен высотных зданий / С. Н. Бедаш, А. В. Борисов, В. Г. Гагарин, С. В. Гувернюк и др. // Ломоносовские чтения. Научная конференция. Секция механики. М.: Изд-во Московского ун-та, 2005. 56 с.
24. Ваганова Ж. В. Исследование ускорения воздушного течения между зданиями повышенной этажности и его влияния на ветровую нагрузку на фасады // Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. 2015. С. 132—133.
25. Перехоженцев А. Г. Комплексный расчет тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций зданий // Материалы 2-й Междунар. науч.-технич. конф. «Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции». М., 2007.
26. Перехоженцев А. Г. Методика расчета распределения температуры в многослойных ограждающих конструкциях зданий с учетом влияния инфильтрации холодного воздуха // Материалы 2-й Междунар. науч.-технич. конф. «Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции». М., 2007.
27. Перехоженцев А. Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. 212 с.
28. Воздействие ветрового потока на высотные здания / А. С. Гузеев, А. И. Короткин, А. О. Лебедев, Ю. А. Роговой // Жилищное строительство. 2009. № 9. С. 13—17.
29. Моделирование воздействий ветра на высотные здания / В. Н. Алехин, А. А. Антипин, С. Н. Городилов, А. С. Бочкарева и др. // International journal for computation civil and structural engineering. 2008. № 2. С. 14—15.
30. Amin J. A., Ahuja A. K. Aerodynamic modifications to the shape of the buildings: a review of the state-of-the-art // Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). 2010. Vol. 11. No. 4. Pp. 433—450.
31. Experimental investigation on aerodynamic characteristics of various triangular-section high-rise buildings / Eswara Kumar Bandi, Yukio Tamura, Akihito Yoshida, Yong Chul Kim, Qing-shan Yang // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2013. Pp. 60—68.
32. Тарабанов М. Г. Опыт проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий // АВОК. 2004. № 6. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2467
33. Малявина Е. Г., Бирюков С. В., Дианов С. Н. Воздушный режим жилых зданий // АВОК. 2003. № 6. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2157
34. Jiming Xie. Aerodynamic optimization of super-tall buildings and its effectiveness assessment // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2014. Pp. 88—98.
35. Болотов Е. Н. Влияние организации воздухообмена на нормируемые параметры внутреннего воздуха в высотном здании // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 28—31.
36. Дудкина Е. Ю., Старцева Н. А., Шеринев В. Н. К вопросу обеспечения микроклимата жилых высотных зданий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2010. № 1. С. 53—56.
37. Токарев О. К., Короткин А. И. Прикладные проблемы аэродинамики высотных зданий // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. 2010. № 53. С. 131—138.

© Перехоженцев А. Г., 2017

Поступила в редакцию
в апреле 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Перехоженцев А. Г. Проектирование наружных стен высотных зданий с заданным температурно-влажностным режимом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 48—60.

Об авторе:

Перехоженцев Анатолий Георгиевич — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, paq@mail.ru

A. G. Perekhozhentsev

DESIGN OF EXTERNAL WALLS OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH SPECIFIED TEMPERATURE AND HUMIDITY CONDITIONS

The critical analysis of the existing standards of heat insulation of buildings is presented. Recommendations for the complex calculation of claddings of high-rise buildings that meet the required level of energy efficiency, thermal comfort in premises and lack of condensation in claddings during the cold period of the year are given.

Key words: high-rise buildings, claddings, thermal comfort of premises, heat insulation, energy efficiency, humidity conditions of structures.

REFERENCES

1. Dykhovichnyi Yu. A. *Konstruirovaniye i raschet zhilykh i obshchestvennykh zdaniy povyshennoi etazhnosti* [Engineering design of residential and public high-rise buildings]. Moscow, Ripol Klassik, 2013. 254 p.
2. Bekmamatova L. N., Alekseenko V. N., Zhilenko O. B. [Specifics of assessment of wind impact on high-rise buildings]. *Molodezhnyi nauchnyi forum: tekhnicheskie i matematicheskie nauki* [Youth scientific forum: technical and mathematical sciences], 2016, no. 1(30), pp. 4—12.
3. Zemtsova O. G., Shein A. I., Bochkarev R. V. [Wind loads on structures in the form of variable pressure wind flow]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific researches and innovations], 2014, no. 11-1(43), pp. 31—34.
4. Poddaeva O. I., Dubinsky S. I., Fedosova A. N. [Numerical Simulation Of Wind Aerodynamics Of A High-Rise Building]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2014, no. 9, pp. 23—27.
5. Isaev S. A., Vatin N. I., Baranov P. A., Sudakov A. G., Usachov A. Ye., Yegorov V. V. [Development and verification of multiblock computational technologies for solution of unsteady problems of high building aerodynamics in the framework of URANS approach]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2013, no. 1(36), pp. 103—109.
6. Dubinskii S. I. [Design of high-rise structures taking into account wind impact]. *SAPR i grafika* [CAE and graphics], 2005, no. 10. 12 p.
7. Zveriaev E. M. [Arise of shear wave when wave lateral impact at high building]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2015, no. 3(59), pp. 67—74.
8. Yin Zhou, Kijewski T., Kareem A. Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database. *Journal of Structural Engineering*, 2003, pp. 395—404. DOI: 10.1061/~ASCE!0733-9445~2003!129:3~394!
9. Egorychev O. O., Churin P. S. [Experimental study of wind loads on high-rise buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Residential construction], 2015, no. 6, pp. 20—22.
10. Sergeevtsev E. Yu., Zubkov D. A., Rumyantsev A. A. [Study of dynamic characteristics of a high-rise building]. *Vestnik MGSU* [Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture], 2011, no. 4, pp. 266—272.
11. Kravchenko G. M., Trufanova E. V., Dolzhenko A. V. [Dynamic analysis of buildings for wind load considering pulsation component]. *Zhurnal APRIORI. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [APRIORI Journal. Series: Natural and technical sciences], 2013, no. 1, pp. 1—7.
12. Ching-Wen C., Jing-Jong J. Case study of wind-resistant design and analysis of high mast structures based on different wind codes. *Journal of Marine Science and Technology*, 2008, 16(4), pp. 275—287.
13. Burtseva O. A., Kabelkov V. A. [Evaluation of wind impact and parametric stability of high-rise constructions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Ser.: Tekhnicheskie nauki* [University news. North-Caucasian region. technical sciences series], 2014, no. 3(178), pp. 59—65.
14. Grigorshev S. M., Sapozhnikova A. I. [The dynamic analysis of influence of natural and natural-concurrent oscillation on the nature of deformation of a high-rise building]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii 21 veka* [Construction materials, equipment, technologies of 21 century], 2010, no. 1(132), pp. 27—31.
15. Johari H., Desabrais K. Vortex shedding in the near wake of a parachute canopy. *Journal of Fluid Mechanics*, 2005, 536, pp. 185—207.

16. Bankhidi L. *Teplovoi mikroklimat pomeschenii: raschet komfortnykh parametrov po teploshchushcheniyam cheloveka* [Thermal microclimate in rooms: calculation of comfortable parameters according to warmth sense of a person]. Translated from Hungarian. Moscow, Stroiizdat Publ., 1981. 248 p.
17. Fanger P. O. *Thermal Comfort*. McGrawHill, 1970. 244 p.
18. Andrskevicius R., Bielinskis F. Investigation of temperature variations in heated rooms. *Pap. of 4-th conf. of VGTU*, 2000, pp. 215—222.
19. Keller B., Magyari E. *A simple calculation method of general validity for the design-parameters of a room/building, minimizing its energy and power demand for heating and cooling in a given climate*. Zurich, 1998. 57 p.
20. Tabunshchikov Yu. A., Shilkin N. V. [Aerodynamics of high-rise buildings]. AVOK [Association of HVAC Engineers], 2004, no. 8. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2662
21. Gordeev V. N., Lantukh-Lyashchenko A. I., Pashinskii V. A., Perel'muter A. V. *Nagruzki i vozdeistviya na zdaniya i sooruzheniya* [Loadings and impacts on buildings and structures]. Moscow, ASV Publ., 2007. 482 p.
22. Sokolov V. A., Strakhov D. A., Sinyakov L. N. [Design of tower type structures to dynamic effects taking into account flexibility of the pile foundation and the base]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2013, no. 4, pp. 46—50. doi: 10.5862/MCE.39.5
23. Bedash S. N., Borisov A. V., Gagarin V. G., Guvern'yuk S. V. et al. [Calculation of aerodynamics and rain moisture of walls of high-rise buildings]. *Lomonosovskie chteniya. Nauchnaya konferentsiya. Sektsiya mekhaniki* [Lomonosov's readings. Scientific Conference. Mechanics section]. Moscow, Publishing House of Moscow University, 2005. 56 p.
24. Vaganova Zh. V. [The study of acceleration of air flow between high-rise buildings and its influence on wind load on facades]. *Izbrannye doklady 61-i universitetskoj nauchno-tehnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh* [Selected reports of the 61st University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists], 2015, pp. 132—133.
25. Perekhozhentsev A. G. [Complex calculation of thermal insulation and vapor barrier of multi-layer building envelopes]. *Materialy 2-i Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. «Teoreticheskie osnovy teplosnabzheniya i ventilyatsii»* [Proc. of the 2nd Int. Sc.-Pr. Conf. "Theoretical Principles of Heat Supply and Ventilation"]. Moscow, 2007.
26. Perekhozhentsev A. G. [Method of calculation of temperature distribution in multi-layer building envelopes taking into account the influence of inleakage of cold air]. *Materialy 2-i Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. «Teoreticheskie osnovy teplosnabzheniya i ventilyatsii»* [Proc. of the 2nd Int. Sc.-Pr. Conf. "Theoretical Principles of Heat Supply and Ventilation"]. Moscow, 2007.
27. Perekhozhentsev A. G. *Teoreticheskie osnovy i metody rascheta temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksii zdanii* [Theoretical principles and methods of calculation of temperature moisture conditions of building envelopes]. Volgograd, VSUACE Publ., 2008. 212 p.
28. Guzeev A. S., Korotkin A. I., Lebedev A. O., Rogovoi Yu. A. [Impact of wind current on high-rise buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Residential construction], 2009, no. 9, pp. 13—17.
29. Alekhin V. N., Antipin A. A., Gorodilov S. N., Bochkareva A. S. et al. [Simulation of wind impacts on high-rise buildings]. *International journal for computation civil and structural engineering*, 2008, no. 2, pp. 14—15.
30. Amin J.A., Ahuja A. K. Aerodynamic modifications to the shape of the buildings: a review of the state-of-the-art. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 2010, 11(4), Pp. 433—450.
31. Eswara Kumar Bandi, Yukio Tamura, Akihito Yoshida, Yong Chul Kim, Qingshan Yang. Experimental investigation on aerodynamic characteristics of various triangular-section high-rise buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2013, pp. 60—68.
32. Tarabanov M. G. [Experience of design of systems of ventilation and air conditioning in high-rise buildings]. AVOK [Association of HVAC Engineers], 2004, no. 6.
33. Malyavina E. G., Biryukov S. V., Dianov S. N. [Air mode in residential buildings]. AVOK [Association of HVAC Engineers], 2003, no. 6. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2157
34. Jiming Xie. Aerodynamic optimization of super-tall buildings and its effectiveness assessment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2014, pp. 88—98.
35. Bolotov E. N. [The influence of the arrangement of air exchange on rate parameters of internal air in a high-rise building]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Residential construction], 2013, no. 6, pp. 28—31.

36. Dudkina E. U., Startseva N. A., Shershnev V. N. [To the question of maintenance of the microclimate of inhabited high-rise buildings]. [Engineering systems and constructions], 2010, no. 1, pp. 53—56.

37. Tokarev O. K., Korotkin A. I. [Applied problems of aerodynamics of high-rise buildings]. *Trudy TsNII im. akad. A. N. Krylova* [Works of Krylov State Research Center], 2010, no. 53, pp. 131—138.

For citation:

Perekhozhentsev A. G. [Design of external walls of high-rise buildings with specified temperature and humidity conditions]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 48—60.

About author:

Perekhozhentsev Anatolii Georgievich — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, pag@mail.ru

УДК 691.327.666

А. С. Голованова, И. В. Стефаненко, Т. К. Акчурин

Волгоградский государственный технический университет

ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНАЯ КОМПОЗИЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРА БЕТОНА

Современные условия развития строительной отрасли требуют от производителей строительных материалов и конструкций постоянного совершенствования качества строительной продукции в условиях импортозамещения. Разработанный авторами состав многокомпонентной полимерной системы холодного отверждения (МПСХО) зарекомендовал себя как материал, способный защитить поверхности строительных материалов от воздействия воды и агрессивных сред, а малое наполнение состава позволило дополнительно упрочнить внешнюю гидроизоляцию МПСХО. Сочетание лучших качеств композиции МПСХО на основе отходов эпоксидной смолы с особенностями процессов структурообразования при сочетании полимерной составляющей с цементом позволило авторам разработать новый полимерцементный состав. Введение МПСХО в качестве модификатора бетонных смесей при полимерцементном соотношении 0,2...0,25 позволило снизить плотность модифицированной полимерцементной композиции на 25 %, при этом прочность при изгибе выросла в 10 раз, показатель прочности при сжатии увеличился в три раза, водопоглощение уменьшилось в 10 раз. Коэффициент химической стойкости более 0,8. Теоретическое обоснование изменения физико-механических характеристик полимерцементной композиции, модифицированной МПСХО, и их экспериментальное подтверждение обуславливает актуальность исследовательской работы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бетон, модификация, полимерные добавки, полимерные отходы, эпоксидная композиция, коррозионная стойкость.

Научно-практическая концепция при реализации защиты строительных изделий и конструкций от коррозионного разрушения в условиях импортозамещения требует от проектировщиков и производителей строительных материалов постоянного их совершенствования. Современные способы защиты строительных изделий и конструкций от воздействия воды и агрессивных сред неразрывно связаны с разработкой и внедрением высокоэффективных гидроизоляционных материалов на минеральной и полимерной основе, которые обеспечивают не только защиту, но и восстановление строительных материалов и конструкций до рабочего состояния. Сочетание различных видов гидроизоляции дает возможность эффективно их использовать в конструкциях различных частей здания, кровли, стен, пола, перекрытий [1, 2]. Гидроизоляционные материалы на полимерной основе могут использоваться для всех видов работ, и строители отдают им предпочтение. Эпоксидные краски, тиоколовые герметики, полиэфирные стеклопластики и полиэтиленовые экраны получили наиболее широкое распространение. Номенклатура полимерной гидроизоляции как отечественного, так и импортного производства достаточно широка. Но проблема дефицита и дороговизны исходных материалов для их производства тормозит массовое применение в строительстве. А нестабильное качество современных гидроизоляционных материалов зарубежного производства требует разработки новых материалов с высокими рабочими параметрами, при снижении их стоимости. Проблема может решаться путем использования техногенных отходов полимерной и минеральной при-

роды в составах компаундов. Возможности применения полимерных отходов при их модификации для гидроизоляционных композиций безграничны, как и синтез новых полимерных материалов, и в этом их большая притягательная сила и экономическая целесообразность [3, 4].

Особенности структурного строения эпоксидных полимеров обусловили их широкое использование при производстве строительных материалов и изделий. Разработка составов полимерных композиций на основе порошкообразного эпоксидного отхода для внешней гидроизоляции бетонных поверхностей позволила получить многокомпонентную полимерную систему холодного отверждения (МПСХО) [5, 6]. Композиция представляет собой порошкообразный материал, в смеси с растворителем используемый для гидроизоляции поверхностей строительных изделий и конструкций. Пленкообразующая способность вторичного порошка эпоксидной смолы определила его пригодность при разработке состава МПСХО. Модификация фенолоформальдегидной смолой придает композиции дополнительную эластичность за счет образования гомогенной самоотверждающейся системы, содержащей эпоксидно-новолачный блоксополимер с топологически сложной пространственной сеткой, что приводит к формированию композиции с широким спектром физических особенностей [7, 8, с. 40—42, 9—10]. Введение дисперсных абразивных частиц и дискретных углеродных волокон в сочетании с ПАВ приводит к росту прочностных характеристик композиции, что дает возможность рассматривать разработанный состав МПСХО не только как гидроизоляционный, но и упрочняющий, тем самым расширяя область его использования. Повышение коррозионной стойкости изделий с полимерным покрытием МПСХО сопровождается ростом их прочностных характеристик за счет дополнительного упрочнения поверхностного слоя бетона [11—14].

Оценка коррозионной стойкости МПСХО проводилась по изменению коэффициента химической стойкости, что можно считать оптимальным, так как величина зависит от параметров массопереноса, интенсивности реакции, размеров изделий, длительности воздействия агрессивных сред и других факторов. Изменение коэффициента химической стойкости не вышло за рамки значения 0,80, что может обеспечить надежную защиту и эксплуатацию изделий с полимерным покрытием в условиях воздействия данных агрессивных сред [1, 2, 15, 16, 17].

Модификация бетона добавками полимеров достигается сочетанием лучших качеств каждого компонента композиции при сведении к минимуму их отрицательных свойств. Обработка поверхности затвердевшего бетона полимерной композицией МПСХО показала положительный эффект в части повышения коррозионной стойкости бетона и роста его прочностных характеристик. Введение в состав бетонной смеси, помимо основного минерального вяжущего (цемента), полимерного компонента МПСХО, позволяет изменять свойства бетонных составов изнутри. В результате получается новое минеральнополимерное вяжущее, существенно изменяющее свойства готового материала [10, 11, 18]. Например, при введении полимера в количестве от 10...15 % от массы минерального вяжущего в смесь, можно придать раствору или бетону высокую водонепроницаемость, стойкость к износу, низкую электропроводность, сильно повысить его адгезию к другим ма-

териалам. Такой прием в модификации бетонов и растворов, в зависимости от физического состояния вводимого полимерного вяжущего, может осуществляться на основе водорастворимых и нерастворимых мономеров, олигомеров или полимеров; водных дисперсий полимеров или олигомеров; вязкожидких водонерастворимых олигомеров; порошкообразных полимеров или олигомеров. Получаемые полимерцементные составы образуют большую группу материалов, получаемых на основе двух вяжущих веществ: минерального и полимерного. В качестве минерального вяжущего могут быть использованы гипсовые, магнезиальные и гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, наиболее часто используются различные виды цемента. В качестве полимерного компонента в полимерцементных материалах используют термопластичные полимеры (поливинилацетат, акриловые полимеры и др.) и каучуки, олигомерные термореактивные смолы (эпоксидные, карбамидные) и мономерные продукты (например, фурфуролацетоновый мономер). Из олигомерных термореактивных смол наиболее часто применяют твердые эпоксидные смолы, используемые вместе с порошкообразными водонерастворимыми отвердителями твердыми резольными фенолформальдегидными смолами и др. Из термопластичных полимеров используют порошкообразные: полистирол, поливинилхлорид и др. Находят применение порошкообразный пек (твердый остаток от перегонки дегтя) и парафины.

Исходя из вышесказанного, представляется целесообразным исследовать возможность использования МПСХО в составах бетонных смесей с оценкой влияния модификации на изменение физико-механических характеристик полученной полимерцементной композиции.

Расход полимеров в полимерцементных материалах составляет 2...20 % от массы минерального вяжущего. Полимерный модификатор вводится непосредственно в бетонную смесь, и их твердение происходит совместно. Соотношение (по массе) полимерного компонента и минерального вяжущего (полимерцементное отношение, П/Ц) служит основной характеристикой состава полимерцементных материалов. При значении П/Ц до 0,2...0,25 гидратные фазы образуют кристаллизационнокоагуляционную структуру, которая укрепляется в дефектных местах (поры, трещины) полимерной составляющей, что обуславливает формирование более прочной и эластичной структуры. При большем П/Ц образуется непрерывная полимерная сетка.

В присутствии полимерных добавок изменяется кинетика гидратации клинкерных минералов, причем с ростом П/Ц наблюдается снижение скорости взаимодействия частиц с водой. Наиболее эффективно использовать термореактивные полимеры (эпоксидные смолы), которые в сформированной цементной матрице переходят в нерастворимое состояние. В этом случае происходит изменение поровой структуры цементного камня: уменьшается размер пор, часть их становится замкнутой при образовании полимерных мембран, поверхность открытых пор покрывается полимерной пленкой, приобретая гидрофобные свойства. Образующийся композиционный материал характеризуется повышенными значениями коррозионной стойкости и водонепроницаемости. Существенное влияние небольших количеств полимерного связующего на свойства материала объясняется структурными особенностями полимерцементных материа-

лов, заключающимися в характерном расположении полимера в матрице минерального вяжущего. Упругие прослойки полимерного связующего между кристаллическими новообразованиями минерального вяжущего, адсорбируются на поверхности частиц заполнителя и благодаря высоким адгезионным свойствам способствуют росту прочности материала при растяжении и изгибе. При этом часть полимера закрывает поры, снижая водопоглощение материала, повышая его морозостойкость и водонепроницаемость. Высокая адгезия полимерцементных смесей к другим материалам (например, поверхность старого раствора) объясняется присутствием в материале полимерного связующего, которое концентрируется на поверхности раздела «старый материал—полимерцементная смесь».

Прочность при сжатии полимерцементных материалов незначительно отличается от прочности на чистом цементном вяжущем, а вот прочность при растяжении и изгибе выше в 1,5—2 раза, что значительно может расширить область использования нового модифицированного МПСХО материала. Применение же высокопрочных термореактивных полимеров в качестве модификаторов бетонных смесей поможет получить материалы с повышенными прочностными характеристиками и специальными свойствами. Важно отметить, что стоимость полимерцементной композиции значительно возрастает (в 10—100 раз) уже при П/Ц от 0,02 до 0,2, относительно минеральных вяжущих. Например, раствор на латексе СКС-65 с П/Ц = 0,12 дороже обычного раствора в 1,5—2 раза. Стоимость полимерцементных материалов на термореактивных водонерастворимых олигомерах еще выше: эпоксидно-цементные растворы с П/Ц = 0,10...0,15 дороже обычных цементно-песчаных растворов в 10 раз и более. Поэтому модификация бетонных смесей многокомпонентной полимерной смесью холодного отверждения (МПСХО) на основе отходов промышленных предприятий региона актуальна с экономической и экологической точки зрения.

Полимерный продукт (МПСХО) не растворим в воде и вводится в бетонную смесь совместно с цементом и заполнителем, не изменяя в заметной степени ее удобоукладываемость и не оказывая влияния на гидратацию и структурообразование минерального вяжущего. МПСХО является гидрофобным веществом, частицы ее плохо смачиваются водой. Поэтому для облегчения гомогенизации смеси использовался пластификатор КОЖ136-41.

Важно отметить, что и гидратация цемента, и образование полимерной фазы при соединении полимерных частиц при полимеризации мономеров происходят достаточно хорошо независимо от физического состояния модификатора. Монолитная матричная фаза с решетчатой структурой при этом деформируется, а гидратированная цементная фаза и полимерная фаза взаимно проникают друг в друга (рис. 1—4).

В полимерцементных структурах растворов и бетонов заполнители связаны такой особой соматричной фазой, которая обуславливает выдающиеся свойства модифицированных растворов и бетонов. Основываясь на принципах латексной модификации цементных растворов и бетонов, нужно отметить, что регулируется она как гидратацией цемента, так и процессами образования полимерной пленки в связывающей их фазе. Процесс гидратации цемента обычно предшествует процессу образования полимерной пленки.

Соматричная фаза, которая состоит из цементного геля и полимерной пленки, образуется как связующее, в соответствии с трехступенчатой упрощенной моделью (см. рис. 1—4) [19].

При введении МПСХО в цементные смеси бетонной полимерные частицы диспергируются в фазе цементного теста при затворении водой (см. рис. 1). В таком полимерцементном тесте цементный гель постепенно образуется при гидратации цемента (см. рис. 2). Уже через несколько минут температура цементного теста поднимается до 84 °С в результате образования C_3A , выделяется большое количество пара.

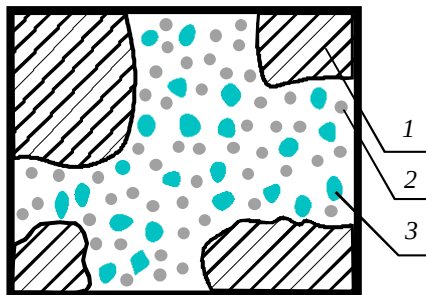


Рис. 1. Модель образования структуры полимерцементной композиции после смешивания: 1 — заполнитель; 2 — негидратированные цементные частицы; 3 — частицы полимера МПСХО

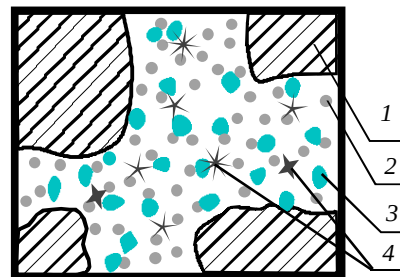


Рис. 2. Модель образования структуры полимерцементной композиции. Первая фаза структурообразования: 1 — заполнитель; 2 — негидратированные цементные частицы; 3 — частицы полимера МПСХО; 4 — гидраты цемента

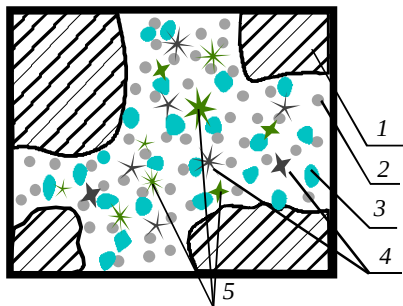


Рис. 3. Модель образования структуры полимерцементной композиции. Вторая фаза структурообразования: 1 — заполнитель; 2 — негидратированные цементные частицы; 3 — частицы полимера МПСХО; 4 — гидраты цемента; 5 — полимерные пленки и мембраны

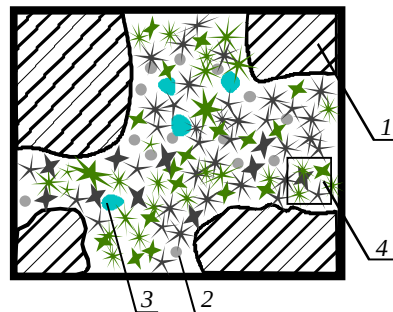


Рис. 4. Модель образования структуры полимерцементной композиции. Затвердевшая соматричная структура: 1 — заполнитель; 2 — негидратированные цементные частицы; 3 — частицы полимера МПСХО; 4 — соматричная фаза

На этом этапе происходит кристаллизация первичных наиболее крупных кубических кристаллов правильной и удлиненной формы (см. рис. 3). Большое количество тепла и пара в начальный период способствует разрыхлению структуры, создает предпосылки для роста кристаллов в свободном пространстве [19]. В то же время частицы полимера постепенно оседают на по-

верхности смеси цементного геля и непрореагировавших частиц цемента (см. рис. 3).

При использовании МПСХО в качестве полимерной добавки после затвердевания минерального вяжущего нет необходимости нагревания бетона для расплавления полимерного продукта, так как температура перехода полимерного компонента в вязкотекучее состояние с последующей полимеризацией наступает в интервале температур 80...90 °С, что соответствует температуре первой стадии гидратации цемента.

Структура цементного геля продолжает развиваться, частицы полимера МПСХО постепенно сосредоточиваются в капиллярных порах. Поскольку гидратация цемента продолжается и количество капиллярной воды уменьшается, полимерные частицы коагулируют с образованием постоянного уплотненного слоя полимерных частиц на поверхности смесей цементного геля с непрореагировавшими частицами цемента (см. рис. 4). При этом они сцепляются с этими смесями и силикатным слоем над поверхностью заполнителей. В этом случае большие поры в бетонных смесях за счет адгезии заполняются полимерными частицами [17, 20]. Это объясняется размерами пор в твердеющем цементе, находящимися в диапазоне от нескольких ангстрем до 1 мкм, в то время как размер полимерных частиц в МПСХО составляет от 0,05 до 0,5 мкм [17, 20, 21].

На заключительном этапе частицы уплотненного полимера МПСХО на продуктах гидратации цемента связываются в непрерывные пленки или мембраны (см. рис. 4). При этом образуется монолитная решетка, в которой полимерная фаза проникает через фазу указанных продуктов гидратации (рис. 5). Такая структура действует в качестве матричной фазы для модифицированных МПСХО бетонов.

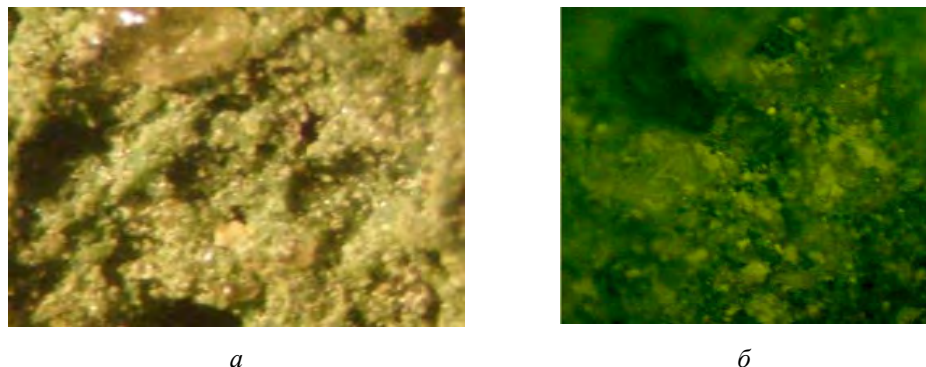


Рис. 5. Микроскопическое изображение структуры полимерцементной композиции при ее модификации МПСХО: *а* — излом образца; *б* — микроструктура матричной фазы

Использование МПСХО в качестве модификатора структуры бетона способствует формированию полимерцементной матрицы, переходящей в нерастворимое состояние, что считается наиболее эффективным. При этом происходит изменение поровой структуры цементного камня, уменьшается размер пор, часть их становятся замкнутыми при образовании полимерных мембран, поверхность открытых пор покрывается полимерной пленкой, приобретая гидрофобные свойства (см. рис. 5).

Исходя из теоретических предпосылок [22—24], для модификации мелкозернистого бетона П/Ц было выбрано в диапазоне от 0,1 до 0,3. Для оценки влияния модификатора МПСХО (наполненный состав — МПСХО^Н) на изменение прочностных и эксплуатационных характеристик бетонных композиций были изготовлены серии образцов модифицированного мелкозернистого бетона. Набор прочности осуществлялся в стандартных условиях. Определялись плотность, показатели прочности при сжатии, изгибе, водопоглощение. Показатели определялись в сравнении при модификации мелкозернистого бетона ненаполненной МПСХО и МПСХО^Н, наполненной (10 %) абразивными частицами + углеволокном в соотношении равном 1,0. Взаимосоотношение между изменением прочностных характеристик бетона и величины П/Ц показывает, что максимальных значений показатель прочности при сжатии достигает при введении полимерного модификатора МПСХО в области 0,2...0,25 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

*Изменение свойств полимерцементной композиции
 в зависимости от количества модификатора МПСХО/ МПСХО^Н*

Свойства	Технические характеристики составов (через 28 сут.)				
	КО	П/Ц = 0,1	П/Ц = 0,2	П/Ц = 0,25	П/Ц = 0,3
Плотность, кг/м ³	2180	2075/2045	1980/2010	1790/1810	1725/1724
Прочность при сжатии, МПа	21,8	45,6/50,3	58,3/54,2	59,4/60,3	60,1/62,8
Прочность при изгибе, МПа	1,7	4,5/6,9	6,9/8,4	9,2/10,2	9,5/11,5
Водопоглощение, %	11,8	3,5/2,4	1,6/1,7	0,6/0,8	0,7/0,5

Причем наполнение МПСХО^Н дисперсными частицами и дискретными волокнами оказывает идентичное действие в структуре композиции, способствуя снижению ее плотности. Так плотность снизилась на 25 % при использовании как ненаполненной, так и МПСХО^Н. В сравнении с исходным образцом показатель прочности при сжатии увеличился практически в три раза. Но наибольший эффект от модификации мелкозернистых составов МПСХО^Н проявился в росте показателя прочности при изгибе, он вырос в 10 раз. Показатель водопоглощения уменьшился в среднем в 10 раз. Такое значительное изменение технических характеристик позволяет значительно расширить область использования полученных составов полимерцементной композиции, модифицированной МПСХО и МПСХО^Н.

При действии агрессивных сред на полимерцементную композицию, модифицированную МПСХО, в ее структуре будут происходить физические и химические процессы, аналогичные тем, что имеют место при воздействии агрессивных сред на полимерное покрытие на основе МПСХО. При этом необходимо учесть, что основным компонентом МПСХО является порошкообразная эпоксидная смола, которая после отверждения в смеси с фенолформальдегидной смолой, отличается повышенной механической прочностью, химстойкостью.

Исследования химической стойкости модифицированной МПСХО полимерцементной композиции проводили в кислых и щелочных растворах [15, 17] по итогам промежуточных испытаний определяли изменение массы образцов Δm , %; коэффициент химической стойкости K_{xc} (табл. 2).

Таблица 2

Изменение показателей химической стойкости полимерцементной композиции, модифицированной МПСХО, в различных агрессивных средах

Показатели	Время экспонирования, сут.						
	0	30	60	90	180	270	360
5%-й раствор ортофосфорной кислоты							
$\Delta m, \%$	0	0,07	0,09	0,112	0,113	0,134	0,140
$K_{\text{хс}}$	1	0,990	0,981	0,975	0,968	0,975	0,960
3 %-й раствор азотной кислоты							
$\Delta m, \%$	0	0,131	0,213	0,321	0,409	0,513	0,534
$K_{\text{хс}}$	1	0,960	0,931	0,870	0,821	0,810	0,821
5%-й раствор соляной кислоты							
$\Delta m, \%$	0	0,035	0,055	0,088	0,120	0,130	0,132
$K_{\text{хс}}$	1	0,924	0,926	0,870	0,854	0,823	0,824
10%-й раствор лимонной кислоты							
$\Delta m, \%$	0	0,430	0,382	0,392	0,117	0,135	0,154
$K_{\text{хс}}$	1	0,961	0,942	0,937	0,896	0,880	0,883
25%-й раствор аммиака							
$\Delta m, \%$	0	0,077	0,101	0,144	0,215	0,257	0,306
$K_{\text{хс}}$	1	0,971	0,952	0,932	0,961	0,875	0,865

Наблюдается рост массы образцов полимербетонной композиции (см. табл. 2) в растворах ортофосфорной, соляной и азотной кислот, аммиака, который обусловлен образованием в композите нерастворимых соединений, кристаллизующихся в порах и уплотняющих структуру на начальной стадии воздействия. Может наступить и разрушение структуры при увеличении ее объема сверхкритического предела. Иначе обстоит дело при воздействии на композицию раствора лимонной кислоты. Резкое снижение массы образцов (см. табл. 2) сопровождается в дальнейшем ее стабилизацией. Деструкция в этом случае может быть вызвана процессами вымывания из композита компонентов, растворимых в воде, в частности песчаного наполнителя.

Изменение коэффициента химической стойкости подтверждается ростом показателя массопоглощения. Прирост массы образцов в растворах азотной и соляной кислот в среднем на 20 % не сдерживает снижение $K_{\text{хс}}$ в среднем на 15 %. Следовательно, увеличение массопоглощения происходит за счет уплотнения структуры полимерцементной композиции в связи с образованием соматричной фазы. Поведение композиции в растворе аммиака нельзя назвать однозначным. При воздействии же лимонной кислоты на композицию снижение $K_{\text{хс}}$ составляет от 8...10 %.

С учетом всего вышеизложенного следует отметить, что полимерцементную композицию, модифицированную МПСХО можно считать коррозионно-стойкой, так как значение $K_{\text{хс}}$ не изменилось ниже допустимого значения 0,8.

Представленные результаты исследований позволяют дать оценку эффективности модификации бетонных смесей МПСХО.

Введение в состав бетонной смеси порошкообразной МПСХО совместно с цементом позволило получить новый полимерцементный композит. При П/Ц в области 0,2...0,25 снизился показатель плотности (на 25 %) при использовании как ненаполненной, так и МПСХО^Н. Прочность при сжатии уве-

личилась в три раза. Наибольший эффект от модификации мелкозернистых составов МПСХО^Н проявился в росте показателя прочности при изгибе, он вырос в 10 раз. Показатель водопоглощения уменьшился в среднем в 10 раз. Исследования химической стойкости модифицированной МПСХО полимерцементной композиции показали коррозионную стойкость разработанных составов. Значение коэффициента химической стойкости не ниже допускаемого значения 0,8. Теоретическое обоснование формирования структуры модифицированных МПСХО бетонных смесей обуславливает возможность создания новых полимерцементных составов на основе полимерных и минеральных отходов, подтверждая тем самым актуальность поставленных цели и задач исследовательской работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашикова А. С., Акчури Т. К., Пушкарская О. Ю. Полимерная система на основе отходов производства для гидроизоляции строительных конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал АИСИ. 2014. Вып. 1(7). С. 53—57.
2. Защита конструкций зданий и сооружений от агрессивных воздействий. Ленинград: ГПИ Ленпромстройпроект, 1987. 96 с.
3. Зарубина Л. П. Гидроизоляция конструкций, зданий и сооружений. Издательство БВХ Петербург, 2011. 272 с.
4. Голованова А. С., Акчури Т. К., Пушкарская О. Ю. Системный подход к разработке составов многокомпонентных композиций на основе полимерных отходов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 40(59). С. 135—143.
5. Голованова А. С., Акчури Т. К., Пушкарская О. Ю. Оценка эффективности многокомпонентной композиции на основе полимерных отходов в условиях воздействия агрессивных сред // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 43(62). С. 57—65.
6. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных олигомеров. Казань: ПИК «Дом печати». 380 с.
7. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М.: Энергия, 1973. 418 с.
8. Мошинский Л. Я. Эпоксидные смолы и отвердители. Тель-Авив: Аркадия Пресс Лтд, 1995. 370 с.
9. Соломатов В. И., Добрыщев А. Н., Химпер Г. К. Полимерные композиционные материалы в строительстве. М.: Стройиздат, 1988.
10. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы: уч.-справ. пос. 2-е изд. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 221 с.
11. Ортслихер Л. П. Способы оценки влияния поверхностной гидрофобизации бетона и модифицирующих его структуру добавок // Бетон и железобетон. 1991. № 2. С. 28—30.
12. Струлев С. А., Ярцев В. П. Полимербетон на основе эпоксидной и полиэфирной смол с использованием асбофрикционных отходов // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 3. С. 109—111.
13. Рамачандран В. С., Фельдман Р. Ф., Коллепарди М. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
14. Комплексный подход при сравнительных исследованиях химической стойкости полимерного композиционного материала / Ю. И. Ладыгин, В. А. Башара, А. Н. Луговой, М. А. Титова, О. Г. Силинская // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 52—53.
15. Защита строительных конструкций промышленных зданий от коррозии / под ред. Ф. М. Иванова и Ю. А. Савиной. М.: Стройиздат, 1973. 174 с.
16. Журков С. Н., Куксенко В. С., Слуцкер А. И. Микромеханика разрушения полимеров // Проблемы прочности. 1971. № 2. С. 45—50.
17. Zubov P. I., Sukhoreva L. A. Структура и свойства полимерных покрытий. М.: Химия, 1982. 25 с.
18. Yaogang Tian. Mechanical and dynamic properties of high strength concrete modified with lightweight aggregates presaturated polymer emulsion // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 93. Pp. 1151—1156.

19. *Sandrine Marceau*. Microstructure and mechanical properties of polymer-modified mortars // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2012. Vol. 16. № 5. Pp. 571—581.
20. *Ngoc Thanh Tran*. Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates // *Cement and Concrete Research*. 2015. Vol. 79. Pp. 169—184.
21. *Plank J.* Chemical admixtures — Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability // *Cement and Concrete Research*. 2015. Vol. 78. Part A. Pp. 81—99.
22. *Ribeiro M. C. S.* Mix design process of polyester polymer mortars modified with recycled GFRP waste materials // *Composite Structures*. 2013. Vol. 105. Pp. 300—310.
23. *Swaminatham V., Kildsig D. O.* Polydisperse powder mixtures: effect of particle size and shape on mixture stability // *Drug. Dev. Ind. Pharm.* 2002. № 28 (1). Pp. 41—48.
24. *Steinberg M.* The Preparation and Characteristics of Concrete — *Polymer Composites // Multicomponent Polymer Systems*, American Chemical Society, *Advances in Chemistry*. Washington: N.A.J. Platzer. 1971. № 9. Pp. 547—561.

© Голованова А. С., Стефаненко И. В., Акчури Т. К., 2017

Поступила в редакцию
в мае 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Голованова А. С., Стефаненко И. В., Акчури Т. К. Полимерцементная композиция с использованием многокомпонентной полимерной системы холодного отверждения в качестве модификатора бетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 61—72.

Об авторах:

Голованова Анастасия Сергеевна — аспирант кафедры строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, what_you_know@mail.ru

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, профессор, первый проректор — директор института архитектуры и строительства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Акчури Талгат Кадимович — канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

A. S. Golovanova, I. V. Stefanenko, T. K. Akchurin

POLYMER-CEMENT COMPOSITION WITH THE USE OF MULTICOMPONENT POLYMERIC COLD CURING SYSTEM AS CONCRETE MODIFIER

Modern conditions for the development of the construction industry require manufacturers of construction materials and structures to continuously improve the quality of construction products in the development of the trend of import substitution. The composition of the multicomponent polymeric cold curing system developed by the authors proved to be the material capable of protecting the surfaces of construction materials from the effects of water and corrosive media, and a small filling of the composition made it possible to further strengthen the external waterproofing of the MCPA. The combination of the best qualities of the MPSKhO composition on the basis of wastes of epoxy resin with the peculiarities of the processes of structure formation when the polymer component was combined with cement allowed the authors to develop a new polymer-cement composition. The introduction of MPS as a modifier of concrete mixtures at a polymer-cement ratio of 0.2-0.25 made it possible to reduce the density of the modified polymer-cement composition by 25%, while the bending strength increased ten-fold, the compressive strength index increased three-fold, the water absorption decreased by 10 times. The coefficient of chemical resistance is more than 0.8. The theoretical substantiation of the change in the physical and mechanical characteristics of the polymer-cement composition modified by the ICMPM, and their experimental confirmation, makes the research work relevant.

Key words: concrete, modification, polymer additives, polymeric waste, epoxy composition, corrosion resistance.

REFERENCES

1. Kalashnikova A. S., Akchurin T. K., Pushkarskaya O. Yu. [Polymer system based on waste products for waterproofing of building structures]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya: nauchno-tehnicheskii zhurnal AISI* [Engineering and construction news of Caspian Sea region: scientific and engineering magazine AISI], 2014, 1(7), pp. 53—57.
2. *Zashchita konstruksii zdanii i sooruzhenii ot agressivnykh vozdeistvii* [Protection of buildings and structures against aggressive action]. Leningrad, GPI Lenpromstroiproekt, 1987. 96 p.
3. Zarubina L. P. *Gidroizolyatsiya konstruksii, zdanii i sooruzhenii* [Waterproofing of constructions, buildings and structures]. BVKh Saint Petersburg Publishing House, 2011. 272 p.
4. Golovanova A. S., Akchurin T. K., Pushkarskaya O. Yu. [Systematic approach to the design of multicomponent composites based on polymeric wastes]. *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], 2015, iss. 40(59), pp. 135—143.
5. Golovanova A. S., Akchurin T. K., Pushkarskaya O. Yu. [Assessment of efficiency of multicomponent compositions based on polymer wastes under the influence of aggressive environment]. *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], 2016, iss. 43(62), pp. 57—65.
6. Khozin V. G. *Usilenie epoksidnykh oligomerov* [Strengthening of epoxy oligomers]. Kazan , "Dom Pechati" Publishing House. 380 p.
7. Li X., Nevill K. *Spravochnoe rukovodstvo po epoksidnym smolam* [Reference guide on epoxide resins]. Transl. from English. Moscow, Energiya Publ., 1973. 418 p.
8. Moshinskii L. Ya. *Epoksidnye smoly i otverditeli* [Epoxide resins and hardeners]. Tel Aviv, Arkadiya Press Ltd, 1995. 370 p.
9. Solomatov V. I., Dobryshchev A. N., Himper G. K. *Polimernye kompozitsionnye materialy v stroitel'stve* [Polymer composite materials in construction]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1988.
10. Kastornyykh L. I. *Dobavki v betony i stroitel'nye rastvory* [Additives for concrete and construction solutions]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2007. 221 p.
11. Orentlikher L. P. [Methods of assessment of influence of surface integral waterproofing of concrete and additives modifying its structure]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1991, no. 2, pp. 28—30.
12. Strulev V. P., Yartsev S. A. [Polymer-Concretes on the Basis of Epoxy and Polyester Resins with the Use of Asbestos-Friction Wastes]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and construction], 2011, no. 3, pp. 109—111.
13. Ramachandran V. S., Fel'dman R. F., Kollepari M. *Dobavki v beton* [Additives for concrete]. Transl. from English. Moscow, Stroiizdat Publ., 1988. 575 p.
14. Ladygin Yu. I., Bashara V. A., Lugovoi A. N., Titova M. A., Silinskaya O. G. [Complex approach at comparative researches of chemical endurance of polymeric composite material]. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2005, no. 5, pp. 52—53.
15. Ivanov F. M., Savina Yu. A., ed. *Zashchita stroitel'nykh konstruksii promyshlennykh zdanii ot korrozii* [Protection of building constructions of industrial buildings against corrosion]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1973. 174 p.
16. Zhurkov S. N., Kuksenko V. S., Slutsker A. I. Micromechanics of the failure of polymers. *Strength of Materials*, 1971, 3(2), pp. 162—167.
17. Zubov P. I., Sukhoreva L. A. *Struktura i svoistva polimernykh pokrytii* [Structure and properties of polymer coatings]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 25 p.
18. Yaogang Tian. Mechanical and dynamic properties of high strength concrete modified with lightweight aggregates presaturated polymer emulsion. *Construction and Building Materials*, 2015, vol. 93, pp. 1151—1156.
19. Sandrine Marceau. Microstructure and mechanical properties of polymer-modified mortars. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2012, 16(5), pp. 571—581.
20. Ngoc Thanh Tran. Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates. *Cement and Concrete Research*, 2015, vol. 79, pp. 169—184.
21. Plank J. Chemical admixtures — Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research*, 2015, vol. 78, part A, pp. 81—99.
22. Ribeiro M. C. S. Mix design process of polyester polymer mortars modified with recycled GFRP waste materials. *Composite Structures*, 2013, vol. 105, pp. 300—310.

23. Swaminatham V , Kildsig D. O. Polydisperse powder mixtures: effect of particle size and shape on mixture stability. *Drug. Dev. Ind. Pharm.*, 2002, 28 (1), pp. 41—48.

24. Steinberg M. The Preparation and Characteristics of Concrete — Polymer Composites. *Multicomponent Polymer Systems, American Chemical Society, Advances in Chemistry*. Washington: N.A.J. Platzer. 1971. № 9. Pp. 547—561.

For citation:

Golovanova A. S., Stefanenko I. V., Akchurin T. K. [Polymer-cement composition with the use of multi-component polymeric cold curing system as concrete modifier]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 61—72.

About authors:

Golovanova Anastasiya Sergeevna — Postgraduate student of Construction Materials and Special Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, what_you_know@mail.ru

Stefanenko Igor' Vladimirovich — Doctor of Engineering Science, Professor, First Vice-Principal — Director of Institute of Architecture and Civil Engineering, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Akchurin Talgat' Kadimovich — Candidate of Engineering Science, Professor, the Head of Construction Materials and Special Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 691.327:666.972.7:620.172.21

О. В. Ермаков^а, О. И. Карпова^б

^а *Волжский политехнический институт (филиал ВолгГТУ)*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОСТИ ВЛИЯНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ПОЛЗУЧЕСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Приведен анализ результатов сопоставления экспериментальных и теоретических материалов деформации ползучести тяжелого бетона при повышении температуры, влажности и различных уровнях загрязнения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: загрузка, нелинейные деформации, быстросотекающие деформации, ползучесть.

Анализ работ по теории ползучести бетона показывает, что в настоящее время достаточно полно изучены деформативные свойства материала при стационарных температурах и влажностях внешней среды. При повышенных температурах в высыхающем бетоне закономерности деформаций меняются в соответствии с изменением условий внешней среды при различных уровнях загрузки. Поэтому существующие реологические уравнения ползучести требуют корректировки для использования при расчете конструкций, работающих в нестандартных средах.

При сопоставлении экспериментальных и теоретических разработок замечено, что реологические уравнения нелинейной теории ползучести, зачастую неточно отражают законы деформирования материала в начальный период загрузки. Наиболее близкое совпадение теории с экспериментом имеет место в работах С. В. Александровского и О. М. Попковой [1—5].

Исследования, проведенные на фундаментах рольганга, установки непрерывной разливки стали №1—3 (УНРС 1-3), в электросталеплавильном цеху ПАО «Волжский трубный завод» в 2008, 2010, 2014 и 2015 годах при кратковременном нагружении брусами (стальная заготовка квадратного и прямоугольного сечения), показали, что в процессе производства температура и относительная влажность бетона на рольганге меняются от 30 до 120 °С, от 18 до 100 % в зависимости от этапов технологии производства от 18 часов до 3 суток непрерывной работы. Для определения критических температур и влажностей среды в зависимости от уровня загрузки проводились экспериментальные исследования на тяжелых бетонах различного возраста, после капитального ремонта фундаментов УНРС 1-3.

Анализ экспериментальных данных, полученных при кратковременном и длительном нагружении бетона внешней нагрузкой, показал, что в условиях повышенных уровней загрузки при изменении температуры от 40 до 100 °С и влажности от 40 до 100 % каждому уровню температуры соответствует критическая влажность среды, при которой в бетоне развиваются нелинейные деформации.

Для определения критических значений температуры и влажности среды в зависимости от уровня загрузки проводились экспериментальные исследования на тяжелых бетонах различного возраста загрузки. В тяжелых бе-

тонах заводского изготовления исследовалось влияние температуры в пределах от 30 до 120 °С и относительной влажности от 40 до 100 %, при уровне загрузки $0,6R_{пр}$. Данные экспериментальных исследований обрабатывались методом многофакторного корреляционного анализа. Коэффициенты корреляции приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции функции нелинейности напряжений тяжелого бетона

Выборочные формулы	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
φ	0,431	4	1,0	0,3
$\frac{1}{t}$	0,714	4	2,04	0,1
$\frac{\varphi}{t}$	0,886	4	3,77	0,02

Принимая выборочные функции с уровнем значимости от 0,02 до 0,1, получено уравнение регрессии в виде

$$\begin{aligned}
 F[\sigma] &= \frac{\sigma}{R} \left[0,304 + 357 \frac{\varphi}{t} - 62,95 \frac{1}{t} \right] \sigma; \quad \frac{\sigma}{R} \geq 0,1, \\
 F[\sigma] &= \left[0,213 + 2,312 \frac{\varphi}{t} - 44,066 \frac{1}{t} \right] \sigma; \quad \sigma = 0,7R_{пр}, \\
 F[\sigma] &= \left[0,115 + 1,377 \frac{\varphi}{t} - 24,15 \frac{1}{t} \right] \sigma; \quad \sigma = 0,4R_{пр}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Анализ уравнения (1) показывает, что при соблюдении условия $0,057\varphi - 1 = 0$, т. е. при $\varphi = 18$ %, влиянием температуры можно пренебречь. При влажности среды больше 18 %, с увеличением влажности функция нелинейности увеличивается. Из уравнения (1) получено соотношение критической влажности и заданной температуры в виде $\frac{\sigma}{R} = 0,7$

$$0,057\varphi = \frac{0,787t}{44,016} + 1. \tag{2}$$

Анализ уравнения (2) показал, что при изменении влажности среды от 30 до 50 % и температуры от 40 до 120 °С в тяжелых бетонах можно ожидать развития нелинейных деформаций практически при любых условиях загрузки, если между температурой и влажностью соблюдается соотношение (2).

Коэффициент корреляции, при изменении температуры от 60 до 120 °С и влажности от 40 до 100 % приведены в табл. 2.

На основании выборочных функций с уровнем значимости 0,05...0,15 получено уравнение регрессии

$$F[\sigma] = \left[01,155 + 12,903 \frac{\varphi}{t} - 0,102\varphi - 164,34 \frac{1}{t} \right] \sigma. \tag{3}$$

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляции функции нелинейности тяжелого бетона заводского изготовления при $t = 60\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 40\text{--}100\text{ }\%$

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
φ	0,522	4	1,22	0,15
$\frac{1}{t}$	0,493	4	1,2	0,15
$\frac{\varphi}{t}$	0,806	4	2,73	0,05

Анализ (3) позволяет сделать вывод, что влиянием влажности можно пренебречь при температуре среды более $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при влажности среды $13\text{ }\%$ можно пренебречь влиянием температуры. Критическое соотношение температуры и влажности, при котором развиваются нелинейные деформации ползучести (при уровне загрузки $0,6R_b$), имеет вид

$$\frac{1}{t} = \frac{0,1022\varphi - 0,155}{(\varphi - 12,74)12,9}. \quad (4)$$

Приведенные соотношения значений критической температуры и влажностей среды могут быть использованы при расчетах предварительно напряженных элементов.

При температуре $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и изменении влажности среды от 40 до $100\text{ }\%$ коэффициенты корреляции выборочных функций развития быстронатекающей ползучести приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты корреляции выборочных функций быстронатекающих деформаций ползучести бетонов старого возраста

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
φ	0,326	12	1,19	0,15
$\frac{\sigma}{R}$	0,678	12	3,21	0,01
$\frac{\varphi\sigma}{R}$	0,778	12	4,27	0,001

На основании выборочных функций с уровнем значимости $0,01\text{--}0,001$ уравнение регрессии будет иметь вид

$$C = C_0 \left[\frac{\sigma}{R} 84,74(1 + 0,015\varphi) - 67,08 \right]. \quad (5)$$

Следовательно, при температуре $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ всплески деформаций на кривой ползучести могут появиться при соотношении уровня загрузки и влажности среды

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{68,05}{84,74(1 + 0,015\varphi)} \quad (6)$$

При использовании линейной аппроксимации соотношение (6) примет вид

$$\frac{\varphi}{R} = 0,8 - 0,0048\varphi \quad (7)$$

При влажности среды 100 % уровень нагрузки, вызывающий развитие нелинейных деформаций в бетоне равен 0,3; при влажности среды 40 % — 0,6. В табл. 4 приведены коэффициенты корреляции выборочных функций при температуре 60 °С и изменении влажности от 40 до 100 %.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции выборочных функций тяжелого бетона

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
$\frac{\sigma}{R}$	0,797	8	3,75	0,007
$\frac{\varphi\sigma}{R}$	0,913	8	6,34	0,0001

Выборочные функции удовлетворяют распределению Стьюдента с уровнем значимости 0,00001...0,0015. Тогда уравнение регрессии имеет вид

$$C = C_0 \left[106,08 \frac{\sigma}{R} - 0,712\varphi \frac{\sigma}{R} - 27,43 \right] \quad (8)$$

На основании анализа уравнения (8) получено соотношение критических уравнений загрузки, вызывающих нелинейные деформации в бетоне в зависимости от влажности внешней среды, в виде

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{28,43}{106,08 - 0,712\varphi} \quad (9)$$

В табл. 5 приведены коэффициенты корреляции выборочных функций при изменении влажности от 70 до 100 %.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции быстронатекающей ползучести тяжелого бетона

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
$\frac{\sigma}{R}$	0,687	8	2,67	0,03
$\frac{\varphi\sigma}{R}$	0,874	8	4,59	0,002

Выборочные функции удовлетворяют распределению Стьюдента с уровнем значимости 0,002...0,03. Уравнение регрессии имеет вид

$$C = C_0 \left[1,744\varphi \frac{\sigma}{R} - 22,25 \frac{\sigma}{R} - 57,49 \right]. \quad (10)$$

Анализ уравнений (8) и (10) показывает, что при температуре 60 °С быстронатекающие деформации ползучести будут уменьшаться с увеличением влажности от 40 до 70 % и увеличиваться — при увеличении влажности от 70 до 100 %. Уровень нагрузки, соответствующий развитию нелинейных деформаций в материале, будет иметь вид

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{58,49}{1,744\varphi - 22,25}. \quad (11)$$

На основании анализа уравнений (9) и (11) можно сделать вывод, как пересушивание, так и переувлажнение бетона отрицательно влияют на допустимые значения уровня нагрузки, что вызывает нелинейные деформации ползучести.

При температуре 120 °С, вследствие высушивания, в материале уменьшаются контакты коагуляционного типа. Поэтому при влажности 40 % быстронатекающие деформации почти не зависят от уровня нагружения материала. При высоких влажностях среды быстронатекающие деформации увеличиваются с увеличением влажности, но остаются ниже удельных деформаций, образующихся при температурах от 30 до 60 °С.

В табл. 6 приведены коэффициенты корреляции выборочных функций при температуре 120 °С.

Т а б л и ц а 6

Коэффициенты корреляции выборочных функций быстронатекающих деформаций ползучести тяжелого бетона

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
φ	0,71	13	3,64	0,002
$\frac{\sigma}{R}$	0,802	13	4,81	0,0009
$\frac{\varphi\sigma}{R}$	0,943	13	10,28	0,00001

Выборочные функции удовлетворяют распределению Стьюдента с низким уровнем значимости, получено уравнение регрессии

$$C = C_0 \left[0,128\varphi \frac{\sigma}{R} + 0,275 \frac{\sigma}{R} - 0,02\varphi - 1,411 \right]. \quad (12)$$

Анализ уравнения показывает, что при уровне нагружения 0,156 влиянием влажности на быстронатекающие деформации ползучести можно пренебречь, при уровне нагружения больше 0,156 быстронатекающие деформации

увеличиваются с увеличением влажности. Критические уровни загрузки, в зависимости от влажности внешней среды, при температуре 120 °С могут быть определены из уравнения (12)

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{2,414 + 0,02\varphi}{0,275 + 0,128\varphi}. \quad (13)$$

Изменение удельных деформаций ползучести бетона изучалось при продолжительности выдержки под нагрузкой в течение 5-ти суток и уровне нагружения 0,1...0,8R_b в зависимости от температуры и влажности среды. Результаты исследований приведены в табл. 7.

Таблица 7

Коэффициенты корреляции выборочных функций удельных деформаций тяжелого бетона при температуре 30 °С

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции <i>r</i>	Степень свободы	Параметр <i>t</i>	Уровень значимости <i>α</i>
φ	0,156	11	0,52	0,3
$\frac{\sigma}{R}$	0,948	11	9,64	0,0007
$\frac{\varphi\sigma}{R}$	0,35	11	1,23	0,15

Лабораторные функции с уровнем значимости, указанным в табл. 7, удовлетворяют распределению Стьюдента. Уравнение регрессии ползучести имеет вид

$$C = C_0 \left[0,754 \frac{\sigma}{R} (608,9 + \varphi) - 210,06 \right] 5 \cdot 10^{-8}. \quad (14)$$

На основании анализа уравнения (14) получена зависимость критической влажности среды в зависимости от уровня нагружения

$$\varphi = \frac{36,06}{0,125 \frac{\sigma}{R}} - 608,9. \quad (15)$$

Таким образом, в тяжелом бетоне старого возраста уровни нагружения, вызывающие нелинейные деформации ползучести, при температуре 40 °С равны 0,47, при 100 % влагонасыщении — 0,4R_b, что подтверждается экспериментальными данными.

При температуре среды 60 °С удельные деформации ползучести при различных уровнях нагружения обратно пропорциональны влагосодержанию материала. При этом уравнение регрессии удельных деформаций ползучести имеет вид

$$C = C_0 \left[129,35 \frac{\sigma}{R} - 1654 \frac{1}{\varphi} + 10759,4 \frac{\sigma}{\varphi R} - 120,57 \right] 5 \cdot 10^{-8}. \quad (16)$$

Выборочные функции $\frac{\sigma}{R}$, $\frac{1}{\varphi}$, $\frac{\sigma}{R\varphi}$ удовлетворяют распределению Стюдента с уровнем значимости, приведенным в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Коэффициенты корреляции выборочных функций удельных деформаций ползучести тяжелого бетона

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
$\frac{\sigma}{R}$	0,938	11	8,64	0,001
$\frac{1}{\varphi}$	0,906	11	7,08	0,001
$\frac{\sigma\varphi}{R}$	0,913	11	7,35	0,001

Анализ уравнения (16) показывает, что при температуре 60 °С влиянием влажности на удельные деформации ползучести бетона можно пренебречь при уровне загрузки $0,15R_b$. При напряжениях меньших, чем $0,15R_b$, с увеличением влажности среды удельные деформации ползучести уменьшаются, при $\sigma \geq 0,5R_b$ — увеличиваются. Критические уровни загрузки, вызывающие развитие нелинейных деформаций в бетоне, можно рассчитать из уравнения (16)

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{121,6 + 1654,5 \frac{1}{\varphi}}{129,35 + 10759,4 \frac{1}{\varphi}}. \quad (17)$$

Анализ (17) показал, что при температуре 60 °С с понижением влажности среды в старом бетоне уменьшается уровень загрузки, вызывающий развитие нелинейных деформаций ползучести.

При температуре 120 °С и влажности среды от 70 до 100 % удельные деформации ползучести возрастают с увеличением нагрузки. При влажности среды 40 % удельные деформации ползучести не зависят от уровня загрузки. Уравнение регрессии изменения удельных деформаций ползучести, в зависимости от уровня загрузки и влажности среды, можно представить в виде

$$C = 17,52 - 0,001\varphi + 0,698 \frac{\sigma}{R} \varphi. \quad (18)$$

Из него можно сделать вывод, что с увеличением влажности внешней среды и уровня загрузки материала удельные деформации ползучести увеличиваются. Следовательно, в железобетонных конструкциях, работающих в условиях повышенных значений влажности и температуры, могут возникнуть перемещения, превышающие допустимые величины. Коэффициенты корреляции уравнения (18) представлены в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициенты корреляции и уровни значимости выборочных функций удельных деформаций тяжелого бетона при температуре 120 °С

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
$\frac{\sigma}{R}$	0,473	13	1,93	0,045
φ	0,714	13	3,76	0,007
$\frac{\varphi\sigma}{R}$	0,83	13	5,0	0,001

Соотношение критической влажности и уровня нагружения, вызывающее развитие нелинейных деформаций в бетоне, имеет вид

$$\varphi = \frac{18,52}{0,698 \frac{\sigma}{R - 0,001}}. \quad (19)$$

По данному уравнению при влажности среды 40 % уровень нагрузки, вызывающий развитие нелинейных деформаций ползучести в бетоне, равен $0,7R_b$, при влажности 100 % — $0,2R_b$, что выявлено в процессе эксперимента. При одинаковых уровнях нагружения материала и различных условиях внешней среды и постоянном уровне нагружения деформация носит скачкообразный характер. При этом скачки в развитии деформаций в конструкциях могут проявиться при равновесной влажности бетона, соответствующей влажности внешней среды, и уровне нагружения, определяемом по зависимостям (10), (11), (13), (15), (17), (19).

Выводы:

1. Результаты экспериментальных исследований позволяют учитывать изменение физико-механических свойств материалов в нестационарных условиях среды в период эксплуатации конструкций.
2. Определена закономерность изменения деформаций ползучести тяжелого бетона при действии температуры от 30 до 120 °С, изменения влажности от 40 до 100 %, различных уровнях нагружения.
3. При низких уровнях нагружения и критических значениях температуры, влажности и нагрузки в бетонах могут развиваться нелинейные деформации ползучести.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александровский С. В., Попкова О. М. Нелинейные деформации бетона при сложных режимах нагружения // Бетон и железобетон. 1971. № 1. С. 10—15.
2. Милованов А. Ф., Карасев И. М. Усадка и ползучесть бетона при циклическом нагреве: Проблемы ползучести и усадки бетона. М.: Стройиздат, 1974. С. 10—14.
3. Тупов Н. И. Особенности развития усадки и температурных деформаций тяжелого бетона при 60...200 °С // Длительные деформативные процессы в бетонных и железобетонных конструкциях. М.: Стройиздат, 1970. С. 160—168.
4. Улицкий И. И., Барашиков А. Я. Расчет железобетонных рам на усадку и температурные воздействия с учетом ползучести бетона // Строительные конструкции. Киев: Будивельник, 1966. С. 87—105.
5. Фрид С. А. Температурные напряжения в бетонных и железобетонных конструкциях гидротехнических сооружений. М.: Госэнергоиздат, 1959. С. 250—268.

© Ермаков О. В., Карпова О. И., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Ермаков О. В., Карпова О. И. Экспериментальные исследования многофакторности влияния на деформацию ползучести тяжелого бетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 73—81.

Об авторах:

Ермаков Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, технологических процессов и машин, Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ. Российская Федерация, 404121, г. Волжский, ул. Энгельса 42а, helgerm@bk.ru

Карпова Ольга Ивановна — доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, olga.vist@mail.ru

O. V. Ermakov, O. I. Karpova

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE MULTIFACTORIAL EFFECT ON CREEP DEFORMATION OF HEAVY CONCRETE

The article provides the analysis of the results of the comparison of experimental and theoretical proceedings on creep deformation of heavy concrete at temperature and moisture rise and different pollution levels.

Key words: loading, nonlinear deformation, quickly inleaking deformation, creeping.

REFERENCES

1. Aleksandrovskii S. V., Popkova O. M. [Nonlinear deformations of concrete under complicated load modes]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1971, no. 1, pp. 10—15.
2. Milovanov A. F., Karasev I. M. *Usadka i polzuchest' betona pri tsiklicheskom nagreve: Problemy polzuchesti i usadki betona* [Concrete shrinkage and creep under cyclic heating: Problems of concrete creep and shrinkage]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1974. Pp. 10—14.
3. Tupov N. I. [Specifics of shrinkage process and temperature deformations of heavy concrete at 60...200 °C]. *Dlitel'nye deformativnye protsessy v betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiyakh* [Long-term processes of deformation in concrete and reinforced concrete structures]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1970. Pp. 160—168.
4. Ulitskii I. I., Barashikov A. Ya. [Design of reinforced concrete frames for shrinkage and temperature impact taking into account concrete creep]. *Stroitel'nye konstruktsii* [Building constructions]. Kiev, Budivel'nik Publ., 1966. Pp. 87—105.
5. Frid S. A. *Temperaturnye napryazheniya v betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiyakh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii* [Temperature stress in concrete and reinforced concrete structures of hydraulic engineering constructions]. Moscow, Gosenergoizdat, 1959. Pp. 250—268.

For citation:

Ermakov O. V., Karpova O. I. [Experimental studies of the multifactorial effect on creep deformation of heavy concrete]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 73—81.

About authors:

Ermakov Oleg Vladimirovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies and Machines Department, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of VSTU. 42A, Engelsa St., Volzhskii, 404121, Russian Federation, helgerm@bk.ru

Karpova Olga Ivanovna — Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, olga.vist@mail.ru

УДК 66.066.05

А. Б. Голованчиков, Н. А. Прохоренко

Волгоградский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОЦИКЛОНИРОВАНИЯ НА ВИБРОФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА

Рассмотрен вариант совмещения гидроциклонного процесса с процессом центробежного фильтрования на фильтрующей поверхности корпуса, когда к внешнему давлению в гидроциклоне добавляется центробежное давление от вращения очищаемого потока жидкости. Для непрерывного сброса осадка с фильтрующей поверхности предлагается вести процесс разделения при вибрации, обеспечивающей непрерывный сброс осадка и регенерацию пор фильтровальной поверхности. Проведено сравнение эффективности очистки жидкости с обычными процессами гидроциклонирования и виброфильтрования.

Ключевые слова: гидроциклонирование, виброфильтрование, центробежное давление, амплитуда и частота вибрации, локальная и общая степени улавливания частиц.

Обычно процессы разделения суспензий и эмульсий в гидроциклоне ведут на непроницаемых боковых поверхностях аппарата, в центрифугах при отстойном центрофугировании также используют сплошные боковые поверхности роторов, а при фильтрующем центрофугировании — перфорированные роторы с фильтрующим материалом на боковой поверхности [1—4].

Достоинством фильтрующих центрифуг является то, что движущая сила создается центробежным полем вращающегося ротора и равна:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R_n^2}{2} - p_a,$$

обозначение параметров предоставлено в табл. 1.

В гидроциклонах локальная окружная скорость $V_{\text{ц}}$ у стенки корпуса равна нулю, поэтому стенки находятся под давлением потока жидкости, входящего во входной патрубок, а частицы дисперсной фазы отбрасываются к стенке корпуса с радиальной скоростью:

$$V_{\text{ос}} = \varphi V_{\text{д}}, \quad (1)$$

где φ — фактор разделения; $V_{\text{д}}$ — скорость осаждения в поле сил тяжести.

При этом

$$\varphi = \frac{V_{\text{ок}}^2}{g \cdot R_n} \quad (2)$$

характеризует увеличение скорости центробежного осаждения частиц по отношению к скорости их осаждения в поле сил тяжести.

В гидроциклонах с фильтрующей боковой поверхностью корпуса скорость центробежного осаждения частиц складывается со скоростью фильтрования:

$$V_{\text{об}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где V_{oc} — скорость центробежного осаждения определяется по известному алгоритму [1—3], приведенному ниже, а скорость фильтрации рассчитывается по формуле [4]:

$$V_{\phi} = \frac{\Delta p}{(R_{\phi} + R_{oc})\mu}, \quad (4)$$

где R_{ϕ} — сопротивление фильтровальной перегородки; $R_{oc} = r_{oc}\delta$ — соответственно общее сопротивление осадка, его удельное сопротивление и толщина осадка.

Недостатком обычных фильтров является накопление осадка, в результате скорость фильтрации уменьшается во времени.

Однако при фильтрации на так называемых динамических фильтрах, когда вертикальная фильтровальная перегородка, а в данном случае вертикальный цилиндрический корпус, вибрирует с частотой f и амплитудой A , осадок переходит в виброоживленное состояние и стекает вниз под действием силы тяжести. При этом для каждого осадка с его физико-химическими свойствами надо подобрать частоту и амплитуду так, чтобы частицы, застрявшие в порах фильтровального материала из них выбивались, а сам осадок находился в виброоживленном состоянии [5—9].

Целью работы является моделирование процесса виброгидроциклонирования с виброоживленным слоем осадка, стекающего под действием силы тяжести с боковой фильтровальной поверхности корпуса.

Критическое ускорение вибрации, при котором происходит регенерация пор:

$$y_k = A(2\pi f)^2, \quad (5)$$

а критическая интенсивность вибрации, переводящая осадок в псевдооживленное состояние:

$$J_k = A^2(2\pi f)^3. \quad (6)$$

Уходить от критических значений, повышающих амплитуду и частоту колебаний, нецелесообразно, так как высокие параметры вибрации вызывают разрушение узлов и деталей, поэтому необходимо за основные рабочие значения амплитуды и частоты колебаний выбрать эти параметры, лежащие вблизи точки графиков пересечения уравнений (5) и (6) [9—17].

Для этого возведем в квадрат левую и правую части уравнения (5) и разделим полученное выражение на уравнение (6).

$$W_k = \frac{y_k^2}{J_k} = \frac{A^2(2\pi f)^4}{A^2(2\pi f)^3} = 2\pi f_k, \quad (7)$$

где W_k — критическая круговая частота вибрации.

Так при фильтрации суспензии частиц старой краски (образующего после очистки корпуса судна) $Y_k \geq 25$; $Y_{kp} \geq 2,5$. Тогда частота колебаний фильтровальной перегородки должна быть $f_k \approx 40$ Гц, а амплитуда $A_{kp} \approx 4 \cdot 10^{-4}$ м, т. е. 0,4 мм.

Рассмотрим алгоритм расчета гидроциклона с фильтрующей боковой поверхностью корпуса и его вибрацией с частотой 40 Гц и амплитудой $A \geq 4 \cdot 10^{-4}$ м.

I. Проводим расчет обычного гидроциклона по типовому алгоритму, изложенному в работах [1—3, 6].

1.1. Скорость суспензии во входном патрубке:

$$V_{\text{вх}} = \frac{\left(\frac{q_v}{3600} \right)}{\pi \cdot R_n^2}. \quad (8)$$

1.2. Окружная скорость (тангенсальная) внутри корпуса:

$$V_{\text{ок}} = 3,15 \cdot V_{\text{вх}} \cdot \frac{\left(\frac{R_n}{R_n} \right)}{\left(\frac{2 \cdot L}{R_n} \right)^{0,32}}. \quad (9)$$

1.3. Фактор разделения рассчитывается по формуле (2).

1.4. Из условия равенства времени пребывания:

$$\tau = \frac{\pi(R_n^2 - R_b^2)L}{\left(\frac{q_v}{3600} \right)} \quad (10)$$

и времени осаждения частиц номинального диаметра, когда путь осаждения наибольший и равен $(R_n - R_b)$:

$$\tau_{\text{ок}} = \frac{(R_n - R_b)}{V_{\text{ок}}} \quad (11)$$

получаем уравнение для скорости центробежного осаждения частиц номинального диаметра:

$$V_{\text{ок}} = \frac{\left(\frac{q_v}{3600} \right)}{\pi(R_n + R_b)L}. \quad (12)$$

1.5. Число Лященко для частиц номинального диаметра:

$$La_{\text{ок}} = \frac{V_{\text{ок}}^3 \cdot \rho^2}{[g\phi\mu(\rho_k - \rho)]}.$$

1.6. Число Архимеда для частиц номинального диаметра определяется из трансцендентного уравнения Годеса методом половинного деления:

$$La_{\text{ок}} = \frac{Ar_{\text{ок}}^2}{(18 + 0,61\sqrt{Ar_0})^3}.$$

1.7. Номинальный диаметр частиц, улавливаемых на 100 %:

$$d_{\text{ок}} = \sqrt[3]{\frac{Ar_o\mu}{g\phi\rho(\rho_k - \rho)}}.$$

1.8. Число Архимеда для частиц диаметром $d_{(i)}$ меньше номинального d_o :

$$Ar_{(i)} = Ar_o \left[\frac{d(i)}{d_{oc}} \right]^3.$$

1.9. Число Рейнольдса для частиц $d_{(i)}$ меньше номинального:

$$Re(i) = \frac{Ar(i)}{[18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar(i)}]}.$$

1.10. Скорость осаждения в центробежном поле частиц диаметром меньше номинального:

$$V(i) = \frac{Re(i) \cdot \mu}{\rho d_{(i)}}.$$

1.11. Из условия равенства времени пребывания частиц каждой фракции, равной их времени осаждения с траектории $R_b < R(i)$ (рис. 1):

$$\tau_i = \frac{R_n - R(i)}{V(i)},$$

приравнявая правую часть последнего уравнения и уравнение (1), получаем пропорцию:

$$\frac{R_n - R(i)}{R_n - R_b} = \frac{V(i)}{V_{oc}}. \quad (13)$$

1.12. При условии равномерного распределения частиц каждой фракции по объему очищаемой жидкости получаем, что левая часть последней пропорции численно равна локальной степени очистки для частиц i -й фракции $d(i) < d_o$.

Тогда локальная степень улавливания частиц диаметром $d_{(i)}$ будет определяться в виде:

$$\begin{cases} \chi(i) = \frac{V_i}{V_{oc}}; & d(i) \leq d_{oc}, \\ \chi(i) = 1; & d(i) \geq d_{oc}. \end{cases} \quad (14)$$

1.13. Относительная концентрация уловленных частиц может быть рассчитана по формуле:

$$C_k(i) = \chi(i) \cdot C(i),$$

а общая степень улавливания:

$$\chi_o = \sum_{i=1}^m C_k(i),$$

где m — число фракций.

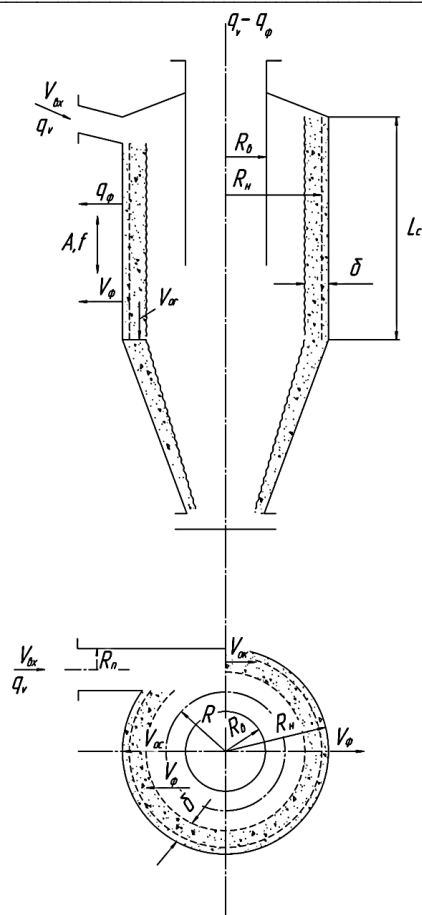


Рис. 1. Схема гидроциклона с фильтрующей боковой поверхностью стенки, геометрическими параметрами и скоростями и вибрацией, обеспечивающей регенерацию пор фильтровальной поверхности и виброожижение осадка толщиной δ : V_{or} — скорость стекания частиц виброожиженного осадка; V_ϕ — скорость фильтрования; V_{oc} — скорость центробежного осаждения

II. Проводим расчет гидроциклона с фильтрующей боковой поверхностью корпуса при вибрации, обеспечивающей регенерацию пор фильтровального материала и стекание виброожиженного осадка с фильтровальной поверхности.

2.1. Определяем скорость фильтрования:

$$V_\phi = \frac{\Delta p}{(R_n + r_{oc} \delta)}.$$

2.2. Определяем общую скорость осаждения частиц, складывающуюся из переносной скорости фильтрования с потоком жидкости и скорости центробежного осаждения по формуле (3):

$$V_o = V_{oc} \left(1 + \frac{V_\phi}{V_{oc}} \right)$$

и времени осаждения частиц номинального диаметра:

$$\tau_o = \frac{(R_n - R_b)}{V_o}.$$

2.3. Из условия равенства времени пребывания (11) и времени осаждения получаем уравнение для общей скорости осаждения частиц под действием центробежной силы и фильтрации:

$$V_{oc} \left(1 + \frac{V_{\phi}}{V_{oc}} \right) = \frac{\left(\frac{q_v}{3600} \right)}{\pi (R_n + R_b) L_c}.$$

Далее повторяются пункты (1.5—1.13).

Однако число Лященко для частиц номинального диаметра

$$La_o = \frac{V_{oc}^3 \rho^2}{[g \phi (\rho_k - \rho)]} < La_{oc}.$$

Соответственно уменьшается число Архимеда $Ar < Ar_{oc}$ и номинальный диаметр частиц $d_o < d_{oc}$, что приводит к росту локальной степени улавливания частиц каждой фракции и общей степени улавливания.

Т а б л и ц а 1

Исходные и справочные данные и сравнительные расчетные параметры типового гидроциклона (I) и гидроциклона с фильтрующей боковой поверхностью корпуса и виброожиженным слоем осадка (II)

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина	
				Тип гидроциклона	
				I	II
1	2	3	4	5	6
1	Производительность по суспензии	м ³ /ч	q_v	20	20
2	Плотность суспензии	кг/м ³	ρ	980	980
3	Плотность частиц	кг/м ³	$\rho_{\text{ч}}$	2000	2000
4	Динамическая вязкость сплошной фазы	Пас	μ	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
5	Радиус корпуса	м	R_n	0,0625	0,0625
6	Радиус сливного патрубка	м	R_b	0,025	0,025
7	Радиус питающего патрубка	м	$R_{\text{п}}$	0,02	0,02
8	Высота сепарационной зоны (гидроциклон ГНС-125 [1])	м	L_c	1,1	1,1
9	Сопротивление фильтровальной поверхности	1/м	R_{ϕ}	—	$2,5 \cdot 10^9$
10	Удельное сопротивление осадка, находящегося в псевдоожиженном состоянии	1/м ²	r_{oc}	—	$9 \cdot 10^{11}$
11	Толщина осадка, находящегося в виброожиженном состоянии	м	δ_{ϕ}	0	$4 \cdot 10^{-3}$

Окончание табл. 1

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина	
				Тип гидроциклона	
				I	II
1	2	3	4	5	6
12	Избыточное давление в корпусе (движущая сила процесса фильтрации)	ат	Δp	0,1	0,1
13	Распределение частиц по фракциям	мк	(см. табл. 2)		
14	Масса каждой фракции в пробе	г	(см. табл. 2)		
15	Критическое ускорение вибрации	м/с ²	Y_k	0	25
16	Критическая интенсивность вибрации	м ² /с ³	$Y_{к.и}$	0	2,5
17	Угловая скорость	об/с	ω	4	2

Расчетные параметры

1	Общая степень очистки	%	χ_o	0,863	0,912
2	Фактор разделения	—	Φ	8,06	8,06
3	Номинальный диаметр частиц, улавливаемых на 100 % (см. рис. 2)	мк	$d_{o(1,2)}$	66,7	62
4	Скорость потока в питающем патрубке	м/с	$V_{вх}$	4,42	4,42
5	Окружная скорость потока в корпусе	м/с	$V_{ок}$	2,22	2,22
6	Скорость осаждения частиц номинального диаметра	м/с	V_o	$1,83 \cdot 10^{-2}$	$1,68 \cdot 10^{-2}$
7	Время осаждения частиц номинального диаметра	с	τ_o	2,04	2,04
8	Поверхность фильтрации	м ²	F_ϕ	0	0,432
9	Скорость фильтрации	м/с	V_ϕ	0	$1,58 \cdot 10^{-3}$
10	Производительность по фильтрату	м ³ /ч	q_ϕ	0	2,45
11	Доля расхода фильтрата в общем расходе очищаемой жидкости	%	δ_ϕ	0	12,25
12	Отношение скорости фильтрации к скорости осаждения частиц номинального диаметра в типовом гидроциклоне	—	$V_{от}$	0	0,0858
13	Частота колебаний для создания псевдоожиженного слоя и регенерации пор фильтрованной поверхности	Гц	f	0	40
14	То же для амплитуды вибрации	мм	A	0	0,4

Результаты сравнительных расчетов обычного гидроциклона и гидроциклона с фильтрующей боковой поверхностью корпуса при вибрации последнего, обеспечивающей регенерацию пор фильтровальной поверхности и стекание виброожиженного осадка с фильтрующей поверхности под действием силы тяжести, приведены в табл. 2.

Исходные и справочные данные размеров гидроциклона НГАСУ типа ГНС-125 взяты из справочника [1], а физические свойства суспензии — из монографии [2].

Т а б л и ц а 2

Плотность распределения частиц по фракциям в исходной суспензии, локальные степени улавливания и доли уловленных частиц в типовом гидроциклоне (I) и гидроциклоне с фильтровальной боковой поверхностью корпуса и виброожиженным слоем уловленных частиц, стекающих по фильтровальной поверхности (II)

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	№ фракции											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Размер частиц по фракциям	мк	d_k	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Масса каждой фракции при ситовом анализе	—	C_1	16	35	76	183	242	256	216	180	140	95	58	32
Плотность распределения частиц в исходной суспензии	—	$C \cdot 10^2$	1,04	2,28	4,97	12	15,8	16,7	14,1	11,8	9,2	6,2	3,8	2,1
Локальная степень улавливания частиц в типовом гидроциклоне, I	—	χ	0,1	0,22	0,38	0,58	0,82	1	1	1	1	1	1	1
Для уловленных частиц в типовом гидроциклоне, I	—	$C_y \cdot 10^2$	0,104	0,505	1,91	6,98	12,9	16,7	14,1	11,8	9,15	6,2	3,8	2,0
Локальная степень улавливания частиц гидроциклона, II	—	χ	0,194	0,325	0,5	0,716	0,968	1	1	1	1	1	1	1
Доля уловленных частиц в гидроциклоне, II	—	C_y	0,203	0,714	2,45	8,57	15,13	16,7	14,1	11,8	9,15	6,2	3,8	2

Для наглядности преимущества виброгидроциклонирования II по сравнению с типовым гидроциклонированием I на рис. 2 приведены графики локальной степени улавливания частиц в каждом процессе разделения.

Как видно из данных табл. 2 и графиков рис. 2, фильтрование с виброожижением осадка и стеканием его с фильтровальной перегородки уменьшает диаметр номинальных частиц (улавливаемых на 100 %) с 66,7 до 62 мк, что повышает локальную степень улавливания частиц таких фракций (№ 1—5) и общую степень улавливания с 86,3 % до 91,2 %, т. е. почти на 5 %, при этом доля фильтрата, по сравнению с общим расходом очищаемой суспензии, не превышает 12,25 %. Еще одно достоинство виброожижения связано с тем, что даже в отсутствии фильтрования, т. е. в обычном гидроциклоне с непроницаемой боковой поверхностью корпуса слой уловленных частиц непрерывно сбрасывается с поверхности корпуса вниз. Это особенно важно при гидроциклонировании с образованием слоя частиц, склонных к слипанию и адгезии к материалу корпуса.

Для оценки влияния числа гидроциклонов в батарее на локальные и общую степени очистки суспензии были проведены расчеты по вышеописан-

санному логарифму для обоих рассматриваемых классов аппаратов: типовому и с боковой виброфильтрующей поверхностью корпуса. Расчеты проводились для суспензии кокса в воде при плотности частиц $\rho_k = 1300 \text{ кг/м}^3$ [4]. Форма кривой виброфильтрующих гидроциклонов и типовых одинакова, т. е. с ростом числа аппаратов в батарее растет общая степень очистки, причем в виброфильтрующих аппаратах она на 5...10 % выше, чем в батарее типовых гидроциклонов. Эта разница снижается по мере роста числа аппаратов в батарее.

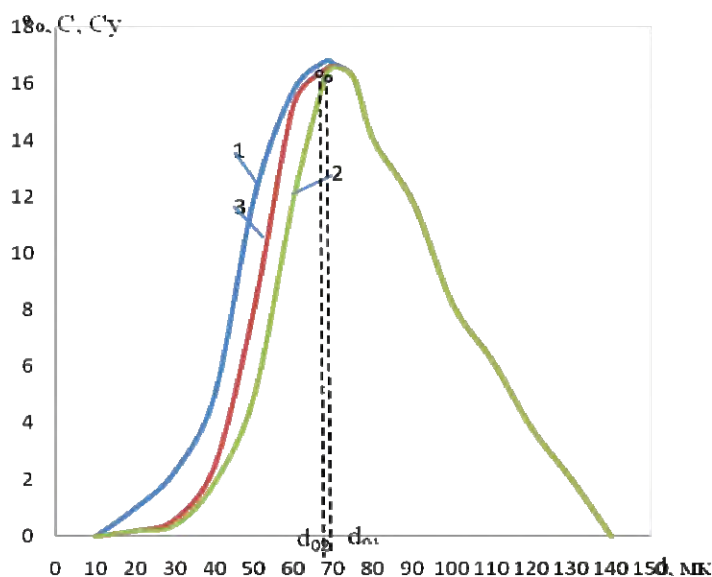


Рис. 2. Плотность распределения частиц по фракциям: в исходной суспензии (1); в типовом гидроциклоне (2); в виброгидроциклоне с виброожиженным слоем осадка, стекающим с боковой фильтрующей поверхности гидроциклона (3).

Таким образом, совмещение процесса гидроциклонирования с виброфильтрованием на фильтрующей боковой поверхности корпуса при параметрах вибрации, сочетающих регенерацию пор фильтровальной поверхности и виброожижение, осадка позволяет увеличить локальную степень очистки от частиц тонких фракций, что приводит к возрастаю общей степени очистки на 5...10 %, а представленный алгоритм расчета такого комбинированного процесса разделения суспензий в виброфильтрующем гидроциклоне, являющимся аналогом фильтрующей центрифуги с вибрационной выгрузкой осадка [1], позволяет прогнозировать локальные степени улавливания частиц тонких фракций и увеличение общей степени улавливания частиц дисперсной фазы как в одиночном аппарате, так и в батарее фильтрующих гидроциклонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимонин А. С. Инженерно-физический справочник. Т. 2. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003.
2. Терновский И. Г., Кутепов А. М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994. 350 с.

3. Голованчиков А. Б., Первакова Г. И., Бацокин И. С. Вероятность улавливания частиц в напорном гидроциклоне // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических специальностях. 2011. Т. 10. № 3(76). С. 5—9.
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. 576 с.
5. Голованчиков А. Б., Дулькин А. Б., Тябин Н. В. Исследование работы виброфильтра с гидродинамическим приводом // Реология, процессы и аппараты химической технологии: сб. науч. трудов. Волгоград, 1996. С. 65—70.
6. Голованчиков А. Б., Филипов М. И., Новиков А. Е. Моделирование процессов очистки нефтяных шламов в гидроциклоне одновременно от «тяжелых» и «легких» частиц дисперсной среды // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических специальностях. 2016. № 11(190). С. 8—13.
7. Оценка вероятности улавливания частиц в гидроциклоне, батарее и каскаде гидроциклонов с учетом экспериментальных исследований / А. Б. Голованчиков, А. В. Ильин, Л. А. Ильина, Г. И. Первакова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических специальностях. 2014. Вып. 1(128). С. 27—31.
8. Голованчиков А. Б., Первакова Г. И., Бацокин И. С. Влияние производительности на эффективность работы гидроциклона // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2011. Вып. 4(1). С. 65—69.
9. Голованчиков А. Б., Первакова Г. И., Бацокин И. С. Очистка высоковязких жидкостей в каскаде гидроциклонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Архитектура и строительство. 2011. Вып. 21(40). С. 135—140.
10. Madhumita B. R. Improving the Removal Efficiency of Industrial-scale Cyclones for Particles Smaller than fiveMicrometre // Int. J. Miner. Process. 1998. Vol. 53. Pp. 39—47.
11. Dai G., Li J. M., Chen W. M. Numerical Prediction of the Liquid Flow within a Hydrocyclone // Chem. Eng. J. 1999. Vol. 74. Pp. 217—223.
12. Frachon M., Chlliers J. J. A General Model for Hydrocyclone Partition Curves // Chem. Eng. J. 1999. Vol. 73. Pp. 53—59.
13. Dirgo J., Leith D. Cyclone Collection Efficiency: Comparison of Experimental Results with Theoretical Predictions // Aerosol Sci. Technol. 1985. Vol. 4. Pp. 401—410.
14. Mothes R., Loffer F. Prediction of Particle Removal in Cyclone Separators // Int. Chem. Eng. 1997. Vol. 28. Pp. 231—240.
15. Griffiths W. D., Boysan F. Computational Fluid Dynamics and Empirical Modelling of the Performance of a Number of Cyclone Samplers // J. Aerosol Sci. 1996. Vol. 27. Pp. 281—304.
16. Berlemont A., Grancher M. S., Gouesbet G. Heat and Mass Transfer Coupling between Vaporizing Droplets and Turbulence using a Lagrangian Approach // Int. J. Heat Mass Transfer. 1995. Vol. 38. Pp. 3023—3034.
17. Jinhwan Lee. Practical applications of low-pressure hydrocyclone (LPH) for feed waste and fecal solid removal in a recirculating aquaculture system // Aquacultural Engineering. 2015. Vol. 69. Pp. 37—42.

© Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Голованчиков А. Б., Прохоренко Н. А. Моделирование процесса гидроциклонирования на вибро-фильтрующей поверхности корпуса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 82—93.

Об авторах:

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, pahp@vstu.ru

Прохоренко Наталья Андреевна — ассистент кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, natasha292009@yandex.ru

A. B. Golovanchikov, N. A. Prokhorenko

MODELING OF THE PROCESS OF HYDROCYCLONING ON VIBRO-FILTERING HOUSING SURFACE

The authors consider the option of combining hydroclone process with the process of centrifugal filtration on the filtering housing surface, when centrifugal pressure from the rotation of a cleaned fluid flow is added to external pressure. For continuous dumping of sludge from the filtering surface it is proposed to introduce the process of separation under vibration, which provides continuous discharge of sediment and regeneration of the pores of the filtering surface. The comparison of the efficiency of flushing with usual processes of hydrocycloning and vibro-filtering is carried out.

Key words: hydrocycloning, vibro-filtering, centrifugal pressure, vibration amplitude and frequency, local and general extent of particle collection.

REFERENCES

1. Timonin A. S. *Inzhenerno-fizicheskiy spravochnik. T. 2* [Engineering and physics reference book. Vol. 2]. Kaluga, N. Bochkareva's Publishing House, 2003.
2. Terpovskii I. G., Kutepov A. M. *Gidrotsiklonirovanie* [Hydrocycloning]. Moscow, Nauka Publ., 1994. 350 p.
3. Golovanchikov A. B., Pervakova G. I., Batsokin I. S. [Probability of catching particles in the pressure head hydrocyclone]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noi tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh spetsial'nostyakh* [News of Volgograd State Technical University. Series: Current problems of management, computer engineering and information technology in technical specialties], 2011, vol. 10, no. 3(76), pp. 5—9.
4. Pavlov K. F., Romankov P. G., Noskov A. A. *Primery i zadachi po kursu protsessov i apparatov khimicheskoi tekhnologii* [Exercises and problems in processes and devices of chemical technology course]. Leningrad, Khimiya Publ., 1987. 576 p.
5. Golovanchikov A. B., Dul'kin A. B., Tyabin N. V. [Study of performance of vibro-filter with hydrodynamic gear]. *Reologiya, protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov* [Rheology, processes and devices of chemical technology: collection of scientific works]. Volgograd, 1996. Pp. 65—70.
6. Golovanchikov A. B., Filipov M. I., Novikov A. E. [Modeling of processes of simultaneous purification of oil sludge in a hydraulic cyclone from "heavy" and "light" particles of disperse medium]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noi tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh spetsial'nostyakh* [News of Volgograd State Technical University. Series: Current problems of management, computer engineering and information technology in technical specialties], 2016, no. 11(190), pp. 8—13.
7. Golovanchikov A. B., Ilin A. V., Ilina L. A., Pervakova G. I. [Assessment of the probability of trapping particles in hydro cyclone, a battery and a cascade of hydro cyclones based on the pilot studies]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noi tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh spetsial'nostyakh* [News of Volgograd State Technical University. Series: Current problems of management, computer engineering and information technology in technical specialties], 2014, no. 1(128), pp. 27—31.
8. Golovanchikov A. B., Pervakova G. I., Batsokin I. S. [The possibility of locating particles in the hydrocyclone]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Reologiya, protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii* [News of Volgograd State Technical University. Series: Rheology, processes and devices of chemical technology], 2011, no. 4(1), pp. 65—69.
9. Golovanchikov A. B., Pervakova G. I., Batsokin I. S. [Clearing of high-viscosity liquids in the cascade of hydrocyclones]. *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], no. 21(40), pp. 135—140.

10. Madhumita B. R. Improving the Removal Efficiency of Industrial-scale Cyclones for Particles Smaller than five Micrometre. *Int. J. Miner. Process.*, 1998. vol. 53, pp. 39—47.
11. Dai G., Li J. M., Chen W. M. Numerical Prediction of the Liquid Flow within a Hydrocyclone. *Chem. Eng. J.*, 1999, vol. 74, pp. 217—223.
12. Frachon M., Chlliers J. J. A General Model for Hydrocyclone Partition Curves. *Chem. Eng. J.*, 1999, vol. 73, pp. 53—59.
13. Dirgo J., Leith D. Cyclone Collection Efficiency: Comparison of Experimental Results with Theoretical Predictions. *Aerosol Sci. Technol.*, 1985, vol. 4, pp. 401—410.
14. Mothes R., Loffer F. Prediction of Particle Removal in Cyclone Separators. *Int. Chem. Eng.*, 1997, vol. 28, pp. 231—240.
15. Griffiths W. D., Boysan F. Computational Fluid Dynamics and Empirical Modelling of the Performance of a Number of Cyclone Samplers. *J. Aerosol Sci.*, 1996, vol. 27, pp. 281—304.
16. Berlemont A., Grancher M. S., Gouesbet G. Heat and Mass Transfer Coupling between Vaporizing Droplets and Turbulence using a Lagrangian Approach. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1995, vol. 38, pp. 3023—3034.
17. Jinhwan Lee. Practical applications of low-pressure hydrocyclone (LPH) for feed waste and fecal solid removal in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 2015, vol. 69, pp. 37—42.

For citation:

Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A. [Modeling of the process of hydrocycloning on vibro-filtering housing surface]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 82—93.

About authors:

Golovanchikov Aleksandr Borisovich — Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation, pahp@vstu.ru

Prokhorenko Natal'ya Andreevna — Assistant of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation, natasha292009@yandex.ru

УДК 624.04:519.6

А. В. Игнатьев, В. А. Игнатьев, М. И. Бочков

Волгоградский государственный технический университет

РАСЧЕТ МНОГОПРОЛЕТНЫХ БАЛОК С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ ПО МКЭ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА

Излагается алгоритм расчета многопролетных балок с односторонними связями по МКЭ в форме классического смешанного метода. Эффективность алгоритма иллюстрируется численными примерами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: многопролетные балки с односторонними связями, МКЭ в форме классического смешанного метода.

Задачи расчета конструкций с односторонними связями не являются редкими в практическом проектировании [1, 2, 3].

В подавляющем большинстве работ, связанных с исследованием систем с односторонними упругими или неупругими, как конструктивно или физически нелинейных систем используются итерационные методы, включенные в общий алгоритм [4—11]. Это связано с тем, что в этих системах площадь зоны «отлипания» или количество точек контакта с односторонними связями зависят от величины нагрузок, последовательности их приложения и т. д. [12—16].

Поэтому в расчетах с использованием итерационных процедур и процедур пошагового нагружения необходимо отслеживать на каждом шаге процесс закрытия зазоров между сооружением и односторонними связями, изменение знаков реакций в этих связях и «отлипание» сооружения от связей [5, 6, 17, 18]. Итерационный подход к расчету систем с односторонними связями был применен в работах В. А. Игнатьева [9] и Е. М. Тихонова [19]. В них даны алгоритмы поиска рабочих расчетных схем для балок и систем перекрестных балок с односторонними связями. Предложенная в работе [19] модификация алгоритма из [6] позволяет избежать случаев закливания итерационного процесса.

Все работы, связанные с исследованием систем с односторонними связями, можно объединить условно по используемым подходам и методам в четыре группы:

- 1) прямые итерационные методы [4, 6, 19—24 и др.];
- 2) методы линейного программирования [15, 16, 25—28 и др.];
- 3) методы нелинейного программирования [4, 7, 12, 16, 17, 29—33 и др.];
- 4) вариационные и разностно-вариационные методы [6, 10, 11 и др.].

Наиболее полный обзор работ, посвященных расчету систем с односторонними связями, содержится в монографии В. П. Аленина [4].

Для реализации отслеживания изменения расчетной схемы после каждого шага итерации или нагружения наиболее удобным методом представляется МКЭ в форме классического смешанного метода [8, 13, 34].

Система решающих уравнений этой формы МКЭ предоставляет широкие возможности для анализа поведения системы, как при изменениях различных

параметров, так и при изменениях видов воздействия на систему. Так, например, может рассматриваться задача о нахождении нагрузки, которой соответствует заданный уровень узловых перемещений или узловых усилий и т. д.

В данной работе излагается алгоритм расчета многопролетных балок с односторонними связями на основе МКЭ в форме классического смешанного метода.

Для рассматриваемой многопролетной балки (рис. 1, а) основная система смешанного метода показана на рис. 1, б. На рис. 1, в показан отдельно i -й конечный элемент. Аналитические выражения для коэффициентов матрицы откликов приведены в [8, 34].

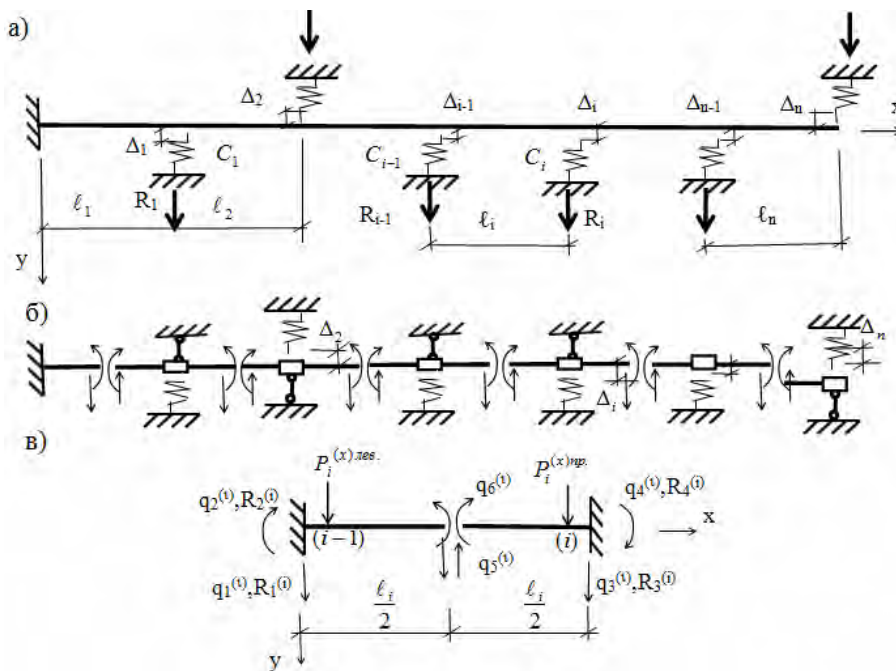


Рис. 1

Для линейно деформируемых систем разрешающие уравнения МКЭ в форме классического смешанного метода имеют следующий вид:

$$[A] \{q\} + \{P\} = 0, \quad (1)$$

где $[A] = \begin{bmatrix} r & \tilde{r} \\ \tilde{\delta} & \delta \end{bmatrix}$ — матрица откликов для всей балки;

$\{P\} = \begin{Bmatrix} r_p \\ \delta_p \end{Bmatrix}$ — вектор грузовых воздействий; (2)

$\{q\} = \begin{Bmatrix} q \\ \tilde{q} \end{Bmatrix}$ — вектор неизвестных.

Здесь $[\tilde{r}]$ — матрица реакций во введенных связях от их единичных смещений ($q_i = 1$); $[\tilde{r}]$ — матрица реакций во введенных связях от силовых

неизвестных, заменяющих устраненные связи в основной системе; $[\tilde{\delta}] = -[\tilde{r}]$ — матрица перемещений по направлениям введенных связей от единичных перемещений введенных связей; $[\delta]$ — матрица перемещений по направлениям устраненных связей от единичных значений заменяющих их силовых неизвестных в этих связях; r_p — подвектор реакций во введенных связях от заданной нагрузки; δ_p — подвектор перемещений по направлениям устраненных связей от воздействия заданной нагрузки.

Система разрешающих уравнений (1) для рассматриваемой балки формально может быть представлена в виде двух групп уравнений: уравнений равновесия и уравнений совместности деформаций.

Уравнения равновесия представляют собой равенство нулю реакций во введенных в основную систему дополнительных связях. Уравнения совместности деформаций представляют собой равенство нулю взаимных смещений сечений КЭ в местах разреза (устранения связей в середине КЭ, см. рис. 1, в):

$$1. \left. \begin{aligned} R_3^{(i)} + R_1^{(i+1)} &= 0 \\ R_4^{(i)} + R_2^{(i+1)} &= 0 \\ R_6^{(i)} + R_3^{(i+1)} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ — уравнения равновесия,} \quad (3)$$

$$2. \left. \begin{aligned} \Delta_{5i} &= 0 \\ \Delta_{6i} &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ — уравнения совместности деформаций.} \quad (4)$$

Конструктивно-нелинейными элементами в рассматриваемых задачах являются односторонние опоры, закрывающиеся после исчерпания зазора. Односторонние связи не работают, если

$$y_i \leq \Delta_i, R_i = 0. \quad (5)$$

Односторонние связи включаются в работу, если

$$y_i > \Delta_i, R_i > 0. \quad (6)$$

Здесь y_i — перемещение по рабочему направлению i -й односторонней связи; Δ_i — величина зазора; R_i — реакция в i -й односторонней опоре при ее включении в работу.

В развернутой форме уравнения (3), (4) для рассматриваемой балки (см. рис. 1, а) приведены ниже:

$$\begin{aligned} 1. R_i &= R_3^{(i)} + R_1^{(i+1)} = -C_i \cdot \left(q_3^{(i)} + \tilde{q}_5^{(i)} - q_5^{(i+1)} - \left(P_i^{(n)} + P_{i+1}^{(n)} \right) \right) = 0; \\ 2. \mathcal{M}_i &= R_4^{(i)} + R_2^{(i+1)} = -\tilde{q}_5^{(i)} \times \frac{\ell_1}{2} - \tilde{q}_5^{(i+1)} \times \frac{\ell_{i+1}}{2} - \tilde{q}_6^{(i)} + \tilde{q}_6^{(i+1)} + M_p^{(i)} - M_p^{(i+1)} = 0; \\ 3. \delta_{5,i} &= \tilde{q}_5^{(i)} \times \frac{\ell_i^3}{i \cdot 2 \cdot EJ_i} + q_4^{(i)} + q_3^{(i)} + q_2^{(i)} + q_4^{(i)} \times \frac{\ell_i}{2} + \delta_{5,p}^{(i)} = 0; \\ 4. \delta_{6,i} &= \tilde{q}_6^{(i)} \times \frac{\ell_i}{EJ_i} - q_2^{(i)} + q_4^{(i)} + \delta_{6,p}^{(i)} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

В этих уравнениях:

$P_{(i)}^{(n)}, P_{(i+1)}^{(n)}$ — приведенная к узлу i нагрузка в левой и правой половинах примыкающих к нему КЭ; C_i — жесткость i -й упругой односторонней

опоры; Δ_i — зазор между балкой и i -й упругой опорой; $q_3^{(i)} = q_1^{(i+1)}$, $q_4^{(i)} = q_2^{(i+1)}$ — относящиеся к одному и тому же узлу i неизвестные.

Решение задачи о нахождении геометрической конфигурации балки с заданными упругими односторонними связями и заданной нагрузкой может выполняться в двух вариантах.

Алгоритм расчета по первому варианту.

1. На первой итерации выполняется расчет балки со снятыми односторонними связями, т. е. при $C_i = 0$. Из решения системы уравнений (3) для всех узлов i находятся величины перемещений Δ_i т. е. $q_3^{(i)}$ по рабочим направлениям снятых односторонних связей (i — номера односторонних опорных связей).

2. Найденные величины $\tilde{\Delta}_i$ сравниваются с величинами имеющихся зазоров Δ_i .

Если $\tilde{\Delta}_i \geq \Delta_i$, то в этом надопорном сечении связь становится двусторонней ($C_i > 0$) и вносится в новую расчетную схему.

3. Выполняется расчет балки с новой расчетной схемой и снова находится величина $\tilde{\Delta}_i$, но уже по направлениям оставшихся снятых односторонних связей и введенных на предыдущей итерации двусторонних. В поставленных на предыдущей итерации двусторонних связях находятся величины реакций

$$R_i = C_i \times (q_3^{(i)} - \Delta_i) .$$

а) если $R_i > 0$, то связь в этом узле i остается двусторонней;

б) если $R_i = 0$, то эта связь снова становится односторонней. Новая расчетная схема формируется в результате анализа условий (5), (6).

4. Итерационные циклы повторяются до совпадения расчетных схем на k -й и $(k + 1)$ -й итерациях.

При использовании процедуры пошагового догружения количество итераций для поиска конфигурации системы после каждого шага догружения значительно уменьшается и может быть отслежен весь процесс изменения конфигурации балки при изменении нагрузки от нуля до конечного значения.

Алгоритм расчета по второму варианту.

На первой итерации первого варианта может оказаться более эффективной расчетная схема, при которой все односторонние связи принимаются за двусторонние.

В этом случае алгоритм расчета будет иметь следующую последовательность:

1. После выполнения расчета при расчетной схеме со всеми двусторонними связями выполняется оценка величин и направлений реакций в односторонних связях, преобразованных в двусторонние:

а) $R_j > 0$ — по рабочему направлению j -й односторонней связи;

б) $R_j = 0$ — по рабочему направлению j -й односторонней связи;

в) $\tilde{\Delta}_j > \Delta_j$ — перемещение по рабочему направлению j -й односторонней связи больше заданного;

г) $\tilde{\Delta}_j < \Delta_j$ — перемещение по рабочему направлению j -й односторонней связи меньше заданного.

2. Если выполняются оценки а и в или б и в, то связь с номером j остается двусторонней, если же эти условия не выполняются, и при этом имеет место оценка г, то связь становится односторонней в расчетной схеме следующего итерационного цикла.

3. На втором итерационном цикле выполняется расчет балки с расчетной схемой, полученной после первого цикла, и снова делается оценка величин и направлений реакций во всех опорных связях с номером j .

4. По оценкам а, б, в, г снова принимается соответствующее решение по конструкции расчетной схемы следующего итерационного цикла. Если для опоры, которая после предыдущего цикла стала односторонней, выполняется оценка г, то она остается односторонней. Если не выполняется, то снова становится двухсторонней.

5. С новой расчетной схемой, сформированной после второго итерационного цикла, выполняется расчет и формирование новой расчетной схемы в той же последовательности, что и на втором итерационном цикле.

6. Итерационные циклы продолжают до совпадения расчетных схем на k -й и $(k+1)$ -й итерациях.

Для тестирования алгоритма выполнен расчет консольного стержня на упругих опорах (рис. 2, а), для которого известно как аналитическое решение [15], так и численное решение с использованием ПК (ЛИРА-САПР) [15, 20].

Основная система смешанного метода для него показана на рис. 2. Жесткость односторонних связей $EF / \ell = 10^8 \text{ т/м}$.

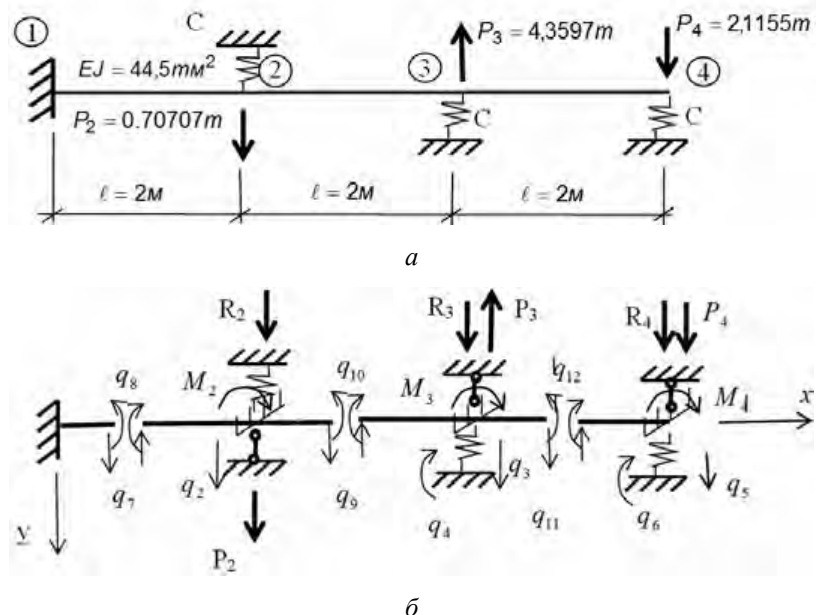


Рис. 2. Заданная система (а); основная система (б)

При принятых направлениях осей координат и обозначениях неизвестных система разрешающих уравнений имеет следующий вид.

Уравнения равновесия:

$$1) R_2 = -P_2 + q_7 - q_9 - C \cdot q_1 = 0;$$

$$2) M_2 = -q_7 \cdot \frac{\ell}{2} - q_8 - q_9 \cdot \frac{\ell}{2} + q_{10} = 0;$$

$$3) R_3 = q_9 + P_3 - C \cdot q_3 - q_{11} = 0;$$

$$4) M_3 = -q_9 \cdot \frac{\ell}{2} - q_{10} - q_{11} \cdot \frac{\ell}{2} + q_{12} = 0;$$

$$5) R_4 = -P_4 - C \cdot q_5 + q_{11} = 0;$$

$$6) M_4 = -q_{11} \cdot \frac{\ell}{2} - q_{12} = 0;$$

Уравнения совместности деформаций:

$$7) \Delta_7 = q_7 \cdot \frac{\ell^3}{12EJ} + q_8 \cdot 0 - q_1 + q_2 \cdot \frac{\ell}{2} = 0; \quad (8)$$

$$8) \Delta_8 = q_7 \cdot 0 + q_8 \cdot \frac{\ell}{EJ} + q_2 = 0;$$

$$9) \Delta_9 = q_9 \cdot \frac{\ell^3}{12EJ} + q_{10} \cdot 0 + q_2 \cdot \frac{\ell}{2} + q_4 \cdot \frac{\ell}{2} + q_{10} - q_3 = 0;$$

$$10) \Delta_{10} = q_9 \cdot 0 + q_{10} \cdot \frac{\ell}{EJ} - q_2 + q_4 = 0;$$

$$11) \Delta_{11} = q_3 + q_4 \cdot \frac{\ell}{2} + q_6 \cdot \frac{\ell}{2} - q_5 + q_{11} \cdot \frac{\ell^3}{12EJ} + q_3 \cdot 0 = 0;$$

$$12) \Delta_{12} = q_{11} \cdot 0 + q_{12} \cdot \frac{\ell}{EJ} - q_4 + q_6 = 0.$$

1. На первой итерации примем расчетную схему, в которой односторонние связи приняты за двусторонние. При этом в уравнениях (7), (8) принимаем $q_1 = q_3 = q_5 = 0$. Найдем величины перемещений в системе уравнений (7), (8) по направлениям опорных связей и реакций. Результаты расчета приведены на рис. 3.

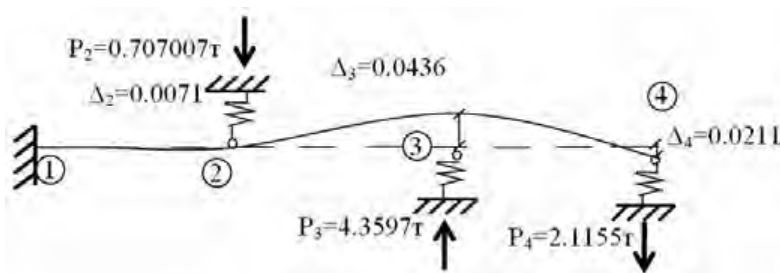


Рис. 3

В результате получаем: $\Delta_2 = 0,071 \cdot 10^{-5} \text{ м}$; $\Delta_3 = 0,0436 \cdot 10^{-5} \text{ м}$;
 $\Delta_4 = 0,0211 \cdot 10^{-5} \text{ м}$; $R_2 = 0,70707 \text{ т}$; $R_3 = -4,3597 \text{ т}$; $R_4 = 2,1155 \text{ т}$.

(Здесь знак * означает минимальное перемещение в рабочем направлении связи).

2. Из опоры 2, в которой находится минимальное перемещение, убирается двусторонняя опора. При этом в уравнениях (7), (8) принимаем $q_1 = q_5 = 0$. В результате получаем: $\Delta_2 = 3,8 \cdot 10^{-8}$ м; $\Delta_3 = 0,077$ м; $\Delta_4 = 5,3 \cdot 10^{-9}$ м; $R_2 = 0,70707$ т; $R_3 = 0$ т; $R_4 = 2,1155$ т. Эти результаты расчета приведены на рис. 4.

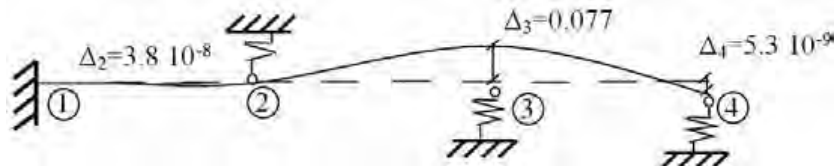


Рис. 4

Рассмотрим второй алгоритм расчета системы.

1. Произведем расчет системы со снятыми односторонними опорами. При этом в уравнениях (7), (8) принимаем $F_1 = F_3 = F_5 = 0$. В результате получаем: $\Delta_2 = 0,1037$ м; $\Delta_3 = 0,2093$ м; $\Delta_4 = 0,065$ м; $R_2 = 0$ т; $R_3 = 0$ т; $R_4 = 0$ т. Эти результаты расчета приведены на рис. 5.

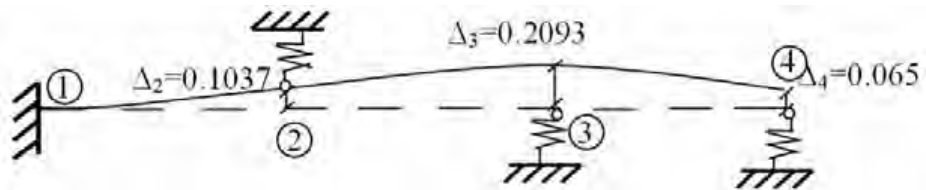


Рис. 5

2. В опору 1, в которой находится максимальное перемещение, устанавливается двусторонняя опора.

3. Производится расчет балки с новой расчетной схемой, и снова находятся величины перемещений. При этом в уравнениях (7), (8) принимаем $F_3 = F_5 = 0$. Одновременно находится усилие R_1 в опорах, в которые она была ранее добавлена. В результате получаем: $\Delta_2 = 0$ м; $\Delta_3 = 0,049$ м; $\Delta_4 = 0,35$ м; $R_2 = 1,344$ т; $R_3 = 0$ т; $R_4 = 0$ т. Результаты расчета приведены на рис. 6.

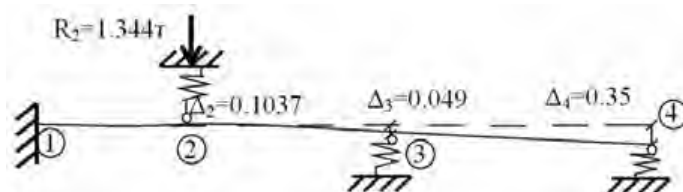


Рис. 6

4. В опору 3, в которой находится максимальное перемещение, устанавливается двусторонняя опора. При этом в уравнениях (7), (8) принимаем $q_1 = q_5 = 0$. В результате получаем: $\Delta_2 = 3,8 \cdot 10^{-8}$ м; $\Delta_3 = 0,077$ м; $\Delta_4 = 5,3 \cdot 10^{-9}$ м; $R_2 = 0,70707$ т; $R_3 = 0$ т; $R_4 = 2,1155$ т. Результаты расчета приведены на рис. 7.

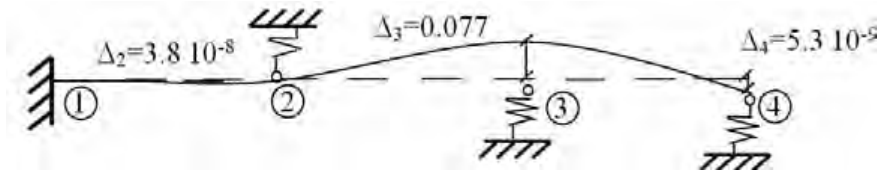


Рис. 7

Таким образом, результат решения задачи первым и вторым способом одинаков.

Рассмотрим аналогичную задачу, однако с опорами, имеющими зазоры по отношению к конструкции. Рассчитывается трехпролетная балка с жесткой заделкой левого конца и тремя жесткими односторонними опорами, работающими на сжатие. Балка загружена сосредоточенной поперечной силой, расположенной в первом пролете (рис. 8). $P = 50$ кН; $\Delta_{\max} = 0,0002$ м.

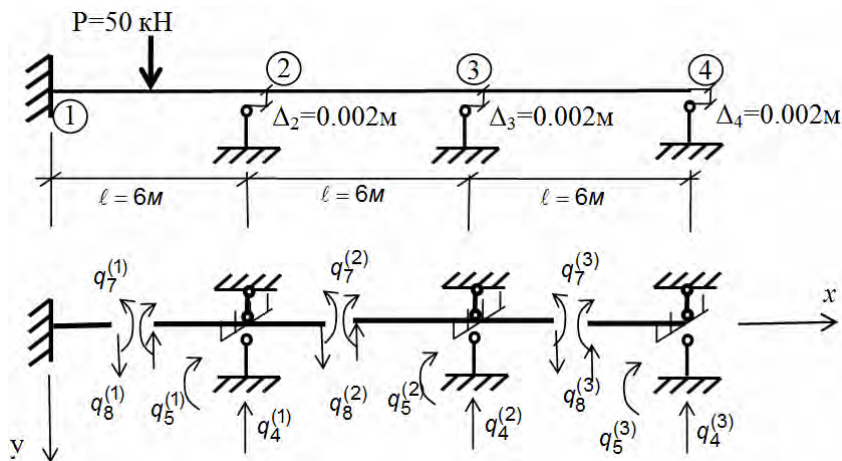


Рис. 8

При принятых направлениях осей координат и обозначениях неизвестных система разрешающих уравнений (уравнении равновесия узлов и совместности деформаций) имеет следующий вид:

- 1) $R_2 = -q_7^{(1)} - q_7^{(2)} + P + F_1 = 0$;
- 2) $M_2 = \frac{l}{2} q_7^{(1)} - q_8^{(1)} + \frac{l}{2} q_7^{(2)} + q_8^{(2)} + \frac{l}{2} P = 0$;
- 3) $R_3 = q_7^{(2)} - q_7^{(3)} + F_2 = 0$;
- 4) $M_3 = \frac{l}{2} q_7^{(2)} - q_8^{(2)} + \frac{l}{2} q_7^{(3)} + q_8^{(3)} = 0$;

$$5) R_4 = q_7^{(3)} + F_3 = 0;$$

$$6) M_4 = \frac{l}{2} q_7^{(3)} - q_8^{(3)} = 0;$$

$$7) \Delta_7 = -q_4^{(1)} - \frac{l}{2} q_5^{(1)} + \frac{l^3}{12EI} q_7^{(1)} + P \frac{l^3}{24EI} = 0;$$

$$8) \Delta_8 = q_5^{(1)} + \frac{l}{EI} q_8^{(1)} + P \frac{l^2}{8EI} = 0;$$

$$9) \Delta_9 = q_4^{(1)} - \frac{l}{2} q_5^{(1)} - q_4^{(2)} - \frac{l}{2} q_5^{(2)} + \frac{l^3}{12EI} q_7^{(2)} = 0;$$

$$10) \Delta_{10} = -q_5^{(1)} + q_5^{(2)} + \frac{l}{EI} q_8^{(2)} = 0;$$

$$11) \Delta_{11} = q_4^{(2)} - \frac{l}{2} q_5^{(2)} - q_4^{(3)} - \frac{l}{2} q_5^{(3)} + \frac{l^3}{12EI} q_7^{(3)} = 0;$$

$$12) \Delta_{12} = -q_5^{(2)} + q_5^{(3)} + \frac{l}{EI} q_8^{(3)} = 0.$$

Алгоритм расчета.

1. Установим в точках предполагаемого касания балки с односторонними опорами двусторонние опоры и, как внешнюю нагрузку, добавим перемещение, равное величине зазора односторонних опор. В системе уравнений (9) примем $q_4^{(1)} = q_4^{(2)} = q_4^{(3)} = 0,002$ м. Решив задачу по смешанной форме МКЭ, найдем величины реакций R_i в добавленных опорах. В результате получаем: $\Delta_2 = 0,002$ м; $\Delta_3 = 0,002$ м; $\Delta_4 = 0,002$ м; $R_2 = 11,0615$ кН; $R_3 = 9,222$ кН; $R_4 = 1,537$ кН. Результаты расчета приведены на рис. 9.

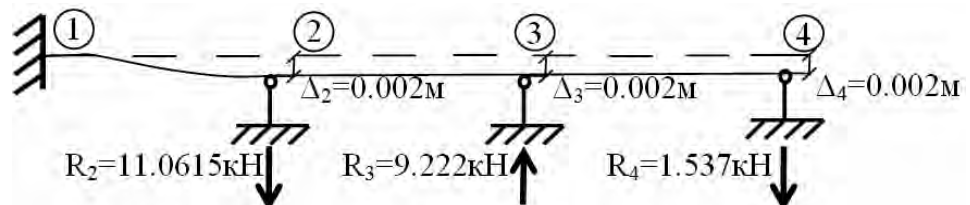


Рис. 9

2. Двусторонняя опора 1, в которой $R_{i \min}$, убирается. Для этого в системе уравнений (9) примем $q_4^{(2)} = q_4^{(3)} = 0,002$ м $F_1 = 0$.

3. Производится расчет балки с новой расчетной схемой, и снова находятся величины Δ_i . Одновременно находится усилие R_i в опорах, в которые она была ранее добавлена. В результате получаем: $\Delta_2 = 0,0004$ м; $\Delta_3 = 0,002$ м; $\Delta_4 = 0,002$ м; $F_2 = 0$ кН; $R_3 = 2,859$ кН; $R_4 = 0,123$ кН. Результаты расчета приведены на рис. 10.

Второй вариант алгоритма расчета.

1. Произведем расчет системы со снятыми односторонними опорами. Для этого примем в системе уравнений $F_1 = F_2 = F_3 = 0$. В результате получа-

ем: $\Delta_2 = 0,003 \text{ м}$; $\Delta_3 = 0,007 \text{ м}$; $\Delta_4 = 0,0011^* \text{ м}$; $R_2 = 0 \text{ кН}$; $R_3 = 0 \text{ кН}$; $R_4 = 0 \text{ кН}$. Результаты расчета приведены на рис. 11.

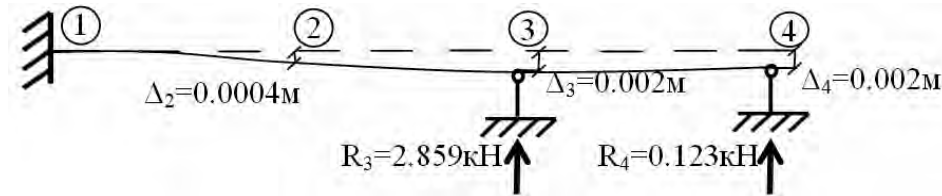


Рис. 10

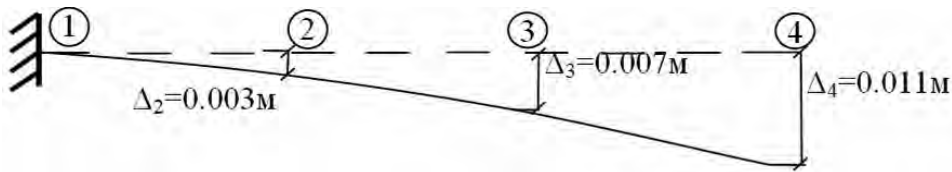


Рис. 11

2. В опору 3, в которой находится максимальное перемещение, устанавливается двусторонняя опора. Для этого примем в системе уравнений $F_1 = F_2 = 0$ $q_4^{(3)} = 0,002 \text{ м}$.

3. Производится расчет балки с новой расчетной схемой, и снова находятся величины Δ_i . Одновременно находится усилие R_4 в опорах, в которые она была ранее добавлена. В результате получаем: $\Delta_2 = 0,0018 \text{ м}$; $\Delta_3 = 0,0024 \text{ м}$; $\Delta_4 = 0,002 \text{ м}$; $R_2 = 0 \text{ кН}$; $R_3 = 0 \text{ кН}$; $R_4 = 1,605 \text{ кН}$. Результаты расчета приведены на рис. 12.

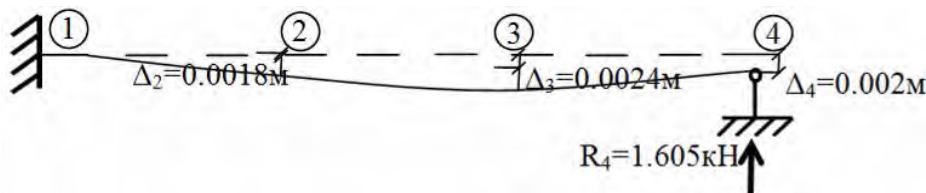


Рис. 12

2. В опору 2, в которой находится максимальное перемещение, устанавливается двусторонняя опора. Для этого в системе уравнений (9) примем $q_4^{(2)} = q_4^{(3)} = 0,002 \text{ м}$ $F_1 = 0$.

3. Производится расчет балки с новой расчетной схемой, и снова находятся величины Δ_i . Одновременно находится усилие R в опорах, в которые она была ранее добавлена. В результате получаем: $\Delta_2 = 0,0004 \text{ м}$; $\Delta_3 = 0,002 \text{ м}$; $\Delta_4 = 0,002 \text{ м}$; $F_2 = 0 \text{ кН}$; $R_3 = 2,859 \text{ кН}$; $R_4 = 0,123 \text{ кН}$. Результаты расчета приведены на рис. 13.

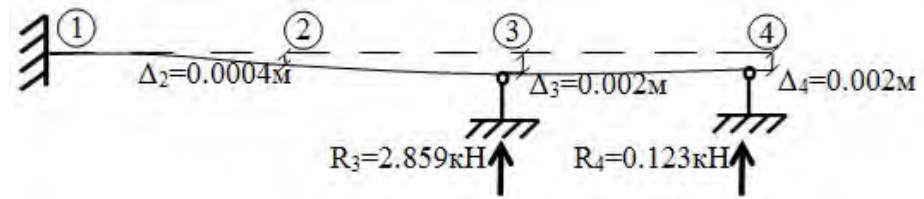


Рис. 13

Вывод. В данной работе продемонстрированы два алгоритма расчета конструктивно-нелинейных систем с использованием смешанного метода строительной механики. Стоит отметить, что алгоритмы расчета взаимосвязаны между собой и могут считаться обратными друг другу. На численных примерах показана применимость этих способов к решению задач строительной механики. Доказано, что алгоритм не приводит к заикливанию процесса расчета, а сам расчет занимает небольшое количество итераций. В дальнейшем планируется, с одной стороны, продолжить изучение алгоритма на более сложных примерах, а с другой стороны, изучить возможность программирование и алгоритмизацию процесса расчета

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ловцов А. Д.* Линейная задача дополнителности в строительной механике систем с односторонними связями. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского ун-та, 2013. 198 с.
2. *Рабинович И. М.* Основы расчета вантово-стержневых систем. М.: Стройиздат, 1975. 145 с.
3. *Рабинович И. М.* Некоторые вопросы теории сооружений, содержащих односторонние связи // Инженерный сборник. Т. 6. М., 1950.
4. *Аленин В. П.* Итерационные методы расчета систем с внешними и внутренними односторонними связями: дис... д-ра техн. наук. Волгоград, 2002. 325 с.
5. Верификационный отчет по программному комплексу ЛИРА-САПР. Том II, тест 4. М., 2013. 34 с.
6. *Власова З. А.* Расчет балки на неоднородном нелинейно-упругом основании вариационно-разностным методом // Деформация сплошных сред и управление движением. Л.: ЛГУ, 1984. С. 81—85.
7. *Гордеев В. Н., Перельмутер А. В.* Расчет упругих систем с односторонними связями как задач квадратичного программирования // Исследования по теории сооружений. Вып. 15. М.: Стройиздат, 1967. С. 208—212.
8. *Игнатьев В. А., Игнатьев А. В.* Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики. Волгоград: ВолгГАСУ, 2005. 99 с.
9. *Игнатьев В. А.* Расчет регулярных и квазирегулярных стержневых систем с двухсторонними и односторонними связями по методу обобщенных неизвестных // Исследования по строительной механике стержневых систем. Саратов: СПУ, 1984. С. 2—9.
10. *Коваленко О. Ф.* Изгиб балок из нелинейно упругого материала на нелинейно упругом основании с учетом отрыва // Тр. ТИСИ. Т. 14. Томск: ТГУ, 1968. С. 47—58.
11. *Коваленко О. Ф.* Расчет конструкций на упругом основании как систем с односторонними связями: дис... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1968. 170 с.
12. *Гордеев В. Н.* Алгоритм для расчета систем с односторонними связями // Материалы 4-й Всесоюзной конференции по применению математических машин в строительной механике. Киев, 1967. С. 28—35.
13. Нелинейная строительная механика стержневых систем. Основы теории. Примеры расчета / В. А. Игнатьев, А. В. Игнатьев, В. В. Галишникова, Е. В. Онищенко. Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. 97 с.
14. *Ким Т. С., Яцура В. Г.* Алгоритм расчета систем с односторонними связями // Автоматизированное оптимальное проектирование конструкций. Хабаровск, 1977. С. 39—47.

15. Ким Т. С., Яцура В. Г. Об использовании алгоритмов математического программирования для расчета систем с односторонними связями // Автоматизированное оптимальное проектирование конструкций. Хабаровск, 1977.
16. Кузнецова Р. Е. Расчет конструкций на упругом основании как систем с односторонними связями методом нелинейного программирования: дис... канд. техн. наук. М., 1971. 161 с.
17. Гордеев В. Н. О конечности методов решения одной задачи квадратичного программирования // Кибернетика. 1971. № 1. С. 85—89.
18. Лукашевич А. А. Построение и реализация схем прямого метода конечных элементов для решения контактных задач // Известия вузов. Строительство. 2007. Вып. 12. С. 18—23.
19. Тихонов Е. М. Расчет по методу обобщенных неизвестных балок с односторонними связями. Саратов: СПИ, 1984. С. 46—59.
20. Афендульев А. А. К расчету балок на упругом основании при односторонней связи с основанием // Строительная механика и расчет сооружений. 1964. № 4. С. 27—30.
21. Кобелев Е. А. Расчет конструктивно-нелинейных систем методом обобщенных функций // Прочность, устойчивость и колебания строительных конструкций. Л.: ЛИСИ, 1987. С. 152—158.
22. Пригородова З. Н. Расчет балки на сплошном упругом основании при односторонней связи балки с основанием // ПромстройНИИ проект. Сб. науч. тр. Вып. 2 (Серия гидрологическая). Владивосток, 1966. С. 85—88.
23. Сеницын А. П. Балка на упругом основании как система с односторонними связями // Вестник ВИА. 1952. № 64. С. 20—33.
24. Сливкер В. И. О расчете конструкций на упругом основании при односторонней связи с основанием // Строительная механика и расчет сооружений. 1967. № 6. С. 18—19.
25. Ким Т. С., Яцура В. Г. Расчет систем с односторонними связями как задач о дополнителности // Строительная механика и расчет сооружений. 1989. № 3. С. 41—44.
26. Перельмутер А. В. К расчету систем с односторонними дискретными связями // Строительная механика и расчет сооружений. 1976. № 1. С. 59—61.
27. Портаев Л. П. Расчет систем с дискретными односторонними связями — задача линейного программирования // Строительная механика и расчет сооружений. 1975. № 1. С. 59—61.
28. Резников Л. М. К расчету систем с односторонними связями // Строительная механика и расчет сооружений. 1977. № 3. С. 54—56.
29. Астрахан А. Х. Исследование деформаций стержней с односторонними связями методом квадратичного программирования: дис... канд. техн. наук. Л.: ЛПИИЖТ, 1980. 234 с.
30. Кузнецова Р. Е., Дворкина С. Б. Расчет физически нелинейных статически неопределимых систем с односторонними связями // Исследования по строительным конструкциям и строительной механике: тр. ТИСИ. Томск, 1977. С. 154—158.
31. Майер Дж. Квадратичное программирование и теория упруго-идеально-пластических деформаций конструкций // Механика (сб. переводов). 1969. № 6. С. 112—128.
32. Перельмутер А. В. Использование квадратичного программирования для расчета систем с односторонними связями // Исследования по теории сооружений. 1972. Вып. 19. С. 138—147.
33. Сливкер В. И. Расчет конструкций с нелинейными связями // Исследования по теории сооружений. 1968. Вып. 16. С. 187—193.
34. Игнатьев В. А., Игнатьев А. В., Жиделев А. В. Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики. Волгоград: ВолгГАСУ, 2006. 172 с.

© Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Бочков М. И., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Бочков М. И. Расчет многопролетных балок с односторонними связями по МКЭ в форме классического смешанного метода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 94—108.

Об авторах:

Игнатьев Александр Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, alignat70@yandex.ru

Игнат'ев Владимир Александрович — д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, советник РААСН, зав. кафедрой строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Бочков Максим Иванович — аспирант кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, maxim.bochkow@yandex.ru

A. V. Ignat'ev, V. A. Ignat'ev, M. I. Bochkov

CALCULATION OF MULTISPAN BEAMS WITH UNILATERAL CONSTRAINTS FOR THE FINITE ELEMENT METHOD IN THE FORM OF CLASSICAL MIXED METHOD

The article describes the algorithm of calculation of multispans beams with unilateral constraints for the finite element method in the form of classical mixed method. The efficiency of the algorithm is illustrated by numerical examples.

Key words: multispans beams with unilateral constraints, FEM in the form of classical mixed method.

REFERENCES

1. Lovtsov A. D. *Lineinaya zadacha dopolnitel'nosti v stroitel'noi mekhanike sistem s odnostoronnimi svyazyami* [Linear complementation problem in construction mechanics of systems with unilateral contacts]. Khabarovsk.: Publishing House of Pacific National University, 2013. 198 p.
2. Rabinovich I. M. *Osnovy rascheta vantovo-sterzhnevyykh sistem* [Principles of design of cable and trussed systems]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1975. 145 p.
3. Rabinovich I. M. [Some issues of the theory of constructions with unilateral contacts]. *Inzhenernyi sbornik* [Engineering collection], vol. 6. Moscow, 1950.
4. Alenin V. P. *Iteratsionnye metody rascheta sistem s vneshnimi i vnutrennimi odnostoronnimi svyazyami* [Iteration design methods for systems with external and internal unilateral contacts. Dr. Eng. Sci. Diss.]. Volgograd, 2002. 325 p.
5. *Verifikatsionnyi otchet po programmnomu kompleksu LIRA-SAPR. Tom II, test 4* [Verification report on the LIRA-SAPR software system. vol. II, test 4]. Moscow, 2013. 34 p.
6. Vlasova Z. A. [Design of a beam on heterogeneous nonlinear and elastic base by variation and differential method]. *Deformatsiya sploshnykh sred i upravlenie dvizheniem* [Deformation of continuous medium and traffic control]. Leningrad, LSU, 1984. Pp. 81—85.
7. Gordeev V. N., Perel'muter A. V. [Design of elastic systems with unilateral contacts as problems of quadratic programming]. *Issledovaniya po teorii sooruzhenii. Vyp. 15* [Research of the structural theory. Issue 15]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1967. Pp. 208—212.
8. Ignat'ev V. A., Ignat'ev A. V. *Smeshannaya forma metoda konechnyykh elementov v zadachakh stroitel'noi mekhaniki* [Mixed form of finite element method in problems of construction mechanics]. Volgograd, VSUACE Publ., 2005. 99 p.
9. Ignat'ev V. A. [Design of regular and quasiregular trussed systems with bilateral and unilateral contacts by the method of generalized unknown]. *Issledovaniya po stroitel'noi mekhanike sterzhnevyykh sistem* [Researches on construction mechanics of trussed systems]. Saratov, SPU, 1984. Pp. 2—9.
10. Kovalenko O. F. [Bending of a beam made of nonlinear elastic material on nonlinear elastic base in view of separation]. *Trudy TISI. T. 14* [Works of TISI. Vol. 14]. Tomsk, TSU, 1968. Pp. 47—58.
11. Kovalenko O. F. *Raschet konstruktii na uprugom osnovanii kak sistem s odnostoronnimi svyazyami* [Design of structures on elastic base as systems with unilateral contacts. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, MGSU, 1968. 170 p.
12. Gordeev V. N. [Algorithm of design of systems with unilateral contacts]. *Materialy 4-i Vsesoyuznoi konferentsii po primeniyu matematicheskikh mashin v stroitel'noi mekhanike* [Proc. of the 4th All-Union Conf. on Use of Mathematical Machines in Construction Mechanics]. Kiev, 1967. Pp. 28—35.
13. Ignat'ev V. A., Ignat'ev A. V., Galishnikova V. V., Onishchenko E. V. *Nelineynaya stroitel'naya mekhanika sterzhnevyykh sistem. Osnovy teorii. Primery rascheta* [Nonlinear Structural

Mechanics of Truss Systems. Foundation of the Theory. Calculation Examples]. Volgograd, VSUACE Publ., 2014. 97 p.

14. Kim T. S., Yatsura V. G. [Algorithm of design of systems with unilateral contacts]. *Avtomatizirovannoe optimal'noe proektirovanie konstruktssii* [Automated optimal design of structures]. Khabarovsk, 1977. Pp. 39—47.

15. Kim T. S., Yatsura V. G. [About the use of mathematical programming algorithms for design of systems with unilateral contacts]. *Avtomatizirovannoe optimal'noe proektirovanie konstruktssii* [Automated optimal design of structures]. Khabarovsk, 1977.

16. Kuznetsova R. E. *Raschet konstruktssii na uprugom osnovanii kak sistem s odnostoronnnimi svyazyami metodom nelineinogo programmirovaniya* [Design of structures on elastic base as systems with unilateral contacts by the method of nonlinear programming. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1971. 161 p.

17. Gordeev V. N. [About the finiteness of solution methods for one problem of quadratic programming]. *Kibernetika* [Cybernetics], 1971, no. 1, pp. 85—89.

18. Lukashevich A. A. [Design and implementation of schemes of a direct finite element method for the solution of contact problems]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Institutions of Higher Education. Construction], 2007, issue 12, pp. 18—23.

19. Tikhonov E. M. *Raschet po metodu obobshchennykh neizvestnykh balok s odnostoronnnimi svyazyami* [Design of beams with unilateral contacts by the method of generalized unknown]. Saratov, SPI, 1984. Pp. 46—59.

20. Afendul'ev A. A. [Towards design of beams on elastic base with unilateral contacts with the base]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Construction mechanics and design of structures], 1964, no. 4, pp. 27—30.

21. Kobelev E. A. [Design of constructive and nonlinear systems by the method of generalized functions]. *Prochnost', ustoychivost' i kolebaniya stroitel'nykh konstruktssii* [Strength, stability and fluctuations of building structures]. Leningrad, SpbGASU, 1987. Pp. 152—158.

22. Prigorodova Z. N. [Design of beams on solid elastic base with unilateral contacts of the beam with the base]. *PromstroinII proekt. Sbornik nauchnykh trudov. Vyp. 2 (Seriya gidrologicheskaya)* [PromstroinII Project. Collection of scientific works. Issue 2 (Hydrological Series)]. Vladivostok, 1966. Pp. 85—88.

23. Sinitsyn A. P. [A beam on elastic base as a system with unilateral contacts]. *Vestnik VIA* [VIA Bulletin], 1952, no. 64, pp. 20—33.

24. Slivker V. I. [Towards design of structures on elastic base with unilateral contacts with the base]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Construction mechanics and design of structures], 1967, no. 6, pp. 18—19.

25. Kim T. S., Yatsura V. G. [Design of systems with unilateral contacts as problems of complementation]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Construction mechanics and design of structures], 1989, no. 3, pp. 41—44.

26. Perel'muter A. V. [Towards design of systems with discrete unilateral contacts]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Construction mechanics and design of structures], 1976, no. 1, pp. 59—61.

27. Portaev L. P. [Design of systems with discrete unilateral contacts — the problem of linear programming]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Construction mechanics and design of structures], 1975, no. 1, pp. 59—61.

28. Reznikov L. M. [Towards design of systems with unilateral contacts]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii* [Construction mechanics and design of structures], 1977, no. 3, pp. 54—56.

29. Astrakhan A. Kh. *Issledovanie deformatsii sterzhnei s odnostoronnnimi svyazyami metodom kvadrachnogo programmirovaniya* [Study of deformations of rods with unilateral contacts by the method of quadratic programming. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Leningrad, LIIZhT, 1980. 234 p.

30. Kuznetsova R. E., Dvorkina S. B. [Design of physically nonlinear statically indeterminate systems with unilateral contacts]. *Issledovaniya po stroitel'nykh konstruktssiyam i stroitel'noi mekhanike: trudy TISI* [Researches on building structures and construction mechanics. Works of TSUAB]. Tomsk, 1977. Pp. 154—158.

31. Mayer J. [Quadratic programming and the theory of elastic, ideal and plastic deformations of structures]. *Mekhanika (sb. perevodov)* [Mechanics (collection of translations)], 1969, no. 6, pp. 112—128.

32. Perel'muter A. V. [Use of quadratic programming to design systems with unilateral contacts]. *Issledovaniya po teorii sooruzhenii* [Researches on the theory of structures], 1972, iss. 19, pp. 138—147.

33. Slivker V. I. [Design of structures with nonlinear contacts]. *Issledovaniya po teorii sooruzhenii* [Researches on the theory of structures], 1968, iss. 16, pp. 187—193.

34. Ignat'ev V. A., Ignat'ev A. B., Zhidelev A. B. *Smeshannaya forma metoda konechnykh elementov v zadachakh stroitel'noi mekhaniki* [Mixed form of finite element method in problems of construction mechanics]. Volgograd, VSUACE Publ., 2006. 172 p.

For citation:

Ignat'ev A. V., Ignat'ev V. A., Bochkov M. I. [Calculation of multispans beams with unilateral constraints for the finite element method in the form of classical mixed method]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 94—108.

About authors:

Ignat'ev Aleksandr Vladimirovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, alignat70@yandex.ru

Ignat'ev Vladimir Aleksandrovich — Doctor of Engineering Science, Professor, Honoured Master of Sciences and Engineering of the RF, Counsellor of RAACS, the Head of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Bochkov Maksim Ivanovich — Postgraduate student of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, maxim.bochckow@yandex.ru

УДК 51:624.072.2

С. Ю. Катерина

Волгоградский государственный технический университет

РАСЧЕТ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВИНКЛЕРОВСКОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИЙ

Рассматривается методика расчета балок на винклеровском упругом основании. Для построения численного алгоритма используется модифицированная форма метода сплайн-аппроксимаций, на основе которого разработана унифицированная технология построения дискретных аналогов дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние разнообразных балочных конструкций. Сравнение результатов аналитического решения с предложенной методикой показало высокую точность последней.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сплайн-аппроксимация, винклеровское основание, поперечный изгиб, продольно-поперечный изгиб, аналитическое решение.

Одной из наиболее сложных проблем, возникающих в процессе решения задач строительной механики применительно к прогрессивно развивающемуся строительству зданий повышенной этажности, является расчет и исследование конструкций, лежащих на винклеровском упругом основании [1]. Конструкции фундаментов многоэтажных зданий работают на восприятие широкого спектра разнонаправленных статических и динамических нагрузок, полноценный учет которых возможен лишь при разработке математических моделей [2, 3], максимально приближенных к действительной работе конструкции.

Современный уровень развития строительной механики, вычислительной техники и информационных технологий обеспечивает принципиальную возможность расчета сооружений с учетом их реальных свойств и различных особенностей их работы на основе численных методов [4].

Однако необходимо отметить, что при разработке и реализации методов расчета конструкции проблемы математического характера, связанные с усложнением расчетных схем и увеличением требований к компьютерной технике, остаются актуальными и на сегодняшний день.

Широкое внедрение в практику расчетов вычислительных машин вызвало необходимость переоценки существующих методов расчета и разработку новых. Одним из таких численных методов является метод последовательных аппроксимаций (МПА), разработанный Р. Ф. Габбасовым [5, 6, 7] на основе предложенного А. Ф. Смирновым [8] численного метода интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Применение МПА к решению задач прочности и устойчивости, а также некоторых динамических задач показало высокую точность этого метода.

Рассмотрим практические аспекты применения метода сплайн-аппроксимаций [9] для решения систем разрешающих уравнений для балок, нагруженных весом конструкции и опирающихся на грунтовое основание в виде модели местных упругих деформаций [10], проведя сопоставление результатов тестовых расчетов с результатами, полученными классическими методами вычисления.

В качестве базовой расчетной модели была использована методика, разработанная в трудах [11, 12, 13], из которых, в качестве исходных, принимаем:

Дискретный аналог дифференциального уравнения для сжато-изогнутого стержня по [11]:

$$\begin{aligned} & \left(1 + \frac{h_i^2}{12} g_{i-1}^n k_i\right)^n m_{i-1} - \left(1 + \frac{h_i}{h_{i+1}} - \frac{5}{12} h_i^2 g_i^n k_i - \frac{5}{12} h_i h_{i+1}^n g_i^n k_i - \Delta^n k_i g_i^\xi \frac{h_i^3}{12}\right)^n m_i + \\ & + \left(\frac{h_i}{h_{i+1}} + \frac{1}{12} h_i h_{i+1}^n g_{i+1}^n k_i\right)^n m_{i+1} + \left(\frac{h_i}{h_{i+1}} - \frac{5}{12} h_i h_{i+1}^n g_i^n k_i - \Delta^n k_i g_i^\xi \frac{h_i^3}{12}\right) \Delta m_i + \\ & + h_i \left(1 - \Delta^n k_i g_i^\xi \frac{h_i^3}{12}\right) \Delta m_i^\xi = -\frac{h_i^2}{12} \left[{}^n q_{i-1} + 5 {}^n q_i + \frac{h_{i+1}}{h_i} (5 {}^n q_i + {}^n q_{i+1})\right] + \frac{h_i^3}{12} \Delta q_i^\xi. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь оператор Δ означает разность между левыми «л» и правыми «п» значениями соответствующих величин. При этом $\Delta m_i = {}^n m_i - {}^l m_i$;

$$\Delta m_i^\xi = {}^l m_i^\xi - {}^n m_i^\xi; \Delta q_i^\xi = {}^l q_i^\xi - {}^n q_i^\xi; q^\xi = \frac{dq}{d\xi}.$$

Дифференциальные уравнения изгиба балки на упругом основании имеют вид [7]:

$$m^{\xi\xi} = -(q - r); \quad (2)$$

$$w^{\xi\xi} = -gm, \quad (2a)$$

где $r = r(x)/q_0$ — безразмерный отпор основания, определенный по [7] для основания с двумя коэффициентами постели k_1 и $k_2 = \frac{N\ell^2}{EI_0}$ следующим образом:

$$r_i = k_1 w_i \frac{\ell^4}{EI_0} + k_2 g_i m_i \frac{\ell^2}{EI_0}. \quad (3)$$

При $k_2 = 0$ ($N = 0$) формула (3) соответствует основанию Винклера. Согласно [14] прогиб и безразмерный момент вычисляются по формулам:

$$\tilde{w} = \frac{WEI_0}{q_0 \lambda_0^4}; \quad m = \frac{M}{q_0 \lambda_0^2},$$

$$\text{где } \lambda_0 = \sqrt[4]{\frac{4EI_0}{\tilde{k}_1}}.$$

Положим $\ell = \lambda_0$, тогда (3) можно переписать в виде:

$$r_i = 4w_i + 2\tilde{k}g_i m_i, \quad (3a)$$

$$\text{где } \tilde{k} = k_2 \sqrt{\frac{EI_0}{k_1}}.$$

Уравнение (2) с учетом (3a) примет вид:

$$m^{\xi\xi} = -\left\{q - (4w_i + 2\tilde{k}g_i m_i)\right\}. \quad (2a)$$

Дискретный аналог уравнения (2а) получим из (1) заменяя в нем kgm на $(4w_i + 2\tilde{k}g_i m_i)$:

$$\begin{aligned} & \left(1 - \frac{h_i^2}{6} {}^n g_{i-1} {}^n \tilde{k}_i\right) {}^n m_{i-1} - \left\{1 + \frac{h_i}{h_{i+1}} + \frac{h_i^2}{6} \left[5 \left({}^n g_i {}^n \tilde{k}_i + \frac{h_{i+1}}{h_i} {}^n g_i {}^n \tilde{k}_i\right) - h_i {}^n \tilde{k}_i g_i^\xi\right]\right\} {}^n m_i + \\ & + \left(\frac{h_i}{h_{i+1}} - \frac{1}{6} h_i h_{i+1} {}^n g_{i+1} {}^n \tilde{k}_i\right) {}^n m_{i+1} + h_i \left[1 + \frac{h_i^2}{24} \left({}^n \tilde{k}_i + {}^n \tilde{k}_i\right) \left({}^n g_i + {}^n g_i\right)\right] \Delta m_i^\xi - \\ & - \frac{h_i^2}{3} \left[{}^n w_{i-1} + 5 \left({}^n w_i + \frac{h_{i+1}}{h_i} {}^n w_i\right) + {}^n w_{i+1}\right] = -\frac{h_i^2}{12} \left[{}^n q_{i-1} + 5 {}^n q_i + \frac{h_{i+1}^2}{h_i^2} \left({}^n q_{i+1} + 5 {}^n q_i\right) + h_i \Delta q_i^\xi\right] - \\ & - \left(\frac{h_i}{h_{i+1}} + \frac{5}{6} h_i h_{i+1} {}^n g_{i+1} {}^n \tilde{k}_i + \frac{h_i^3}{6} {}^n \tilde{k}_i g_i^\xi\right) \Delta m_i. \end{aligned} \quad (4)$$

Для крайнего левого узла разбивочной сетки соответствующий дискретный аналог уравнения (4а) получим из уравнения (3), принимая $i = 0$ и полагая законтурные значения величин m равными нулю:

$$\begin{aligned} & -h_1 \left(1 + \frac{\tilde{k}_1 g_0 h_1^2}{6}\right) m_0^\xi - \left[1 + \frac{h_1^2}{6} 5 g_0 \tilde{k}_1 - h_1 \tilde{k}_1 g_0^\xi\right] m_0 + \left(1 - \frac{h_1^2}{6} {}^n g_1 {}^n \tilde{k}_1\right) {}^n m_1 - \\ & - \frac{h_1^2}{3} (5w_0 + {}^n w_1) = -\frac{h_1^2}{12} [5q_0 + q_1 + h_1 q_0^\xi]. \end{aligned} \quad (4a)$$

Преобразуем уравнения для расчета некоторых типов балок на упругом основании.

Для поперечного изгиба балок переменной жесткости

Положим, в (4) и (4а) $\tilde{k} = 0$ ($N = 0$), в результате получим:

$$\begin{aligned} & {}^n m_0 - \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right) {}^n m_1 + \frac{h_1}{h_2} {}^n m_2 + \frac{h_1}{h_2} \Delta m_1 + h_1 \Delta m_1^\xi - \frac{h_1^2}{3} \left[w_0 + 5 \left({}^n w_1 + \frac{h_2}{h_1} {}^n w_1\right) + \right. \\ & + w_2 - h_1 \Delta w_1^\xi \left. \right] = -\frac{h_1^2}{12} \left[q_0 + 5 {}^n q_1 + \frac{h_2}{h_1} (5 {}^n q_1 + q_2)\right] + \frac{h_1^3}{12} \Delta q_1^\xi; \\ & -h_1 m_0^\xi - m_0 + m_1 - \frac{h_1^2}{3} (5w_0 + {}^n w_1 + h_1 w_0^\xi) = -\frac{h_1^2}{12} (5q_0 + q_1 + h_1 q_0^\xi). \end{aligned} \quad (5a)$$

Для определения прогибов в узлах расчетной сетки воспользуемся уравнением (3) и (3а):

$$\begin{aligned} & {}^n w_0 - \left(1 + \frac{h_1}{h_2}\right) {}^n w_1 + \frac{h_1}{h_2} {}^n w_2 + h_1 \Delta w_1^\xi - \frac{h_1^2}{12} \left[g_1 m_0 + 5 \left({}^n g_1 + h_1 {}^n g_1^\xi\right) {}^n m_1 + \right. \\ & + \frac{h_2}{h_1} (5 {}^n g_1 + h_1 {}^n g_1^\xi) {}^n m_1 + \frac{h_2}{h_1} {}^n g_2 {}^n m_2 - h_1 \Delta m_1^\xi \left. \right] = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$-h_1 w_0^\xi - w_0 + w_1 + \frac{h_1^2}{3} (5g_0 + h_1 g_0^\xi) m_0 + {}^n g_1 {}^n m_1 + h_1 g_0 m_0^\xi = 0. \quad (6a)$$

Для продольно-поперечного изгиба балок постоянной жесткости, при двух коэффициентах постели:

Положив, в (4), (4а) $g = \text{const} = 1$, $h_1 = h_2 = h$, получим:

$$\begin{aligned} & \left(1 - \tilde{k}_1 \frac{h_1^2}{6}\right) m_0 - \left[2 + \frac{5h_1^2}{6}(\tilde{k}_1 + \tilde{k}_2)\right] m_1 + \left(1 - \tilde{k}_2 \frac{h_1^2}{6}\right) m_2 + \\ & + \left(1 + \frac{h_1^2}{12}(\tilde{k}_1 + \tilde{k}_2)\right) \Delta m_1^\xi - \left(1 - \frac{h^2}{4} g_1 k_2\right) m_1 + \frac{h_1^2}{3} (w_0 + 10w_1 + w_2 + h_1 \Delta w_1^\xi) = (7) \\ & = -\frac{h_1^2}{12} [q_0 + 5({}^n q_1 + {}^n q_1) + q_2 - h_1 \Delta q_1^\xi] - \left(1 + \tilde{k}_2 \frac{5}{6} h_1^2\right) \Delta m_1; \\ & -h_1 \left(1 + \tilde{k}_1 \frac{h_1^2}{6}\right) m_0^\xi - \left(1 + \tilde{k}_1 \frac{5}{6} h_1^2\right) m_0 + \left(1 - \tilde{k}_1 \frac{h_1^2}{6}\right) m_1 - \\ & - \frac{h_1^2}{3} (5w_0 + {}^n w_1 + h_1 w_0^\xi) = -\frac{h_1^2}{12} 5q_0 + q_1 - h_1 q_0^\xi. \end{aligned} \quad (7a)$$

Рассмотрим конкретные примеры расчета балок на упругом основании, с использованием приведенных выше уравнений.

Пример 1. Дана статически определимая балка на двух опорах, на винклеровском основании (рис. 1). Требуется найти изгибающий момент и прогиб в середине пролета.

Дано:

$$m_0 = m_2 = w_0 = w_2 = \Delta w_1^\xi = 0;$$

$$q_0 = {}^n q_1 = {}^n q_1 = q_2 = 1.$$

Запишем систему уравнений на основании формул (5а), (7а):

$$\left. \begin{aligned} & h m_0^\xi - m_1 + \frac{h^2}{3} (w_1 + h w_0^\xi) = \frac{h^2}{12}; \\ & -2m_1 - \frac{10h^2}{3} w_1 = -h^2, \\ & h m_2^\xi - m_1 + \frac{h^2}{3} (w_1 + h w_2^\xi) = \frac{h^2}{12}; \\ & 10m_1 - \frac{24}{h^2} w_1 = 0; \\ & h m_0^\xi + m_1 + \frac{12}{h^2} w_1 - \frac{12}{h} w_0^\xi = 0; \\ & h m_2^\xi + m_1 + \frac{12}{h^2} w_1 - \frac{12}{h} w_2^\xi = 0. \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{или} \left. \begin{aligned} & 6m_0^\xi - 12m_1 + w_1 + 0,5w_0^\xi = \frac{3}{2}; \\ & -12m_1 - 5w_1 = -\frac{3}{2}; \\ & 6m_2^\xi - 12m_1 + w_1 + 0,5w_0^\xi = \frac{3}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Решая систему (8), получим $m_1 = 0,1198$, $w_1 = 0,01248$. Результаты сопоставления приведены в табл. 1.

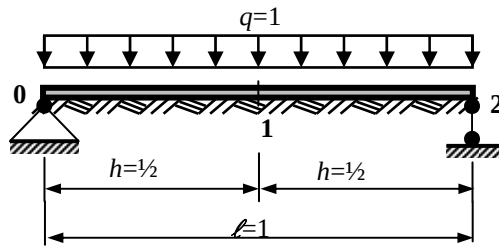


Рис. 1

Пример 2. Дана статически неопределимая балка на винклеровском основании (рис. 2) [15]. Требуется найти изгибающий момент и прогиб в середине пролета.

Дано:

$g = \text{const} = 1$, $\Delta g_1^\xi = 0$, $\Delta m_0 = \Delta m_1^\xi = w_0 = w_2 = w_0^\xi = w_2^\xi = \Delta w_1^\xi = 0$; $q = 1$, $m_0^\xi = m_2^\xi$, $m_0 = m_2$, $h = 1/2$. Учитывая (5а), запишем:

$$\left. \begin{aligned} 6m_0^\xi - 12m_0 + 12m_1 - w_1 &= -\frac{3}{2}; \\ 24m_0 - 24m_1 - 10w_1 &= -3; \\ \frac{1}{2}m_0^\xi + 5m_0 + m_1 + 48w_1 &= 0; \\ 2m_0 - 10m_1 - 96w_1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

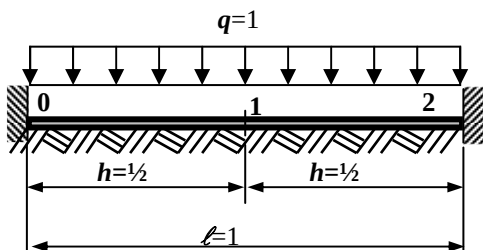


Рис. 2

Решая (9), получим: $m_0 = -0,08269$, $m_1 = 0,04122$, $w_1 = 0,002573$.

Пример 3. Дана консольная однопролетная балка на винклеровском основании (рис. 3). Требуется найти изгибающий момент и прогиб в середине пролета.

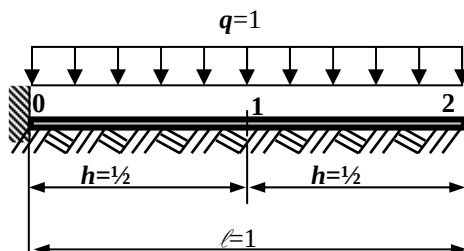


Рис. 3

Исходные данные:

$$\Delta m_1 = \Delta m_1^\xi = m_2^\xi = w_0 = w_0^\xi = 0,$$

$$q = g = \text{const} = 1, q^\xi = g^\xi = 0, \ell = \lambda_0, h = 1/2.$$

$$\left. \begin{aligned} 6m_0^\xi - 12m_0 + 12m_1 - w_1 &= -\frac{3}{2}; \\ 12m_0 - 24m_1 - 10w_1 - w_2 &= -3; \\ 12m_1 - w_1 - 5w_2 + 0,5w_2^\xi &= -\frac{3}{2}; \\ m_0^\xi + 10m_0 + 2m_1 + 96w_1 &= 0; \\ m_0 + 10m_1 - 96w_1 + 48w_2 &= 0; \\ 2m_1 + 96w_1 - 96w_2 + w_2^\xi &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Решая систему (10), получим: $m_1 = -0,3898$, $w_1 = 0,0939$.

Пример 4. Дана консольная однопролетная балка на винклеровском основании [15], нагруженная сосредоточенной силой (рис. 4). Требуется найти изгибающий момент и прогиб в середине пролета.

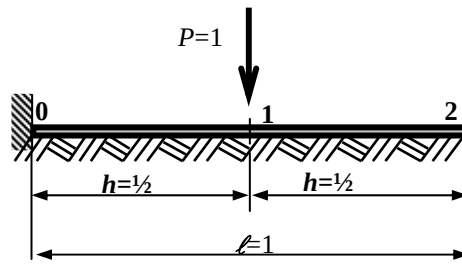


Рис. 4

Исходные данные:

$$\Delta m_1 = m_1 = m_2 = w_1 = w_2 = 0; g = \text{const} = 1, \Delta q_1^\xi = 0, \ell = \lambda_0, h = 1/2, \Delta m_1^\xi = 1.$$

$$\left. \begin{aligned} hm_0^\xi - m_1 + \frac{h^2}{3}(w_1 + hw_0^\xi) &= 0; \\ -2m_1 - \frac{10h^2}{3}w_1 &= -hm_1^\xi; \\ hm_2^\xi - m_1 + \frac{h^2}{3}(w_1 + hw_2^\xi) &= 0; \\ 10m_1 - \frac{24}{h^2}w_1 &= hm_1^\xi; \\ hm_0^\xi + m_1 + \frac{12}{h^2}w_1 - \frac{12}{h}w_0^\xi &= 0; \\ -hm_2^\xi + m_1 + \frac{12}{h^2}w_1 + \frac{12}{h}w_2^\xi &= 0. \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} 6m_0^\xi - 12m_1 + w_1 + 0,5w_0^\xi &= -\frac{3}{2}; \\ -24m_1 - 10w_1 &= -6; \\ 6m_2^\xi - 12m_1 + w_1 + 0,5w_2^\xi &= 0; \\ 10m_1 - 96w_1 &= \frac{1}{2}; \\ m_0^\xi + 2m_1 + 96w_1 - 485w_0^\xi &= 0; \\ m_2^\xi + 2m_1 + 96w_1 - 485w_2^\xi &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Решая систему (11), получим: $m_1 = -0,2417$, $w_1 = 0,1997$.

Пример 5. Дана простая балка кусочно-постоянной жесткости на винклеровском основании, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой (рис. 5). Требуется найти изгибающий момент и прогиб в середине пролета.

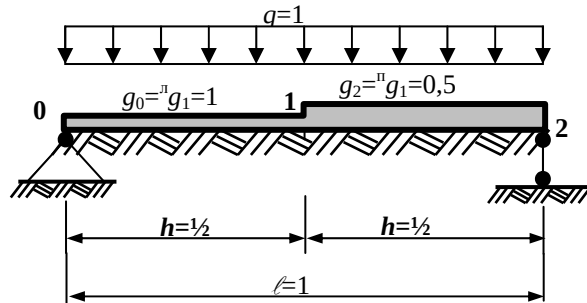


Рис. 5

Исходные данные:

$$g_0 = g_1 = 1, g_2 = g_1 = 0, q = 1$$

$$m_0 = m_2 = w_0 = w_2 = 0;$$

$$g = \text{const} = 1, \Delta q_1^\xi = 0, \ell = \lambda_0, h = 1/2.$$

$$\left. \begin{aligned} hm_0^\xi - m_1 + \frac{h^2}{3}(w_1 + hw_0^\xi) &= \frac{h^2}{2}; \\ -2m_1 - \frac{10h^2}{3}w_1 &= -h^2; \\ hm_2^\xi - m_1 + \frac{h^2}{3}(w_1 + hw_2^\xi) &= \frac{h^2}{2}; \\ 7,5m_1 - 96w_1 &= hm_1^\xi; \\ -hm_0^\xi - m_1 - 48w_1 + 24w_0^\xi &= 0; \\ -\frac{h}{2}m_2^\xi + \frac{m_1}{2} + 48w_1 + 24w_2^\xi &= 0. \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} 6m_0^\xi - 12m_1 + w_1 + 0,5w_0^\xi &= \frac{3}{2}; \\ -12m_1 - 5w_1 &= -\frac{3}{2}; \\ 6m_2^\xi - 12m_1 + w_1 + 0,5w_2^\xi &= \frac{3}{2}; \\ 7,5m_1 - 96w_1 &= 0; \\ -0,5m_0^\xi - m_1 + 48w_1 + 24w_0^\xi &= 0; \\ 0,25m_2^\xi - 0,5m_1 + 48w_1 - 24w_2^\xi &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решая систему (12), получим: $m_1 = 0,1210$, $w_1 = 0,0095$.

Сравнение результатов расчета

В табл. 1 представлены результаты расчета балок, приведенного в примерах 1—5, при количестве узлов разбивочной сетки ($n = 2, n = 4$), и их сопоставление с точными решениями [14] и решениями по МПА [7].

Выводы:

1. На основе разработанной методики построены дискретные аналоги дифференциальных уравнений для поперечного изгиба балок переменной жесткости и продольно-поперечного изгиба балок постоянной жесткости.

2. Приведенным анализом подтверждена применимость разработанного алгоритма расчета балок на винклеровском основании с различными видами закрепления и нагрузки.

Применение сплайн-аппроксимации позволяет уменьшить число неизвестных в каждом узле сеточной области, а введение разрывов параметров в разрешающую систему дает возможность учесть их влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Длина балки	Сравниваемые величины	[14]	МСА		[6]		Погреш- ность, %
				$n = 2$	$n = 4$	$n = 2$	$n = 4$	
1	Рис. 1							
	1	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,0125	0,01248	0,0125	0,0125	0,0125	0
		$\tau, (\xi=0,5)$	0,1200	0,1198	0,1200	0,1198	0,1199	0,00014
	2	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,1254	0,1251	0,1254	0,1250	0,1254	0
		$\tau, (\xi=0,5)$	0,2955	0,2917	0,2953	0,2917	0,2953	0,00087
	4	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,2794	0,2857	0,2794	0,2857	0,2794	0
$\tau, (\xi=0,5)$		0,1237	0,0952	0,1226	0,0952	0,1226	0,00015	
2	Рис. 2							
	1	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,00258	0,002572	0,0026	0,0026	0,0026	0
		$\tau, (\xi=0,5)$	0,0413	0,04122	0,0413	0,04122	0,0413	0
		$\tau, (\xi=0)$	-0,0827	-0,08269	-0,0827	-0,08269	-0,0827	0
3	Рис. 3							
	2	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,1463	0,0939	0,1463	0,0939	0,1463	0
		$\tau, (\xi=0,5)$	-0,3689	-0,3898	-0,3689	-0,3898	-0,3689	0
4	Рис. 4							
	1	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0
		$\tau, (\xi=0,5)$	-0,2420	-0,2417	-0,2420	-0,2417	-0,2420	0
5	Рис. 5							
	1	$\overline{W}, (\xi=0,5)$	0,0099	0,0095	0,0098	0,0095	0,0098	0
		$\tau, (\xi=0,5)$	0,1210	0,1210	0,1210	0,1210	0,1210	0

1. Анализ результатов, проведенный на основе решения конкретных задач, показал высокую точность предложенного подхода даже в случае минимального числа узлов разбивочной сетки.

2. Построены шаблоны конечно-разностных уравнений, позволяющие значительно упростить ввод информации при расчете на ЭВМ.

3. Представленная методика расчета позволяет разрабатывать на ее основе программы для расчета балок постоянной, ступенчато-переменной, кусочно-постоянной жесткости (сложного очертания) на упругом основании, а также рассчитывать эти конструкции без упругого основания. Предложенные алгоритмы и программы могут быть использованы в проектных организациях и конструкторских бюро.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронкова Г. В., Рекунов С. С. Учет упругого основания при составлении матрицы откликов треугольного конечного элемента в смешанной форме МКЭ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2007. Вып. 8(27). С. 45—47.
2. Абовский Н. П., Енджиевский Л. В. Некоторые аспекты развития численных методов расчета конструкций // Известия ВУЗов. Стр-во и архитектура. 1981. № 6. С. 30—42.
3. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолли Дж. Теория сплайнов и ее приложения / пер. с англ. М.: Мир, 1972. 318 с.
4. Fast Isogeometric Boundary Element Method based on Independent Field Approximation / B. Marussig, J. Zechner, G. Beer, T. Fries // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2015. Vol. 284. Pp. 458—488.

5. Габбасов Р. Ф., Уварова Н. Б., Филатов В. В. Расчет балок на упругом основании с двумя коэффициентами постели // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 25—29. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.2.25 - 29
6. Габбасов Р. Ф. О разностных формах метода последовательных аппроксимаций // Численные методы решения задач строительной механики. Киев: КИСИ, 1978. С. 121—126.
7. Габбасов Р. Ф. Применение численно-интегрального метода к расчету плит на упругом основании // Прикладная механика. 1976. Т. 12. № 10. С. 21—26.
8. Смирнов В. А. Численный метод расчета ортотропной пластинки, лежащей на упругом основании с двумя коэффициентами постели // Труды МарХИ, 1970. Вып. 2. С. 47—57.
9. Spline approximation of discontinuous multivariate functions from scattered data / M. C. Lopez de Silanes, M. C. Parra, M. Pasadas, J. J. Torrens // Computational and Applied Mathematics. 2001. Т. 131. № 1-2. Pp. 281—298.
10. Shirima L. M., Giger M. W. Timoshenko Beam Element Resting on Two Parameter Elastic Foundation // Engineering Mechanics. 1992. Vol. 118. Iss. 2. Pp. 280—295.
11. Катерина С. Ю. Развитие и применение метода сплайн-аппроксимаций в задачах численного расчета стержней и пластинок с разрывными параметрами: дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2000. 121 с.
12. Катерина С. Ю., Усков Ю. И. Технология формирования основной разрешающей матрицы для расчета плит в среде табличного процессора Excel // Изв. вузов. Стр.-во. 2003. № 5. С. 125—129.
13. Игнатъев В. А., Катерина С. Ю., Усков Ю. И. Построение дискретных аналогов дифференциальных уравнений изгиба стержней и пластинок с разрывными параметрами на основе метода сплайн-аппроксимаций // Изв. вузов. Стр.-во. 2002. № 5. С. 16—21.
14. Соломин В. И. Расчет балок на упругом основании методом конечных разностей. М.: Высшая школа, 1978. 480 с.
15. Andreev A. B., Maximov J. T., Racheva M. R. Finite element modelling for a beam on the Winkler type basis with variable rigidity // Сибирский журнал вычислительной математики. 2005. Vol. 8. № 1. Pp. 23—30.

© Катерина С. Ю., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Катерина С. Ю. Расчет балочных конструкций на винклеровском основании методом сплайн-аппроксимаций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 109—118.

Об авторе:

Катерина Светлана Юрьевна — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Волгоград, 400074, ул. Академическая, 1, Kat-svetlana@mail.ru

S. Yu. Katerina

CALCULATION OF BEAM STRUCTURES WITH WINKLER FOUNDATION USING SPLINE-APPROXIMATION METHOD

The technology of calculation of beams with Winkler elastic foundation is considered in the article. To solve the numerical algorithm, a modified form of the spline-approximation method is used, on the basis of which a unified technology for constructing discrete analogues of differential equations describing the stress-strain state of various beam structures is developed. Comparison of the results of the analytical solution with the proposed method has proven the high accuracy of the latter.

Key words: spline-approximation, Winkler foundation, cross-bending, longitudinal-cross bending, analytical solution..

REFERENCES

1. Voronkova G. V., Rekunov S. S. [Regard of elastic foundation in the process of the response matrix compiling for a triangular finite element within the framework of the Mixed Finite Element Method]. *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], 2007, no. 8(27), pp. 45—47.
2. Abovskii N. P., Endzhievskii L. V. [Some aspects of the development of numerical methods of design of structures]. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of Institutions of Higher Education. Construction and architecture], 1981, no. 6, pp. 30—42.
3. Alberg J., Nilson E., Walsh Dzh. *Teoriya splainov i ee prilozheniya* [The theory of splines and its applications]. Transl. from English. Moscow, Mir Publ., 1972. 318 p.
4. Marussig B., Zechner J., Beer G., Fries T. Fast Isogeometric Boundary Element Method based on Independent Field Approximation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2015, vol. 284, pp. 458—488.
5. Gabbasov R. F., Uvarova N. B., Filatov V. V. [On calculation of beams resting on two-parameter elastic foundations]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering], 2012, no. 2, pp. 25—29. DOI: 10.22227/1997-0935.2012.2.25 - 29
6. Gabbasov R. F. [About difference forms of the successive approximations method]. *Chislennyye metody resheniya zadach stroitel'noi mekhaniki* [Numerical methods of solution of problems of construction mechanics]. Kiev, KISI Publ., 1978. Pp. 121—126.
7. Gabbasov R. F. [Application of numerical and integral method to design of slabs on elastic base]. *Prikladnaya mekhanika* [Applied mechanics], 1976, 12(10), pp. 21—26.
8. Smirnov V. A. [Numerical method of calculation of orthotropic plate lying on the elastic base with two coefficients of subgrade reaction]. *Trudy MarkhI* [Works of MARHI], 1970, issue 2, pp. 47—57.
9. Lopez de Silanes M. C., Parra M. C., Pasadas M., Torrens J. J. Spline approximation of discontinuous multivariate functions from scattered data. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2001, 131(1-2), pp. 281—298.
10. Shirima L. M., Giger M. W. Timoshenko Beam Element Resting on Two Parameter Elastic Foundation. *Engineering Mechanics*, 1992, 118(2), pp. 280—295.
11. Katerinina S. Yu. *Razvitie i primeneniye metoda splain-approksimatsii v zadachakh chislennogo rascheta sterzheni i platinok s razryvnymi parametrami* [The development and application of the method of spline approximations in problems of numerical calculation of rods and plates with discontinuous parameters. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Volgograd, 2000. 121 p.
12. Katerinina S. Yu., Uskov Yu. I. [Technology of Solving Main Matrix to Calculate Plates in Table Processor Medium Excel]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2003, no. 10, pp. 125—129.
13. Ignat'ev V. A., Katerinina S. Yu., Uskov Yu. I. [Formation of discrete analogs of differential equations of a bending of bars and plates with discontinuous parameters on the basis of spline approximations method]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2002, no. 5, pp. 11—16.
14. Solomin V. I. *Raschet balok na uprugom osnovanii metodom konechnykh raznostei* [Design of beams on the elastic base by finite difference method]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1978. 480 p.
15. Andreev A. B., Maximov J. T., Racheva M. R. Finite element modelling for a beam on the Winkler type basis with variable rigidity. *Sib. Zh. Vychisl. Mat.*, 2005, 8(1), pp. 23—30.

For citation:

Katerinina S. Yu. [Calculation of beam structures with Winkler foundation using spline-approximation method]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 109—118.

About author:

Katerinina Svetlana Yur'evna — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Katsvetlana@mail.ru

УДК 62-82:69.002.5

Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Ю. М. Фетисов

Волгоградский государственный технический университет

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗАПОРНОГО УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Сущность технического решения заключается в том, что в предлагаемой конструкции запорного устройства системы защиты гидропривода в упоре выполнен канал для транспортировки в напорную гидролинию несжимаемого объема рабочей жидкости, т. е. гидравлической подушки, заключенной между упором и плунжером в конце его хода. Это позволяет обеспечить надежное перекрытие плунжером выходного канала запорного устройства, исключить колебательный процесс клапана, повысить быстродействие срабатывания и полностью предотвратить несанкционированный выброс в атмосферу из поврежденной гидролинии рабочей жидкости.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидравлическая система, гидропривод, система защиты гидропривода, запорное устройство, рукав высокого давления, гидролиния, несжимаемый объем рабочей жидкости, гидравлическая подушка, плунжер, клапан, золотник.

Рабочий процесс строительно-дорожных машин, как правило, сопровождается резко выраженными динамическими нагрузками. С целью изменения режима рабочего процесса машины до 800 раз в смену производится включение гидрораспределителя. При таком режиме работы с годовой наработкой 1500 моточасов и средней длине гона 50 м число включений гидросистемы бульдозера составляет примерно 200 тысяч, а периодичность нагружения до 6 с. Увеличение мощности и рабочего давления машин приводит к несанкционированному выбросу рабочей жидкости в атмосферу (46...335 л за один выброс), что наносит ущерб экологической безопасности [1—4]. По этой причине рабочее давление в гидросистемах тягово-транспортных средств ограничено до 18...20 МПа. Однако ограничение рабочего давления строительно-дорожных машин полностью не решает проблему выброса в атмосферу рабочей жидкости при разрушении рукавов высокого давления. Поэтому совершенствование конструкции систем защиты гидроприводов [1—4] машинно-технологических комплексов и технологий экологически безопасных рабочих жидкостей является весьма актуальной задачей.

Применение безвредных жидкостей растительного происхождения весьма ограничено и не может обеспечить потребности многочисленного парка машин. В этой связи целесообразно продолжать исследования по совершенствованию способов и устройств защиты гидравлической системы.

Одним из направлений защиты гидропривода является повышение надежности трубопроводов. Существует широкая номенклатура металлических трубопроводов с многократным запасом прочности, однако применение таких трубопроводов в приводах рабочих органов с шарнирными сочленениями не гарантирует герметичность, а также приводит к увеличению материалоемкости и себестоимости производства машин.

Надежность гидравлических систем современных машин во многом определяется совершенством конструкции гибких рукавов высокого давления. Последняя разработка авторов [5] показывает, что рукав с газовой обо-

лочкой повышает его надежность, однако как оплеточные и навивочные рукава не гарантируют длительных циклических нагрузок.

Наиболее эффективным способом защиты можно считать применение запорных устройств, основанных на принципе перепада давления в напорной гидролинии во время ее разрушения. Данные исследования показывают [1—4], что потери при их срабатывании могут составлять 0,17 л (рис. 1—5), однако присущий им недостаток значительно повышает эти потери, поэтому предлагается новое техническое решение (рис. 6).

При разрушении рукавов высокого давления (рис. 1) [6], в гидролинии 5, связанной с выходной полостью 17, давление понизится, что приведет к повышению перепада давления в полостях 17 и 9, действующего на золотник 11, который, в свою очередь, переместится вправо и перекроет торцом упорного стержня 21 отверстие 18 и выходную полость 17 в линии повреждения.

Недостатком данной системы защиты гидропривода является то, что в конце хода золотника 11 между золотником и упором 21 образуется замкнутый несжимаемый объем рабочей жидкости, т.е. гидравлическая подушка, которая препятствует перемещению золотника и надежному перекрытию выходного канала.

При разрушении рукавов высокого давления 5, 7, 8 запорного устройства с двойным перекрытием выходного канала (рис. 2) [7], в напорной гидролинии 5, связанной с выходным каналом 17, давление понизится. Перепад давления во входной и выходной полостях увеличится, и равновесие плунжера нарушится. Плунжер 11 и шток клапана 21, преодолевая усилия пружин 15 и 23, начнут перемещаться относительно друг друга, сокращая площадь проходного сечения, до полного перекрытия канала 18 клапаном 21, а выходной канал 17 плунжером 11, при этом блокируется напорная магистраль и рабочая жидкость через радиальные каналы 14 плунжера 11 направляется в гидробак.

Несмотря на усовершенствование конструкции (рис. 1), сохраняется тот же недостаток, обусловленный наличием гидравлической подушки, которая препятствует перемещению плунжера в конце его хода и полному перекрытию выходного канала.

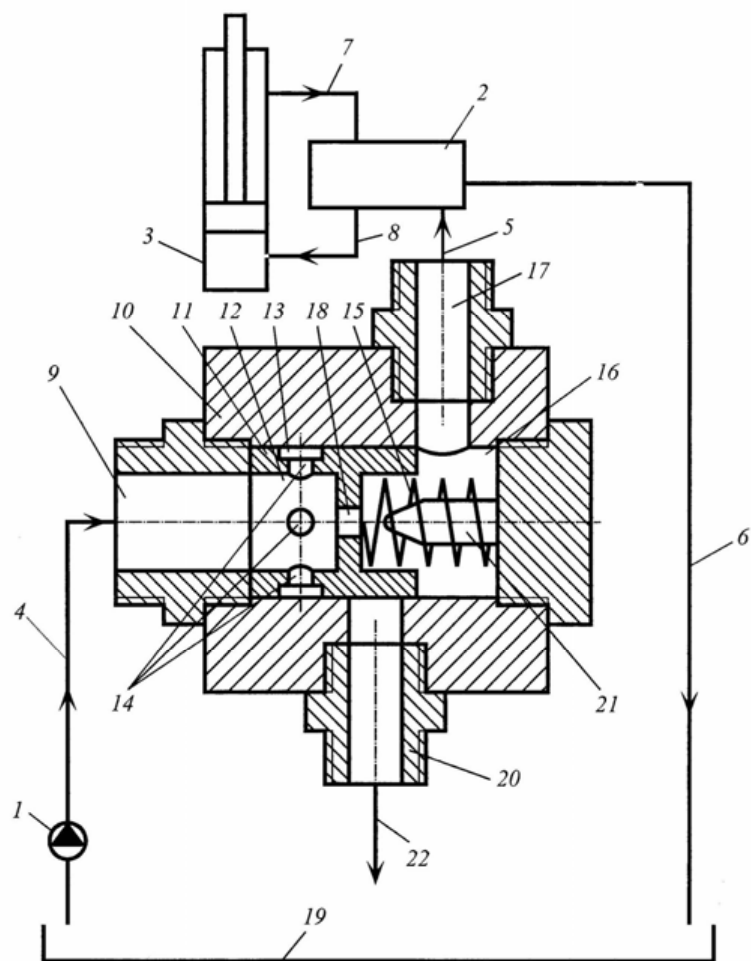
В запорном устройстве 7 (рис. 3, 4) [8], снабженном свето-звуковой системой контроля срабатывания запорного устройства, при разрыве гидролинии питания гидропривода давление рабочей жидкости в полости *Б* мгновенно падает. Из-за перепада давления в полостях *А* и *Б* плунжер 16, преодолевая сопротивление пружины 20, перекрывает полость *В* и конусной поверхностью упора 21 осевой канал 19, и поток жидкости направляется через полость *Г*, в канал сливного штуцера 14 и затем в гидробак 1. Одновременно контакты электрической цепи 30, 31 и реле 29 замыкаются и срабатывает световая 31 и звуковая 32 сигнализации, оповещающая оператора о срабатывании системы защиты устройства от несанкционированного выброса рабочей жидкости в атмосферу. Автоматически, с помощью соленоида 34 механизма 9, отключается подача рабочей жидкости в поврежденную гидролинию. Однако, несмотря на информативность процесса перекрытия поврежденной гидролинии, устройство обладает тем же недостатком, что и предыдущие, суть которого заключается в том, что в момент срабатывания запорного устройства в конце хода плунжера гидравлическая подушка препятствует перемещению плунжера и надежному перекрытию выходного канала.

В запорном устройстве (рис. 5) [9], оснащенном газовой камерой, при разрыве рукавов питания гидропривода давление в гидросистеме мгновенно падает и, под воздействием перепада давления рабочей жидкости в входной и выходной полостях запорного устройства, подпружиненный плунжер 13, преодолевая сопротивление пружины 21, закрывает проходное сечение 16 и выходной канал 10, что сопровождается гидравлическим ударом, энергия ударной волны которого приводит к повторяющимся ударным нагрузкам на клапане 18 и седле 17 канала плунжера в период затухания ударной волны. Негативный процесс гидравлического удара нейтрализуется газовой полостью за счет высокой сжимаемости газа, поглощая при этом энергию ударной волны, сглаживая динамическое воздействие на контактную поверхность клапана 18. Несмотря на такое преимущество запорного устройства, сохраняется недостаток, упомянутый выше (рис. 1—3).

В конструкции запорного устройства (рис. 6) [10] для устранения обнаруженного в запорных устройствах (рис. 1—3) общего недостатка дополнительно установлен разгрузочный клапаном со сливом несжимаемого объема рабочей жидкости в гидробак, что обеспечивает надежное перекрытие проходного сечения выходного канала запорного устройства.

Недостатком этой конструкции является сложность механизма устранения негативного воздействия на надежное перекрытие поврежденной гидролинии высокого давления, наличие гидравлической подушки, т.е. несжимаемого объема рабочей жидкости в конце хода плунжера и высокая материалоемкость исполнения. Кроме того, в эксплуатации, в рабочем режиме гидропривода при неисправном разгрузочном клапане, например, при потере эластичности уплотнительного кольца или его разрушении, через поршневую полость разгрузочного клапана произойдет слив рабочей жидкости из гидролинии высокого давления в гидробак, минуя гидрораспределитель и гидродвигатель. В результате приостановится подъем или опускание рабочего органа машины, что повлечет за собой остановку технологического процесса и снижение эффективности работы системы защиты гидропривода.

Анализ вариантов (рис. 1—4) запорных устройств системы защиты гидропривода от несанкционированного выброса в атмосферу рабочей жидкости при разрушении рукавов высокого давления показывает, что наиболее простым решением является конструкция запорного устройства системы защиты гидропривода, в упоре которого выполнен канал, сообщающий выходную полость запорного устройства с напорной гидролинией (рис. 7) [11]. При разрыве рукавов питания гидродвигателя 6 рабочая жидкость от насоса 2, минуя поврежденную гидролинию высокого давления гидродвигателя 6, через напорную гидролинию 3, полость *A*, проточку 14 и радиальные отверстия 15 плунжера 13 направляется в канал *Г* и далее через сливную гидролинию 4 в гидробак 1. Одновременно объем несжимаемой рабочей жидкости, заключенный между торцем упора 12 и плунжера 13 в конце его хода, из выходной полости *B* запорного устройства 7 через канал 23, выполненный в упоре 12, гидролинию 24 поступает в напорную гидролинию 3, расположенную между каналом *B* штуцера 10 и гидрораспределителем 5, при этом обеспечивается беспрепятственное перемещение плунжера запорного устройства на величину полного его хода $(h + t)$, устраняется колебательный процесс плунжера, и обеспечивается надежное перекрытие проходного сечения *h* канала *B* выходного штуцера 10.



122

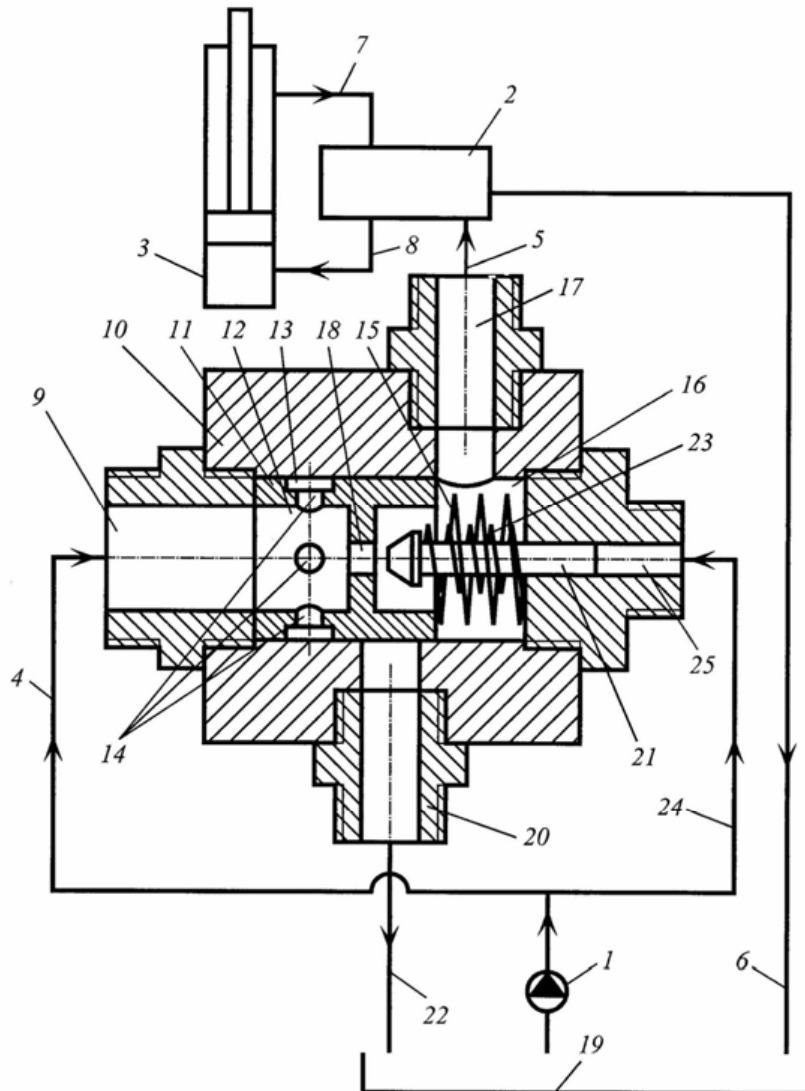


Рис. 2. Система защиты гидропривода: 1 — насос; 2 — гидрораспределитель; 3 — гидродвигатель; 4, 5, 7, 8, 24 — напорная гидролиния; 6, 22 — сливная гидролиния; 9, 12 — входная полость; 10 — запорное устройство; 11 — подпружиненный плунжер; 13 — проточка; 14 — радиальный канал; 15, 23 — пружина; 16, 17 — выходная полость; 18 — осевой канал; 19 — гидробак; 20 — сливной штуцер; 21 — упор; 25 — канал

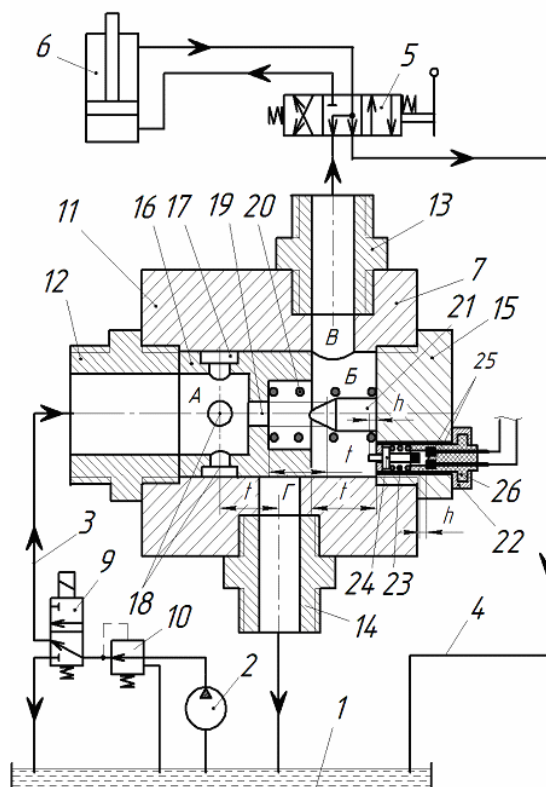


Рис. 3. Система защиты гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — сливная гидролиния; 5 — гидрораспределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — корпус; 9 — механизм отключения; 10 — редукционный клапан; 11 — запорное устройство; 12—14 — штуцер; 15 — упор; 16 — подпружиненный плунжер; 17 — проточка; 18 — радиальный канал; 19 — осевой канал; 20, 23 — пружина; 21 — конус упора; 22 — оболочка; 24 — шток; 25 — контакт; 26 — диэлектрик

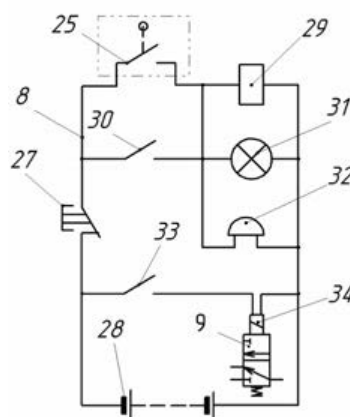


Рис. 4. Электрическая схема защиты гидропривода: 8 — цепь электрическая; 9 — механизм соленоида; 25, 30, 33 — контакт; 27 — выключатель; 28 — источник питания; 29 — реле; 31 — световой сигнал; 32 — звуковой сигнал; 34 — соленоид

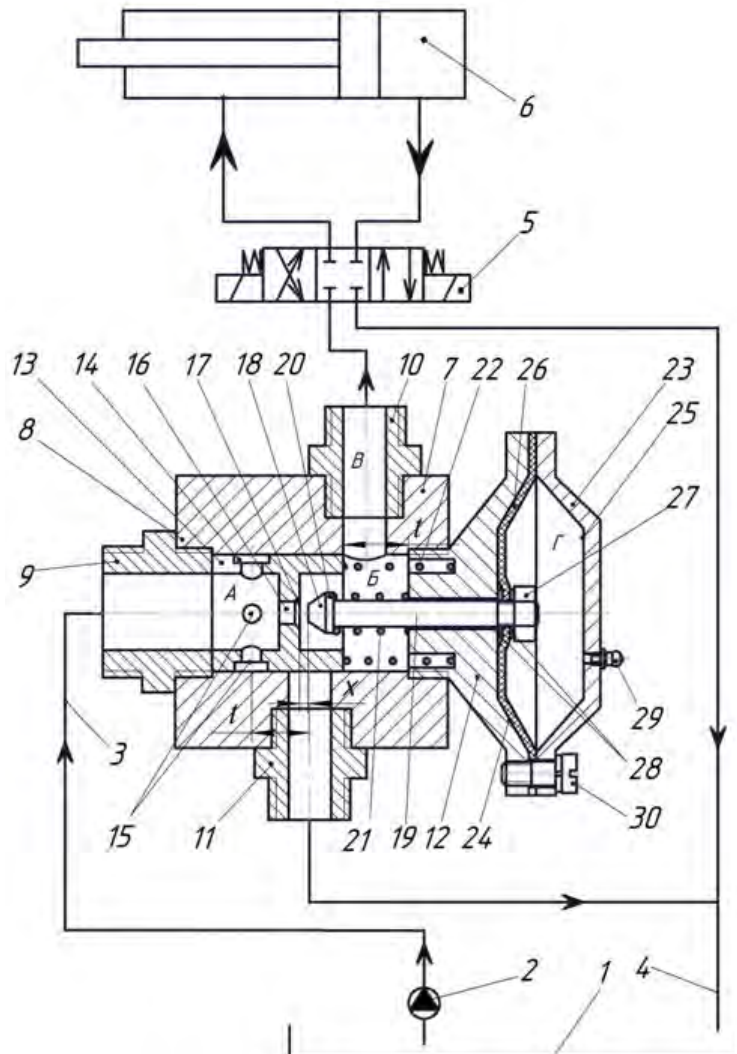


Рис. 5. Запорное устройство гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — подпружиненный плунжер; 14 — проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — канал плунжера; 17 — седло плунжера; 18 — клапан; 19 — конус клапана; 20 — упор клапана; 21, 22 — пружина; 23 — крышка; 24, 25 — полусфера; 26 — мембрана; 27 — резьбовое соединение; 28 — пластина; 29 — ниппель; 30 — крепление крышки

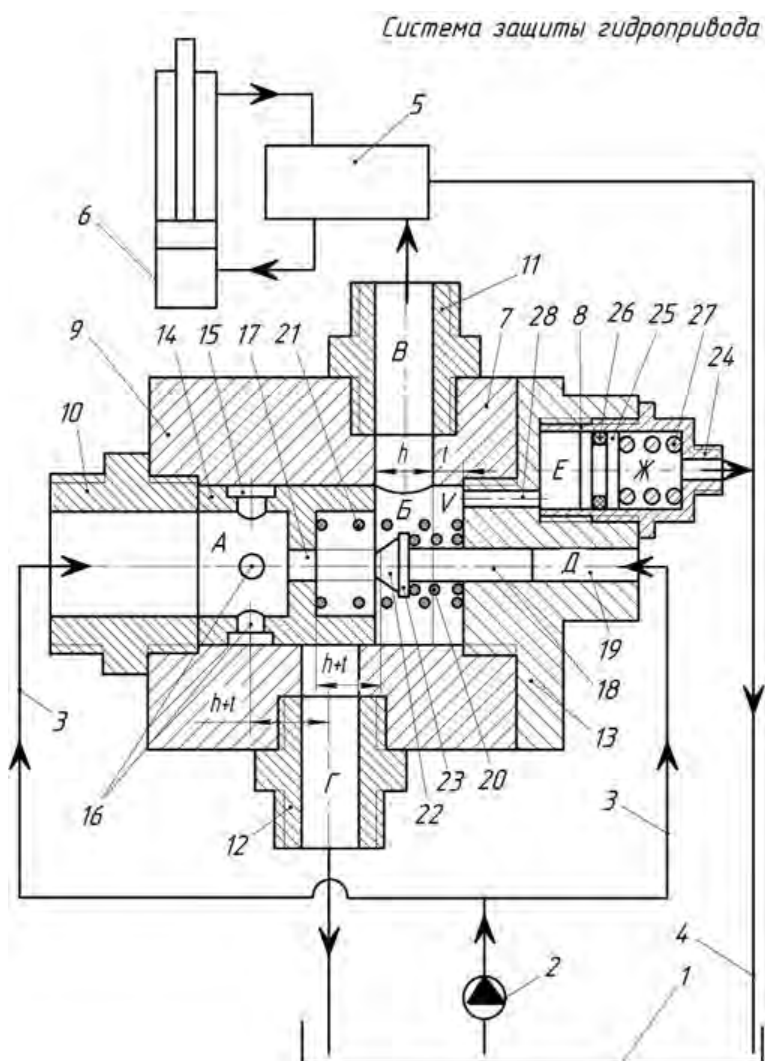


Рис. 6. Запорное устройство гидропривода. 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — разгрузочный клапан; 9 — корпус; 10 — выходной штуцер; 11 — выходной штуцер; 12 — сливной штуцер; 13 — упор; 14 — подпружиненный плунжер; 15 — проточка; 16 — радиальные отверстия; 17 — осевой канал; 18 — клапан; 19 — гидравлический подпор; 20, 21, 27 — пружина; 22 — конус клапана; 23 — буртик; 24 — штуцер; 25 — поршень; 26 — кольцо уплотнительное; 28 — канал

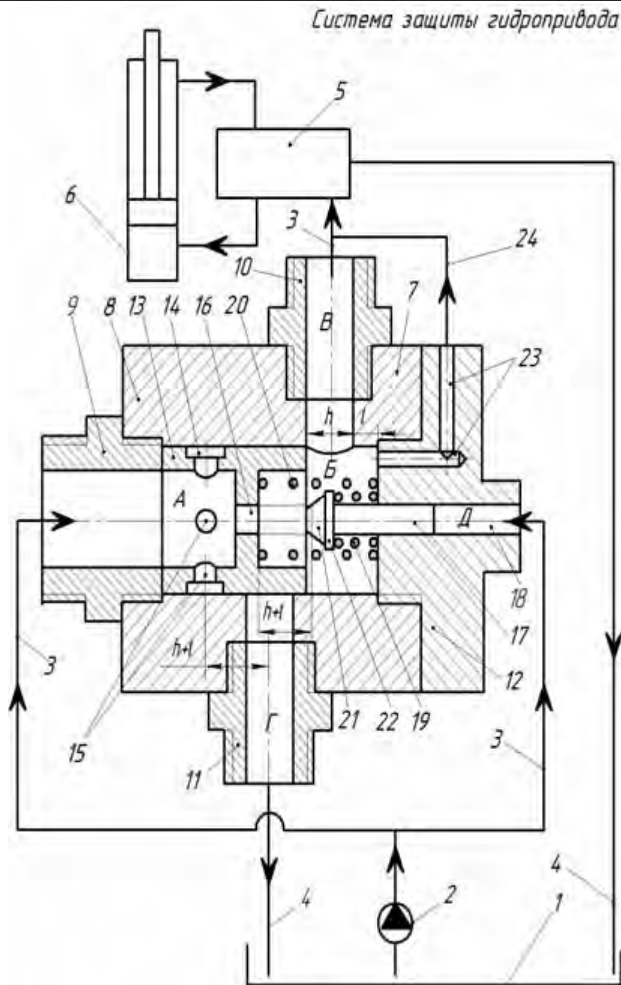


Рис. 7. Запорное устройство гидропривода: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — плунжер; 14 — проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — канал плунжера; 17 — шток клапана; 18 — гидравлический подпор; 19, 20 — пружина; 21 — конус клапана; 22 — буртик клапана; 23 — канал упора; 24 — сливная гидролиния

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменко В. Н. Разработка систем защиты гидроприводов механизмов навесных тяговых и специальных транспортных машин: дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2000. 166 р.
2. Фоменко Н. А. Совершенствование эксплуатационных свойств гидравлических систем машинно-тракторных агрегатов: дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2002. 166 с.
3. Сердобинцев Ю. П., Бурлаченко О. В., Схиртладзе А. А. Повышение качества функционирования технологического оборудования. Старый Оскол: ТНТ, 2010. 411 с.
4. Фоменко Н. А., Тырнов Ю. А. Исследование работоспособности рукавов гидросистемы машинно-тракторных агрегатов // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции — новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сб. науч. докл. XVII Международной науч.-практ. конф., 24—25 сент. 2013 г., г. Тамбов. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2013. С. 146—149.
5. Фоменко Н. А., Богданов В. И., Фоменко В. Н. Трубопровод высокого давления: пат. RU 2511926 C2 Рос. Федерация МПК F 15 B 20/00 (2006.01).

6. Система защиты гидропривода: пат. SU1813937A1F15B20/00 / Н. А. Фоменко, С. В. Дубинский, Г. И. Голобута, Г. П. Лышко.

7. Фоменко Н. А., Перельмитер В. И., Фоменко В. Н. Система защиты гидропривода: пат. RU 15763 U1 7 F 15 B 21/ 00.

8. Система защиты гидропривода: пат. RU 2556835 C1 Рос. Федерация МПК F 15 B 20/ 00 (2006.01) / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, С. В. Алексиков, В. Н. Фоменко, С. А. Богданов.

9. Система защиты гидропривода: заявка на изобретение № 2016121478 от 31.05.2016 C1 Рос. Федерация МПК F 15 B 20/ 00 (2006.01) / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко и др.

10. Система защиты гидропривода: пат. № 2583195 C1 Рос. Федерация МПК F 15 B 20/00 (2006.01) / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко и др.

11. Система защиты гидропривода: заявка на изобретение № 2016132939 от 09.08.2016 C1 Рос. Федерация МПК F 15 B 20/ 00 (2006.01) / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, О. В. Бурлаченко и др.

© Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фетисов Ю. М., 2017

*Поступила в редакцию
в марте 2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Способы повышения надежности запорного устройства защиты гидропривода строительных машин / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков, Ю. М. Фетисов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 119—129.

Об авторах:

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, доцент, проректор по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Фетисов Юрий Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

N. A. Fomenko, O. V. Burlachenko, S. V. Aleksikov., Yu. M. Fetisov

METHODS OF INCREASE OF SAFETY OF LOCKING DEVICE OF HYDRAULIC LINE OF BUILDING MACHINES

The essence of the technical solution lies in the fact that in the proposed construction of the locking device of the hydraulic drive protection system, a channel is arranged in the stop for transporting an incompressible volume of hydraulic fluid to the pressure hydrolysis line, that is, a «hydraulic cushion» between the stop and the plunger at the end of its stroke, which ensures a reliable shutoff by the plunger of the exit channel of the locking device, eliminates the oscillating process of the valve, increases the response speed and completely prevents unauthorized release into the atmosphere from the damaged hydraulic line of the working fluid.

Key words: hydraulic system, hydraulic drive, hydraulic drive protection system, locking device, high pressure hose, hydraulic line, incompressible volume of hydraulic fluid, «hydraulic cushion», plunger, valve, spool.

REFERENCES

1. Fomenko V. N. *Razrabotka sistem zashchity gidroprivodov mekhanizmov navesnykh tyagovykh i spetsial'nykh transportnykh mashin* [The development of the hydraulic gear protection systems of mechanisms of mounted traction and special transport machines. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Volgograd, 2000. 166 p.
2. Fomenko N. A. *Sovershenstvovanie ekspluatatsionnykh svoystv gidravlicheskikh sistem mashinno-traktornykh agregatov* [Improvement of operating properties of hydraulic systems of machine and tractor units. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Volgograd, 2002. 166 p.
3. Serdobintsev Yu. P., Burlachenko O. V., Skhirtladze A. G. *Povyshenie kachestva funktsionirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Quality improvement of processing equipment functioning]. Staryi Oskol, TNT Publ., 2010. 411 p.
4. Fomenko N. A., Tymov Yu. A. [Research of working capacity of hoses of hydraulic system of machine and tractor units]. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaistvennoi produktsii — novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rasteniyevodstva i zhivotnovodstva: sb. nauch. dokl. 17 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 24—25 sent. 2013 g., g. Tambov* [Increase in efficiency of use of resources when producing agricultural production — new technologies and equipment of new generation for plant growing and cattle breeding. Coll. of scientific reports of 17 Int. sci.-pract. conf., 24—25 Sept. 2013, Tambov]. Tambov, R. V. Pershin's Publishing House, 2013. Pp. 146—149.
5. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Fomenko V. N. *Truboprovod vysokogo davleniya* [High pressure pipeline. Pat. RU 2511926 C2 Russian Federation MPK F 15 B 20/00 (2006.01)].
6. Fomenko N. A., Dubinskii S. V., Golobuta G. I., Lyshko G. P. *Sistema zashchity gidroprivoda: nam. SU1813937A1F15B20/00* [System of Hydraulic Control Protection. Pat. RF, no. SU1813937A1F15B20/00].
7. Fomenko N. A., Perel'miter V. I., Fomenko V. N. *Sistema zashchity gidroprivoda: pat. RU 15763 U1 7 F 15 B 21/ 00* [Hydraulic gear protection system. Pat. RU 15763 U1 7 F 15 B 21/00].
8. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Aleksikov S. V., Fomenko V. N., Bogdanov S. A. *Sistema zashchity gidroprivoda: Pat. RU 2556835 S1 Ros. Federatsiya MPK F 15 B 20/ 00 (2006.01)* [System of protection of a hydraulic gear. Pat. RU 2556835 C1; Russian Federation].
9. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V. et al. *Sistema zashchity gidroprivoda: zayavka na izobretenie № 2016121478 ot 31.05.2016 S1 Ros. Federatsiya MPK F 15 B 20/ 00 (2006.01)* [Hydraulic gear protection system: application for an invention no. 2016121478 dated 31 May, 2016 C1 Russian Federation MPK F 15 B 20/00 (2006.01)].
10. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V. et al. *Sistema zashchity gidroprivoda: pat. № 2583195 S1 Ros. Federatsiya MPK F 15 B 20/ 00 (2006.01)* [Hydraulic gear protection system. Pat. Russian Federation no. 2583195 S1 MPK F 15 B 20/00 (2006.01)].
11. Fomenko N. A., Bogdanov V. I., Burlachenko O. V. et al. *Sistema zashchity gidroprivoda: zayavka na izobretenie № 2016132939 ot 09.08.2016 S1 Ros. Federatsiya MPK F 15 B 20/ 00 (2006.01)* [Hydraulic gear protection system. Application for an invention no. 2016132939 from 09.08.2016 S1 Russian Federation MPK F 15 B 20/00 (2006.01)].

For citation:

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Aleksikov S. V., Fetisov Yu. M. [Methods of increase of safety of locking device of hydraulic line of building machines]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 119—129.

About authors:

Fomenko Nikolai Aleksandrovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Burlachenko Oleg Vasil'evich — Doctor of Engineering Science, Docent, Vice-Rector for Scientific Work, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Aleksikov Sergei Vasil'evich — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AL34rus@mail.ru

Fetisov Yurii Mikhailovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

УДК 625.862

А. И. Лескин, Д. И. Гофман, М. В. Катасонов

Волгоградский государственный технический университет

УЛУЧШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОМАРОЧНОГО И МАЛОПРОЧНОГО ЩЕБНЯ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИМ КОМПОЗИТНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Разработан способ повышения прочностных характеристик низкомарочного и малопрочного известнякового щебня путем обработки его поверхности гидрофобизирующим составом на основе органического композитного материала (ОКМ). Представлены результаты экспериментальных исследований, установлены оптимальная концентрация ОКМ и минимальное время обработки материала.

К л ю ч е в ы е с л о в а: щебень, прочность, морозостойкость, пропитка.

Применение в дорожном строительстве местного низкомарочного и малопрочного известнякового щебня обусловлено острой нехваткой каменных материалов, отвечающих требованиям действующих нормативных документов. Трудоемкость и дальность транспортировки ввозимого из соседних регионов щебня увеличивает первоначальную стоимость в несколько раз, что приводит к удорожанию производимых дорожных работ [1].

На многочисленных каменных месторождениях Волгоградской области скопилось немалое количество отходов дробления (отсевов), которые занимают колоссальные площади и не используются в дорожном строительстве. На карьерах Фроловского месторождения общий объем накопившихся отсеков и разрабатываемого каменного материала составляет более 1,510 млн м³ породы. Всего в регионе находится 107 каменных месторождений, расположенных в центральной, западной и северо-западной частях с общим объемом разведанных запасов известняков 729 230,5 тыс. м³, песчаников — 322 150 тыс. м³.

Наиболее представлен щебень марки М400-М600 (57,39 %) и марки М200-М400 (42,32 %). Запасы щебня М600-800 и М800-1000 незначительны, составляют соответственно 0,22 % и 0,07 %. Малопрочные осадочные каменные материалы характеризуются неоднородной структурой большой водонасыщаемостью и соответственно низкой морозостойкостью. Низкомарочный известняковый щебень с маркой по дробимости М300 может применяться в нижних слоях покрытия автомобильных дорог IV—V категорий [2].

Анализ проведенных исследований [3—5] показывает, что одним из наиболее результативных направлений увеличения качественных характеристик малопрочного известнякового щебня является его предварительная гидрофобизация, в результате которой возможно значительно повысить прочность пористого каменного материала и, как следствие, увеличить его устойчивость от разрушения.

Объемную гидрофобизацию [6—8] пористого каменного материала проводят путем предварительной пропитки битумом с поверхностно-активными веществами (ПАВ), маслами, раствором силиката натрия, расплавом жидкой серы и различными органическими и неорганическими составами.

Для обработки пористого щебня используются анионноактивные вещества, роль которых состоит в смягчении смачивания битумом внешней и внутренней поверхности зерен щебня, а также в образовании хемоадсорбционных связей на линии разделения фаз. Эффективность гидрофобизации увеличивается присутствием битумной пленки на поверхности минеральных зерен. Битумная пленка является барьером, ограждающим щебенку от попадания влаги. В период эксплуатации, при дроблении щебня вновь образующиеся поверхности щебня оказываются защищенными от проникновения внутрь влаги. Как показывают практические исследования [9—12], износ пропитанного известнякового щебня в полочном барабане снижается в 2—2,5 раза по сравнению с исходным щебнем.

Предлагаемый авторами способ повышения прочностных характеристик низкомарочного и малопрочного известнякового щебня основан на гидрофобизации материала пропиткой водным раствором на основе составленного органического композитного материала (ОКМ). Пропитку щебня осуществляют в естественных условиях, при которых ОКМ проникает в поры известнякового щебня, где в процессе естественной (или принудительной) сушки пропитанного материала адсорбируется гидрофобный, хорошо удерживаемый слой, обеспечивающий повышение основных прочностных характеристик (прочность, истираемость, водопоглощение, морозостойкость).

Проведенная серия экспериментов, согласно составленной матрице планирования, позволила определить оптимальную концентрацию ОКМ, температуру раствора и минимальное время объемной пропитки с целью получения максимальной прочности обрабатываемого щебня. В качестве исходного компонента был использован известняковый щебень фракции 20-40 (Арчединского, Липкинского и Зимовского карьеров Волгоградской области) с маркой по дробимости М400, с маркой по истираемости И-3 (И-2), водопоглощением 4,2 % и маркой по морозостойкости F50. Пропитка щебня в водном растворе ОКМ осуществлялась при температуре 50...60 °С с выдержкой материала в гидрофобизирующем растворе в течение 4 часов и с последующей сушкой до постоянной массы.

Анализ полученных экспериментальных данных (рис. 1, 2) показывает, что с увеличением концентрации водного раствора ОКМ до 300 г/л происходит быстрое повышение марки по дробимости известнякового щебня в сухом и водонасыщенном состоянии с марки М400 до марки М1000, с дальнейшей стабилизацией прочности при увеличении концентрации раствора.

Аналогичная ситуация наблюдается и при определении марки щебня по истираемости (рис. 3). Данный эффект проявляется как результат различных физических процессов, протекающих в твердеющей системе за счет химических процессов на границе раздела фаз «известняковый щебень — поровая структура, заполненная ОКМ». Гидрофобизирующие свойства обработанного малопрочного материала проявляются в формировании плотной и однородной структуры, созданной ОКМ на поверхности зерен щебня. Уменьшается количество и размеры микропор, в результате возникает контакт, имеющий обратный угол, при котором силы поверхностного натяжения выталкивают воду из пор.

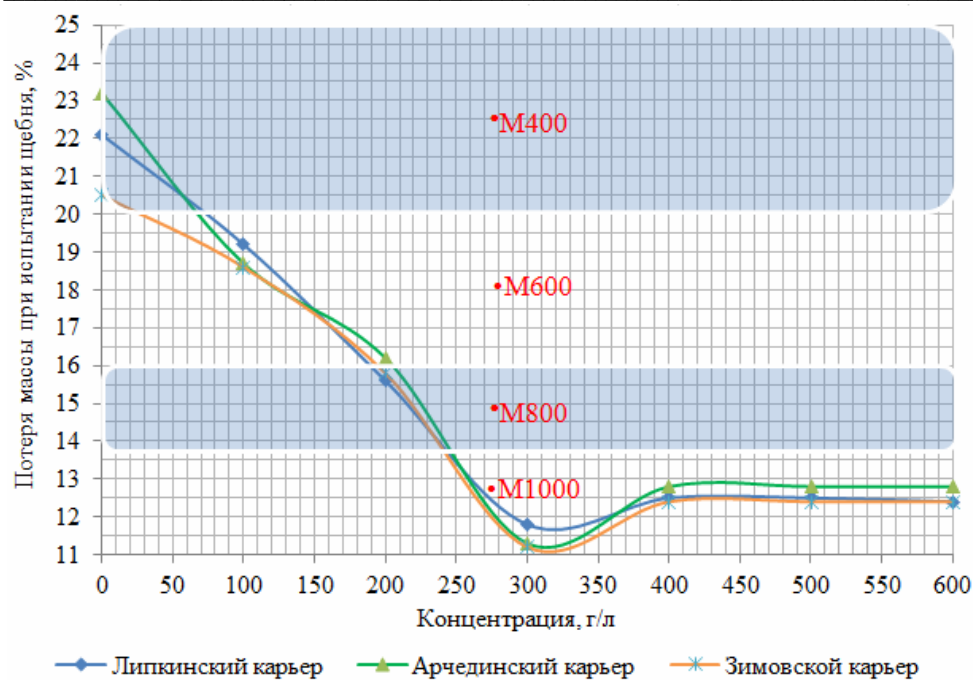


Рис. 1. Влияние концентрации раствора ОКМ на дробимость известнякового щебня в сухом состоянии, после гидрофобизации в течение 4 часов

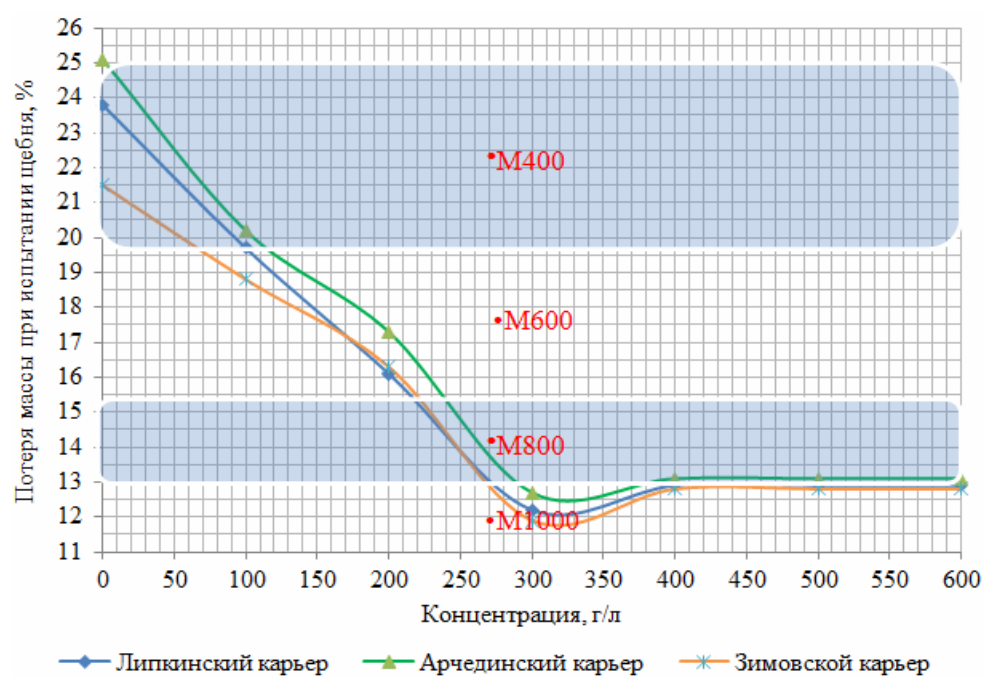


Рис. 2. Влияние концентрации раствора ОКМ на дробимость известнякового щебня в насыщенном состоянии, после гидрофобизации в течение 4 часов

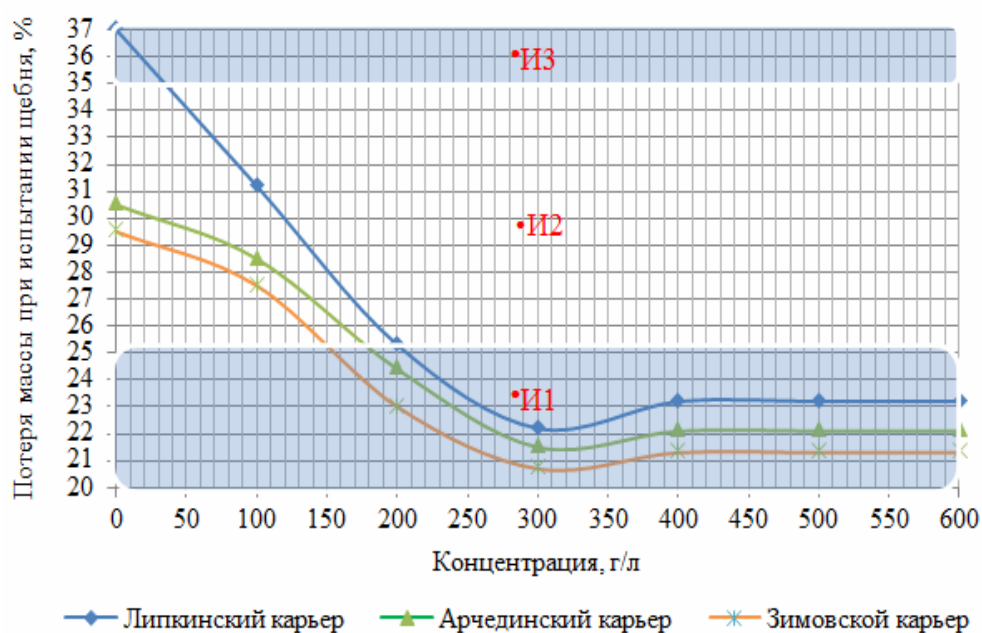


Рис. 3. Влияние концентрации раствора ОКМ на истираемость известнякового щебня, после гидрофобизации в течение 4 часов

В табл. 1—3 приведены физико-механические свойства исходного и пропитанного образцов щебня рассмотренных месторождений, оцененные в рамках методики ГОСТ 8269.0-97.

Т а б л и ц а 1

*Физико-механические свойства исходного и пропитанных образцов щебня
(Липкинский карьер)*

№ п/п	Показатели	Исходный	Концентрация ОКМ, (г/л)	
			300	400
1	Марка щебня по дробимости	400	1000	1000
2	Марка щебня по истираемости	И-3	И-1	И-1
3	Марка щебня по морозостойкости	F50	F150	F200
4	Водопоглощение щебня, %	4,2	1,3	0,78

Т а б л и ц а 2

*Физико-механические свойства исходного и пропитанных образцов щебня
(Арчединский карьер)*

№ п/п	Показатели	Исходный	Концентрация ОКМ, (г/л)	
			300	400
1	Марка щебня по дробимости	400	1000	1000
2	Марка щебня по истираемости	И-2	И-1	И-1
3	Марка щебня по морозостойкости	F50	F150	F150
4	Водопоглощение щебня, %	5,7	1,8	1,3

Таблица 3

*Физико-механические свойства исходного и пропитанных образцов щебня
(Фроловский карьер)*

№ п/п	Показатели	Исходный	Концентрация ОКМ, (г/л)	
			300	400
1	Марка щебня по дробимости	400	1000	1000
2	Марка щебня по истираемости	И-2	И-1	И-1
3	Марка щебня по морозостойкости	F50	F200	F250
4	Водопоглощение щебня, %	4,7	1,5	0,9

Для трехмерной визуализации зерен известнякового щебня, обработанных водным раствором ОКМ с концентрацией 300 и 400 г/л в течение 4 часов, была использована универсальная двулучевая система Versa 3D, позволяющая получать четкие электронные изображения исследуемых образцов (рис. 4).

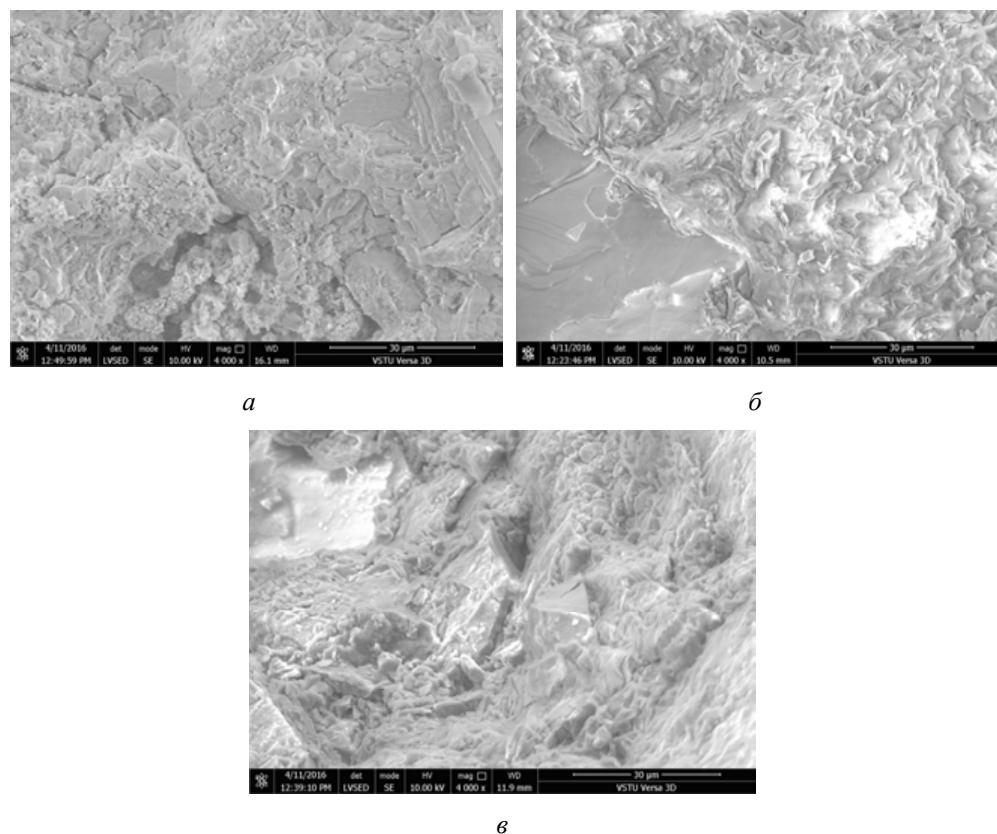


Рис. 4. Микроскопическое трехмерное изображение контрольных образцов зерен известнякового щебня: *а* — необработанного; *б* — обработанного 300 г/л водным раствором ОКМ; *в* — обработанного 400 г/л водным раствором ОКМ

При анализе трехмерного изображения установлено, что структура зерен известнякового щебня, пропитанного водным раствором ОКМ, отличается от контрольного необработанного образца (М400) наличием в трещинах и порах

дополнительного количества новообразований, в виде плотных скоплений, сцементированных между собой обломков породы, длиной от 0,5 до 10 мкм, шириной от 0,3 до 1,0 мкм, с закристаллизованным поровым пространством.

По характеру проникновения ОКМ в образцы щебня видно, что обработке в большей степени подвергнуты крупнозернистые участки породы с примесью пылеватого вещества, при этом задействованы зоны развитой пористости и ослабленные участки породы. Достигнута равномерная по всему объему пропитка образцов щебня. Оптические снимки с металлографического микроскопа «OLYMPUS BX-61» поверхности зерен материала подтверждают данное предположение (рис. 5).

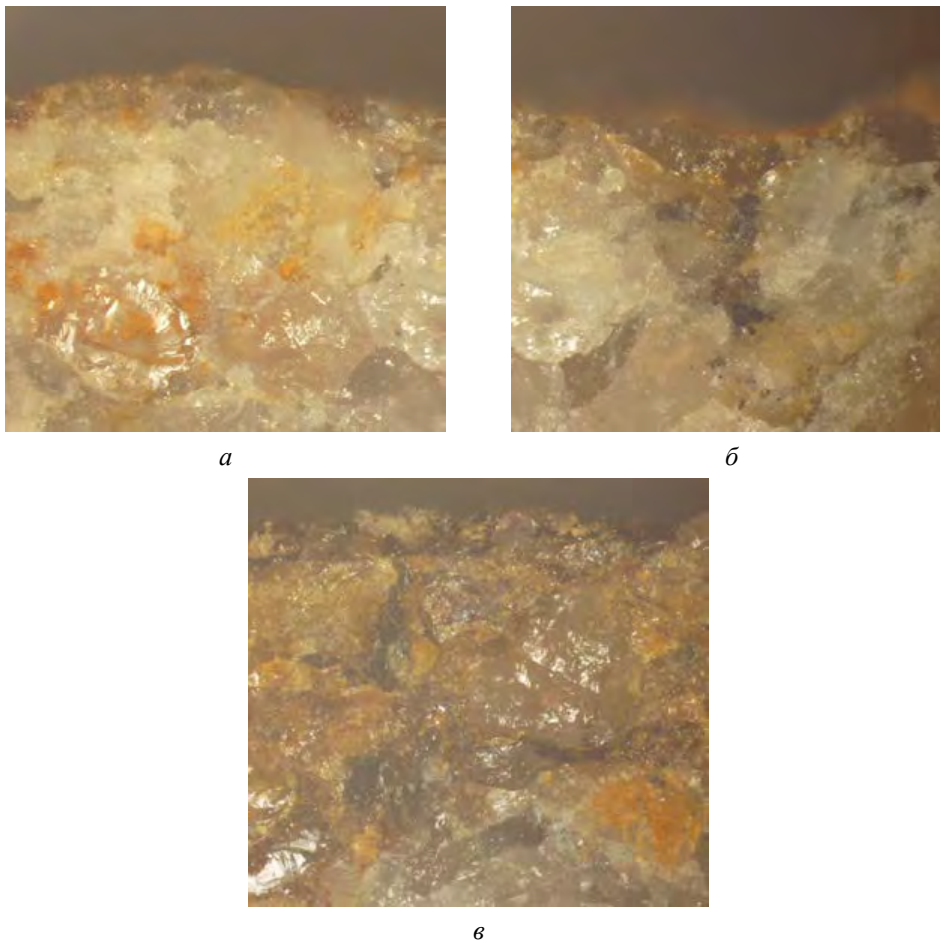


Рис. 5. Глубина проникновения ОКМ в поры контрольных образцов зерен известнякового щебня: *а* — обработанного 200 г/л; *б* — обработанного 300 г/л; *в* — обработанного 400 г/л

По результатам статистической обработки полученных экспериментальных данных была получена проекция отклика (рис. 6) и выведено уравнение регрессии в кодированных значениях для определения марки по дробимости щебня в сухом состоянии:

$$D(x_1, x_2) = 13,083 - 3,54x_1 - 2,922x_2 + 4,720x_1^2 + 2,931x_2^2 - 1,387x_1x_2. \quad (1)$$

Уравнение признано адекватным по критерию Фишера, поскольку расчетное значение не превышает табличного, установленного для заданного уровня значимости. Интерпретация полученного уравнения регрессии для отклика дробимости малопрочного известнякового щебня, в зависимости от влияния каждого закодированного фактора, позволяет сделать вывод о степени влияния его на конечный отклик. Из уравнения видно, что увеличение концентрации раствора ОКМ (фактор x_1) и увеличение времени пропитки (фактор x_2) способствуют снижению дробимости зерен известнякового щебня, что, в свою очередь, приводит к повышению его прочности. При дальнейшей совместной работе факторов x_1, x_2 происходит полное насыщение пор и обволакивание материала гидрофобизирующим раствором, повышается стойкость щебня к воздействию воды, и, как следствие, незначительное повышение дробимости.

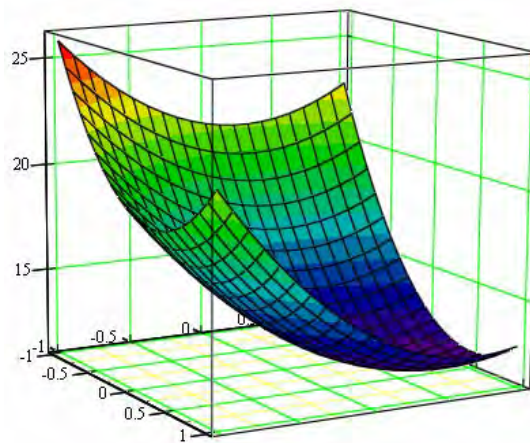


Рис. 6. Проекция поверхности отклика дробимости известнякового щебня М400 фракции 20...40 мм в трехмерном пространстве

Для установления совместного влияния концентрации раствора ОКМ (C , г/л) и времени обработки (t , ч) известнякового щебня на дробимость его зерен, по результатам уравнения (1) была построена зависимость, представленная на рис. 7, которая подтверждает сформулированные выше утверждения.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Предлагаемый авторами способ обработки низкопрочного и малопрочного известнякового щебня, основанный на гидрофобизации материала пропиткой водным раствором ОКМ, позволяет обеспечить повышение основных прочностных характеристик.

2. При обработке поверхности щебня раствором ОКМ с концентрацией 300 и 400 г/л марка прочности щебня повышается с М400 до М1000, водопоглощение уменьшается с 5,7 до 0,78 %, повышается показатель марки щебня по морозостойкости и истираемости.

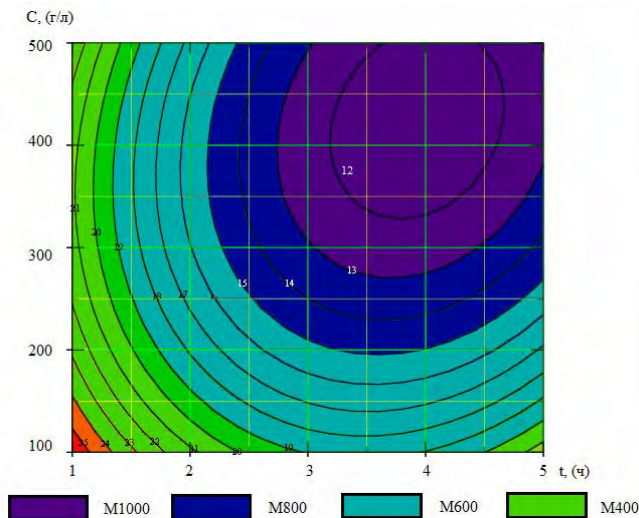


Рис. 7. Изолинии для определения дробимости известнякового щебня

3. Укрепленный низкомарочный и малопрочный каменный материал может выступать в качестве самостоятельного материала рабочего слоя дорожной конструкции, а также в качестве компонента асфальтобетонных и цементобетонных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексиков С. В., Фирайнер М. Г. Вероятностный подход к обоснованию зон влияния каменных карьеров // Вестник Красноярского государственного технического университета. Сер.: Транспорт. Красноярск, 2005. 450 с.
2. Резванцев В. И., Бухтояров А. В. Дорожные одежды из местных материалов: оптимизация проектирования. Воронеж, 2003. 120 с.
3. Дагаев Б. И. Использование малопрочных известняков на строительстве внутрихозяйственных дорог // Автомобильные дороги. 1985. № 9. С. 18.
4. Дагаев Б. И. Основания дорожных одежд из малопрочных известняков. М.: Транспорт, 1988. 89 с.
5. Макаренко В. Н. Использование слабых известняков, обработанных вяжущими, в конструкциях дорожных одежд // Доклады на Всесоюзной межвузовской конференции. Ростов н/Д: РИСИ, 1966. С. 21—22.
6. Макаренко В. Н. Местные дорожно-строительные материалы центрально-черноземных областей. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1972. 180 с.
7. Малеванный В. В. Дорожные основания и покрытия из малопрочных известняков. М.: Транспорт, 1973. 110 с.
8. Sztukiewicz R. J. Appliation of ultrasonic methods in asphalt concrete testing // Ultrasonics. 1991. Vol. 29. № 1. Pp. 5—12.
9. Chehovits J. G., Anderson O. A. Upgrading of marginal aggregates of imroved water resistance of asphalt concret // Transp. Res. Rec. 1988. № 762. Pp. 46—52.
10. Gnosman M. Mineralbeton — eine Möglichkeit zur Material einspanung im Strassenbau. Probleme der Herstellung beim Zuschlägstef — fprodurente // BaustoffIndustrie. 1985. Vol. 28. № 1.
11. Bordes P., Valéry L. La grave-emulsion et l'entretien localize // Rev. gen. routes et aerodr. 1997. № 748. Pp. 29—32.
12. Веренько В. А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / под ред. И. И. Леоновича. Минск: Наука и техника, 1998. 246 с.

© Лескин А. И., Гофман Д. И., Катасонов М. В., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Лескин А. И., Гофман Д. И., Катасонов М. В. Улучшение прочностных характеристик низкомарочного и малопрочного щебня путем обработки органическим композитным материалом // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 130—139.

Об авторах:

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович — старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, dima.0103@mail.ru

Катасонов Максим Викторович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, max.inga@rambler.ru

A. I. Leskin, D. I. Gofman, M. V. Katasonov

THE IMPROVEMENT OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF LOW-GRADE AND LOW-STRONG CRUSHED STONE PROCESSED BY ORGANIC COMPOSITE MATERIAL

The mode of increase in strength characteristics of low-grade and low-strong calcareous crushed stone by processing of its surface using hydrophobized structure on the basis of the organic composite material (OCM) is developed. The results of the pilot studies are presented, optimum concentration of OCM and the minimum time of processing of material are defined.

Key words: crushed stone, strength, frost resistance, grouting.

REFERENCES

1. Aleksikov S. V., Firainer M. G. [Probabilistic approach to the justification of zones of influence of stone pits]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Transport* [Bulletin of Krasnoyarsk State Technical University. Series: Transport]. Krasnoyarsk, 2005. 450 p.
2. Rezvantsev V. I., Bukhtoyarov A. V. *Dorozhnye odezhd iz mestnykh materialov: optimizatsiya proektirovaniya* [Road surface made of local materials: design optimization]. Voronezh, 2003. 120 p.
3. Dagaev B. I. [Use of soft limestone for the construction of intra organizational roads]. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1985, no. 9, p. 18.
4. Dagaev B. I. *Osnovaniya dorozhnykh odezhd iz maloprochnykh izvestnyakov* [Bases of road surface made of soft limestone]. Moscow, Transport Publ., 1988. 89 p.
5. Makarenkov V. N. [Use of soft limestone processed with binders for road surface structures]. *Doklady na Vsesoyuznoi mezhvuzovskoi konferentsii* [Reports at the All-Union Interuniversity Conference]. Rostov-on-Don, RISS, 1966. Pp. 21—22.
6. Makarenkov V. N. *Mestnye dorozhno-stroitel'nye materialy tsentral'no-chernozemnykh oblastei* [Local road-building materials of Central Black Earth Region]. Voronezh, Publishing House of Voronezh State University, 1972. 180 p.
7. Malevannyi V. V. *Dorozhnye osnovaniya i pokrytiya iz maloprochnykh izvestnyakov* [Road bases and surface made of soft limestone]. Moscow, Transport Publ., 1973. 110 p.
8. Sztukiewicz R. J. Application of ultrasonic methods in asphalt concrete testing. *Ultrasonics*, 1991, 29(1), pp. 5—12.
9. Chehovits J. G., Anderson O. A. Upgrading of marginal aggregates of improved water resistance of asphalt concret. *Transp. Res. Rec.*, 1988, no. 762, pp. 46—52.

10. Gnosman M. Mineralbeton — eine Möglichkeit zur Material einspannung im Strassenbau. Probleme der Herstellung beim Zuschlagstef — fprodurente. *BaustoffIndustrie*, 1985, vol. 28, no. 1.
11. Bordes P., Valéry L. La grave-emulsion et l'entretien localize. *Rev. gen. routes et aerodr.*, 1997, no. 748, pp. 29—32.
12. Veren'ko V. A. *Dorozhnye kompozitnye materialy. Struktura i mekhanicheskie svoistva* [Road composite materials. Structure and mechanical properties]. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 1998. 246 p.

For citation:

Leskin A. I., Gofman D. I., Katasonov M. V. [The improvement of strength characteristics of low-grade and low-strong crushed stone processed by organic composite material]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 130—139.

About authors:

Leskin Andrei Ivanovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, leskien@inbox.ru

Gofman Dmitrii Ivanovich — Senior Lecturer of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, dima.0103@mail.ru

Katasonov Maksim Viktorovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, max.inga@rambler.ru

УДК 624.21:620.22-419.8

А. В. Макаров, С. В. Кульбин

Волгоградский государственный технический университет

НОВЫЙ СПОСОБ УСИЛЕНИЯ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматривается современный способ усиления железобетонных мостовых пролетных строений конструкциями из композитных материалов. Приведены сравнительные таблицы материалов, используемых для усиления мостовых пролетов. Дается анализ экспериментальным исследованиям, проведенным в этом направлении. Рассматриваются способы закрепления углеродных ламелей, а также предлагается новый метод закрепления углеродной ламели анкером. Описаны принцип действия предложенного анкера, работающего по принципу шпренгельной затяжки, и технология выполнения работ по усилению мостовой балки. Приведены конструктивные чертежи и рисунки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: углеродная ламель, композитные материалы, анкер, усиление, пролетное строение, адгезив.

Современное производство все больше и больше использует появляющиеся новые технологии, находя им широкое применение в различных областях экономики. Одной из таких технологий является создание углеродного волокна. Уникальные свойства позволяют использовать его для производства различных транспортных средств, в авиастроении и космической техники, а также в строительстве.

Углеродное волокно — материал, состоящий из тонких нитей диаметром от 3 до 15 микрон, образованных преимущественно атомами углерода. Атомы углерода объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу. Выравнивание кристаллов придает волокну большую прочность на растяжение. Углеродные волокна характеризуются высокой силой натяжения, низким удельным весом, низким коэффициентом температурного расширения и химической инертностью. Углеродное волокно является основой для производства углепластиков (или карбона). Углепластики — полимерные композиционные материалы из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в матрице из полимерных смол. Кроме углепластиков, созданы высокопрочные волокна из стекла, базальта, полиамида и других материалов, объединенных общим названием композиты. Композитные материалы отличаются высокой прочностью, жесткостью и малой массой, что позволяет им конкурировать со сталью. В табл. 1 представлено сравнение стали и композиционных материалов по ряду показателей [1].

Для получения однородного композитного материала армирующие волокна переплетают, образуя специальную сетку. Создавая армирующую сетку нити, всегда переплетают под заданным углом, при создании следующего слоя угол меняют. Технология получения непосредственно самих нитей довольно сложна, можно получить органические волокна углепластика, используя автоклав высокого давления методом химической осадкой углерода или выращивать кристаллы нити углепластика в световой дуге.

Т а б л и ц а 1

Характеристики	Армирующий материал			
	Сталь	Стекло-пластик	Углеродное волокно	Арамидное волокно
Плотность	7,9	1,2...2,1	1,5...1,6	1,2-1,5
Коэф. температурного расширения, продольное удлинение (Δl), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	11,7	6...10	-1...0	-6...-2
Коэф. температурного расширения, поперечное удлинение (Δb), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	11,7	19...23	22...50	60...80
Модуль упругости, ГПа	210	230	245	245

По данным Росстата, на конец 2014 года в России было 42 тыс. мостов и путепроводов на автомобильных дорогах общей протяженностью до 2,1 млн погонных метров. Из них более чем 500 мостов находятся в аварийном состоянии, только с 2013 года их число выросло почти на сотню. Еще большее количество мостов требует капитального ремонта с усилением пролетных строений. Имеется много мостовых сооружений в хорошем техническом состоянии, но не отвечающим изменившимся нормативным требованиям. Для приведения их в соответствие требованиям по безопасности и грузоподъемности следует выполнять мероприятия по усилению, причем без остановки движения. Наряду с известными способами усиления в последнее десятилетие используются композиционные материалы.

Для этих целей можно применять ленты различной ширины. Однако для усиления пролетных строений мостов такие ленты неудобны и лучше использовать ламели, изготовленные из лент. Ламели уже толще и жестче лент и практичнее в использовании. В табл. 2 представлены сравнительные характеристики ламели и волокон.

Т а б л и ц а 2

Характеристики	Материал		
	Волокно	Ламель	Стекловолокно
Содержание углеродных волокон, %	90	60...70	—
Количество монослоев, шт.	1	3...12	4...12
Прочность на растяжение, МПа	3600	1300-2800	1500...2000
Модуль упругости, ГПа	245	165...300	55...230
Толщина, мм	0,128	1,2...1,4	0,38...0,53
Ширина, мм	300	50...150	300

Усиление композитами относится к внешнему армированию конструкций, способ и процесс усиления значительно проще, чем у традиционного способа, что позволяет не останавливать движение по мосту и уменьшает время на проведение ремонта. Недостатком нового вида усиления является его стоимость — оно дороже, чем обычное усиление, но это только на первый взгляд. Во-первых, не стоит забывать, что долговечность и прочность материала увеличивает срок эксплуатации, а следовательно, потенциально уменьшается количество последующих ремонтных работ и затрат на них. Во-вторых, дороже

сам композитный материал, а технология устройства усиления проще. Незначительная разница в стоимости металлического и композиционного усиления впоследствии может сэкономить значительные средства [2].

Усиление конструкций композитом заключается в наклеивании на поверхность конструкции высокопрочного углеволокна, воспринимающего на себя часть усилий от временной нагрузки, тем самым повышая несущую способность усиленного элемента. Анализ экспериментальных исследований, проведенных за рубежом и в РФ, показывает, что в большинстве случаев испытаниям подвергались балки, усиленные на действие изгибающего момента. В связи с этим выяснялась схема разрушения балок, усиленных углепластиковыми композиционными материалами, на действие поперечной силы, а также уточнялась методика их расчета по предельным состояниям.

Существует несколько рекомендаций по выполнению и расчету по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. Сначала появилось «Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами», разработанное ООО «ИнтерАква» и НИИЖБ в 2006 году. Затем было выпущено СТО 13613997-001-2011. Стандарт организации. «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами», которое в основном копирует положения, изложенные в предыдущем руководстве. Наконец, введен в действие свод правил СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования», разработанный авторским коллективом НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. Все эти документы позволяют регламентировать работы по проектированию и устройству усиления композитами [3].

Для демонстрации эффективности усиления железобетонных конструкций углепластиком был проведен эксперимент, изложенный в СТО 13613997-001-2011. Эксперимент проводился на балке прямоугольного сечения высотой 24 см и шириной 15 см при общей длине 180 см (расчетный пролет — 150 см). Балка была усилена углепластиком в зоне нижней грани (наклейка двух углепластиковых полос-ламель MBrace Lam CF 165/3000 шириной по 50 мм и толщиной 1,4 мм), в опорных зонах — хомутами из холстового углепластика MBrace Fib CF 300/4900 шириной по 300 мм.

Такой эксперимент характеризует работу композитного усиления лишь в рамках лабораторного опыта, и его результаты не могут быть распространены на реальные мостовые сооружения.

Во-первых, не были проведены опыты на реальных мостовых балках, что не позволяет в полной мере верифицировать результаты.

Во-вторых, не корректная постановка эксперимента при оклеивании приопорных зон испытываемых балок (так невозможно усилить реальную мостовую балку).

В-третьих, обматывание приопорных зон балок делалось для фиксации продольных ламелей, а не для восприятия поперечной силы (наклеенные по ширине балки холсты не воспринимают поперечную силу).

В-четвертых, использование композита не по назначению ведет к перерасходу дорогого материала и адгезива.

Таким образом, проведенные испытания наглядным образом не показывают работу внешнего армирования неметаллическими материалами. Требуются более точные испытания на действующем объекте с усилением, соот-

ветствующим действительной работе сооружения, и с новыми видами закрепления углеродных ламелей.

Благодаря высоким прочностным характеристикам углеволокна, повысить несущую способность конструкции можно практически без потери полезного объема и увеличения собственного веса конструкций (толщина усиливающих элементов обычно составляет от 1 до 5 мм). Усиление балок выполняется путем наклейки углеволокна в наиболее напряженные зоны: для восприятия повышенного изгибающего момента — обычно в центре пролета по нижней грани конструкции. Оклеивать углеводородными лентами боковые поверхности ребер балок не следует. Это неэффективное использование материала. Для решения таких задач подходят все виды углеродных материалов — ленты, ламели и сетки. Для повышения несущей способности мостовой балки на действие поперечных сил требуется выполнить усиление опорных зон. Для этого выполняется наклейка U-образных хомутов из углеродных лент, или сеток. Располагаться такие усиления должны в зонах действия повышенных поперечных сил в опорных зонах, а не равномерно по длине балки. Углеродные ленты и ламели в основном применяются в совокупности, так как их способ монтажа и адгезивные составы схожи.¹

Применение углеродных сеток, как правило, исключает использование лент и ламелей в связи с производством «мокрых» видов работ. Качество подготовленного основания (поверхности, на которую приклеивают углеволокно) напрямую влияет на совместность работы конструкции с элементом усиления. Монтаж углеродных лент может осуществляться по «мокрому», или «сухому» методу. В обоих случаях на основание наносится слой адгезива, но при «мокром» методе углеродная лента сначала пропитывается адгезивом, а потом прикатывается валиком к основанию, а при «сухом» — лента прикатывается к основанию, а потом сверху ее пропитывают слоем адгезива. Углеродные ленты могут укладываться в несколько слоев, но при наклейке на потолочную поверхность не рекомендуется за одну смену выполнять более двух слоев — материал начинает «сползать» под собственным весом [4].

Недостатками обоих видов монтажа углеродных лент являются:

- 1) возможность отслоения лент усиления и трудности с диагностикой;
- 2) невозможность восприятия постоянной нагрузки, действующей на конструкцию;
- 3) при монтаже усиления без остановки движения по мосту незатвердевший адгезив позволит ленте немного сместиться под действием временной нагрузки и в дальнейшем не работать на часть такого нагружения.

Новым методом закрепления углеродных ламелей, позволяющим избежать негативных сторон приклеивания, является их анкеровка. Ранее уже применялась анкеровка лент «венчиком». Техника армирования и область применения изложена в [4].

Распределение венчика анкера. Свободные нити пряжи следует распределить венчиком и соединить с матрицей наклеиваемого слоя пластика. Это соединение выполняется путем вдавливания нитей шпателем в матрицу пластика до начала отверждения смолы (рис. 1).

¹ СТО 2256-002-2011. Стандарт организации. «Система внешнего армирования из полимерных композитов FibARM для ремонта и усиления конструкций. Общие требования. Технология устройства». М., 2011.

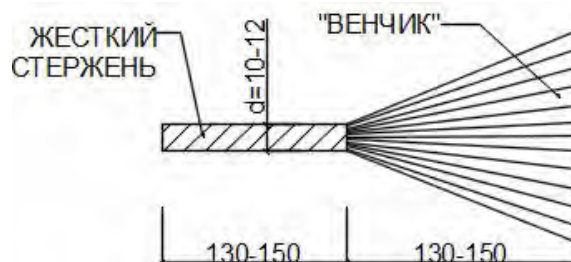


Рис. 1. Анкер-венчик

Второй слой укладывается после распределения венчика по обычной процедуре. Поверхность, занятая венчиком, должна быть заклеена (покрыта) соответствующим прямоугольным отрезком ткани (рис. 2) [4].

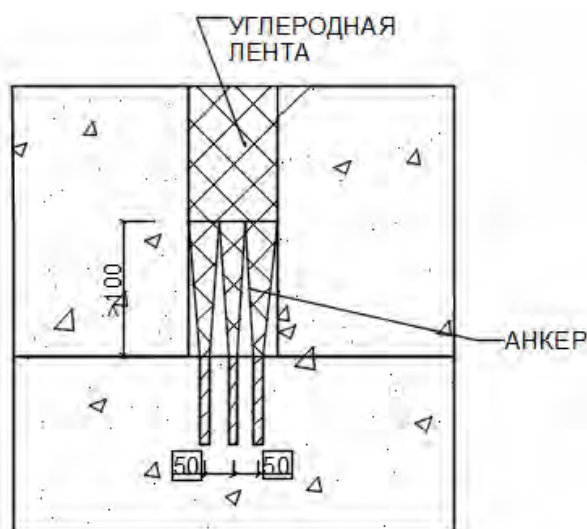


Рис. 2. Закрепление углеродной ленты анкерами

Данный тип анкера не подходит для закрепления ламелей нижней фибры пролетных строений мостов. Его негде закрепить на нижней грани и с его помощью нельзя передать усилие на ламель. Такой анкер можно использовать только для фиксации ламели в зонах примыкания плиты проезжей части.

Предлагаемый новый тип усиления пролетных строений мостовых сооружений устраняет все недостатки ныне используемых методов. Предлагается использовать углепластиковую ламель в качестве затяжки по аналогии со шпренгельной затяжкой. Метод заключается именно в натяжении ламели по нижней грани ребра балки и закреплении ее при помощи разработанного анкера, а не в приклеивании.

На рис. 3 показана конструкция предложенного анкера. Неподвижный анкер представляет собой стальную пластину с приклеенной ламелью, зажатую между двумя пластинами усилием натяжения болтов (см. рис. 3, а). Натяжной анкер представляет собой сварную деталь из стальных пластин и уголка 9 (см. рис. 3, б).

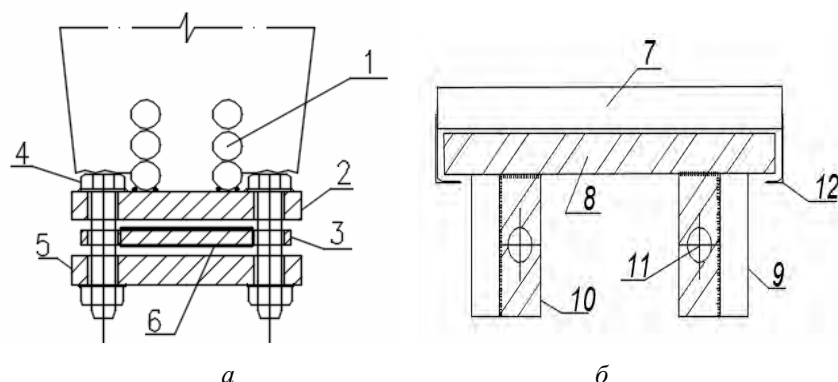


Рис. 3. Конструкции неподвижного (а) и натяжного (б) анкеров: 1 — пакет арматуры; 2 — верхняя пластина; 3 — пластина, обернутая ламелью; 4 — высокопрочный болт; 5 — нижняя прижимная пластина; 6 — углепластиковая ламель; 7 — стальная пластина; 8 — стальная пластина натяжного анкера; 9 — ребро жесткости натяжного анкера; 10 — вертикальная пластина; 11 — отверстие под высокопрочный болт; 12 — уголок № 16

Устройство усиления композитом из углеволокна предусматривает следующие технологические операции.

1. Подготавливаются балки пролетного строения: трещины расшиваются, отбивается старый разрушенный бетон, арматура зачищается от ржавчины, приваривается оторванная поперечная арматура и обрабатывается ингибиторами, а затем все дефекты заделываются ремонтным раствором.

2. В определенном расчетами месте закрепляется неподвижная часть анкера, показанная на рис. 5, а. Для установки требуется отбить защитный слой арматуры и очистить саму арматуру от бетона и ржавчины. В пластину 2 вставляются два высокопрочных болта 4, затем пластина 2 приваривается электросваркой к нижнему ряду пакета арматуры 1. Аналогичным способом крепится неподвижная часть натяжного анкера 7. Места приваривания анкеров к арматуре заделываются ремонтным составом, восстанавливается защитный слой бетона.

3. Отрезается необходимая по длине лента углепластика с запасом 80...100 см по 40...50 см на каждую сторону. Стальная пластина 3 и подвижный анкер покрываются адгезивом, оборачиваются лентой, обжимаются и остаются под прессом до полного отверждения клея.

4. После этого пластину 3 помещают на место в неподвижную часть анкера, надевая отверстия на болты, и закрепляют гайками. Подвижная часть натяжного анкера с приклеенной ламелью вставляется в паз, образованный уголком № 16 12 и стальной пластиной 7. В имеющиеся отверстия в натяжном анкере вставляются высокопрочные болты и наживляются гайки. Усилением, создаваемым закручиванием гаек, натягивается ламель, что делает конструкцию аналогичной шпренгельной затяжке, но не занимает подмостовой габарит и не утяжеляется конструкция.

5. После создания усилий металлические части анкеров защищают от атмосферной коррозии окрашиванием. Ламель сверху покрывается адгезивом для защиты от атмосферных воздействий и механических повреждений.

Принцип работы нового метода показан на рис. 4.

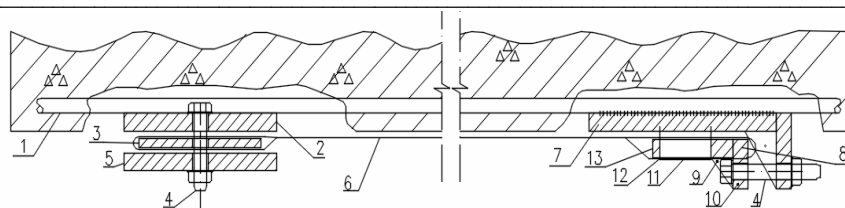


Рис. 4. Усиление балки композитным материалом: 1 — пакет арматуры; 2 — верхняя пластина; 3 — пластина, обернутая ламелью; 4 — высокопрочный болт; 5 — прижимная пластина; 6 — ламель; 7 — неподвижная пластина натяжного анкера; 8 — задняя стенка подвижной части анкера; 9 — ребро жесткости подвижного анкера; 10 — задняя стенка подвижного анкера; 11 — полка уголка № 16; 12 — уголок № 16; 13 — подвижный анкер

Расчет на прочность сечений изгибаемых элементов пролетных строений мостов, усиленных внешним армированием из композитных материалов, следует проводить из условия

$$M \leq M_{ult},$$

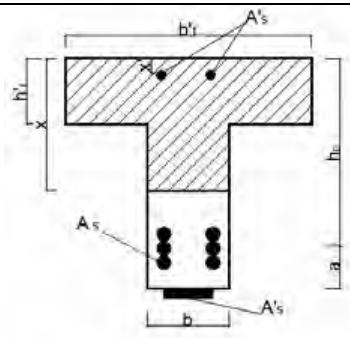
где M — изгибающий момент от внешней нагрузки; M_{ult} — предельный изгибающий момент, который может быть воспринят усиленным сечением элемента.

Значение M_{ult} для изгибаемых элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений, имеющих полку в сжатой зоне при $\xi = \frac{\chi}{h} \leq \xi_{R,f}$, определяют в зависимости от положения нейтральной оси сечения (табл. 3).

Таблица 3

Схема сечения	Условие и расчет
	M_{ult} — предельный изгибающий момент — определяется по формуле $R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') + R_f A_f \quad (1)$ при этом высоту сжатой зоны определяют по формуле: $x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s + R_f A_f}{R_b b}.$
	Нейтральная ось проходит в полке, т. е. соблюдают условие: $R_s A_s + R_s A_f \leq R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s$ Изгибающий момент определяется по формуле $M_{ult} = R_b b x (h - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a) + R_f R_f a, \quad (1)$ при этом высоту сжатой зоны определяют по формуле: $x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s + R_f A_f}{R_b b}.$

Окончание табл. 3

Схема сечения	Условие и расчет
	Нейтральная ось проходит в ребре, т. е. соблюдают условие: $R_s A_s + R_s A_f > R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s$ Изгибающий момент определяется по формуле: $M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') + R_f A_f a,$ при этом высоту сжатой зоны бетона определяют по формуле: $x = \frac{R_s A_s + R_f A_f - R_{sc} A'_s - R_b (b'_f - b) b'_f}{R_b b}$

Ширина полки таврового сечения b'_f , вводимое в расчет, принимают из условия, что ширина свеса полки в каждую сторону от ребра должна быть не более 1/6 пролета элемента и не более величин, представленных в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Условие	Ширина свеса полки
при наличии поперечных ребер или при $h'_f \geq 0,1h$	$6h'_f$
при отсутствии поперечных ребер (или при расстояниях между ними больших, чем расстояния между продольными ребрами) и $h'_f < 0,1h$	$3h'_f$
при консольных свесах полки:	
при b'_f	$6h'_f$
при $0,05h \leq h'_f < 0,1h$	$3h'_f$
при $h'_f < 0,05h$	свесы не учитывают

При расчете на прочность изгибаемых балок пролетных строений в формулах (1) и (2) элементов рекомендуется соблюдать условие $\xi = \frac{\chi}{h} \leq \xi_{R,f}$. При

$\xi = \frac{\chi}{h} \leq \xi_{R,f}$ предельный изгибающий момент M_{ult} допускается определять, заменяя расчетное сопротивление внешней арматуры из композитных материалов R_f на напряжение в ней σ_f , определяемое по формуле:

$$\sigma_f = \left[\varepsilon_{b2} \left(\frac{\omega h}{\chi} - 1 \right) - \kappa \varepsilon_{bt}^0 \right] E_f, \quad (3)$$

где ε_{bt}^0 — начальные деформации растянутой грани сечения, вычисляемые по формуле:

$$\varepsilon_{bt}^0 = \frac{\delta_s^0 h + \delta_b^0 a}{h_0}. \quad (4)$$

В формулах (1)—(3) значения k и χ принимают равными:

при $\xi_R h_0 > x > \xi_{R,f} h$ $x = \xi_{R,f} h$; $k = 0$;

при $x > \xi_R h_0$ $x = \xi_R h_0$ $k = 1$;

где ξ_R вычисляются по формуле:

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}}; \quad (5)$$

где $\varepsilon_{s,el}$ — относительная деформация существующей стальной растянутой арматуры, определяемая по СП 63.13330.

Основываясь на опыте эксплуатации подобных сооружений, можно сделать вывод, что применение композитных материалов является эффективным и надежным способом увеличения несущей способности несущих конструкций автомобильных мостов и может быть рекомендовано для применения на других подобных конструкциях.

Применение композитных материалов позволяет существенно ускорить и упростить процесс реконструкции эксплуатируемых автомобильных мостов, а значит, дает возможность пропуска больших транспортных потоков и увеличения скорости их движения, что в конечном итоге неминуемо приведет к улучшению качества жизни всех жителей России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами. Ч. 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций / И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. И. Овчинников, В. С. Зиновьев, А. Д. Умиров // Наукоедение. 2012. № 4. <http://naukovedenie.ru/PDF/7tvn412.pdf>
2. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами. Ч. 2. Натурные исследования усиления железобетонных конструкций композитами, возникающие проблемы и пути их решения / И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев, И. И. Овчинников, В. С. Зиновьев, А. Д. Умиров // Наукоедение. 2012. № 4. <http://naukovedenie.ru/PDF/8tvn412.pdf>
3. Кульбин С. В. Применение современных методов реконструкции мостовых сооружений // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России: материалы X Международной науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград: ВолгГАСУ, 2016. С. 60—63.
4. Кудрявцев С. В., Кудрявцев В. А., Гурьянов Ю. В. Эффективное решение по увеличению грузоподъемности автомобильных мостов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2014. № 1. С. 80—83.

© Макаров А. В., Кульбин С. В., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Кульбин С. В. Новый способ усиления мостовых пролетных строений из композитных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 140—149.

Об авторах:

Макаров Александр Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Кульбин Сергей Владимирович — магистрант кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, kulbin1993@mail.ru

A. V. Makarov, S. V. Kul'bin

NEW METHOD OF STRENGTHENING OF BRIDGE SPANS MADE OF COMPOSITE MATERIALS

The authors consider the modern way of strengthening of reinforced concrete bridge spans with the help of the structures made of composite materials. The comparative table of the materials used for the strengthening of bridge spans is provided. The analysis of experimental studies carried out in this field is given. The methods of fixing of carbon slats as well as a new method of fixing of carbon lamella anchor are considered. The principle of operation of the proposed anchor working on the principle of truss tightening and the technology of performance of work on strengthening of bridge beams are described. Constructive drawings and schemes are offered.

Key words: carbon lamella, composite materials, anchor, strengthening, span, adhesive.

REFERENCES

1. Ovchinnikov I. G., Valiev Sh. N., Ovchinnikov I. I., Zinov'ev V. S., Umirov A. D. [Use the composites for strengthening reinforced concrete: 1. Experimental studies of the composites strengthening for flexural reinforced concrete structures]. *Naukovedenie* [Naukovedenie], 2012, no. 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/7tvn412.pdf>
2. Ovchinnikov I. G., Valiev Sh. N., I. I. Ovchinnikov, Zinov'ev V. S., Umirov A. D. [Use the composites for strengthening reinforced concrete: 2. Field investigations of reinforced concrete strengthened composites, problems and solutions]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/8tvn412.pdf>
3. Kul'bin S. V. [Application of modern methods of reconstruction of bridge structures]. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress v dorozhnoi otrasli Yuga Rossii: materialy 10 Mezhdunarodnoi nauch.-tekhnich. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Young people and scientific and technical progress in road industry in the South of Russia. Proc. of 10 Int. Sci.-Pr. Conf. of Students, Postgraduate Students and Young Scientists]. Volgograd, VSUACE Publ., 2016. Pp. 60—63.
4. Kudryavtsev S. V., Kudryavtsev V. A., Gurjanov Yu. V. [Effective solution for increase carrying capacity of road bridges]. *Akademicheskii Vestnik Uralniiproekt RAASN* [Academic Bulletin of UralNIiproekt of RAACS], 2014, no. 1, pp. 80—83.

For citation:

Makarov A. V., Kul'bin S. V. [New method of strengthening of bridge spans made of composite materials]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 140—149.

About authors:

Makarov Aleksandr Vladimirovich — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Kul'bin Sergei Vladimirovich — Master's Degree student of Engineering Sciences, Docent of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, kulbin1993@mail.ru

УДК 711.5+711.7

А. В. Михайлов

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОЦЕНКА ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РАЙОНОВ ГОРОДА ДОНЕЦКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ СЕТЕВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Рассмотрены и проанализированы натурные обследования интенсивности и состава транспортных потоков на сети магистральных улиц и дорог между районами города Донецка. Получены значения по количеству перемещающихся транспортных средств между районами. По результатам обследования были построены матрицы интенсивности связей и выделена иерархичность районов по городу Донецку.

Найден коэффициент возвратности населения города. Предложен коэффициент посещаемости, который учитывает значимость рассматриваемого района относительно всего города в зависимости от пассажиропотоков.

К л ю ч е в ы е с л о в а: транспортный поток, магистральные улицы и дороги, транспортные средства, пассажиропоток.

Город все время находится в состоянии динамического развития и градостроительного решения, которые принимаются и имеют принципиальное значение, должны ориентироваться как на далекую, так и на ближайшую перспективу.

Планировочное развитие города, кроме решения архитектурно-планировочных задач и вопросов инженерного благоустройства осваиваемых территорий, обязательно предполагает решения проблем транспортного обслуживания города, которые касаются практически всех функций жизнедеятельности города. Этим объясняется термин «транспортное планирование города», который необходимо понимать как направление в разработке и оценке транспортных качеств планирования города в целом и отдельных территорий. Для этого необходимо образовывать рациональную структуру улично-дорожной сети и эффективную систему организации движения транспорта и пешеходов в городе.

Улично-дорожная сеть города и городской транспорт формируются как единая система. Ее структура определяется размерами города и его планировочной организацией, а задачи формирования исходят из необходимости установления взаимосвязей между различными частями городской территории — функциональными зонами, районами, центрами. Решение этих задач, направленных на обеспечение наименьших затрат времени населением на доступность мест приложения труда, общественных центров, мест отдыха, других основных фокусов тяготений, установление кратчайших связей между ними — главная цель комплексного проектирования планировочной структуры и транспортной сети города.

Оценка решений по степени взаимосогласованности планировочной и транспортной составляющих ведется при этом на основе специальной системы критериев — показателей затрат времени на передвижения, транспортной подвижности населения (число поездок в год на 1 жителя), доступности цен-

тра города во времени, средней длины поездки и др. [1]. Достижение этих целей возможно лишь в совместной работе архитектора-планировщика и инженера-транспортника. Планировочная композиция города закладывает основные предпосылки для рациональной постановки транспортного обслуживания. Организация транспорта предъявляет определенные требования к планировке и застройке города [2, 3, 4].

Натурные обследования интенсивности и состава транспортных потоков на сети магистральных улиц и дорог в г. Донецке, в процессе которого непосредственно (в натуре) фиксировались искомые характеристики обследуемого процесса, дали возможность определить количественную и качественную характеристику существующей нагрузки всей сети магистральных улиц и отдельных ее элементов.

Потребность в поездках закономерно изменяется по периодам суток, достигая максимума в часы пик. В часы пик совершаются преимущественно трудовые и учебные поездки. Число поездок между определенной парой пунктов составляет транспортную корреспонденцию. Различают поездки и корреспонденции сетевые (между микрорайонами города) и маршрутные (между остановочными пунктами отдельно взятого маршрута) [5, 6, 7].

Обследование сетевых транспортных потоков между районами г. Донецка основывалось на подсчете в утренний и вечерний час пик количества транспортных средств въезжающих и выезжающих в каждый район. Так же были учтены входящие и выходящие потоки на границах города, на основных магистралях.

Подобные методы выборочного обследования применяются и описываются различными специалистами в сфере градостроительства [8—13]. Для этого в Донецке на границах административных районов и города подсчитывалось количество проезжающего транспорта в одном и другом направлении. Время утреннего наблюдения было взято с 7 до 9 часов, а вечернего с 16 до 18 часов. В результате по каждому сечению были получены значения интенсивности транспортных потоков по всем видам средств передвижения. Пример интенсивности транспортных потоков на одном из сечений приведен на рис. 1.

С помощью данного обследования были получены значения по количеству перемещающихся транспортных средств между районами.

Для определения объема пассажиропотоков между районами, были перемножены показатели количества перемещающихся транспортных средств на их среднее значение наполняемости по каждому виду транспорта. В результате были получены значения интенсивности пассажиропотоков между районами. На рис. 2 изображены точки, на которых проходило обследование, направление и интенсивность пассажиропотоков.

По результатам обследования были построены матрицы интенсивности связей по городу. Значения пассажиропотоков по г. Донецку для утреннего и вечернего часа пик приведены в табл. 1 и 2. Например, интенсивность пассажиропотока из Буденовского района в Калининский район составляет 7695 чел./ч (утром). Затем по каждому столбцу подбивается

сумма всех пассажиропотоков, въезжающих в этот район. Полученные значения пассажиропотоков каждого района сравнивают между собой. Районам дается соответствующий ранг, который определяет его место в структуре связей города. Анализ значений показал, что высшее значение имеет Ворошиловский район. В утренний час пик его посещают 50 559 чел, что и определяет его высший ранг в структуре связей города. Все районы ранжируются от высшего к низшему в соответствии с интенсивностью прибывающих в них потоков.

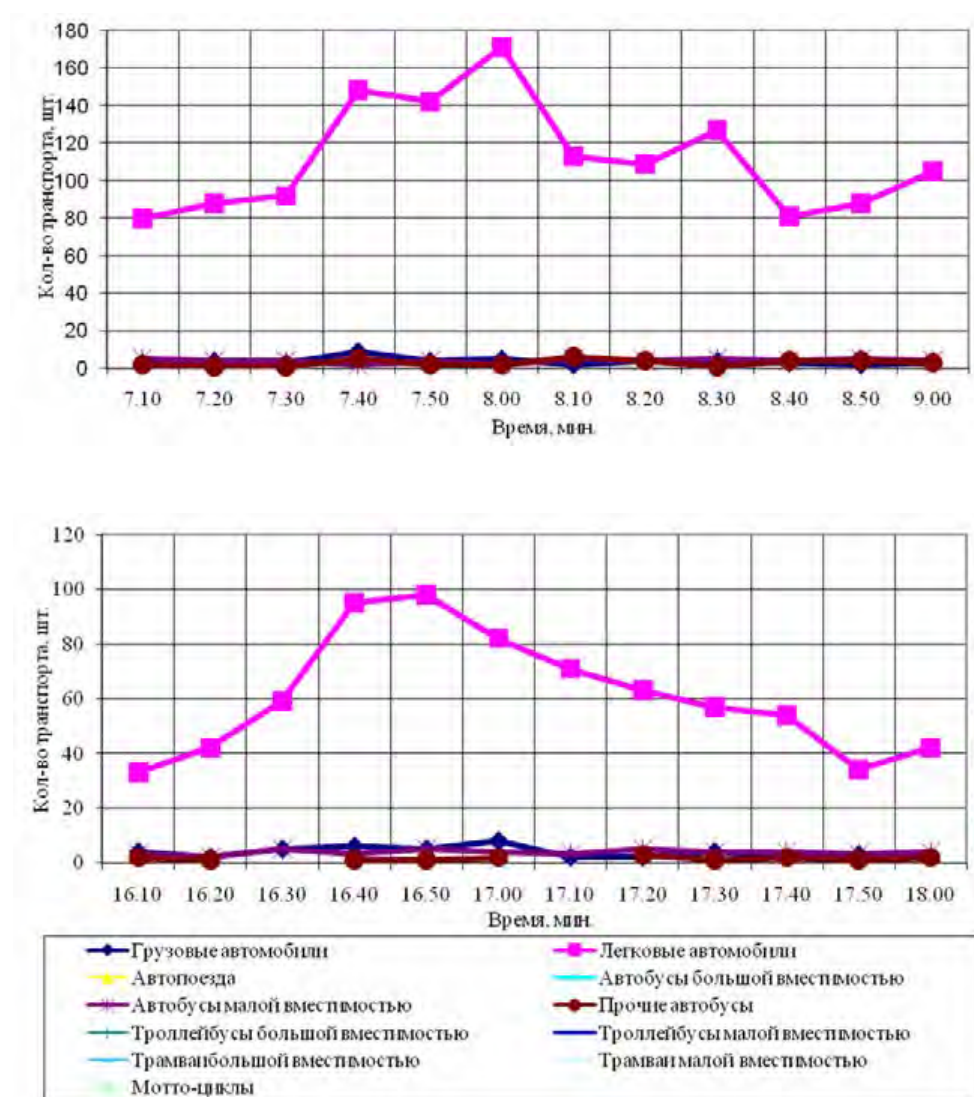


Рис. 1. График интенсивности транспортных потоков в утренний и вечерний час пик из Куйбышевского района в Киевский (сечение на пр. Панфилова)

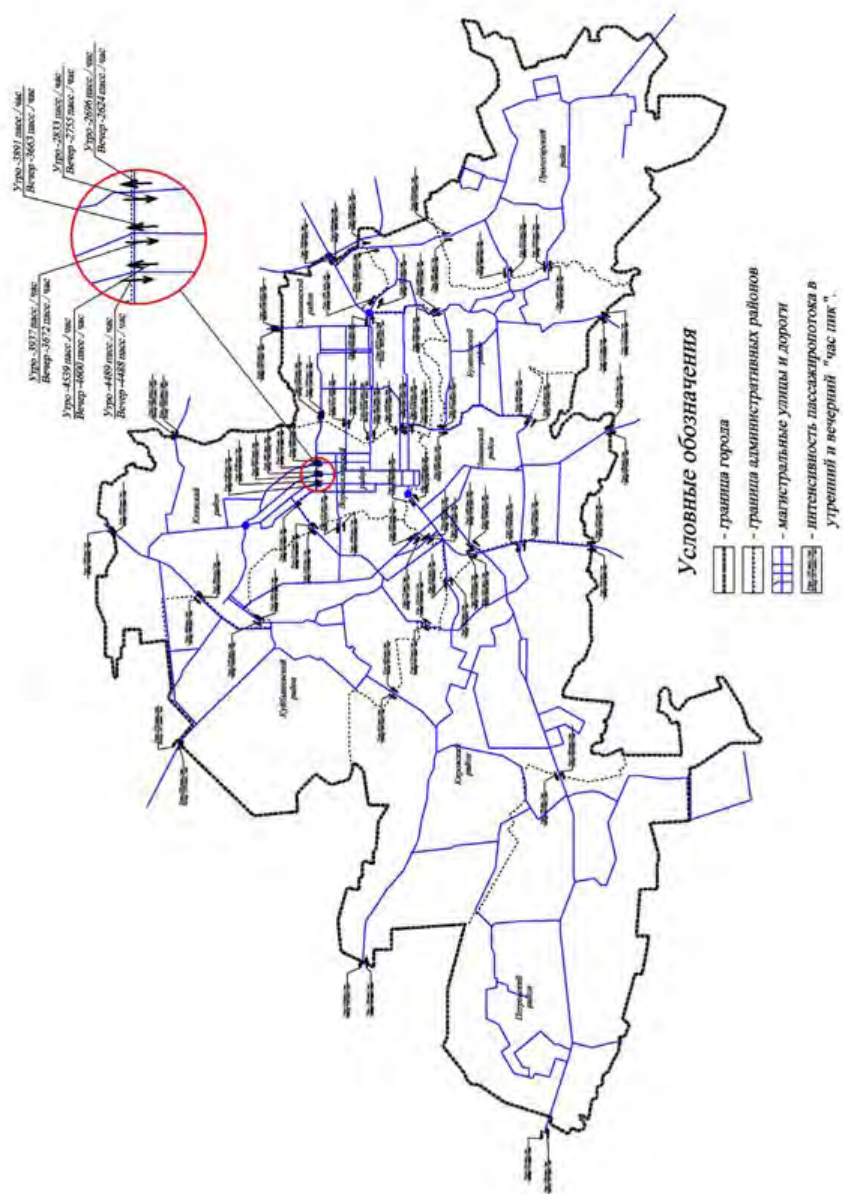


Рис. 2. Обследование интенсивности движения пассажиропотоков на границах административных районов в г. Донецке

Таблица 1

Матрица количества пассажиропотоков в утренний час-пик между районами г. Донецка

№ района	Из района	В район								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Буденовский	—	—	—	7695	—	—	308	—	7103
2	Ворошиловский	—	—	—	17 136	11 125	4714	10 065	—	—
3	Кировский	—	—	—	—	—	973	7542	799	—
4	Калининский	7004	20 555	—	—	—	—	—	—	—
5	Киевский	—	12000	—	—	—	5749	—	—	—
6	Куйбышевский	—	4506	564	—	6320	—	1826	—	—
7	Ленинский	284	13 499	4476	—	—	1820	—	—	—
8	Петровский	—	—	1029	—	—	—	—	—	—
9	Пролетарский	7499	—	—	—	—	—	—	—	—
И т о г о		14 786	50 559	6069	24 830	17 445	13 255	19 741	799	7103
Ранг		5	1	8	2	4	6	3	9	7

Таблица 2

Матрица количества пассажиропотоков в вечерний час-пик между районами г. Донецка

№ района	Из района	В район								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Буденовский	—	—	—	6911	—	—	237	—	6671
2	Ворошиловский	—	—	—	18540	10 887	4252	11 560	—	—
3	Кировский	—	—	—	—	—	520	4046	875	—
4	Калининский	7715	18 529	—	—	—	—	—	—	—
5	Киевский	—	11 579	—	—	—	5986	—	—	—
6	Куйбышевский	—	4265	828	—	5245	—	1386	—	—
7	Ленинский	307	11 632	6388	—	—	1686	—	—	—
8	Петровский	—	—	652	—	—	—	—	—	—
9	Пролетарский	5777	—	—	—	—	—	—	—	—
И т о г о		13 799	46 005	7968	25 451	16 131	12 444	17 229	875	6671
Ранг		5	1	7	2	4	6	3	9	8

Наглядное представление о ранжировании районов г. Донецка по интенсивности пассажиропотоков проиллюстрировано на рис. 3.

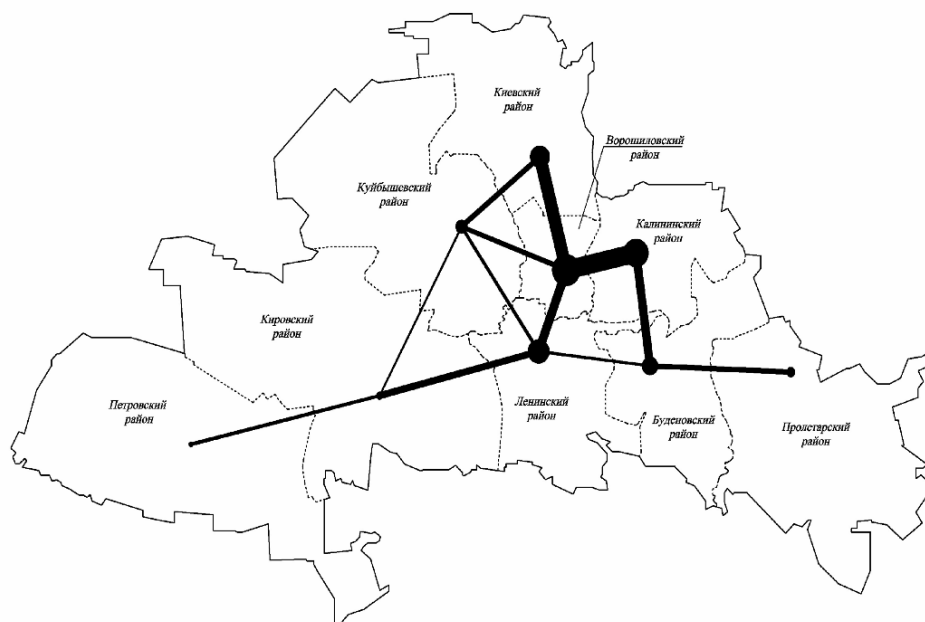


Рис. 3. Иерархия центров районов по интенсивности связей

Суммарное число пассажиропотоков перемещающихся в час-пик между районами в г. Донецке составляет:

утром — 154 586 чел.;

вечером — 146 472 чел.

Эти данные характеризуют уровень передвижения населения в утренний и вечерние часы пик. В полученных значениях не учтено количество пассажиропотоков въезжающих и выезжающих в г. Донецк (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

*Количество въезжающих и выезжающих людей в г. Донецк
в утренний и вечерний часы пик*

Кол-во пассажиров	Утренний час пик	Вечерний час пик
въезжающих в Донецк в час пик	14 111	8502
выезжающих из Донецка в час пик	8909	11 348
Разница	+5202	–2846

Тогда суммарное число пассажиропотоков перемещающихся в “час-пик” между районами внутри г. Донецка составит:

утро — $154\,586 + 5202 = 159\,788$ чел.;

вечер — $146\,472 - 2846 = 143\,626$ чел.

Полученные результаты передвижений пассажиров в утренний и вечерний час пик отличаются друг от друга. В градостроительной сфере существует такое понятие, как «коэффициент возвратности» K_v . Он учитывает тот факт, что не

все пассажиры возвращаются непосредственно с работы домой, а часть из них направляется с работы в театры, кино, парки, магазины и другие пункты, уменьшая тем самым относительное количество единовременных обратных поездок. В этом случае коэффициент возвратности для г. Донецка получатся:

$$K_v = \frac{143626}{159788} = 0,89. \quad (1)$$

При анализе перемещений пассажиропотоков между районами, нами была поставлена задача, привести данные значения к безразмерной величине (2). Эта величина была названа коэффициентом посещаемости $K_{\text{посещ}}$, который учитывает значимость рассматриваемого района относительно всего города в зависимости от пассажиропотоков:

$$K_{\text{посещ}} = \frac{N_{\text{пр.в.р}}}{\sum N_{\text{пр.в.г}}}; \quad (2)$$

$$0 \leq K_{\text{посещ}} \leq 1$$

где $N_{\text{пр.в.р}}$ — кол-во корреспондентов, въезжающих в район, с учетом приезжих в город; $\sum N_{\text{пр.в.г}}$ — сумма всех корреспондентов, перемещающихся по всему городу.

В итоге для каждого района г. Донецка были получены коэффициенты посещаемости $K_{\text{посещ}}$, значение которых сведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Коэффициент посещаемости районов г. Донецка

№ района	Из района	$N_{\text{пр.в.р}}$, чел.	$\sum N_{\text{пр.в.г}}$, чел.	$K_{\text{посещ}}$
1	Буденовский	14 845	159 788	0,0929
2	Ворошиловский	50 559		0,31641
3	Кировский	6069		0,03798
4	Калининский	28 562		0,17875
5	Киевский	18 062		0,11303
6	Куйбышевский	13 473		0,08432
7	Ленинский	20 275		0,12688
8	Петровский	841		0,00526
9	Пролетарский	7103		0,04445
И т о г о		159 788		$\sum K_{\text{посещ}} = 1$

Таким образом, полученные значения коэффициентов посещаемости районов позволяют прогнозировать последствия изменения в транспортной сети или размещение мест приложения труда, культурно-бытового тяготения, мест отдыха и жилья. При помощи данного коэффициента возможно определение значимости района относительно всего города по количеству перемещающихся пассажиропотоков. Полученные показатели при оценке районов города позволяют в дальнейшем использовать значения межрайонных передвижений, интенсивности потоков, распределение автомобилей и пассажиров

по путям движения для воспроизведения всех деталей движения, включая развитие процесса во времени, с помощью имитационного моделирования. Следовательно, использование математических методов моделирования для расчета транспортных, пассажирских потоков и их расщепление может быть выполнено корректно, если уже известна итоговая загрузка сети. Все это приводит к необходимости решать задачи оценки городских территорий последовательными приближениями, повторяя все шаги в итеративном режиме.

Изучение и дальнейшее развитие логических основ позволяет глубже осознать механизм образования социальных связей, создать реальные основы для прогноза развития этих связей, имеющего исключительно большое практическое значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Малоян Г. А.* Основы градостроительства. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. 120 с.
2. *Авдоткин Л. Н., Лежава И. Г., Смоляр И. М.* Градостроительное проектирование. М.: Стройиздат, 1989. 432 с.
3. Indonesia: Transport sector assessment, strategy, and road map. Mandaluyong City. Philippines: Asian Development Bank, 2012. 60 p.
4. *Jiang Dong, Dafang Zhuang, Xinliang Xu, Lei Ying.* Integrated Evaluation of Urban Development Suitability Based on Remote Sensing and GIS Techniques — A Case Study in Jingjinji Area. China. Sensors, 2008. 8 p.
5. *Спирин И. В.* Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. М.: Академия, 2010. 400 с.
6. Thematic synthesis of transport research results. Paper 5 of 10. Urban transport. The EXTRA project, within the European Community's Transport RTD Programme. 2001. 99 p.
7. Assessment of urban transport services: Nizhny Novgorod. Research Triangle Institute. Washington, 1994. 16 p.
8. *Шаров М. И.* Совершенствование метода оценки транспортного спроса на перевозки городским пассажирским транспортом: дис... канд. техн. наук. Иркутск: ИГТУ, 2008. 160 с.
9. *Гасников А. В., Кленов С. Л., Нурминский Е. А.* Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: МФТИ, 2010. 362 с.
10. Руководство по проведению транспортных обследований в городах. М.: Стройиздат, 1982. 72 с.
11. Urban transport and health. Division 44 — Water, Energy, Transport. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data / C. Dora, J. Hosking, P. Mudu, E. R. Fletcher. Eschborn, 2011. 60 p.
12. *Dora C., Phillips M.* Transport, environment and health // WHO Regional Publications. European Series. 2000. No. 89. 86 p.
13. *Kraft S., Halas M., Vancura M.* The delimitation of urban hinterlands based on transport flows: a case study of regional capitals in the Czech Republic // Moravian geographical reports. 2014. Vol. 22. No. 1. Pp. 24—32.

© *Михайлов А. В.*, 2017

*Поступила в редакцию
в марте 2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Михайлов А. В. Оценка привлекательности районов города Донецка по результатам обследования сетевых транспортных потоков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 150—158.

Об авторе:

Михайлов Александр Владимирович — ассистент кафедры городского строительства и хозяйства, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2. aleksandr-910@ya.ru

A. V. Mikhailov

EVALUATION OF ATTRACTIVENESS OF DISTRICTS OF THE CITY OF DONETSK ON THE RESULTS OF THE SURVEY OF NETWORK TRAFFIC FLOWS

The article reviews and analyzes on-site survey of the intensity and composition of traffic flows on the network of main streets and roads between the districts in Donetsk city. The values are obtained by the number of moving vehicles between the districts. On the basis of the results of the survey matrices of intensity of relations are built and the hierarchy of the districts in the city of Donetsk is identified.

The population recurrency rate is found out. The attendance ratio, which takes into account the importance of the discussed district against the whole city depending on the passenger traffic flow, is proposed.

Key words: traffic flow, main streets and roads, vehicle, passenger traffic flow.

REFERENCES

1. Maloyan G. A. *Osnovy gradostroitel'stva* [Principles of town planning]. Moscow, Publishing House of the Association of Institutions of Civil Engineering, 2004. 120 p.
2. Avdot'in L. N., Lezhava I. G., Smolyar I. M. *Gradostroitel'noe proektirovanie* [Town planning design]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1989. 432 p.
3. *Indonesia: Transport sector assessment, strategy, and road map. Mandaluyong City*. Philippines, Asian Development Bank, 2012. 60 p.
4. Jiang Dong, Dafang Zhuang, Xinliang Xu, Lei Ying. *Integrated Evaluation of Urban Development Suitability Based on Remote Sensing and GIS Techniques — A Case Study in Jingjinji Area*. China. Sensors, 2008. 8 p.
5. Spirin I. V. *Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobil'nyimi perevozkami* [Arrangement and control over passenger motor traffic]. Moscow, Akademiya Publ., 2010. 400 p.
6. *Thematic synthesis of transport research results*. Paper 5 of 10. Urban transport. The EXTRA project, within the European Community's Transport RTD Programme. 2001. 99 p.
7. *Assessment of urban transport services: Nizhny Novgorod*. Research Triangle Institute. Washington, 1994. 16 p.
8. Sharov M. I. *Sovershenstvovanie metoda otsenki transportnogo sprosa na perevozki gorodskim passazhirskim transportom* [Improvement of the method of evaluation of transport demand for transportation by public passenger transport. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Irkutsk, ISTU, 2008. 160 p.
9. Gasnikov A. V., Klenov S. L., Nurminskii E. A. *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov* [Introduction of traffic flows into mathematical modeling]. Moscow, MIPT, 2010. 362 p.
10. *Rukovodstvo po provedeniyu transportnykh obsledovaniy v gorodakh* [Guideline for transport inspection in cities]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1982. 72 p.
11. Dora C., Hosking J., Mudu P., Fletcher E. R. *Urban transport and health. Division 44 — Water, Energy, Transport. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*. Eschborn, 2011. 60 p.
12. Dora C., Phillips M. Transport, environment and health. *WHO Regional Publications. European Series*, 2000, no. 89, 86 p.
13. Kraft S., Halas M., Vancura M. The delimitation of urban hinterlands based on transport flows: a case study of regional capitals in the Czech Republic. *Moravian geographical reports*, 2014, 22(1), pp. 24—32.

For citation:

Mikhailov A. V. [Evaluation of attractiveness of districts of the city of Donetsk on the results of the survey of network traffic flows]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 150—158.

About author:

Mikhailov Aleksandr Vladimirovich — Assistant of City Building and Municipal Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. 2, Derzhavina St., Makeevka, 286123, Donetsk People's Republic, aleksandr-910@ya.ru

УДК 625.72

И. В. Стефаненко, С. В. Алексиков

Волгоградский государственный технический университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОРОЖНО-РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Приведена методика экономической оценки снижения потерь от дорожно-транспортных происшествий после проведения ремонта дорожных покрытий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильная дорога, безопасность дорожного движения, ремонт, проезжая часть, экономическая оценка.

При формировании оптимального плана ремонта дорожной сети весьма важно оценить влияние дорожно-ремонтных работ на безопасность дорожного движения в последующий период эксплуатации. Существующие методики оценки эффективности дорожных работ, в качестве основного технического показателя, используют повышение средней скорости транспортного потока и снижение его производных: себестоимости перевозки пассажиров и грузов; экономические потери, связанные со временем пребывания пассажиров в пути и т.п. При оценке эффекта от повышения безопасности движения используют, как правило, снижение общих показателей аварийности: итогового коэффициента аварийности, коэффициента безопасности и т.п., согласно СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» и [1, 2].

Оценка влияния дорожно-ремонтных работ на безопасность дорожного движения выполнена в работах В. Ф. Бабкова [3], О. А. Дивочкина [4], Б. Б. Анохина [5], В. В. Чванова [4,6]. В качестве показателя безопасности движения, предлагается использовать риск ДТП (Z), который тесно связан с коэффициентом аварийности $K_{ав}$ (рис. 1).

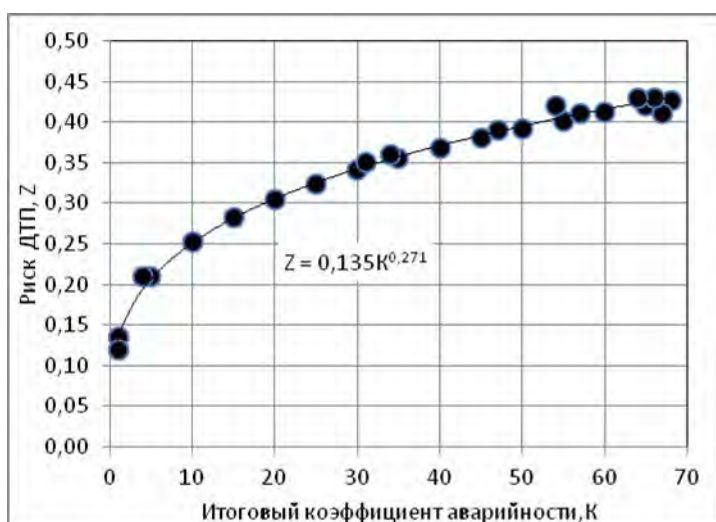


Рис. 1. Зависимость риска ДТП от коэффициента аварийности

Риск ДТП рассчитывается по формуле [3, 6]:

$$Z = \frac{a \cdot 10^6}{NL \cdot 365t}, \quad (1)$$

где a — число ДТП за расчетный период; N — среднегодовая интенсивность движения в обоих направлениях, авт/сут; L — длина участка дороги, км; t — расчетный период наблюдений за аварийностью.

Зависимость среднего числа ДТП за год на 1 км дороги от итогового коэффициента аварийности $K_{ав}$ и среднегодовой интенсивности движения N представлена на рис. 2.

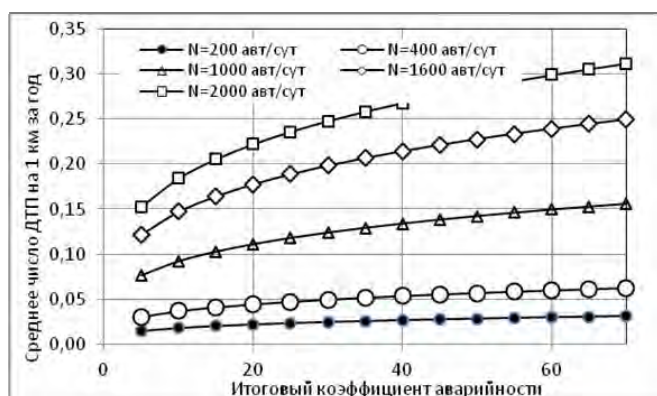


Рис. 2. Зависимость числа ДТП от коэффициента аварийности

Число ДТП за период T можно приближенно рассчитать по регрессионной зависимости:

$$\alpha = \sum_{t=1}^T \frac{4,927 K(t)_{ав}^{0,271} N(t)}{10^5}. \quad (2)$$

Обобщение данных В. В. Чванова, В. Ф. Бабкова, О. А. Дивочкина, Б. Б. Анохина позволило определить вероятность снижения ДТП (Δa) в зависимости от вида дорожно-ремонтных работ (рис. 3—6).

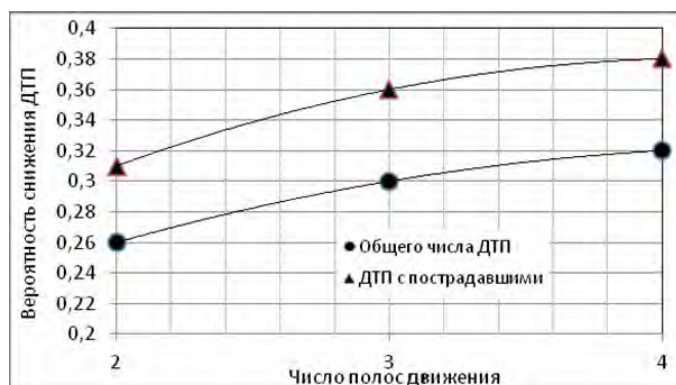


Рис. 3. Вероятность снижения ДТП при ямочном ремонте проезжей части и приведением обочин в нормативное состояние, с установкой ограждений и знаков

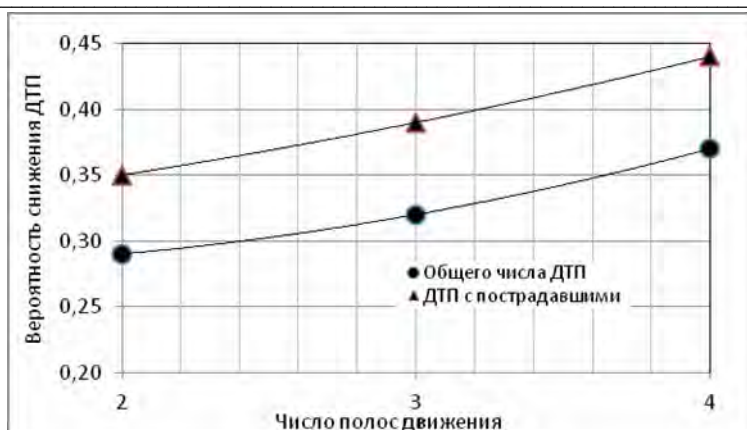


Рис. 4. Вероятность снижения ДТП при ямочном ремонте проезжей части с поверхностной обработкой и нанесением разметки, установкой ограждений и знаков

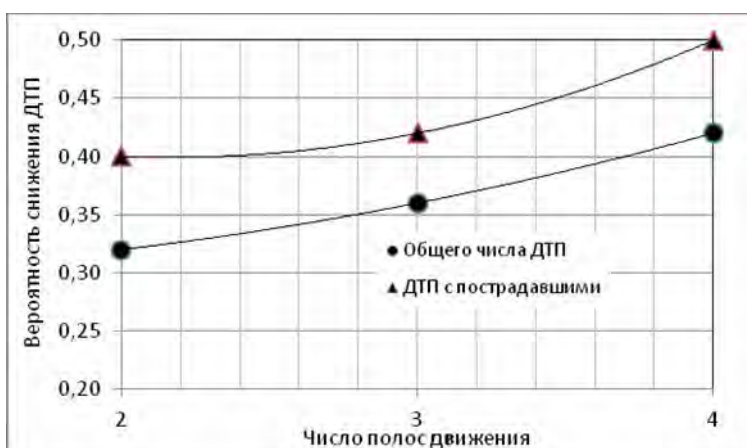


Рис. 5. Вероятность снижения ДТП при ремонте с устройством выравнивающего слоя, установкой ограждений и знаков

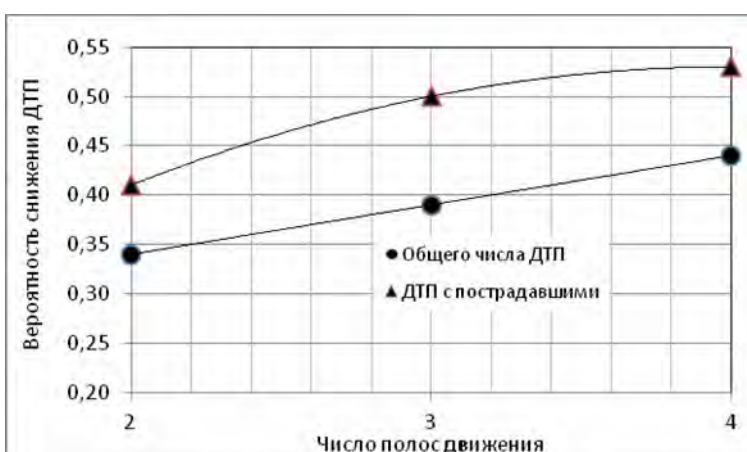


Рис. 6. Вероятность снижения ДТП при ремонте с устройством нового дорожного покрытия, установкой ограждений и знаков

Экономический эффект от снижения ДТП после проведения ремонта участка дороги (R_t) может быть рассчитан по формуле [6]:

$$R_t = a\Delta aC, \quad (3)$$

где C — потери от одного ДТП, с учетом места его совершения, установлены В. В. Чвановым в ценах 2010 г. и приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Социально-экономический ущерб от одного ДТП [6]

Вид ДТП	Социально-экономический ущерб от одного ДТП, млн руб	
	в населенных пунктах	вне населенных пунктов
ДТП без разделения по отчетности	0,26	0,696
ДТП с пострадавшими	1,973	4,667
ДТП с материальным ущербом	0,043	0,194

Результаты расчетов экономического эффекта от снижения ДТП в результате проведения ремонта участка дороги протяженностью 1 км приведены на рис. 7—9.

Для ремонтируемого участка протяженностью L расчет годового экономического эффекта можно выполнить по формулам:

при ямочном ремонте проезжей части и приведении в нормативное состояние обочин, восстановлении ограждений и дорожных знаков, тыс. руб/км в год:

$$R_t = 0,0089K_{ав}^{0,271}NL; \quad (4)$$

при устройстве нового слоя покрытия и (или) уширения проезжей части до 7,5 м с ремонтом ограждений и установкой дорожных знаков, тыс. руб/км в год:

$$R_t = 0,001166 K_{ав}^{0,271}NL. \quad (5)$$

Общий экономический эффект R_0 , тыс. руб/км в год, от снижения числа ДТП после ремонта нескольких участков дороги L_i можно рассчитать по формуле:

$$R_0 = \sum_{i=1}^I R_{ti} L_i. \quad (6)$$

Выполненные исследования позволяют экономически оценить эффективность дорожных работ с позиций безопасности дорожного движения. Приведенные графики и зависимости рекомендуются для практического применения при формировании плана ремонта дорожной сети с обоснованием наиболее эффективных видов дорожно-ремонтных работ.

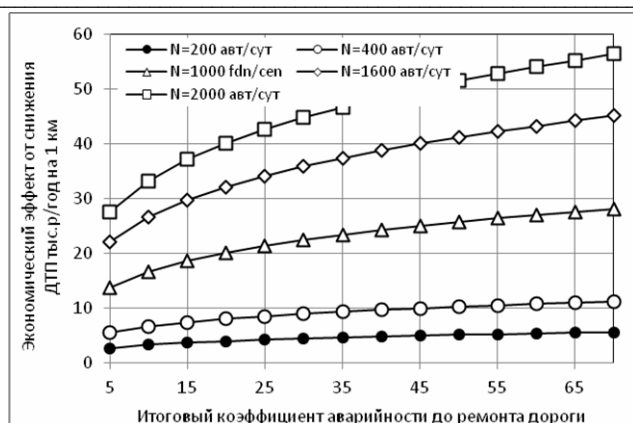


Рис. 7. Экономический эффект от снижения ДТП при ямочном ремонте покрытия, обочин и восстановления ограждений и знаков

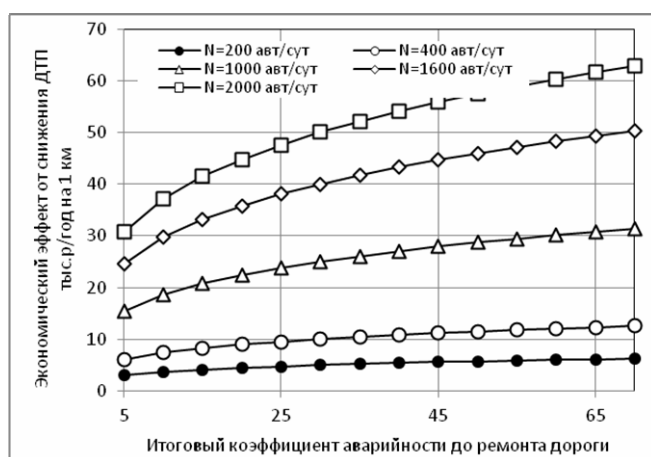


Рис. 8. Экономический эффект от снижения ДТП при поверхностной обработке покрытия, нанесения разметки и восстановления ограждений и знаков

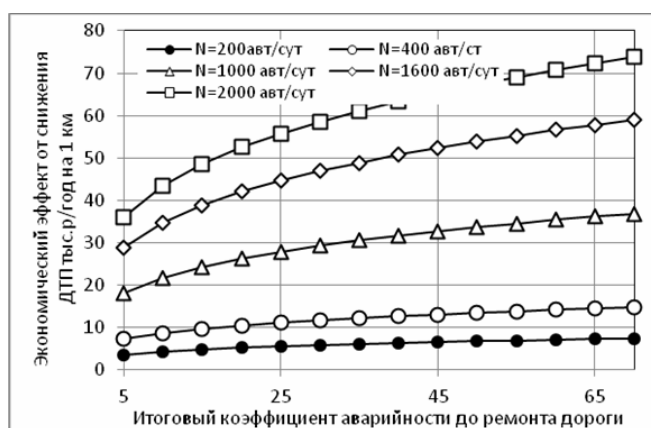


Рис. 9. Экономический эффект от снижения ДТП при устройстве нового покрытия и (или) его уширении до 7,5 м, нанесения разметки, восстановления ограждений и знаков

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. М.: Росавтодор Минтранса России, 2002. URL: <http://lawru.info/dok/2002/06/24/n370572.htm>
2. Дингес Э. В. Пути совершенствования системы обеспечения безопасности дорожного движения (экономический аспект). М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. М., 1994.
3. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
4. Дивочкин О. А., Цыганов А. Р., Чванов В. В. Оценка безопасности на автомобильных дорогах. М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1988. 60 с.
5. Анохин Б. Б., Лаврентьева О. П. Оценка условий движения при различных уровнях загрузки дороги // Дороги и мосты: сборник статей. Вып. 18/2. М., 2007. С. 137—150.
6. Чванов В. В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом работы водителя. М.: Инфра-М, 2010. 416 с.

© Стефаненко И. В., Алексиков С. В., 2017

Поступила в редакцию
в мае 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Стефаненко И. В., Алексиков С. В. Оценка влияния дорожно-ремонтных работ на безопасность движения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 159—165.

Об авторах:

Стефаненко Игорь Владимирович — д-р техн. наук, профессор, первый проректор — директор института архитектуры и строительства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vqasu.ru

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

I. V. Stefanenko, S. V. Aleksikov

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF ROADWORK ON TRAFFIC SAFETY

The technique of the economic assessment of decrease in losses from road accidents after carrying out the repair of road pavement is given.

Key words: highway, traffic safety, roadwork, carriageway, economic assessment.

REFERENCES

1. Rekomendatsii po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya na avtomobil'nykh dorogakh [Recommendations on road traffic safety]. Moscow, Federal Road Agency of the Ministry of Transport of the Russian Federation, 2002. URL: <http://lawru.info/dok/2002/06/24/n370572.htm>
2. Dinges E. V. Puti sovershenstvovaniya sistemy obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya (ekonomicheskii aspekt) [Ways of improvement of the system of road traffic safety (economic aspect)]. Moscow, COSTI of the Ministry of Roads of RSFSR. Moscow, 1994.
3. Babkov V. F. Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya [Road conditions and safety]. Moscow, Transport publ., 1993. 271 p.
4. Divochkin O. A., Tsyganov A. R., Chvanov V. V. Otsenka bezopasnosti na avtomobil'nykh dorogakh [Assessment of road traffic safety]. Moscow, COSTI of the Ministry of Roads of RSFSR. Moscow, 1988. 60 p.
5. Anokhin B. B., Lavrent'eva O. P. [Assessment of traffic conditions on various levels of traffic congestion]. Dorogi i mosty: sbornik statei [Roads and bridges. Coll. of articles]. Issue 18/2. Moscow, 2007. Pp. 137—150.
6. Chvanov V. V. Metody otsenki i povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya s uchetom raboty voditelya [Methods of assessment and increase in road traffic safety taking into account work of a driver]. Moscow, Infra-M Publ., 2010. 416 p.

For citation:

Stefanenko I. V., Aleksikov S. V. [Assessment of influence of roadwork on traffic safety]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 159—165.

About authors:

Stefanenko Igor' Vladimirovich — Doctor of Engineering Science, Professor, First Vice-Principal — Director of Institute of Architecture and Civil Engineering, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Aleksikov Sergei Vasil'evich — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AL34rus@mail.ru

УДК 504.5:502

**Е. В. Москвичева^а, Т. А. Кузьмина^б, П. А. Сидякин^б, Д. В. Щитов^б,
А. А. Запорощенко^а, О. Е. Николова^а, З. К. Ибрагимова^а**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *СКФУ, филиал в г. Пятигорске*

ВЫБОР МЕТОДА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Представлена малоотходная технология очистки сточных вод от эмульгированных органических загрязнений предприятий железобетонных изделий, которая позволяет возвращать очищенную воду в систему оборотного водоснабжения, а извлеченные компоненты загрязнителя использовать в качестве вторичного сырья. Доказана возможность разрушения водноорганических эмульсий с помощью окисления, и в качестве основного метода выбран окислительно-восстановительный процесс. Проведен анализ основных факторов, способствующих разрушению водноорганических эмульсий под действием постоянного электрического тока.

К л ю ч е в ы е с л о в а: эмульгированные органические соединения, реагентное окисление, электрохимическое обезвреживание сточных вод.

Эффективное использование воды на промышленных предприятиях возможно при наличии единой системы водного хозяйства, включающей водоснабжение, водоотведение, очистку сточных вод, их подготовку для технического водоснабжения, исключающей сброс в водные объекты, дальнейшее использование компонентов (загрязнителей), в качестве вторичного сырья. Анализируя современное состояние методов очистки сточных вод заводов железобетонных изделий, следует указать на их разнообразие [1—6]. Однако они не позволяют создать замкнутую систему водоснабжения, реализация которой привела бы к экономии водных ресурсов и решению обозначенной проблемы. В сточных водах заводов железобетонных изделий содержатся эмульгированные органические (ЭО) соединения, избавиться от которых можно при использовании дорогостоящих неоправдывающих себя сложных технологий. Поэтому на сегодняшний день сохраняется актуальность работ, посвященных оптимизации существующих, а также созданию экономически рациональных и ресурсосберегающих технологий очистки сточных вод заводов ЖБИ.

Отечественные и зарубежные ученые [5—9] активно занимаются разработкой технологий очистки сточных вод от органических загрязнений, однако самая эффективная технология не может быть универсальной. В каждом конкретном случае требуется тщательный анализ факторов, затем корректировка метода, что в дальнейшем приводит к удорожанию воды в десятки раз. Именно поэтому существует ряд производств, где по сей день вопрос о создании замкнутой системы не решен, так как предлагаемые методы весьма дорогостоящие. К таким предприятиям относятся заводы ЖБИ, на которых очень низкая степень возврата воды в технологический цикл, обусловленная, прежде всего, отсутствием метода, позволяющего эффективно очищать стоки, содержащие ЭО-соединения.

В представленной статье излагаются результаты исследований по выбору рационального, удобного в эксплуатации метода очистки сточных вод предприятий по производству железобетонных изделий.

Для того, чтобы выбрать наиболее эффективный метод очистки сточных вод заводов ЖБИ от эмульгированных органических соединений, а также спрогнозировать состав и свойства осадка, выделившегося в результате очистки тем или иным способом, необходимо определить структуру и концентрацию органических соединений, входящих в состав загрязнителя.

Органические продукты, извлеченные из сточных вод пентаном, анализировали на хромато-масс-спектрометре. Для анализа экстракта на хромато-масс-спектрометре использовался прямой ввод продукта в камеру ионизации с температурой 523 К, энергия электронного пучка 70 эВ. Химический состав сточных вод заводов ЖБИ представлен в табл. 1.

Проанализировав химический состав загрязнений, был сделан вывод о целесообразности извлечения органических веществ без изменения их структуры, таким образом не переводя их в отходы, а использовать в качестве вторичного сырья после предварительного обезвреживания.

Анализ литературных источников [9—12] показал, что для очистки сточных вод от органических загрязнений в настоящее время существует много способов. Однако в результате применения большинства из них компоненты органического происхождения (загрязнители) безвозвратно теряются и переходят в отходы. Для очистки сточных вод от органических соединений можно использовать окислительные процессы, но химическое окисление полностью разрушает молекулу.

Т а б л и ц а 1

Химический состав сточных вод

Показатели	Химический состав	Концентрация, мг/л
Взвешенные вещества		
Неорганические	SiO ₂	18,04
	Ca(OH) ₂	15,12
Органические	метановые	14,16
	нафтоновые:	
	а) моно-	46,80
	б) ди-	30,72
	в) три-	7,44
	г) тетра-	19,68
	алкилдибензолы	9,84
	инданы, тетралины	6,32
	динафтенбензолы	9,00
	нафталины	10,08
	мононафтеннафталины	4,20
	динафтеннафталины	5,88
	фенантроны	7,92
Растворенные вещества		
Неорганические	NaCl	21,48
	Na ₃ PO ₄	31,68
	NaOH	12,6
	CaCl ₂	20,16

В лабораторных условиях были апробированы некоторые физико-химические и химические методы очистки. В табл. 2 представлены данные по результатам очистки обозначенными методами. При применении данных методов степень очистки превышала 30...34 %.

Т а б л и ц а 2

Сравнительная характеристика методов очистки сточных вод

Метод очистки	Степень очистки, %	Примечания
Сорбция	47...52	Сложна и экономически невыгодна регенерация сорбента, безвозвратная потеря органических веществ
Реагентная очистка (окисление перекисью водорода)	52...55	Окисление происходит до CO_2 и H_2O ; процесс окисления взрывоопасный, метод очень чувствителен к концентрации H_2O_2 и температуре, свету; частичная потеря пара в виде пара
Электрохимическая обработка	45...52	Необходимость подбора материала электродов; постоянный контроль величины анодного потенциала; расход электроэнергии

По результатам предварительных исследований видим, что наиболее эффективными являются методы реагентной очистки, сорбционные и электрохимические. Однако каждый из этих методов имеет ряд недостатков. Метод сорбционной очистки сложен и экономически невыгоден, так как необходима регенерация сорбента, что, в свою очередь, ведет к дополнительным затратам на реагенты. К тому же сорбционный метод не отвечает главному критерию — не позволяет извлекать органические загрязнители без разрушения их структуры [6, 13—16].

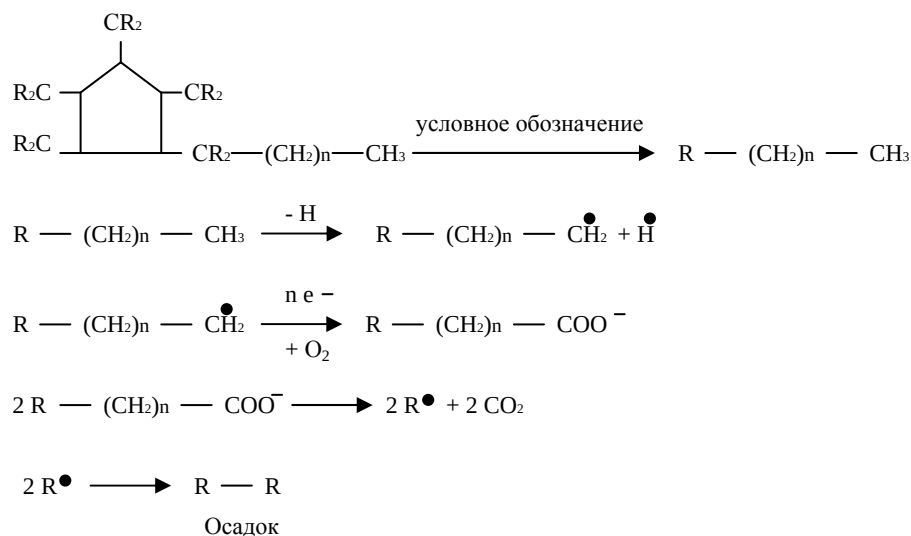
Метод реагентного окисления также не целесообразен с экономической точки зрения, так как включает значительные расходы на реагенты, к тому же метод пожаро- и взрывоопасен, а также, как и метод сорбционной очистки, не позволяет выделять загрязняющие компоненты без изменения их химического состава и структуры — происходит полное окисление органических соединений, входящих в состав загрязнений, до углекислого газа и воды.

К недостаткам электрохимической обработки относятся необходимость подбора анодного материала и основных параметров электрохимической очистки, а также постоянный контроль величины анодного потенциала и самое главное — расход электроэнергии. Но только этот метод может позволить извлекать органические вещества с минимальным изменением их структуры.

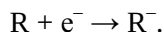
По результатам предварительных лабораторных исследований было выявлено, что основному требованию, предъявляемому к методу очистки сточных вод завода ЖБИ, а именно максимальное выделение загрязняющих веществ с минимальным изменением их структуры, отвечает метод электрохимической очистки. Дальнейшие исследования проводили на основе электрохимического метода, для которого требовалось подобрать и отработать условия обработки водных стоков, не разрушая полностью структуру молекул органического вещества.

Сущность метода электрохимической очистки сточных вод заключается в обработке сточной жидкости постоянным электрическим током в аппарате с нерастворимыми, в условиях анодной поляризации, электродами. Для успешного осуществления электрообработки необходим соответствующий подбор материала анода и определенных режимных параметров обработки: плотности тока, времени обработки стоков, а также температуры и pH среды [1, 10, 11, 17].

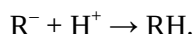
Для дальнейших исследований были изучены кинетика реакций, протекающих в приэлектродных пространствах, и проанализированы продукты обозначенных реакций. Полученные результаты показали, что в прианодном пространстве протекает деструкция ЭО-загрязнений до прогнозируемых структур и лишь незначительная их часть полимеризуется на катоде. Полученные данные позволили сформулировать вероятностный механизм анодной реакции на примере нафтенгов. Предполагаемый механизм протекания электрохимического окисления на анодной поверхности (анод — платина, $\varphi = 2,38$ В) представлен ниже.



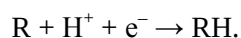
В прикатодном пространстве в основном происходят реакции электровосстановления органических веществ в водных средах, связанные с механизмом выделения водорода на электроде. Поэтому говорят о различных по своей природе восстанавливающих агентах: электронах, ионах или атомах водорода. Часто в электрохимической реакции на катоде участвуют непосредственно молекулы органического вещества, превращаясь в органические анионы:



При этом последующей стадией процесса является нейтрализация аниона с образованием продукта гидрирования:



Возможно также одновременное участие в разряде иона водорода и молекулы органического вещества:



При высоком потенциале катода в качестве промежуточных продуктов реакции могут образовываться свободные радикалы, способствующие высокой реакционной активности органических соединений [1, 10, 11].

На ход процесса восстановления влияет характер заместителя (электроотрицательные и электроположительные группы) и его положение в восстанавливаемой молекуле, материал катода, условия электролиза и особенно состав раствора [2, 12].

Органические соединения электролитически восстанавливаются на металлах с высоким перенапряжением (Hg, Pb, Cd и др.) [3], что требует значительного расхода электроэнергии и практически неосуществимо в условиях очистки больших объемов сточных вод. Однако катодные процессы восстановления, протекающие в электролизерах, сопряжены с анодными процессами окисления, но они вносят несущественный вклад в общий процесс выделения органических соединений.

Поскольку электрохимическое обезвреживание сточных вод целесообразнее осуществлять окислением органических соединений на аноде, особое внимание, как уже отмечено, следует уделять выбору анодного материала. Основная трудность возникает вследствие того, что большинство металлов термодинамически неустойчивы в условиях анодной поляризации (происходит их растворение или пассивация) [2, 3].

Основным фактором, обуславливающим пригодность того или иного материала в качестве анодов, является достаточная механическая прочность, технологичность изготовления и химическая устойчивость к агрессивным средам [4]. Одним из основных показателей, характеризующих электрохимическую активность электродного материала, является перенапряжение (η), т. е. отклонение фактического потенциала электрода от равновесного потенциала протекающей на нем реакции [5, 8]. Чем меньше перенапряжение реакции на данном электроде, тем при более низком потенциале электрода и, следовательно, при меньших затратах электроэнергии осуществима эта реакция. Выделение, например, водорода, кислорода, хлора на различных электродах происходит при разных потенциалах, и при выборе материала электродов для проведения определенной электрохимической реакции необходимо учитывать значение перенапряжения [6, 9].

В частности, в процессах электрохимической очистки высокое перенапряжение выделения водорода на катоде и кислорода на аноде сказывается на увеличении произвольно расходуемой энергии [7]. Из этого следует, что в качестве материала электродов наиболее пригодны металлы с низким перенапряжением, например платина, однако в силу экономических факторов для исследования применялись электроды из графита и нержавеющей стали.

Для определения величины потенциала окисления органических соединений, загрязняющих сточные воды заводов ЖБИ, плотности тока и материала анода были получены поляризационные кривые прианодного процесса. При снятии поляризационных кривых в качестве материала анода использовалась платина, однако, исходя из соображений повышения экономичности

процесса очистки, была исследована возможность использования электродов, изготовленных из графита, так как графит является электрохимически активным анодным материалом с высокой электропроводностью и электродов из нержавеющей стали.

Исследования проводились на 8 модельных растворах, содержащих неорганические соединения той же концентрации, что и в реальных стоках, и отдельные фракции органических загрязнений.

Поляризационные кривые прианодного пространства сняты при помощи потенциостата ПИ-50-1.1 в комплекте с программатором и двухкоординатным регистрирующим прибором ПДА 1.

Проанализировав полученные анодные поляризационные кривые, видим, что наибольшая плотность тока, необходимая для достижения потенциала окисления органических компонентов загрязняющих веществ (моно- и динатфеннафталинов) при электроокислении, на поверхности анода составляет $1,0 \text{ А/дм}^2$, наименьшая (при электроокислении динатфенбензолов) — $0,5 \text{ А/дм}^2$. Процесс электроокисления проходил при меньших плотностях на аноде, изготовленном из платины, однако использование платиновых анодов нецелесообразно с экономической точки зрения.

Таким образом, при использовании графитовых анодов в большинстве случаев наблюдалась самое высокое значение плотности тока, поэтому также нецелесообразно их применение в промышленном масштабе. Оптимальным вариантом является применение нерастворенных анодов, выполненных из нержавеющей стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красноборо́дько И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л.: Химия, 1988. 192 с.
2. Гордон Дж. Органическая химия растворов электролитов. М.: Мир, 1979. 712 с.
3. Зигмонди Р. Коллоидная химия. Киев: ЦНИС, 1931. 146 с.
4. Бондаренко А. В. Электрохимия. М.: Химия, 1975. 675 с.
5. Прикладная электрохимия / под общ. ред. А. П. Ротиняна и др. Л.: Химия, 1967. 600 с.
6. Подобаев Н. И. Электрохимия. М.: Просвещение, 1977. 152 с.
7. Родионов А. И., Клушин В. Н., Троцешников Н. С. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 1989. 512 с.
8. Стахов Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. М.: Недра, 1994. 256 с.
9. Выявление факторов, разрушающих эмульсии водно-дисперсионных лакокрасочных материалов в сточных водах / З. К. Ибрагимова, Д. В. Щитов, Э. Г. Янусян, П. А. Сидякин, Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева // Фундаментальные исследования. 2014. № 9—12. С. 2644—2649.
10. Исследование факторов, снижающих эффективность очистки сточных вод на машиностроительных предприятиях / Е. В. Москвичева, Э. П. Доскина, А. В. Москвичева, Т. А. Кузьмина, М. А. Самойленко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 206—210.
11. Нонхибел Д., Уолтон Д. Химия свободных радикалов. М.: Мир, 1977. 351 с.
12. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л. Л. Паль, Я. Я. Кору, Х. А. Мельдер, Б. Н. Репин. М., 1994. 336 с.
13. Практикум по физической химии / под ред. С. В. Горбачева. М.: Высшая школа, 1974. 496 с.
14. Фесенко Л. Н., Игнатенко С. И., Кудрявцев С. В. Опыт эксплуатации электролизных установок для получения гипохлорита натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 1. С. 25—28.
15. Современные системы оборотного водоснабжения промышленного предприятия / Е. В. Москвичева, А. Р. Салахутдинова, Д. О. Игнаткина, П. А. Сидякин // Вестник Волгоград-

ского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2015. № 39(58). С. 151—163.

16. Очистка сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов / Е. В. Москвичева, А. В. Москвичева, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 1(20). С. 41—46.

17. К вопросу об очистке сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов / Е. В. Москвичева, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, З. К. Ибрагимова, А. А. Запорощенко, О. Е. Николова, А. С. Сегень // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 1(20). С. 47—54.

© Москвичева Е. В., Кузьмина Т. А., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Запорощенко А. А.,
Николова О. Е., Ибрагимова З. К., 2017

*Поступила в редакцию
в марте 2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Выбор метода очистки сточных вод предприятий по производству железобетонных изделий / Е. В. Москвичева, Т. А. Кузьмина, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, А. А. Запорощенко, О. Е. Николова, З. К. Ибрагимова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 166—174.

Об авторах:

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Кузьмина Татьяна Алексеевна — Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1,

Сидякин Павел Алексеевич — канд. техн. наук, доц., проф. кафедры строительства, Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, sidyakin_74@mail.ru

Щитов Дмитрий Викторович — канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительства, Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, skfu.pgs@gmail.com

Запорощенко Андрей Андреевич — аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Николова Оксана Евгеньевна — аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Ибрагимова Зульфира Кайтарбековна — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

**E. V. Moskvicheva, T. A. Kuz'mina, P. A. Sidiyakin, D. V. Shchitov,
A. A. Zaporoshchenko, O. E. Nikolova, Z. K. Ibragimova**

THE CHOICE OF THE METHOD OF SEWAGE TREATMENT AT ENTERPRISES MANUFACTURING CONCRETE PRODUCTS

The low-waste technology of sewage treatment from the emulsified organic pollution caused by enterprises manufacturing concrete products is offered in the article. With the help of this technology it is possible to return purified water to the system of turnover water supply, and to use the recovered components of a pollutant as secondary raw material. The possibility of destruction of water-organic emulsions by means of oxidation is proven. Oxidation-reduction process is chosen as the main method. The analysis of the main factors promoting destruction of water-organic emulsions under the influence of the flow of the direct current is carried out.

Key words: emulsified organic compounds, reagent oxidation, electrical and chemical neutralization of sewage.

REFERENCES

1. Krasnoborod'ko I. G. *Destruktivnaya ochistka stochnykh vod ot krasitelei* [Destructive sewage treatment from dyes]. Leningrad, Khimiya Publ., 1988. 192 p.
2. Gordon J. *Organicheskaya khimiya rastvorov elektrolitov* [Organic chemistry of electrolyte solutions]. Transl. from English. Moscow, Mir Publ., 1979. 712 p.
3. Zigmundi R. *Kolloidnaya khimiya* [Colloidal chemistry]. Kiev, TsNIS, 1931. 146 p.
4. Bondarenko A. V. *Elektrokhimiya* [Electrochemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1975. 675 p.
5. Rotinyan A. P., ed. *Prikladnaya elektrokhimiya* [Applied electrochemistry]. Leningrad, Khimiya Publ., 1967. 600 p.
6. Podobaeв N. I. *Elektrokhimiya* [Electrochemistry]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1977. 152 p.
7. Rodionov A. I., Klushin V. N., Trocheshnikov N. S. *Tekhnika zashchity okruzhayushchei sredy* [Environmental protection engineering]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 512 p.
8. Stakhov E. A. *Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod predpriyatii khraneniya i transporta nefteproduktov* [Purification of oily wastes of enterprises that store and transport petroleum products]. Moscow, Nedra Publ., 1994. 256 p.
9. Moskvicheva E. V., Moskvicheva A. V., Ignatkina D. O., Sidiyakin P. A., Yanukyan E. G., Schitov D. V., Ibragimova Z. K. [Identification of factors damaging emulsion water-dispersion paint materials in wastewater]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2014, no. 9—12, pp. 2644—2649.
10. Moskvicheva E. V., Doskina E. P., Moskvicheva A. V., Kuz'mina T. A., Samoylenko M. A. [Research of the factors reducing the efficiency of waste water treatment at machine-building enterprises]. *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], 2014, no. 36(55), pp. 206—210.
11. Nonkhibel D., Walton D. *Khimiya svobodnykh radikalov* [Chemistry of free radicals]. Transl. from English. Moscow, Mir Publ., 1977. 351 p.
12. Pal' L. L., Koru Ya. Ya., Mel'der Kh. A., Repin B. N. *Spravochnik po ochistke prirodnnykh i stochnykh vod* [Reference book on purification of natural and waste water]. Moscow, 1994. 336 p.
13. Gorbachev S. V., ed. *Praktikum po fizicheskoi khimii* [Practical course on physical chemistry]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1974. 496 p.
14. Fesenko L. N., Ignatenko S. I., Kudryavtsev S. V. [Experience in Operation of Electrolytic Units for Production of Sodium Hypochlorite]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique], 2007, no. 1, pp. 25—28.
15. Moskvicheva E. V., Salakhutdinova A. R., Ignatkina D. O., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Ibragimova Z. K. [Modern water recycling systems of industrial enterprise]. *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], 2015, iss. 39(58), pp. 151—163.
16. Moskvicheva E. V., Moskvicheva A. V., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Kornilova U. B., Kuzmina T. A., Samoylenko M. A. [Wastewater treatment of emulsified oil products]. *Sovremennye fundamental'nye i prikladnye issledovaniya* [Modern fundamental and applied researches], 2016, no. 1(20), pp. 44—46.
17. Moskvicheva E. V., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Ibragimova Z. K., Zaporoshenko A. A., Nikolova O. E., Segen A. S. [To the question of the treatment of wastewater from emulsified oils]. *Sovremennye fundamental'nye i prikladnye issledovaniya* [Modern fundamental and applied researches], 2016, no. 1(20), pp. 47—54.

For citation:

Moskvicheva E. V., Kuz'mina T. A., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Zaporoshchenko A. A., Nikolova O. E., Ibragimova Z. K. [The choice of the method of sewage treatment at enterprises manufacturing concrete products]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 166—174.

About authors:

Moskvicheva Elena Viktorovna — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Kuz'mina Tat'yana Alekseevna — Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina St., Stavropol', 355009, Russian Federation,

Sidyakin Pavel Alekseevich — Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Construction Department, Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina St., Stavropol', 355009, Russian Federation, sidyakin_74@mail.ru.

Shchitov Dmitrii Viktorovich — Candidate of Engineering Science, Docent, Head of Construction Department, Branch of North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk. 1, Pushkina St., Stavropol', 355009, Russian Federation, skfu.pgs@gmail.com

Zaporoshchenko Andrei Andreevich — Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Nikolova Oksana Evgen'evna — Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Ibragimova Zul'fira Kaitarbekovna — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

УДК 504.5:628.393:661(470.45)

С. В. Кузнецова, С. И. Махова

Волгоградский государственный технический университет

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ И ПРИМЕРЫ ИХ ЛИКВИДАЦИИ

Рассмотрены причины возникновения гидрогеохимических аномалий и их влияние на экологическое состояние окружающей среды. Указаны основные источники формирования гидрогеохимических аномалий, их влияние на экологическое состояние окружающей среды и примеры их ликвидации.

Ключевые слова: гидрогеохимические аномалии, накопители жидких отходов (НЖО), «Белое море», загрязнение подземных вод, предельно-допустимые концентрации (ПДК), минерализация.

Формирование гидрогеохимических аномалий на территории Волгоградской городской агломерации (ВГА) в основном связано с работой предприятий химической, металлургической, нефтяной и других видов промышленности. В результате эксплуатации этих предприятий создаются накопители жидких отходов, пруды-испарители, хвостохранилища, «белые моря», которые являются источниками загрязнения грунтов, подземной и поверхностной гидросферы и атмосферного воздуха.

Наиболее экологически опасными объектами Волгоградской городской агломерации являются пруд-накопитель Большой лиман, расположенный севернее г. Волжский, шламонакопитель ВОАО «Химпром» — «Белое море» в Кировском районе. За многие годы их эксплуатации накопилось огромное количество сильно загрязненных и токсичных отходов (жидких, твердых и шлама), оказывающих отрицательное влияние на атмосферу, подземные воды, грунты и здоровье населения [1—4].

Пруд-накопитель Большой Лиман

Токсичные отходы завода «Волжский Оргсинтез» и сточные воды многих предприятий г. Волжского на протяжении ряда лет сбрасывались в пруд-накопитель «Большой Лиман». Большой Лиман — это естественная замкнутая котловина в левобережной части Прикаспийской низменности с плоским рельефом и неглубоким залеганием грунтовых вод. Общая площадь лимана составляет 60 км² с абсолютными отметками дна — 14...15 м и бортов 19,5...20,0 м. Дно и борта лимана сложены хвалынскими шоколадными глинами мощностью от 12...14 м в центре лимана до 3...4 м в бортах. Впервые факт загрязнения грунтовых вод был зафиксирован в 1983 г., когда уровень воды в Большом Лимане достиг отметки 19,1 м, что на 1,1 м выше проектной отметки. В результате чего, по данным волгоградской комплексной геологической экспедиции, площадь загрязнения поверхностной и подземной гидросферы составила 252 км² [1, 5].

Специфические загрязнения в концентрациях значительно выше ПДК (толуол, формальдегид, сероуглерод, анилин и др.), характерные для Большого Лимана, были обнаружены в ательском водоносном, нижележащем хазар-

ском горизонтах и в поверхностных водах. Загрязнение обусловлено также содержанием нефтепродуктов, формальдегида, железа и др. Всё это привело к тому, что в районе пруда-испарителя Большой лиман сложилась недопустимая экологическая ситуация.

Для решения этой проблемы фирмой «ГРИН ФРОГ» были изучены возможные методы обеззараживания токсичных отходов завода «Волжский Оргсинтез»: биологическая очистка; сжигание; подземное захоронение. Оптимальным для обезвреживания токсичных отходов завода «Волжский Оргсинтез» было признано подземное захоронение. Общеизвестно, что полигоны подземного захоронения являются объектами повышенного экологического риска; в особенности при их размещении в солянокупольных областях [1, 6]. Это связано с современными движениями соляных структур, способными, с одной стороны, нарушать герметичность коллекторов и с другой — привести к авариям скважин, что в конечном счете может вызвать загрязнение водоносных горизонтов и окружающей среды в целом.

Соляные купола все чаще используются как подземные хранилища углеводородов и промышленных отходов. Главная особенность солянокупольных структур, оказывающая решающее влияние на условия подземного захоронения, состоит в их непрекращающемся движении очень сложного характера. Так, например, на территории полигона захоронения жидких отходов «Волжский Оргсинтез» сфера закачки включает три структурных элемента: сводовую часть Паромненской структуры, часть Восточно-Паромненской мульды и склон между ними [7]. Тектонические движения в этих зонах имеют различную скорость и знак, что оказывает решающее значение при оценке возможного нарушения герметичности скважин и их разрушения. Кроме того, участки куполов часто характеризуются повышенной набухаемостью и просадочностью, развитием подтопления, что приводит к деформациям и авариям сооружений. Создаваемые соляными структурами аномалии геофизических и геохимических полей являются предпосылкой формирования геопатогенных зон, влияющих на здоровье человека [5].

С целью предотвращения экологической опасности для экосистем рек Ахтуба и Волга и территории г. Волжского были выполнены крупные геологоразведочные и научно-исследовательские работы по изучению возможности глубинного захоронения. В связи с этим на восточном склоне Паромненского соляного купола, ограниченного Восточно-Паромненской мульдой, был сооружен полигон захоронения в нижнебайосский пласт-коллектор мощностью 41...46 м, который находится на глубине 830...1350 м в нижней части надсолевого комплекса, осложненного рядом разломов, образующих над вершиной купола грабен [8]. Пласт-коллектор сложен кварцевыми песками, перекрыт и подстилается глинами мощностью 67...104 м. Выше, в зоне замедленного водообмена, залегают три горизонта с непригодными для использования водами: они отделяются от зоны активного водообмена региональным водоупором верхнего мела мощностью 450...750 м.

Была также выполнена длительная опытно-промышленная закачка чистой воды, модельных растворов и реальных промстоков с целью выявления возможности промышленной закачки. Направляемые на закачку стоки от основных производств являлись сильнозагрязненными, токсичными и трудноочищаемыми. Они образуются в процессе производства резиновых ускорителей (каптакса,

альтакса, тиурама, стабилизатора С-789, сульфенамида), анилина, ксатогенатов, 2-нафтола, морфолина, сероуглерода. Параллельно был создан комплексный мониторинг, в структуру которого входили геодинамический, гидрогеохимический, геофизический, гидравлический, мониторинг режима грунтовых вод и геологических процессов, контроля закачиваемой жидкости.

В итоге проект опытно-промышленной закачки жидких отходов ОАО «Волжский Оргсинтез» в глубоко изолированные подземные горизонты был реализован; результаты закачки в целом благоприятны для продолжения работ на уровне промышленной эксплуатации полигона. Следует отметить, что в последние годы произошло заметное снижение концентрации специфических загрязнений в подземных водах, что, по-видимому, связано с прекращением сброса стоков в Большой Лиман и с началом их закачки в подземные горизонты. Состав жидких промышленных отходов существенно изменяется в зависимости от корректировки структуры промышленного производства [5, 9].

Шламонакопитель «Белое море»

В Кировском районе г. Волгограда расположено одно из старейших химических предприятий города — ВОАО «Химпром» (начало работы — 1931 год). За время существования предприятия на его территории сформировались химически опасные объекты — это Белое Море, хлорорганические отходы, которые в значительных количествах хранятся на предприятии [1].

Сооружения ВОАО «Химпром» расположены в пределах поймы реки Волги и примыкающей к ней с запада морской хвалынской равнины, которая возвышается над урезом Волги на 20...25 м и к пойме обрывается крутым уступом, местами осложненным небольшими оползнями.

Наиболее крупный из объектов ВОАО «Химпром» — шламонакопитель Белое Море площадью 25 га и емкостью 1,5 млн м³, расположенный на пойменной террасе р. Волги. Ширина правобережной пойменной террасы на участке отстойника составляет 200...700 м. Для рельефа характерны резкие перепады отметок поверхности от 9,24 до 23 м, что обусловлено созданием дамб, различных насыпей, свалок строительных отходов.

Огражденная железнодорожной дамбой, построенной еще в 1896 г., пойма стала использоваться как шламонакопитель (отстойник) для загрязненных стоков, которые периодически сбрасывались в Волгу, загрязняя окружающую среду и воду р. Волги фосфорорганическими соединениями (в том числе ингибирующие ХЭ), сульфонатом, хлором и фенолом — специфическими для ВОАО «Химпром» компонентами.

Шламонакопитель разделен на 3 секции дамбами. По северной дамбе проходит автодорога, по южной — невысокая эстакада с ливневым коллектором. Со стороны реки Волги и Сарептского затона накопитель отгорожен дамбой высотой 2,5...3,5 м из песчаных и глинистых грунтов.

Южная и средняя секции накопителя почти вплотную подходят к уступу хвалынской равнины. Северная секция от уступа последней отделяется полосой не более 50 м.

В 1958 году по проекту института «Гидропроект» были выполнены работы по усилению ограждающей дамбы, но не был сделан дренаж в основании откоса. После заполнения отстойника до отметок 8,7...8,8 м (по проекту 7,5 м) началась фильтрация воды в основании откоса. В 1965 году дамба обрушилась, и сточные воды хлынули в Волгу, что вызвало массовую гибель

рыб. Одной из главных причин аварии явилось превышение проектного уровня воды в шламонакопителе на 1,3 м. После аварии был поставлен вопрос о ликвидации накопителя, но это было выполнено лишь в 1988 г. [1].

Таким образом, с 1949 до 1988 гг. в шламонакопитель сбрасывались практически все наиболее грязные жидкие отходы и шлам действовавших в то время производств. За долгие годы завод накопил огромное количество отходов и опасных веществ, выработанных в процессе работы и представляющих экологическую угрозу для всего региона.

С целью уменьшения вредного воздействия на окружающую среду содержимого Белого Моря было выполнено укрытие накопителя известковой пушонкой, известково-карбонатным шламом, отсевом извести и известьсодержащими отходами. В настоящее время многие цеха на территории завода практически не работают, заброшены или частично разрушены.

В конце 2011 г. Министерство промышленности и торговли России включило предприятие ВОАО «Химпром» в программу ФЦП «Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2009—2014 гг.)» для ликвидации химически опасных объектов от прошлой деятельности.

В 2012 г. были выполнены разработки для обоснования проектно-изыскательских работ по ликвидации химически опасных объектов на ВОАО «Химпром». По проекту ликвидация и обезвреживание химически опасных объектов будет проведена с использованием технологии термического обезвреживания в барабанных вращающихся печах, построенных в пределах поймы. После завершения ликвидации и обезвреживания химически опасных объектов предполагается рекультивация земель и на месте шламонакопителя проектируется создание зеленой зоны.

Ранее инженерно-геологические изыскания на территории ВОАО «Химпром» и за ее пределами проводились неоднократно с целью изучения инженерно-геологических условий строительства различных сооружений и инженерных сетей на глубину до 10...15 м. В изысканиях принимали участие Волгоградский филиал института «Гидропроект», Ростовский институт «Водоканалпроект» и др.

Инженерно-геологические и геоэкологические изыскания 2012—2013 гг. выполнялись изыскательской организацией ООО «Радиян» при участии сотрудников кафедры ГЗС ВолгГАСУ, в результате которых на территории объектов ликвидации химически опасных объектов от прошлой деятельности на ВОАО «Химпром» изучены инженерно-геологические условия размещения проектируемых промышленных объектов. В процессе изысканий выполнен большой объем буровых работ глубиной до 20...40 м, опытно-фильтрационных (экспресс-откачки), геофизических (определение УЭС методом ВЭЗ, измерение величин РП), лабораторных и камеральных.

В геологическом строении поймы до глубины 25...40 м принимают участие отложения четвертичной и палеогеновой систем, представленные техногенными современными образованиями и насыпными грунтами (tQ_{IV}), аллювиальными современными песками пылеватыми и мелкими с включением гравия и гальки, ракуши (aQ_{IV}) и глинами майкопской серии палеогена (P_3mk), которые вскрыты на площадке установки термического обезвреживания шлама, БОС-1 на глубине 20,2...22,3 м. Вскрытая мощность глин составляет 17,7...19,8 м.

Особый интерес представляют *техногенные современные образования-шлам* (tQ_{IV}) неоднородные по плотности и сложению, заполняющие шламонакопитель Белое море, мощностью 12...15 и более м. В основном шлам представляет собой сравнительно однородную массу пылеватого песчано-известковистого материала серого цвета, рыхлого или среднетрещинного сложения, с включениями строительных отходов. Лишь в основании накопителя в составе шлама появляются иловатые глины черного, темно-серого и зеленоватого цвета с резким запахом химических продуктов или метровый загрязненный слой черных песков, переходящий в относительно чистые пойменные пески. Общий объем отходов, подлежащих ликвидации, составляет более 3,2 млн м³.

Химические анализы шлама в северной части накопителя (скв. 5р) показывают высокое содержание хлоридов (до 40000 мг/кг), кальция (до 17000 мг/кг), незначительное количество фенолов (до 0,8 мг/кг), ртути (до 0,9 мг/кг), следы хлороформа, хлористого метила, метилхлорида, превышающие норматив ПДК.

В центральной части накопителя (скв. 15р) содержание хлоридов увеличивается до 48000 мг/кг и резко возрастает содержание ртути до 600...800 мг/кг, особенно на глубине 10...12 м. При этом в поперечном разрезе шламонакопителя (скв. 14р—17р) концентрация ртути остается высокой в скв. 17р (до 250 мг/кг) и быстро уменьшается до 1,7 мг/кг в скв. 14, т. е. по направлению к р. Волге. Следует отметить, что анализы химического состава подземных вод по наблюдательным скважинам на участке между шламонакопителем и р. Волгой показали отсутствие ртути в водоносном горизонте, гидравлически связанным с водами реки.

В продольном разрезе шламонакопителя содержание ртути также заметно снижается по направлению к Сарептскому затону. Концентрации хлора и кальция снижаются здесь от 7000...13000 до 500...600 мг/кг, а содержание специфических ингредиентов — хлороформа, толуола, трихлорэтилена остается в пределах 0,001...0,033 мг/кг.

В южной оконечности шламонакопителя (скв. 40р—42р) ртуть и специфические загрязнения исчезают, за исключением следов хлороформа.

Все это обуславливает необходимость утилизации всего объема, содержащегося в накопителе шлама Белое море.

Гидрогеологические условия (ГГУ) поймы существенно изменены в результате создания шламонакопителя. В 1963 г. отметки шламонакопителя составили 8,7...8,8 м ГС, что привело к подъему УГВ за ограждающей дамбой и к заболачиванию поймы. Уровень подземных вод (сентябрь-ноябрь 2012 г.) на площадке шламонакопителя Белое море вскрыт на глубине 1,9...3,4 м в техногенных накоплениях (tQ_{IV}) и аллювиальных современных песках (aQ_{IV}), на площадке установки термического обезвреживания шлама (август-сентябрь 2013 г.) — на глубине 4,4...8,0 м в аллювиальных песках (aQ_{IV}). Вскрытая мощность водовмещающих пород колеблется от 10,5 м до 16,4 м. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, паводковых вод и утечек из водонесущих коммуникаций (водопровод, канализация в пределах Белого моря). Нижним водоупором являются плотные разности майкопских глин. Разгрузка осуществляется в сторону р. Волги.

Режим грунтовых вод тесно связан с режимом р. Волги. По результатам наблюдений института «Гидропроект», преобразованного в 1971 г. в институт «Гипроводстрой», в 1961—2012 гг. подъем уровня воды в р. Волге начинается во второй декаде апреля, средняя продолжительность 42 дня. Максимальная отметка 8,95 м ГС весеннего половодья отмечалась 2 и 3 июня 1979 г, минимальная — 5,55 м ГС — 6 мая 2006 г. Годовые амплитуды колебания уровня воды в р. Волге изменяются от 4,7 м (2006 г.) до 8,3 м (1995 г.). Максимальный уровень воды весеннего половодья при 3 % обеспеченности составляет 8,70 м ГС.

Следует отметить, что для химического состава подземных вод характерно сильное загрязнение отходами химического производства. Минерализация подземных вод изменяется от 3,0 до 20,0 г/л. Увеличение минерализации отмечается с севера на юг.

Природная защищенность грунтовых вод поймы от загрязнения соответствует I категории, т.е. воды практически не защищены от загрязнения.

В пределах *морской хвалынской равнины* расположены цеха №№ 34, 41, 15, БОС-II. Рельеф равнины относительно ровный, характеризуется отметками 25,12-25,70 м ГС.

В геологическом строении этой территории принимают участие техногенные современные насыпные грунты (tQ_{IV}), озерно-аллювиальные верхнечетвертично-современные отложения ($laQ_{III-IV}bk$), морские верхнечетвертичные отложения хвалынского горизонта ($mQ_{III}hv$), верхнечетвертичные отложения ательского горизонта (Q_{IIIat}), среднечетвертичные отложения хазарского горизонта (Q_{IIhz}), отложения майкопской серии палеогена (P_3mk).

Техногенные современные грунты (tQ_{IV}) представлены насыпными грунтами — щебнем, бетоном, асфальтом и перемещенными супесчано-суглинистыми, глинистыми грунтами. В пределах Бекетовской низины в техногенных грунтах встречается шлам химического производства толщиной 2,5...6,6 м.

Озерно-аллювиальные отложения ($laQ_{III-IV}bk$) распространены в пределах Бекетовской низины и вскрыты на глубине 2,5...6,6 м. Представлены они суглинками и песками пылеватыми водонасыщенными с частыми прослоями до 0,2 м глин. Общая мощность бекетовских отложений составляет 3,1...11,2 м.

Морские отложения хвалынского горизонта ($mQ_{III}hv$) вскрыты на глубине 0,4-4,0 м, в пределах Бекетовской низины — 9,0...13,9 м и представлены глинами шоколадными тонкослоистыми с присыпками по плоскостям напластования алевроитов и песков мелких, с вертикальными трещинами усыхания. Мощность глин изменяется от 3,5...7,4 м (цех № 34) до 10,3...16,4 м (цех № 41, БОС-II).

Отложения ательского горизонта Q_{IIIat} залегают под шоколадными глинами и представлены просадочными суглинками и супесями с тонкими прослоями глин мощностью 3,3...9,2 м. В нижней части разреза суглинки и супеси замещаются песками пылеватыми мощностью от 0,0 до 4,7 м. Общая мощность отложений ательского горизонта составляет 4,5...12,6 м.

Отложения хазарского горизонта Q_{IIhz} вскрыты на глубине 25,6...26,40 м и представлены песками мелкими и средней крупности водонасыщенными. Мощностью песков составляет 4,2...4,3 м.

Отложения майкопской серии палеогена (P_3mk) залегают под хазарскими песками на глубине 29,9...30,6 м и представлены глинами темно-серыми слоистыми. Вскрытая мощность глин на исследуемой площадке БОС-II составляет 9,4...10,1 м.

Гидрогеологические условия на период изысканий (2012—2013 гг.) на исследуемой территории характеризуются распространением двух водоносных горизонтов.

Первый водоносный горизонт вскрыт на глубине 2,4...6,0 м. Водовмещающими породами служат техногенные грунты (tQ_{IV}), бекетовские суглинки и пески ($laQ_{III-IVbk}$), глины (mQ_{IIIhv}), образуя единый водоносный горизонт. Воды безнапорные. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, утечек из водонесущих коммуникаций, конденсации влаги под экранированными участками поверхности. Разгрузка осуществляется в основном за счет испарения и в сторону поймы реки Волги. Относительным водораздельным слоем служат более плотные, слабопроницаемые слои хвалыньских глин. Однако следует отметить, что при нарушении сплошности водоупорных слоев возможен переток воды из первого грунтового водоносного горизонта в нижележащие ательские отложения, обводнение которых со временем приведет к образованию подземных вод на более плотных разностях суглинков.

Водопроницаемость хвалыньских глин по результатам экспресс-откачек характеризуется коэффициентом фильтрации 0,22...0,95 м/сут; бекетовских суглинков — 0,08 м/сут; песков пылеватых — 1,2 м/сут. Минерализация подземных вод изменяется от 3,2 до 18,4 г/л.

Второй водоносный горизонт — хазарский, вскрыт на глубине 25,6...26,4 м; водовмещающими породами служат пески мелкие, толщиной 4,2...4,3 м. Воды напорные. Величина напора составляет 4 м. Область питания горизонта находится за пределами исследуемой территории (Ергенинская возвышенность), область разгрузки — р. Волга. Водопроницаемость хазарских песков по результатам экспресс-откачек и лабораторных определений характеризуется коэффициентом фильтрации 0,6...12,0 м/сут. Нижним водоупором служат майкопские глины.

Геологические процессы. Основным инженерно-геологическим процессом, развитым практически на всей территории ВОАО «Химпром», является подтопление, выраженное в подъеме уровня грунтовых вод до отметок заглубления подземных частей сооружений и коммуникаций. Широкое распространение этого процесса приводит к загрязнению грунтов, подземной и поверхностной гидросферы. В пределах морской хвалыньской равнины подтоплением обусловлено наличие процессов набухания хвалыньских глин, что приводит к деформации сооружений.

В процессе инженерно-геологических и геоэкологических изысканий наличие загрязняющих веществ, характерных для Белого моря, было обнаружено в корпусах и грунтах цеха № 34, расположенных на хвалыньской равнине, в техногенных грунтах Бекетовской низины.

Сложившаяся экологическая обстановка на территории ВОАО «Химпром» обуславливает необходимость утилизации всего объема содержащегося в накопителе шлама, а также загрязненных грунтов, выявленных в процессе изысканий.

Следует отметить, что место для НЖО было выбрано совершенно неудачно, так как в пределах поймы отсутствует защита грунтовых вод от загрязнения; намного безопаснее было бы расположить НЖО на хвалыньской террасе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геоэкологические проблемы подземных и наземных накопителей жидких отходов в солянокупольных областях / В. Н. Синяков, М. К. Старовойтов, Л. Я. Полянинов, С. В. Кузнецова, Ю. Л. Беляева. М., 2001. 153 с.
2. Влияние накопителей жидких отходов на атмосферу и здоровье человека / В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, Ю. Л. Беляева, С. И. Махова // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Волгоград, 2002. С. 54—59.
3. Махова С. И., Викторова А. О., Афанасьев А. С. Проблема накопления жидких отходов и их негативное влияние на окружающую среду (на примере пруда-накопителя Большой Лиман и Сарпинских озер) // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность: Материалы III Международной науч.-практич. конф. Волгоград: ВолГУ, 2016. С. 260—267.
4. Каехтина М. А. Поверхностные накопители жидких отходов — окружающая среда и человек (экологическая катастрофа «Большого Лимана») // Региональные проблемы экологической безопасности природных и антропогенных объектов: сб. материалов региональной науч.-практич. конф. Липецк: ВГПУ, 2008. С. 115—117.
5. Кузнецова С. В. Аномалии геологической среды солянокупольных бассейнов и их влияние на природно-технические системы и среду обитания человека: автореф... д-ра геол.-минерал. наук. Волгоград, 2000. 48 с.
6. Гольдберг В. М. Гидрогеологическое обоснование размещения полигонов промышленных отходов // Геоэкология. 1995. № 3. С. 43—49.
7. Синяков В. Н., Кузнецова С. В., Омельченко Н. С. Закономерности распределения зон тектонической напряженности в пределах Паромненского соляного купола // Поволжский экологический вестник. Вып. 6. 1999. С. 20—23.
8. Синяков В. Н., Кузнецова С. В., Новикова С. В. Инженерная геология и геоэкология Волгоградской области. Волгоград, 2003. 177 с.
9. Синяков В. Н., Каехтина М. А. Результаты инженерно-геологического мониторинга на полигоне закачки жидких высокотоксичных отходов «Волжский Оргсинтез» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2008. Вып. 12(31). С. 38—42.

© Кузнецова С. В., Махова С. И., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Кузнецова С. В., Махова С. И. Гидрогеохимические аномалии Волгоградской городской агломерации и примеры их ликвидации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 175—183.

Об авторах:

Кузнецова Светлана Васильевна — д-р геол.-минерал. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Махова Светлана Ивановна — канд. геол.-минерал. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

S. V. Kuznetsova, S. I. Makhova

**HYDROGEOCHEMICAL ANOMALIES OF VOLGOGRAD CITY AGGLOMERATION (HAV)
AND EXAMPLES OF THEIR ELIMINATION**

The reasons of occurrence of hydrogeochemical anomalies and their influence on the ecological state of the environment are considered in the article. The main sources of formation of hydrogeochemical anomalies, their influence on the ecological state of the environment and examples of their elimination are indicated.

Key words: hydrogeochemical anomalies, liquid waste storage (NGO), «White Sea», groundwater pollution, maximum permissible concentrations (MPC), mineralization.

REFERENCES

1. Sinyakov V. N., Starovoitov M. K., Polyaninov L. Ya., Kuznetsova S. V., Belyaeva Yu. L. *Geoekologicheskie problemy podzemnykh i nazemnykh nakopitelei zhidkikh otkhodov v solyanokupol'nykh oblastiakh* [Geo-ecological problems of underground and terrestrial liquid waste ponds in salt-dome areas]. Moscow, 2001. 153 p.
2. Sinyakov V. N., Kuznetsova S. V., Belyaeva Yu. L., Makhova S. I. [Influence of liquid waste ponds on the atmosphere and human health]. *Indoor air and environment quality*. Volgograd, 2002. Pp. 54—59.
3. Makhova S. I., Viktorova A. O., Afanas'ev A. S. [The problem of accumulation of liquid waste and their negative impact on the environment (by the example of the Bol'shoi Liman and Sarpinskies Ozera pond)]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: istoriya i sovremennost': Materialy III Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf.* [Anthropogenic transformation of geo-space: history and modern time. Proc. of 3 Int. Sci. - Pract. Conf. Volgograd, VolSU, 2016. Pp. 260—267.
4. Kaekhtina M. A. [Surface liquid waste ponds — the environment and the person (environmental disaster of “Bol'shoi Liman”)]. *Regional'nye problemy ekologicheskoi bezopasnosti prirodnnykh i antropogennykh ob"ektov: sb. materialov regional'noi nauch.-praktich. konf.* [Regional problems of environmental safety of natural and anthropogenic objects. Coll. of proc. of the Regional Sci.-Pract. Conf.]. Lipetsk, VSPU, 2008. Pp. 115—117.
5. Kuznetsova S. V. *Anomalii geologicheskoi sredy solyanokupol'nykh basseinov i ikh vliyanie na prirodno-tehnicheskie sistemy i sredu obitaniya cheloveka* [Anomalies of the geological environment of salt-dome basins and their influence on natural and technical systems and the human environment. Dr. Geol. and Min. Sci. Diss.]. Volgograd, 2000. 48 p.
6. Goldberg V. M. [Hydrogeological justification of placement of industrial waste landfills]. *Geoekologiya* [Geo-ecology], 1995, no. 3, pp. 43—49.
7. Sinyakov V. N., Kuznetsova S. V., Omel'chenko N. S. [Regularities of distribution of zones of tectonic stress within Paromnenskii salt dome]. *Povolzhskii ekologicheskii vestnik* [The Volga Ecological Bulletin], issue 6, 1999, pp. 20—23.
8. Sinyakov V. N., Kuznetsova S. V., Novikova S. V. *Inzhenernaya geologiya i geoekologiya Volgogradskoi oblasti* [Engineering geology and geo-ecology of Volgograd Oblast]. Volgograd, 2003, 177 p.
9. Kayohtina M. A., Sinyakov V. N. [Result engineering-geological monitoring on rang pumping liquid a toxic waste the «Volgsky Orgsynthesis»]. *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], 2008, no. 12(31), pp. 38—42.

For citation:

Kuznetsova S. V., Makhova S. I. [Hydrogeochemical anomalies of Volgograd city agglomeration (HAV) and examples of their elimination]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 175—183.

About authors:

Kuznetsova Svetlana Vasil'evna — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Makhova Svetlana Ivanovna — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 771.03(470.45)

Н. В. Селиванова, Н. А. Ястребова

Волгоградский государственный технический университет

ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНИЦ УСТЬ-МЕДВЕДИЦКАЯ И УСТЬ-ХОПЕРСКАЯ КАК ТИПИЧНЫХ ВОЕННО-КАЗАЧЬИХ ПОСЕЛЕНИЙ

Рассматриваются планировочные особенности поселений донских казаков, история развития и становление казачьих станиц на примере станицы Усть-Медведицкая (ныне — город Серафимович) и станицы Усть-Хоперская.

Ключевые слова: станица, казачество, планировочные особенности.

На сегодняшний день изучение планировочных особенностей исторических поселений, находящихся на территории Волгоградской области, приобретает немаловажное значение. Интерес к данной теме связан с восстановлением исторической памяти, а также социальным и культурным развитием региона.

В настоящее время возникает необходимость в изучении градостроительного наследия донского казачества, выявлении его этнокультурных особенностей. Актуальным представляется вопрос не только изучения донских поселений, но и развития культурного туризма в поселениях донских казаков.

Волгоградская область является полиэтническим регионом, на данной территории находятся представители различных этнических групп, таких как русские, казахи, татары, армяне, украинцы и т. д. [1]. Одними из ярких исторических поселенцев являются казаки. Сегодня казачество принято считать этносом. «Казакам присущи основные признаки этноса, народа: они обладают выраженным национальным самосознанием и самоопределением, имели территориальную автономию, а в некоторые периоды своей истории — собственные независимые государства. Казаки имеют развитую культуру, основанную на традициях военной демократии, отличающуюся от культур других народов» [2]. Данная этническая группа была сформирована в XV—XVII веках как военно-служивое сословие. На современных территориях Ростовской и Волгоградской областей Российской Федерации, а также частей Луганской и Донецкой областей Украины расположилось Донское казачество, которое являлось самым многочисленным войском российских казаков [3].

В рамках исследования планировочных особенностей поселений донских казаков в книге А. Н. Логинова «Поселения донских казаков в XVI—XIX веках» были сформированы типологические единицы, представляющие собой: городки, станицы, хутора и достаточно небольшие поселения, такие как слободы, юрты, остроги и т. д. Основными крупными поселениями на территории Волгоградской области являлись станицы. В конце XVII—первой четверти XVIII в. городки на Дону и его притоках постепенно получают наименование станиц. Во время Булавинского восстания одно и то же казачье поселение именовалось по-старому «городок» и по-новому «станция» (например, Решетовский городок и Решетовская станица). Когда же, согласно В. Д. Сухорукову, «укрепления (стены городков) по утверждению безопасности сделались ненужными, жилища казаков

получили повсеместно одно наименование — станиц... станицами стали постоянные и лишенные укреплений поселения» [4]. В центре станицы обычно находилась площадь, которая являлась местом общественных сборов, собраний. Эта площадь называлась «майдан». В восточной части площади располагалась культовое строение, напротив площади — административное здание (атаманская) с тюрьмой. Вокруг площади стояли различные хозяйственные постройки, оружейные, кузницы и т. д.

Главными центрами казачества на территории Волгоградской области являются такие поселения, как Усть-Медведицкая (Серафимович) и Усть-Хоперская. Эти поселения расположены в устьях рек Медведица и Хопер, откуда и пошло название станиц. Первым по течению р. Дон расположена станица Усть-Хоперская, а в 32 км по течению находится город Серафимович, бывшая станица Усть-Медведицкая.

Станица Усть-Медведицкая (Серафимович) — центр Усть-Медведицкого округа Донского войска (рис. 1).

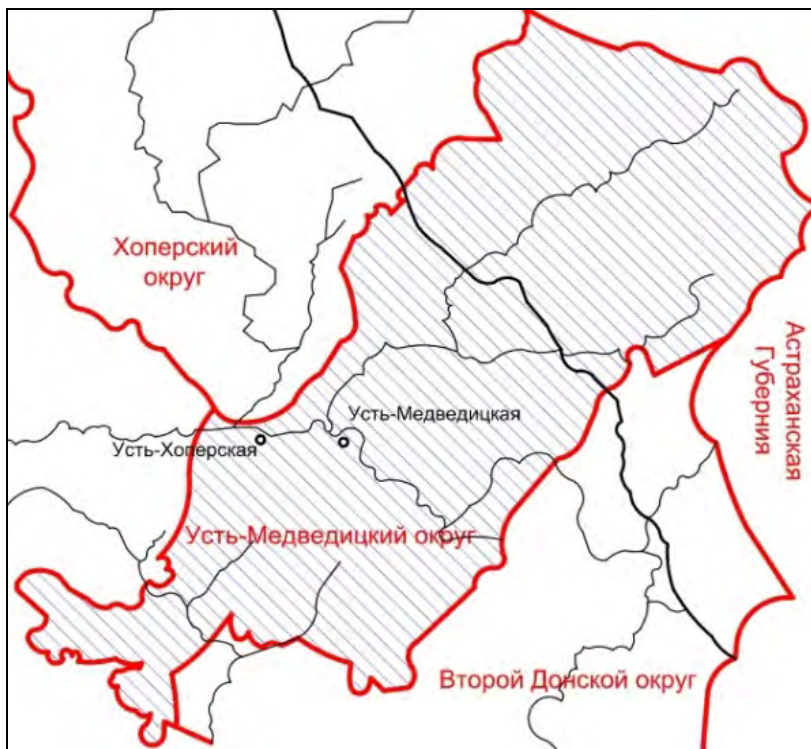


Рис. 1. Усть-Медведицкий округ Донского войска

Исторически она возникла на перекрестке водного и сухопутного путей в 1589 году. Изначально располагалась на левом берегу Дона, но поскольку во время весенних паводков поселения постоянно затапливались, людям пришлось переселиться на правый (более высокий) берег реки Дон (рис. 2).

Существует мнение, что возникновение станицы в данной местности было неслучайно. Высокий обрывистый берег Дона, а также огибающая быстрая река являлись естественной защитой от недоброжелателей.

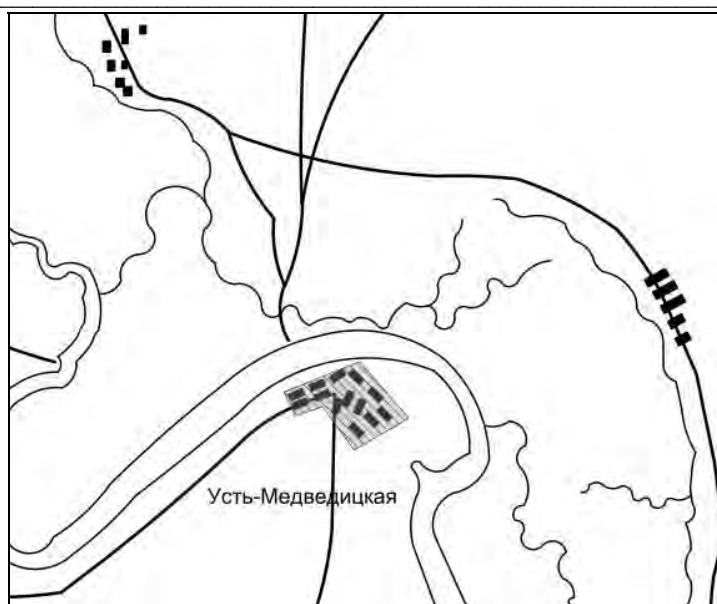


Рис. 2. Формирование станицы по течению реки Дон. Территория Ростовской области на десятиверстной карте Шуберта, 1840 г.

Благодаря такому размещению, у казаков было преимущество: с высокого берега хорошо видно приближение врага, а быстрое течение Дона не позволяло противнику приближаться. В конце XVII века население станицы было небольшим: 135 казаков, 154 бурлака [5]. Постепенно Усть-Медведицкая разрастается и становится достаточно крупной станицей. Своеобразный рельеф местности, а именно изрезанность ландшафта глубокими балками, несколько стесняет ее рост, затрудняя правильность планировки улиц. Тем не менее, невзирая на это, основные продольные и поперечные улицы Усть-Медведицкой все же удалось сделать параллельными друг другу (рис. 3).



Рис. 3. Схема города Серафимович 2017 года с наложением военно-топографической карты, 1870 г.

На схеме города Серафимович (рис. 4) можно проследить становление поселения как станицы.

В северо-восточной части отчетливо виден майдан — базарная площадь, вокруг которого расположены здания зажиточных купцов Новикова, Пономарева, Илларионова.

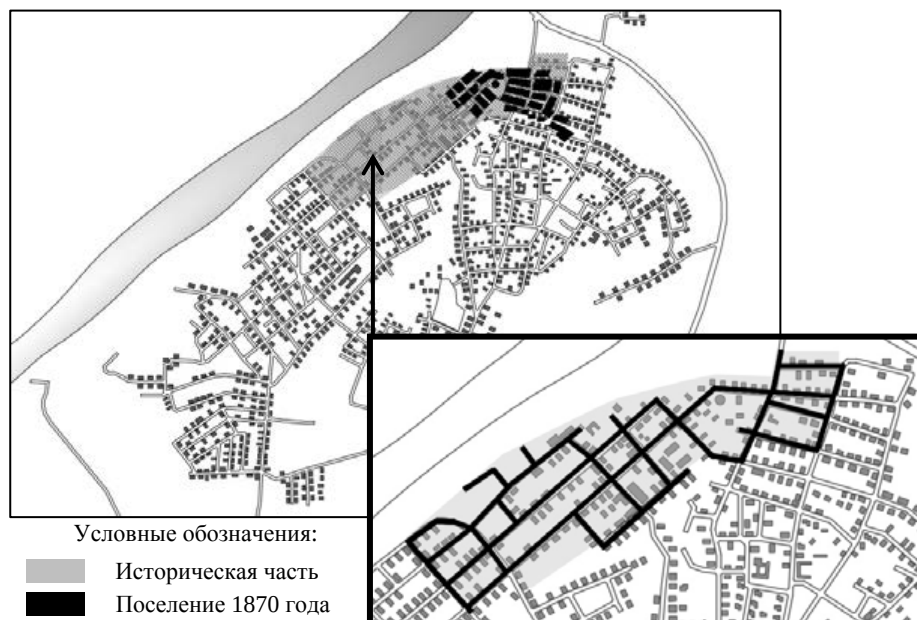


Рис. 4. Схема города Серафимович 2017 года с наложением военно-топографической карты, 1870 г.

Два двухэтажных магазина, которые господствуют в застройке базарной площади, построил 1906 году Илларионов. Магазин мануфактуры (фото 1) — одно из наиболее интересных по своей архитектуре зданий. Это солидное сооружение с большим количеством окон скорее напоминает господский особняк. Особенно красиво оформлен второй этаж — арочные оконные проемы спарены, в проемах между ними поставлены тосканские полуколонны.



Фото 1. Дом купца Илларионова, 1906 г. Фото Н. В. Селивановой

На площади проводили общественные сходы, воинские учения, жеребьевки, ярмарки. Отсюда же на службу провожали казаков, здесь их и встречали. На базарной площади располагалось и станичное правление. Этот ансамбль акцентирует въезд в город со стороны Дона (фото 2). К площади тяготела улица Купеческая, где тесно прижимались друг к другу торговые заведения. Западнее майдана находится Вознесенская церковь, 1782 года постройки, являющаяся первой каменной постройкой в станице.



Фото 2. Базарная площадь. Фото Н. В. Селивановой

Главной улицей в станице была Воскресенская. Дома имели благоустроенный вид, тротуары выложены булыжником, канавки принимали сточные воды, через которые были перекинuty деревянные мостки, при въезде в каждый двор стройными рядами были посажены различные виды кустарников и деревьев. По ночам на перекрестках улиц и у домов знати светились керосиновые фонари. На Воскресенской улице жили люди известные и богатые. Справа от церкви — дом заседателя Попова, затем — дворянина Сутулова. С правой стороны улицы — два подряд двухэтажных дома немца-аптекаря Демпера и адвоката Мельникова. На углу — дом нотариуса Медведева, а на противоположной стороне — дом булочника Бридда. Далее по правой стороне следует дом-хлебопекарня Наймана, на втором этаже живут и в наше время его потомки (т. е. дом принадлежит хозяевам). Чуть дальше — дом, принадлежавший дворянке Половинкиной, внизу у нее в доме был магазин по продаже фигурного шоколада.

До середины XIX столетия станица не имела регулярного плана застройки, дома были «разбросаны в беспорядке». Во 2-й половине XIX века для станицы Усть-Медведицкой начинается новый этап в ее развитии. 13 мая 1890 года был высочайше утвержден план застройки станицы, составленный еще в 1879 году землемером Кирсановым. Он сделал копию с плана 1867 г. и нанес на нее все построенное до 1879 г. На схеме были намечены границы застройки и планировки, отмечены существующие, а также предполагаемые поселения. Территория Усть-Медведицкой разбита на прямоугольные или почти квадратные кварталы с несколькими площадями.

Результатом реализации этого плана стало формирование общественного и административного центров. Под административный центр был отведен квартал в северной части станицы, у берега Дона. Здесь находились: управление окружного атамана, здание атаманского присутствия, сыскное и судебное начальство, почтово-телеграфная контора, акционерное и полицейское

управления, окружной суд, окружное казначейство, окружное дежурство 3-го военного округа, резиденции командиров казачьих полков. Самым большим административным зданием было здание окружного суда, спроектированное в строгих формах, присущих позднему классицизму. Здания казначейства и атаманского присутствия были несколько меньше в размерах. Над Доном возвышались гарнизонные казачьи казармы.

В общественном центре станицы находилось пятигранное соборное подворье, осевой улицей соединенное с Гимназической площадью, где располагались: двухклассное приходское училище, открытое в 1802 г. при Воскресенской церкви, малое народное приходское училище при Воскресенском храме (1803), окружное училище (1805). После открытия в 1862 г. гимназии, где получали среднее образование, многие закончившие окружное училище продолжали образование в ней. В 1891 г. для гимназии, являвшейся самым крупным учебным заведением станицы, было построено новое здание, не уступавшее по своему архитектурному облику подобным зданиям в уездных и даже в некоторых губернских городах.

К концу XIX в. станица является крупным поселением. «На 1898 год численность населения — 15 999 человек; из них коренного казачьего 14 874 (7189 мужчин и 7685 женщин), иногороднего 1125 (590 мужчин и 535 женщин). Церквей приходских две (из них одна довольно древняя) и три домовые. Училища: реальное, окружное, духовное, военно-ремесленное, 4-классное женское, станичное приходское и церковно-приходская школа. Окружной суд, съезд мировых судей, казначейство, окружная больница» [6]. В сравнении с численностью населения города Царицына (56,5 тыс. человек) [7], станица Усть-Медведицкая являлась достаточно крупным развивающимся поселением. Дома в станице достаточно большие, многие выкрашены в яркие цвета, с красивой деревянной резьбой, а в большинстве дворов произрастают сады. Недаром, по свидетельствам современников, станица Усть-Медведицкая той поры своими постройками и уютными дворами производила самое благоприятное впечатление и в чем-то превосходила многие уездные и даже некоторые губернские города России.

К началу XX века в станице появляются женская и мужская гимназии и несколько гимназий. Кроме того, здесь действуют три мельницы, винокуренный, кожевенный и кирпичный заводы, винные склады, амбулатория, окружная больница на 25 кроватей, аптека. На территории Усть-Медведицкой работают две типографии, водокачка, электростанция и почтовая контора. В станице находится немало магазинов, лавок, ремесленных мастерских, три клуба — дворянский для офицеров, купеческий и всесословный. Помимо этого, станица располагает двумя приходскими и тремя домовыми церквями, а также к Усть-Медведицкой относится Спасо-Преображенский женский монастырь.

В 1933 году станицу Усть-Медведицкую переименовывают в честь писателя Александра Серафимовича, произведения которого были связаны с Доном и казаками. Станице присваивают статус города, а дом писателя становится музеем.

На сегодняшний день город Серафимович расположен на обрывистом правом берегу р. Дон, в 84 км к юго-западу от железнодорожной станции Себряково, в 260 км к северо-западу от Волгограда (фото 3). Планировочная структура города — компактная, планировочная система — прямоугольная.



Фото. 3. Панорама города Серафимович, март 2017 г. Фото Н. В. Селивановой

Усть-Хоперская. Первые упоминания о станице были еще в начале XVII века. Изначально станица находилась на левой стороне реки Дона, в урочище Зимовной луг, в устье реки Хопер, почему и получило свое название Усть-Хоперской. Однако из-за наводнения, год которого неизвестен, станицу перенесли ниже по течению на левую же сторону реки Дона (рис. 5), к озеру Никольскому, место это находится против верхнего конца нынешнего поселения станицы и называется Старый город [8]. Время первого начального заселения станицы неизвестно, существовала она уже в XVII столетии и упоминается «в путевой записке боярина Шеина, плывшего мимо их в 1695 году с войсками своими к Азову».

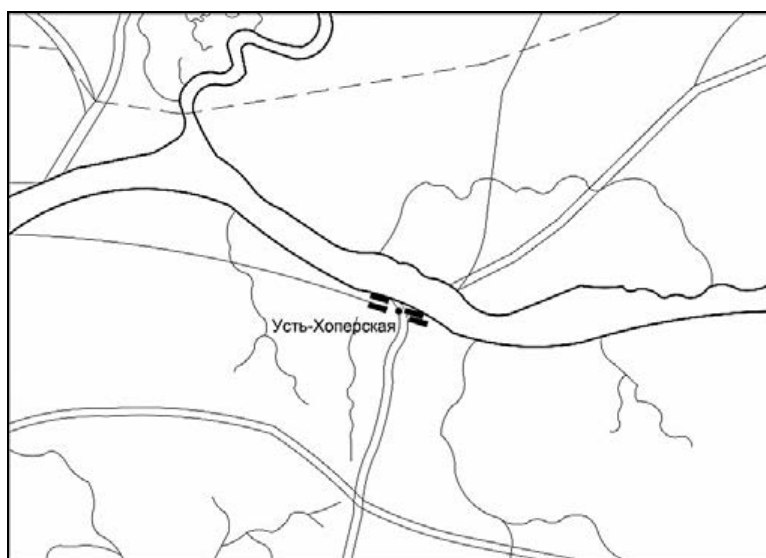


Рис. 5. Формирование станицы по течению реки Дон. Территория Ростовской области на десятиверстной карте Шуберта, 1840 г.

Сегодня станица расположена в северо-западной части Серафимовичского района в 32 км от районного центра г. Серафимовича, в 130 км от железнодорожной станции Себряково и в 230 км от областного центра

г. Волгограда, на правом берегу Дона, против впадения в него реки Хопер. Усть-Хоперская расположена на северо-восточном склоне Восточно-Донской гряды в степной зоне. Станица имеет линейную систему планировки. Она диктовалась конкретными условиями местности, а именно протяженными балками. Планировка создавалась одной или двумя улицами и короткими переулками, формирующими вытянутые в длину прямоугольные кварталы (рис. 6).

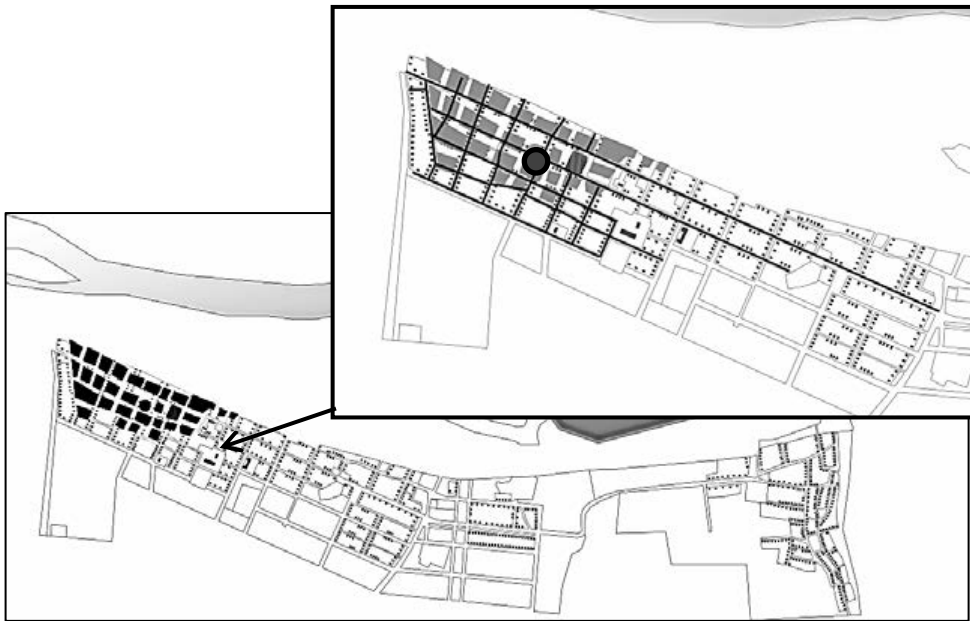


Рис. 6. Схема станицы Усть-Хоперской с наложением военно-топографической карты, 1870 г. Условные обозначения: ■ — станица в 1870 г., ▨ — майдан, ● — церковь Николая Чудотворца [9]

На схеме станицы Усть-Хоперской можно проследить формирование поселения с середины XIX в. Линейная структура обусловлена течением реки, а также оврагами. Поселение расширялось по течению, в сторону станицы Усть-Медведицкой. В центре станицы находилась церковь Николая Чудотворца, вблизи нее майдан как место общественных сборов и торговли.

В 1724 году в станице была построена деревянная церковь имени Николая Чудотворца. Она просуществовала 70 лет. В 1784 году заложена каменная церковь с колокольной. В церкви находилось много ценностей: Евангелие (XVII и XVIII вв.), серебряный сосуд, серебряный крест. В станице была еще одна церковь во имя Воскресения Господня, на кладбище, «...построена в 1850 году на средства полковника Емельянова и жены его Софии, тоже каменная, с колокольной и оградой» [10]. С приходом советской власти церкви были уничтожены. Планировка будущего Серафимовича, сложившаяся к началу XX столетия в заовражной части города, не вполне соответствует плану 1867 г.: предусмотренная планом трассировка улиц, размеры и конфигурация кварталов оказались нарушенными вследствие того, что планом не был предусмотрен сложный рельеф местности.

Свыше 100 лет городок Усть-Медведицкий являлся окружным центром Области Войска Донского. И сегодня обширную часть города Серафимовича занимает живописный Птахин овраг, покрытый мелколесьем и играющий роль естественной природной границы между нижней (Базы) и верхней (Клины) частями города.

Спустя несколько веков с момента основания поселения, смены эпох и фундаментальных социально-экономических изменений, можно отметить колоссальный потенциал исторических поселений донских казаков с позиций устойчивости к кризисным ситуациям. Сегодня в России стремление к автономии свойственно, прежде всего, не этническим или не этноконфессиональным общностям. В современной России региональная идентичность — это намерение утвердить свои новые формы социально-экономической организации. При этом новые планировочные структуры принимают формы, отсылающие нас к традиционным типам хозяйствования и реструктуризации форм расселения советской эпохи и погружают своих гостей в уникальную среду этно-культурных поселений в красивейшем месте на земле — реке Дон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Рабочий архив Госкостата России. Таблица 9с. Распределение населения по национальности и родному языку. URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus_nac_89.php?reg=36
2. Ляшко А. М. Казаки — этнос (народ) или сословие? // Политика и общество. 2014. № 8. С. 910—923. DOI: 10.7256/1812-8696.2014.8.12737
3. Проништейн А. П. Земля донская в XVIII веке. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1961. 377 с.
4. Логинов А. Н. Поселения донских казаков в XVI—XIX веках. Волгоград: ГУ «Издатель», 2004. 45 с.
5. Королев В. Н. Донские казачьи городки // Донская археология. 1999.
6. Сайт города Серафимович. URL: <http://www.serafimovich.com/node/95>.
7. Первая всеобщая перепись населения Российской империи 1897 г. Т. 38. Саратовская губерния. СПб., 1904.
8. Сухоруков В. Д. Статистическое описание Земли донских казаков, составленное в 1822—32 годах. Новочеркасск, 1903.
9. Картографический ресурс «Это Место». Трехверстовка Волгоградской области. Военно-топографическая карта. URL: <https://goo.gl/yCqDfJ>.
10. Волгоград православный. Святителя Николая Чудотворца (Усть-Хоперская). URL: <https://goo.gl/gP2UxB> 1

© Селиванова Н. В., Ястребова Н. А., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Селиванова Н. В., Ястребова Н. А. Планировочные особенности станиц Усть-Медведицкая и Усть-Хоперская как типичных военно-казачьих поселений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 184—193.

Об авторах:

Селиванова Наталья Владимировна — магистрант кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, natan.selivano@mail.ru

Ястребова Наталья Александровна — канд. архит., доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, yas_na71@mail.ru

Selivanova N. V., Yastrebova N. A.

PLANNING FEATURES OF THE VILLAGES OF UST-MEDVEDITSKAYA AND UST-KHOPERSKAYA AS TYPICAL MILITARY-COSSACK SETTLEMENTS

The article deals with the planning features of the settlements of Don Cossacks, the history of the development and formation of Cossack villages by the example of the village of Ust-Medveditskaya (now the city of Serafimovich) and the village of Ust-Khoperskaya.

Key words: village, Cossacks, planning features.

REFERENCES

1. *Rabochii arkhiv Goskostata Rossii. Tablitsa 9s. Raspredelenie naseleniya po natsional'nosti i rodnomu yazyku* [Working records of Russian State Statistics Committee. Table 9c. Distribution of the population according to nationality and native language]. URL: http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus_nac_89.php?reg=36
2. Lyashko A. M. [Cossacks — ethnic group (nation) or social class?]. *Politika i obshchestvo* [Policy and society], 2014, no. 8, pp. 910 — 923. DOI: 10.7256/1812-8696.2014.8.12737
3. Pronstein A. P. *Zemlya donskaya v XVIII veke* [The Don Host Lands in 18 century]. Rostov-on-Don, Publishing House of Rostov University, 1961, 377 p.
4. Loginov A. N. *Poseleniya donskikh kazakov v XVI—XIX vekakh* [Settlements of Don Cossacks in 16—19 centuries]. Volgograd, SI “Izdatel”, 2004. 45 p.
5. Korolev V. N. [Small towns of Don Cossack]. *Donskaya arkhologiya* [Don archeology], 1999.
6. *Sait goroda Serafimovich* [Website of the town of Serafimovich]. URL: <http://www.serafimovich.com/node/95>.
7. *Pervaya vseobshchaya perepis' naseleniya Rossiiskoi imperii 1897 g. T. 38. Saratovskaya guberniya* [First general census of the population of the Russian Empire in 1897. v. 38, Saratov province]. Saint Petersburg, 1904.
8. Sukhorukov V. D. *Statisticheskoe opisanie Zemli donskikh kazakov, sostavlennoe v 1822—32 godakh* [Statistical description of the Don Host Lands issued in 1822 — 1832]. Novocherkassk, 1903.
9. *Kartograficheskii resurs «Eto Mesto». Trekhverstovka Volgogradskoi oblasti. Voennotopograficheskaya karta* [Cartographic resource “This Place”. Trekhverstovka of Volgograd Oblast. Military map]. URL: <https://goo.gl/yCqDfJ>.
10. *Volgograd pravoslavnyi. Svyatitelya Nikolaya Chudotvortsya (Ust'-Khoperskaya)* [Orthodox Volgograd. St. Nicholas the Wonderworker (Ust-Hoperskaya)]. URL: <https://goo.gl/gP2UxB> 1

For citation:

Selivanova N. V., Yastrebova N. A. [Planning features of the villages of Ust-Medveditskaya and Ust-Khoperskaya as typical military-cossack settlements]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 184—193.

About authors:

Selivanova Natal'ya Vladimirovna — Master's Degree student of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, natan.selivano@mail.ru

Yastrebova Natal'ya Aleksandrovna — Candidate of Architecture, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, yas_na71@mail.ru

УДК 711:911.375.227 (470.45)

Н. А. Ястребова

Волгоградский государственный технический университет

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ УРБАНИЗАЦИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрен процесс урбанизации территории в границах современной Волгоградской области в допромышленный (XVI—нач. XX вв.) и первые десятилетия промышленный (нач. XX в.) периоды с целью выявления основных этапов формирования системы антропогенного освоения территории. Итогом длительного периода антропогенного освоения территории стала удивительно устойчивая пространственная система расселения Волго-Донского междуречья, сохранившая до наших дней свои основные планировочные компоненты.

К л ю ч е в ы е с л о в а: урбанизация, система расселения, Войско Донское, Царицын.

Территория современной Волгоградской области расположена на равнинной местности между руслами великих рек Волги и Дона.

Время выбрано в качестве основного критерия для авторской периодизации освоения рассматриваемой территории: монархическое средневековье и допромышленный, советский, постсоветский периоды. Градостроительная наука традиционно основывается на ресурсном подходе к освоению территории, что и позволило ввести дополнительные критерии, влияющие на качественные и количественные показатели формирующейся столь длительный период многокомпонентной системы расселения. Она условно может быть основана на следующих критериях:

количественном критерии, который позволяет выявить этапы формирования и уплотнения системы расселения в регионе, а также его основные структурные компоненты;

качественном критерии, который определяет принцип освоения пространства и ресурсов территории: пассивный, преимущественно аграрный тип освоения в допромышленный период; целенаправленный промышленный период с изменением планировочных параметров компонентов системы расселения, ее трансформации.

Установление границ донской земли на юге растянулось во времени с XVI до середины XVII вв.: в XVI в. и на протяжении большей части XVII столетия земли юго-восточной окраины Российского государства представляли собой часть просторной степи, которая со времен татарского нашествия на Русь именовалась Диким полем и простиралась от берегов Нижней Волги через Дон почти до Днепра. Границы тогда были неопределенными. Они начинались от верховьев Воронежа, Хопра и Медведицы и проходили к югу почти на 800 верст до Азовского моря. С запада на восток они шли от Донецкого края, где кончались владения запорожских казаков, до Нижнего Поволжья.

К середине XVII в. разрозненные казачьи общины объединились в единое Войско Донское, границы которого определились более четко. На юго-западе они проходили к владениям Крымской орды, которой принадлежало и побережье Азовского моря. Далее (к северу от верховьев Кальмиуса до устья р. Оскола) они шли вдоль земель запорожских казаков, затем направлялись к

Валуйкам, откуда по Белгородской черте до Чернавска, а далее через Керенск, Шацк, Тамбов, Нижний Ломов к Волге и по ней к Саратову, Царицыну и Астрахани. Менее определенной оставалась южная граница, которая простиралась до Азова, где пограничная линия замыкалась [1].

Одна из концепций появления своеобразного этноса на данной территории относил происхождение казачества к эпохе позднего Средневековья и связывала его с периодом не более ранним, чем конец XV—первая половина XVI вв., и объясняла его процессами, происходившими в Московском государстве по мере объединения русских земель.¹ Другая концепция относил происхождение казачества к древности или раннему Средневековью и связывала его или с известными в древней истории сообществами, или с черкесами. Промежуточная концепция обосновывала связь казачества с русским населением Дона эпохи раннего Средневековья, проживавшим в ряде мест, в частности в Белой Веже, или с бродниками, сведений о которых в источниках очень мало. Вопрос о расположении первых поселений донских казаков (до последнего десятилетия XVI в.) также не вполне раскрыт в многочисленных переписях и регулярно составляемых и обновляемых картографических документах. Не ясен характер процессов, происходивших с конца XV в., которые привели к появлению на Дону казачьих поселений и казачества как особого социума. Также по существу неизвестно, что происходило на Дону в 60-е годы XVI в. до 1570—1571 гг., когда в 1569 г. турецко-крымское войско прошло вверх по Дону от Азова до Волго-Донской Переволоки, не встретив казаков, хотя и постоянно ожидая нападения с их стороны.

Обобщающие сведения о заселении казаками Дона к концу XVI в. дают четыре источника, составленные в XVII в. Два из них списки: один — из дорожника, содержащего сведения о казачьих городках на 1593 г., и список, составленный в 1594 г. Два других источника — карты голландца Г. Герритса (1614 г.) и известного голландского купца и писателя И. Массы (1633 г.). Названия донских городков на этих картах подписаны латиницей и совершенно одинаково, причем в части, изображающей Донскую землю, имеются общие ошибки. Оба картографа пользовались общим источником, на который указал Герритс в левом верхнем углу своей карты. Источником была карта, составленная при участии царевича Федора Борисовича Годунова и не дошедшая до нас. Всего на картах указано 36 донских казачьих городков. Давая оценку численности Войска Донского к началу Смутного времени, Р. Г. Скрынников указывал, что «общая численность войска Донского в начале XVII в. не превышала 2000—4000 человек» [2]. Некоторое увеличение притока людей на Дон имело место в период Смоленской войны 1632—1634 гг. и после нее. В результате интенсивного строительства крепостей и оборонительных линий многие окраины, освоенные вольными казаками, были непосредственно включены в состав Русского государства. Сооружение крепостей Данков и Воронеж, Ливны и Елец, Оскол, Валуйки и Белгород позволило правительственным войскам утвердиться в верховьях Дона и на Северном Донце. Крепости Царицын, Саратов и Самара рассекали надвое земли волжских казаков и затруднили им сообщение с Доном. Добравшись до устья р. Камышинки, казаки ушли с Волги и, переволочась в р. Иловлю, появились на Дону.

¹ Мининков Н. А. Формирование казачьих сообществ на Дону.

Строительство Царицынской сторожевой линии

Целью строительства царицынской сторожевой линии являлась защита от набегов калмыцких, нагайских, крымских татар и прочих южных соседей Государства Российского XVII в. К началу XVIII в. граница юга Российского государства вышла за пределы Симбирской черты и Тульской засеки, и перед правительством встали задачи обеспечения безопасности новых земледельческих уездов (Тамбовского, Пензенского, Симбирского), надежного и безопасного сообщения между Доном и Волгой, организации безопасного пути доставки соли с озера Эльтон, заселения и хозяйственного освоения Волго-Донского междуречья. Решению этих задач мешали постоянные непрекращающиеся набеги крымских татар, кочевых народов Поволжья (калмыков, казахов), а также казаков (на момент строительства линии бывших независимым от Российской империи вольным военно-разбойничным сообществом). Особенно разрушительным был Кубанский погром в августе-сентябре 1717 г. После этого набега по указу Петра I от 15 ноября 1717 г. в 1718 г. было начато строительство. Царицынская линия стала элементом тактики постепенного выдавливания кочевых народов на юг и восток. Тактика заключалась в строительстве цепи крепостей, соединенных в одну оборонительную линию, защищенное пространство которой осваивалось правительством и переселенцами. После освоения «отрезанной» таким способом территории новая линия создавалась южнее.

Линия сооружена от Царицына до станицы Качалинской — в месте кратчайшего сближения двух рек, на территории современных Городищенского и Иловлинского районов. Состояла она из сухого рва шириной до 8 м и вала высотой 2,6 до 4,6 м (от дна рва — 9...12 м) с банкетом для стрельбы. Прорезавшие линию овраги перегораживались частоколом из заостренных бревен и дубовыми клетями, заполненными землей. В состав линии вошли: каменная крепость Царицын, четыре деревянно-земляных крепости (Мечетная, Грачевская (теперь — хутор Грачи), Осокорская и Донская), 23 земляных редана с караульным сооружением, огороженные частоколом. Длина линии — 54 км. Линия строилась по общепринятой в Европе XVIII в. концепции французского маршала Вобана, с учетом рельефа степной и овражистой местности. На момент сооружения являлась одним из крупнейших оборонительных сооружений в Европе. Строителями линии были военные и гражданские люди, а именно: 4 драгунских полка, донские казаки из верховых городков, Сумской и Ахтырский слободские казацкие полки, войска гетмана Скоропадского, гражданские люди из Азовской и Казанской губерний. Крепости в составе царицынской сторожевой линии имели свои особенности и функции.

Царицынская цитадель: четырехугольной формы, была рассчитана на 500 человек гарнизона, замыкала сторожевую линию у берега Волги. После реконструкции и восстановления планировочной структуры города до сих пор имеет совпадение одной из главных городских магистралей — Исторического шоссе с направлением царицынской сторожевой линией. В Волгограде линия шла вдоль современного пр. Жукова и ул. Исторической (до переименования — Историческое шоссе, еще раньше — улица Исторический Вал). На месте Предтеченского бастиона Царицынской крепости сейчас находится ресторан «Маяк».

Мечетная крепость: четырехугольная с полубастионами, гарнизон 300 человек и 7 пушек, размещалась у реки Мокрая Мечетка в 10 верстах от Царицынской. Ныне утеряна полностью.

Грачевская крепость: имела форму пятилучевой звезды, с расположенным внутри пороховым погребом, ружейным амбаром. Гарнизон 500 человек при 13 пушках. Три «луча» звезды — бастионы с площадками для ведения огня были обращены в сторону степи. Крепость Грачевская в 17 верстах от Мечетной. Следы земляного вала сохранились до наших дней и расположены у современного хутора Грачи.

Редут Осокорский: расположен у реки Сакарка, рассчитан на небольшой гарнизон и 3 пушки. Находился в 14 верстах от крепости Грачевской. До наших дней не сохранился.

Донская крепость: была расположена на речной террасе Дона. Представляла собой четырехугольную бастионную цитадель с земляным ретраншементом, окруженным полубастионами. Крепость была рассчитана на гарнизон в 300 человек с 12 пушками. До наших дней не сохранилась.

Местность по обе стороны линии представляла безлесную степь, перерезанную оврагами, в глубине которых встречался кустарник и мелкий лес. Эти овраги были перегорожены барьерами из бревен, положенных клетками. Непосредственно за линией помещались караульни, которые состояли из небольших строений, окруженных полисадом, примыкавшим к брустверу линии и помещались преимущественно у оврагов [3, 4].

Из документов 1751—1756 гг. можно выяснить, что после строительства основных сооружений царицынской сторожевой линии потребовались восстановительные работы, а именно: «...крепостцы Донецкая, Осокорская и Грачевская были приведены в удовлетворительное состояние: в оврагах вместо поврежденных обрубков, были поставлены полисады на санях, с употреблением при этом и обрубков; разнообразие в постановке их зависело от размеров и вида оврагов...». Надобно полагать, что только этими работами и ограничивались все исправления по линии до 1758 г., потому что в этом году из Царицынской инженерной команды поступили вновь в артиллерийскую и фортификационную контору представления о том, что крепость Мечетная совершенно опустилась и пришла в ветхость; линейный вал требует исправления; вследствие снеговых вод, необходимо сажень в 10 или несколько более от подошвы гласиса сделать аванфоссе. К этому было присовокуплено, что сделанные в буераках, для преграждения их, полисады оказались малоспособными для защиты от нечаянных нападений и гораздо лучше употребить прежние обрубки клетками; насыпав поверх их земляной бруствер; находящимся по линиям крепостным валам необходимо дать 12 футов, а линейному — 10 футов высоты для того, чтобы с крепостец свободные во время нужды через линейный вал стрелять можно было. Из всего вышеизложенного можно усмотреть, что царицынская линия в продолжение 36 лет, прошедших после кончины императора Петра I, находилась постоянно в неудовлетворительном для обороны состоянии и вся рабочая деятельность на этом пункте ограничивалась одними частными исправлениями и составлением проектов, которые хотя и были утверждаемы, но весьма редко, и то частью приводились в исполнение [2].

Расселение южных окраин Российской империи в середине XVIII в. представлено на рис. 1.

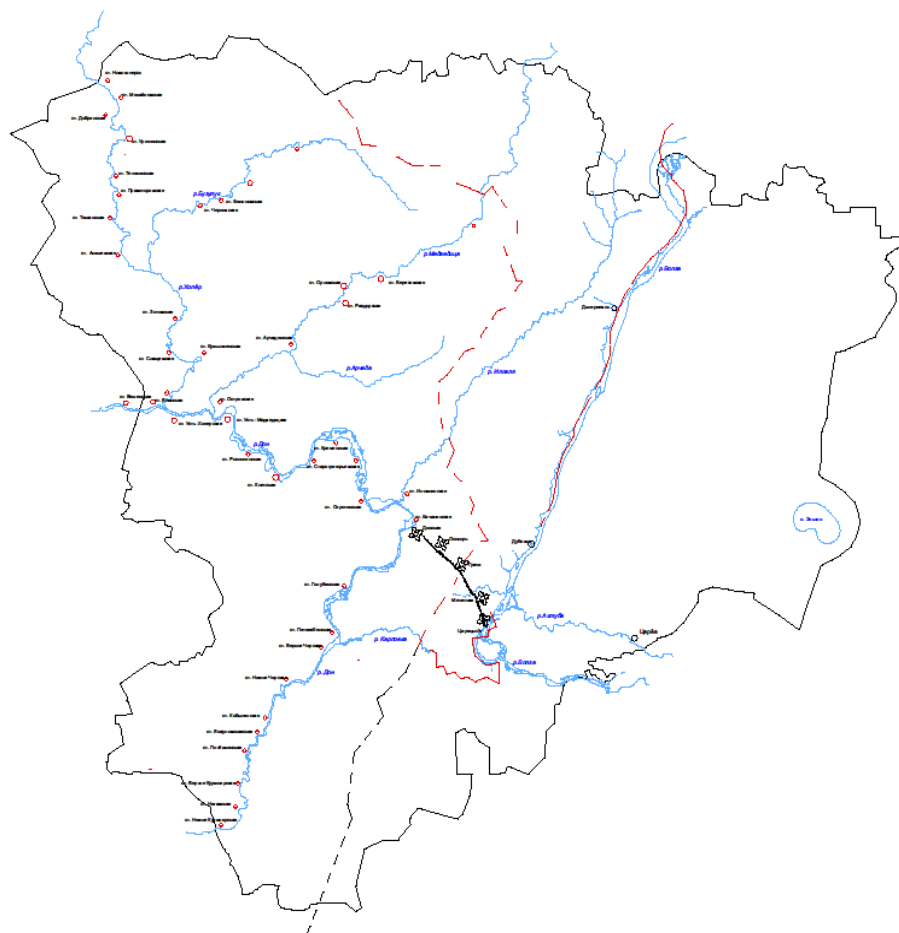


Рис. 1. Расселение южных окраин Российской империи в середине 18 в.

В 1777 г. после ликвидации Царицынской линии гарнизон переведен на Кавказскую линию. За 56 лет функционирования Царицынская линия выполняла целый ряд функций, главной из которых была защита южных границ России от набегов. Линия выполняла также и функцию санитарного кордона от эпидемий чумы и холеры; на ней осуществлялся осмотр и карантин заболевших. К 1740—60-м гг. по линии шел раздел между кочевьями калмыков и казачьими станицами, поэтому линию можно считать своеобразной границей зоны русско-калмыцкого взаимодействия. Академик И. И. Лепехин в 1768 г. писал: «Царицынская линия ныне служит пределом кочевью некрещеных калмыков на загорной стороне, а прежде была защитой от набегов кубанских. По ту сторону и по другую линии совершенная степь, и лесу нигде не видно, кроме как в буераках, которые наполнены терновником, боярыней и дикими яблонями. Степь вся покрыта была диким льном, который ни мало сеяному не уступал...» [3]. Царицынская линия была ликвидирована в 1776 г., а ее значение как «южная граница России» приняла на себя Кавказская линия.

Под защитой царицынской сторожевой линии интенсивно осваивались северные территории Войска Донского: Хоперский округ, 1-й Донской и Усть-

Медведицкий округа. Первоначально система расселения была сформирована городками-крепостями вдоль Дона и его водосборного бассейна: рекам Медведица, Иловля, Хопер, Бузулук, Арчеда. После утраты оборонительной функции городков и бурном росте их планировочной структуры поселения получили статус «станица». Типологическая структура станицы имела прямоугольную сетку кварталов и улиц, с определенным набором функций в центре поселения и была стандартной как для низовых, так и для верховых казачьих поселений. Для XIII Археологического съезда станичное правление подготовило сведения, в которых упоминается историческая местность Плоский курган. Находился он в 15 верстах от станицы Луганской, и до 1880 г. на нем располагались каменные бабы. Как утверждали местные жители, никто и никогда не слышал об их происхождении и значении. В 1880 г. каменные памятники истории бесследно исчезли. Станица делилась на следующие части: Качевань — верхняя улица к северу, Отставка — верхняя улица к западу и Камышеваха — середина улицы. Базарную площадь около церкви называли Майданом. Качевань получила свое название от переселенцев, которые прежде жили на низменных местах. Отставка — от жителей, оставшихся на прежних местах, а Камышеваха — от болот, заросших камышом. Жители самой станицы, в отличие от хуторян, именовали себя мещанами [5].

С началом XX столетия на территории Войска Донского начинаются процессы административного деления, присоединения земель, образования новых хуторов² [6].

Формирование линейной системы крепостей в Среднем и Нижнем Поволжье на губернских землях

Правильное заселение здешнего края русским элементом началось лишь во время проведения Петром I сторожевого вала от Царицына к Дону, с 1720-х годов, а также со дня распоряжения Анны Иоанновны о поселении здесь русских, малороссиян и донских казаков (1731 и 1732 гг.), причем образовались на Волге первые станицы: Дубовка (существовавшая однако раньше и служившая сторожевым пунктом древней «переволоки», или волока между Доном и Волгой), Балыклейская и Караванская, в Царицынском уезде, Антиповская в нынешнем Камышинском. В это время Царицынский уезд принадлежал к Астраханской губернии, но по указу 11 января 1780 г. учреждено было с 1781 г. Саратовское наместничество, куда отчислен был и Царицынский уезд со своим Заволжьем. Саратовский губернатор Ф. Л. Переверзев составил проект открытия в Заволжье трех новых уездных городов: Николаевска (с. Мечетного), Новоузенска (с. Чертанлы) и Царева (с. Царевка¹⁹). Проект этот был утвержден в 1835 г., а в мае 1830 г. были открыты те города губернатором Степановым. При проверке переписи 1834 г., командированный в Царицынский уезд чиновник Саратовского губернатора К. И. Попов насчитал в Заволжье на протяжении 150 верст не более 20 селений, принадлежащих к Царицынскому уезду на левой стороне Волги и по Ахтубе. Но, как отмечалось, селения эти были большие и имели от 500 до 2000 душ, довольно хорошо и богато устроенные, с домами из соснового леса, жители богаты и живут в большом довольстве, занимаясь более скотоводством [7].

² Савельев А. Трехсотлетие войска Донского. СПб., 1870: ГАРО, Ф. 341, Оп. 2, Д. 278.

Итоги завершения первого этапа освоения территории в границах современной Волгоградской области:

1. Целенаправленное формирование поперечной оси — царицынской сторожевой линии — послужило толчком пространственных изменений в процессе урбанизации «внутренних территории» Волго-Донского междуречья [8].

2. Продольная линейная система точечных опорных пунктов — преимущественно крупных поселений, в основе системы расселения на территории Волжского казачества легли сторожевые крепости поселений.

3. Формирование иерархичной сетчатой системы расселения на территории Войска Донского: станица, хутор, слобода, юрт [9].

В XIX в. большая часть правобережной части современной Волгоградской области России входила в состав области Войска Донского — административно-территориальной единицы Российской империи, населенной донскими казаками и управлявшейся по особому положению [6]. С 1786 г. официально называлась землей Войска Донского, а в 1870—1918 гг. была переименована в область Войска Донского. С 23 марта по 4 мая 1918 г. (номинально по 30 сентября 1918 г.) на территории современной Волгоградской области существовала Донская советская республика, а после ее ликвидации — Всевеликое Войско Донское (до 1920 г.). В 1920 г. область Войска Донского упразднена, 7 ее округов вошли в Донскую область, а три округа — 2-й Донской, Хоперский и Усть-Медведицкий — вошли в состав Царицынской губернии (рис. 2).

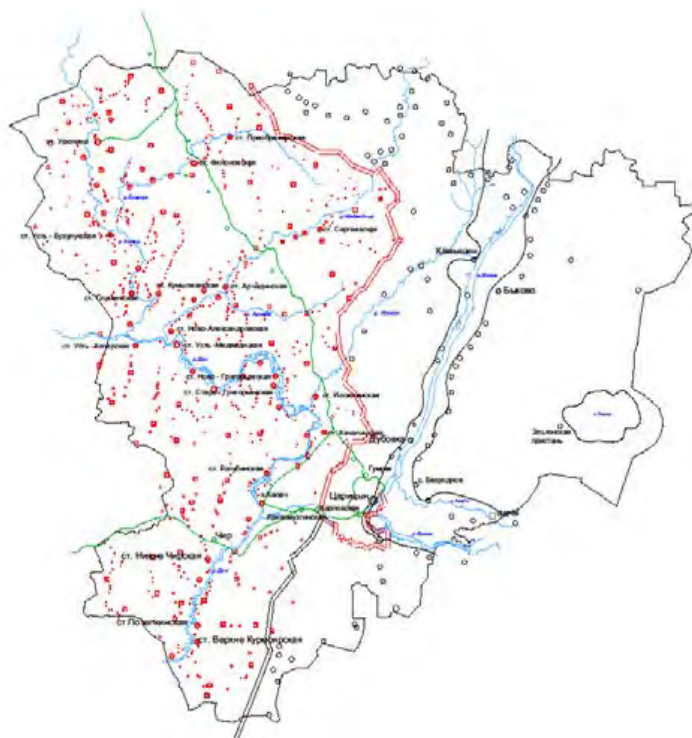


Рис. 2. Система расселения территории в границах современной Волгоградской области на начало XX в.

Таким образом, казачье население области было разделено примерно пополам между двумя новыми административными единицами советской республики. В целом к началу XX в. в регионе сложилось равномерно-рассредоточенное сельское расселение. При этом радиусы транспортной доступности соседних поселений не превышали 10 км. В сельской местности региона проживало 85 % от всего населения. Села были основой жизнедеятельности для подавляющей части населения, в них сосредоточился значительный потенциал живого труда. Именно он в дальнейшем служил основой при определении места сельского расселения в обеспечении преимущественного развития промышленности в стране и регионе [6, 10]. После 1917 г. в стране начались коренные социально-экономические преобразования. Они оказали большое влияние на численность и особенности воспроизводства населения. Административные изменения не повлияли на уклад и быт поселений, входящих ранее в структуру расселения внутри Войска Донского [11].

В конце 1920-х гг. в стране был взят курс на индустриализацию промышленности и коллективизацию сельского хозяйства. При этом индустриализация являлась приоритетной государственной задачей. Централизация управления хозяйством позволила осуществить накопление финансовых ресурсов и начать бурное промышленное строительство. Сталинград занимал важное место в индустриализации юго-востока европейской части страны. В начале 30-х гг. XX в. в городе были построены крупная тепловая электростанция, завод по производству химической продукции. После реконструкции в три раза была увеличена мощность металлургического завода специальных сталей «Красный Октябрь», а также был построен крупнейший в стране тракторный завод. Промышленные стройки требовали большого количества трудовых ресурсов. Трудовые ресурсы поступали из Сталинградской области и сопредельных областей, главным образом сельского населения региона. Архивные данные свидетельствуют о том, что в сельском хозяйстве осуществлялась коренная социалистическая реконструкция. Процесс стремительного роста планировочной структуры областного центра отражен в довоенном генеральном плане г. Сталинграда. В области начала формироваться крупнейшая планировочная городская структура путем слияния разрозненных ранее поселений — системы рабочих поселков в единую структуру — Сталинград [13].

Подводя итог из краткого обзора четырехсотлетнего периода активного антропогенного и градостроительного освоения территории, можно выявить три основных этапа качественных изменений в системе освоения и ее структурных компонентах:

Первый этап современной истории: формирование пространственных очертаний территории Войска Донского. Формирование линейной системы расселения вдоль русла реки Волга на землях Волжского казачества [14].

Второй этап: упразднение территории Войска Донского и возврат земель под юрисдикцию Государства Российского. Формирование Царицынского уезда и области. Сталинградская область и начало поляризации внутри системы расселения территории.

Третий этап: поляризация в системе расселения Волгоградской области (агломерирование планировочной структуры Волгограда на фоне упрощения пространственной структуры областного расселения). Пространственно-территориальная устойчивость сети исторических поселений донских казаков.

Следует отметить, что изначальная схема сосуществования двух независимых и параллельно сосуществующих на территории систем расселения сохранила свою устойчивость до сих пор [15]. Сетчатая структура малых поселений, в основе которых лежит казачья станица с прямоугольной сеткой кварталов, и ныне обладает удивительно генетической устойчивостью планировки, благодаря соразмерности природной системе территории своего существования, и изолированностью от моноцентричной Волгоградской агломерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дружинин В. Г. Раскол на Дону XVII века. СПб, 1889. С. 1—2.
2. Ласковский Ф. Ф. Материалы для истории инженерного искусства в России. Ч. 2. СПб, 1861.
3. Лепехин И. И. Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства. СПб.: Импер. акад. наук. Ч. 1, 1768—1769, 1795. 537 с.; Ч. 2, 1770, 1802, 338 с.
4. Кобяков С. Г. Заселение Дона в XVI—XVII вв. Л., 1955.
5. Сизоненко А. Г., Федичев В. В., Черепашин В. П. Мы — донские казаки. Луганск, 2008. 387 с.
6. Пронштейн А. П. Земля донская в XVIII веке. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1961. 377 с.
7. Минх А. Н. Историко-географический словарь Саратовской губернии (Южные уезды: Камышинский и Царицынский). Оpubл. 1898—1902.
8. Лавринова Т. И. Царицынская линия: история строительства в 1718—1720 и первые годы существования. Волгоград: Издатель, 2012. 95 с.
9. Логинов А. Н. Поселения донских казаков в XVI—XIX веках. Волгоград: ГУ «Издатель», 2004. 45 с.
10. Гмелин С. Г. Путешествие по России для исследования трех царств естества. М.: Книга по требованию, 2011. 315 с.
11. Аляев В. А., Аляев М. В. Сельское расселение как основа устойчивого развития Волгоградской области // Грани познания. 2013. № 3. С. 58—69.
12. Косенкова Ю. Л. Советский город 1940 — первой половины 1950-х годов: От творческих поисков к практике строительства. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 440 с.
13. Птичникова Г. А. Концепция группового расселения в теории советского градостроительства (на примере Волгограда) // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международной конференции, посвященной 60-летию образования вуза, 18—19 сентября 2012 г., Волгоград: в 2 ч. Ч. I. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. С. 250—254.
14. Птичникова Г. А. Становление линейной планировочной структуры города: Царицын — Сталинград — Волгоград в XIX—XX вв. // Архитектурное наследие. Вып. 57. М. — СПб.: КОЛО, 2012. С. 273—286.
15. Птичникова Г. А., Ястребова Н. А. Архитектурный образ города и время: эволюции, трансформации, деформации (на примере Волгограда) // Архитектура и время. 2012. № 5. С. 7—14.

© Ястребова Н. А., 2017

Поступила в редакцию
в марте 2017 г.

Ссылка для цитирования:

Ястребова Н. А. Основные этапы урбанизации Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 194—204.

Об авторе:

Ястребова Наталья Александровна — канд. архит., доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, yas_na71@mail.ru

N. A. Yastrebova

MAIN STAGES OF URBANIZATION OF VOLGOGRAD OBLAST

The author considers the process of urbanization on the territory of today's Volgograd Oblast in pre-industrial (XVI — early XX centuries) and the first decades of industrial (early 20th century) periods in order to identify the main stages of formation of the system of anthropogenic development of the territory. Surprisingly steady spatial system of resettlement in Volga-Don Entre Rios, which has preserved its main planning components up to now, is the result of the long period of anthropogenic development of the territory.

Key words: urbanization, system of resettlement, the Don Cossack Host, Tsaritsyn.

REFERENCES

1. Druzhinin V. G. *Raskol na Donu XVII veka* [Rift on the river Don in 17 century]. Saint Petersburg, 1889. Pp. 1—2.
2. Laskovskii F. F. *Materialy dlya istorii inzhenernogo iskusstva v Rossii. Ch. 2* [Proceedings for the history of engineering skill in Russia. p. 2]. Saint Petersburg, 1861.
3. Lepekhin I. I. *Dnevnye zapiski puteshestviya doktora i Akademii nauk ad'yunkta Ivana Lepekhina po raznym provintsiyam Rossiiskogo gosudarstva* [Daily notes made by Ivan Lepekhin, doctor and adjunct of the Academy of Sciences, during his journey to different provinces of the Russian state]. Saint Petersburg, Imperatorskaya Akademiya Nauk, p.1, 1768—1769, 1795, 537 p; p. 2, 1770, 1802, 338 p.
4. Kobayakov S. G. *Zaselenie Dona v XVI—XVII vv.* [Settlement in the Don region in 16—17 centuries]. Leningrad, 1955.
5. Sizonenko A. G., Fedichev V. V., Cherepakhin V. P. *My — donskie kazaki* [We are Don Cossacks]. Lugansk, 2008. 387 p.
6. Pronstein A. P. *Zemlya donskaya v XVIII veke* [The Don Host Lands in 18 century]. Rostov-on-Don, Publishing House of Rostov University, 1961. 377 p.
7. Minkh A. N. *Istoriko-geograficheskii slovar' Saratovskoi gubernii (Yuzhnye uezdy: Kamyshinskii i Tsaritsynskii)* [Historical and geographical dictionary of Saratov province (Southern country towns of Kamyshin and Tsaritsyn)]. Published in 1898—1902.
8. Lavrinova T. I. *Tsaritsynskaya liniya: istoriya stroitel'stva v 1718—1720 i pervye gody su-shchestvovaniya* [Tsaritsyn line: history of construction in 1718—1720 and early years of its existence]. Volgograd, Izdatel', 2012. 95 p.
9. Loginov A. N. *Poseleniya donskikh kazakov v XVI—XIX vekakh* [Settlements of Don Cossacks in 16—19 centuries]. Volgograd, SI "Izdatel", 2004. 45 p.
10. Gmelin S. G. *Puteshestvie po Rossii dlya izsledovaniya trekh tsarstv estestva* [Journey across Russia for a research of three kingdoms of nature]. Moscow, Kniga po Trebovaniyu, 2011. 315 p.
11. Alyaev V. A., Alyaev M. V. [Rural settling as the basis for sustainable development of the Volgograd region]. *Grani poznaniya* [Facets of knowledge], 2013, no. 3, pp. 58—69.
12. Kosenkova Yu. L. *Sovetskii gorod 1940 — pervoi poloviny 1950-kh godov: Ot tvorcheskikh poiskov k praktike stroitel'stva* [The Soviet city in 1940 — first half of 1950s: From creative searches to the practice of construction]. Moscow, "LIBROKOM" Book House, 2009. 440 p.
13. Ptichnikova G. A. [The concept of group settlement in the theory of the Soviet town planning (by the example of Volgograd)]. *Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo: materialy Mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi 60-letiyu obrazovaniya vuza, 18—19 sentyabrya 2012 g., Volgograd: v 2 ch. Ch. I* [Science and education: architecture, town planning and construction: proceedings of the International Conference devoted to the 60th anniversary of the foundation of the Institution, 18—19 September, 2012, Volgograd: in 2 parts, p. 1]. Volgograd, VSUACE Publ., 2012. Pp. 250—254.
14. Ptichnikova G. A. [Formation of linear planning structure of the city: Tsaritsyn — Stalin-grad — Volgograd in 19—20 centuries]. *Arkhiturnoe nasledstvo* [Architectural heritage], issue 57, Moscow — Saint Petersburg, KOLO, 2012. Pp. 273—286.
15. Ptichnikova G. A., Yastrebova N. A. [The architectural image of the city and time: evolutions, transformations, deformations (by the example of Volgograd)]. *Arkhiturno i vremya* [Architecture and time], 2012, no. 5, pp. 7—14.

For citation:

Yastrebova N. A. [Main stages of urbanization of Volgograd oblast]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 194—204.

About author:

Yastrebova Natal'ya Aleksandrovna — Candidate of Architecture, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, yas_na71@mail.ru

УДК 378.091.26:744

С. Н. Торгашина^а, И. Е. Степанова^а, О. В. Богдалова^а, Е. А. Бурлаченко^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Волгоградский строительный техникум*

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Представлен предметный разбор курса «Инженерная графика», формирующий аналитические и созидательные компоненты мышления и являющийся основным источником развития статических и динамических пространственных представлений обучающихся. Проведены исследования качества обучения графическим дисциплинам обучающихся в вузе и техникуме, в зависимости от количества часов, выделенных на эту дисциплину. Представлен анализ тестирования различных категорий обучающихся. Авторами установлена прямая зависимость уровня освоения обучающихся графическим дисциплинам от количества часов реализуемых по рабочей программе.

Ключевые слова: тест, дисциплины графического профиля, процесс обучения, чертеж, проецирование, анализ, вид, геометрическая форма.

Высшее профессиональное образование Российской Федерации перешло на двухступенчатую подготовку: бакалавриат и магистратура. Область профессиональной деятельности бакалавров включает: инженерные изыскания, проектирование, возведение, эксплуатация, обслуживание, мониторинг, оценка, ремонт и реконструкция зданий и сооружений; инженерное обеспечение и оборудование строительных объектов и городских территорий, а также объектов транспортной инфраструктуры; применение машин, оборудования и технологий для строительно-монтажных работ, работ по эксплуатации и обслуживанию зданий и сооружений, а также для производства строительных материалов, изделий и конструкций [1].

Профессиональные компетенции бакалавров обеспечиваются, в том числе, геометро-графической подготовкой. Вот некоторые из них:

владение основными законами геометрического формирования, построения и взаимного пересечения моделей плоскости и пространства, необходимыми для выполнения и чтения чертежей зданий, сооружений, конструкций, составления конструкторской документации и деталей;

владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования.

Область профессиональной деятельности выпускников техникума включает: организация и проведение работ по проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и реконструкции зданий и сооружений.

Объектами профессиональной деятельности выпускников являются: строительные объекты (гражданские, промышленные и сельскохозяйственные здания и сооружения); строительные материалы, изделия и конструкции; строительные машины и механизмы; нормативная и производственно-техническая документация; технологические процессы проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений и их конструктивные элементы.

Выпускники вуза и техникума готовятся к следующим видам деятельности:
участие в проектировании зданий и сооружений;
выполнение технологических процессов при строительстве, эксплуатации и реконструкции строительных объектов;
организация деятельности структурных подразделений при выполнении строительно-монтажных работ, эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений;
организация видов работ при эксплуатации и реконструкции строительных объектов.

В таком случае уместно говорить о геометро-графическом образовании в университете и техникуме.

С помощью графического языка можно мысленно создавать пространственные образы, формы объектов и оперировать ими, отображать новые конструкторские, дизайнерские идеи, архитектурные замыслы, а также необходимые данные для их воплощения. Помимо всего прочего, язык чертежа является межнациональным и не имеет международных границ. Его легко приспособить к современным компьютерным технологиям. Любая графическая информация значительно отличается от текстовой своей компактностью, наглядностью и конкретностью [2].

Особенностью изучения дисциплин графического профиля является работа не только с наглядными изображениями геометрических объектов, но и с их плоскими изображениями — проекциями. Обучающийся должен мысленно представлять образ предмета, опираясь на плоский чертеж. Для этого он должен быть знаком с основными геометрическими объектами, такими как точка, прямая, плоскость, и различными поверхностями. В результате отсутствия таких основ преподаватели высшей школы сталкиваются с тем, что организовать процесс обучения, обеспечивающий получение знаний в сжатые сроки, заявленные в стандартах графических компетенций, стало намного сложнее [3].

Для выяснения зависимости успешности усвоения дисциплин графического профиля от количества часов, отводимых на изучение курса «Инженерная графика» в вузе и техникуме, авторами статьи проводилось тестирование среди представителей двух категорий:

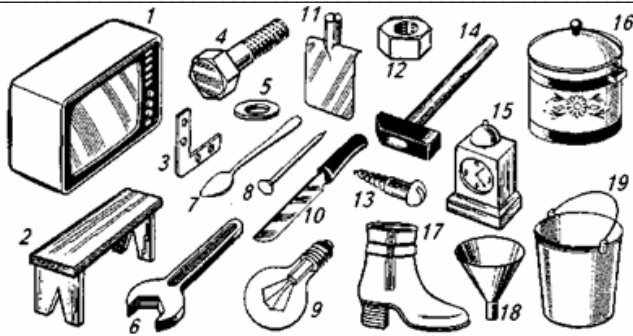
1) студенты строительного техникума, направление 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений», направление 08.02.07 «Монтаж и эксплуатация внутренних сантехнических устройств, кондиционирование воздуха и вентиляция»; 78 часов, отведенных на изучение дисциплины;

2) студенты института архитектуры и строительства ВолгГТУ направление 08.03.01 «Строительство» и направление 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»; 36 часов, отведенных на изучение дисциплины.

Авторы после тестирования подсчитали процент справившихся с заданиями студентов строительного техникума и института архитектуры и строительства ВолгГТУ и занесли результат в табл. 1—10.

Тестирование осуществлялось по тестам, представленным ниже.

Тест 1. Проанализировать изделия, изображенные ниже. Классифицировать их и записать номер каждого изделия в таблицу, в раздел деталей или сборочных единиц.



Деталью называют изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Сборочной единицей называют изделие, составные части которого соединяют между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой и т. п.).

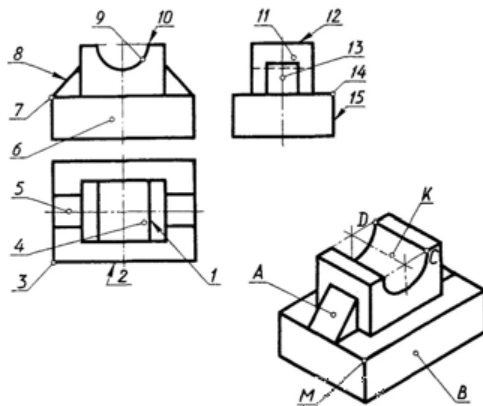
Данный тест характеризует способность обучающегося по чертежу установить различие между деталью и сборочной единицей. В табл. 1 представлены результаты прохождения теста 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты теста 1

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
1	94,95 %	87,59 %

Тест 2. Укажите в таблице номера позиций элементов, отмеченных на наглядном изображении детали.



Изображением называется графическое изображение предмета в определенном масштабе, выполненное установленным способом проецирования при соблюдении основных правил упрощения и служащее для определения необходимых геометрических свойств предмета. Изображение должно устанавливать форму предмета и взаимосвязь его составных частей (элементов конструкции). В отличие от терминологии начертательной геометрии, в черчении установлены следующие наименования видов:

- 1 — вид спереди (главный вид или фасад), изображение на фронтальной плоскости проекций;
- 2 — вид сверху (план);
- 3 — вид слева, боковой фасад;
- 4 — вид справа;
- 5 — вид снизу;
- 6 — вид сзади (задний фасад).

Изображение на фронтальной плоскости проекций принимается на чертеже в качестве главного. Предмет располагают относительно фронтальной плоскости проекций так, чтобы изображение на ней давало наиболее полное представление о форме и размерах предмета. Число изображений должно быть минимальным, но дающим достаточную ясность для чтения чертежа.

Условные названия видов на чертежах не подписывают, если эти виды расположены в проекционной связи, т.е. в следующем порядке:

- вид сверху — под главным видом;
- вид слева — справа от главного вида;
- вид справа — слева от главного вида;
- вид снизу — над главным видом;
- вид сзади — справа от вида слева

Согласно ГОСТ 2.305—68 «Изображения — виды, разрезы, сечения» при изображении какого-либо предмета следует располагать его по отношению к плоскостям проекций так, чтобы вид спереди (главный вид) давал наиболее полное представление о его форме и размерах.

Каждый вид имеет строго определенное место на чертеже (за исключением вида сзади, который может располагаться как рядом с видом слева, так и рядом с видом справа в зависимости от наличия места на листе), и все они должны находиться между собой в проекционной связи. Названия видов на чертеже не даются.

Данный тест характеризует способность обучающегося соотнести наглядное изображение предмета с его плоским чертежом. В табл. 2 представлены результаты прохождения теста 2.

Т а б л и ц а 2

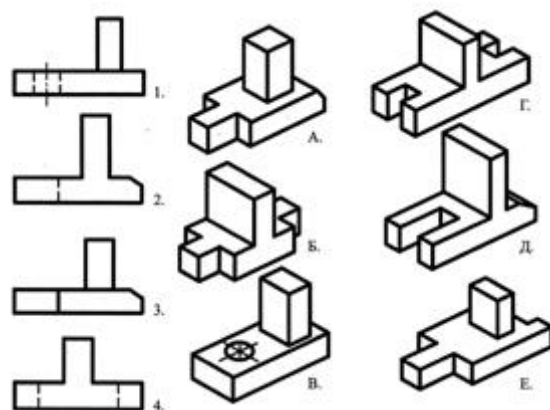
Результаты теста 2

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
2	64,27 %	62, 54 %

Тест 3. Укажите в таблице номера наглядных изображений, соответствующих главному виду деталей.

Правила изображения предметов (изделий, сооружений и их составных элементов) на чертежах всех отраслей промышленности и строительства устанавливает ГОСТ 2.305—68.

Данный тест характеризует степень развития пространственного воображения обучающегося. В табл. 3 представлены результаты прохождения теста 3.

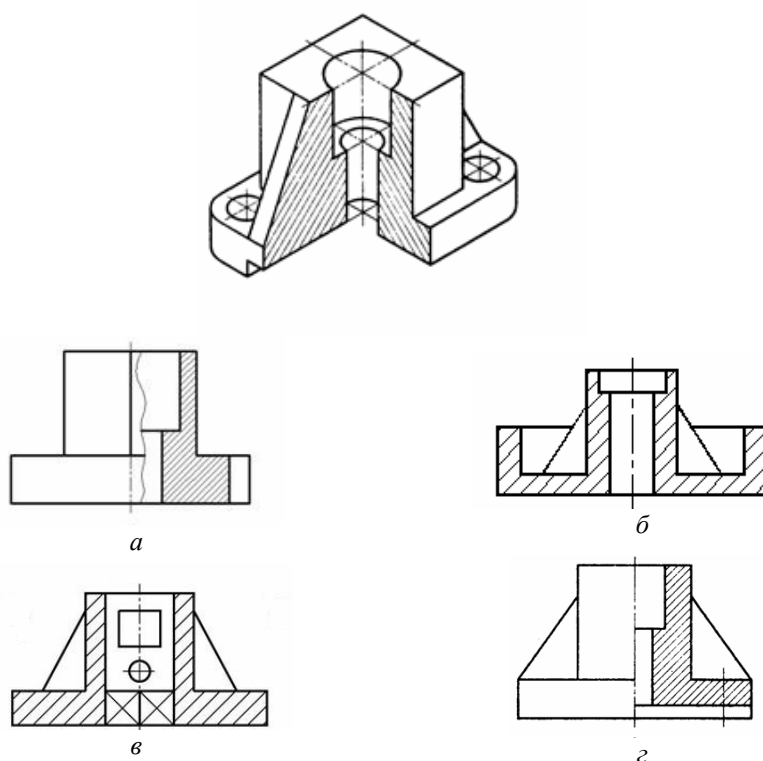


Т а б л и ц а 3

Результаты теста 3

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
3	86,00 %	84,95 %

Тест 4. По наглядному изображению найти чертеж детали.



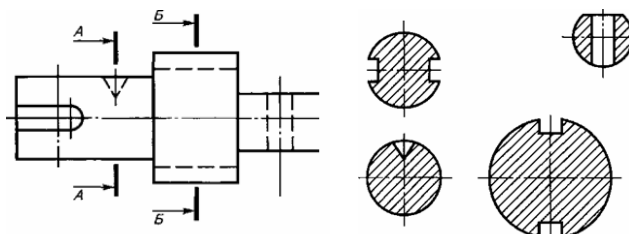
Данный тест характеризует знания обучающихся по темам проекционно-го черчения и применение ГОСТов при выполнении чертежей. В табл. 4 представлены результаты прохождения теста 4.

Т а б л и ц а 4

Результаты теста 4

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
4	56,00 %	54,50 %

Тест 5. Обозначить фигуры сечения.



Внешний вид сооружения, конструкции, сборочной единицы или детали в большинстве случаев не дает полного представления об изображенном предмете. Для выявления внутренних очертаний и форм предмета применяют разрезы и сечения.

Разрезом называется изображение предмета, рассеченного мнимой плоскостью, выполненное в виде прямоугольной проекции на плоскость, параллельную плоскости разреза. Такое рассечение предмета относится только к данному разрезу и не влечет за собой изменения других изображений того же предмета. На разрезе показывают, что получается в секущей плоскости и что расположено за ней. Допускается изображать не все, что расположено за секущей плоскостью, если это не требуется для понимания конструкций предмета.

Данный тест характеризует знания обучающихся по теме «Разрезы, сечения». В табл. 5 представлены результаты прохождения теста 5.

Т а б л и ц а 5

Результаты теста 5

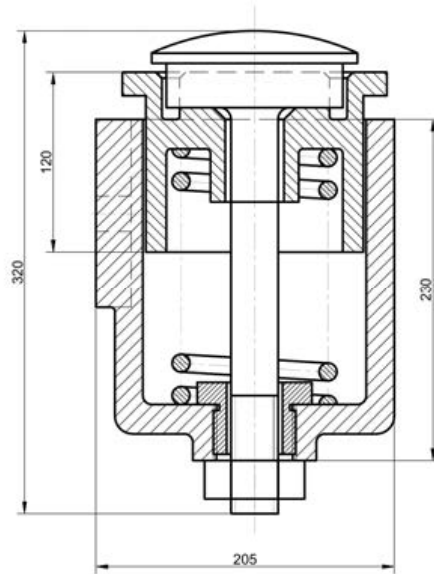
№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
5	50,00 %	43,85 %

Тест 6. Определить количество составных элементов изделия.

Чертежи сборочных единиц разрабатывают на всех стадиях проектирования изделий. На стадии разработки проектной документации их называют чертежами общих видов, а на стадии выполнения рабочей документации — сборочными чертежами.

Чертеж общего вида, как конструкторский документ, установлен ГОСТ 2.120—73*, выполняют его по правилам ГОСТ 2.119—73*, ГОСТ 2.103—68*, предназначен он для определения конструкции изделия, взаимодействия его составных частей и пояснения принципа работы изделия. Он служит основой для разработки рабочей документации: спецификаций, чертежей деталей и сборочных чертежей всего изделия¹.

¹ ГОСТ 2.119—2013. ЕСКД. Эскизный проект; ГОСТ 2.103—2013. ЕСКД. Стадии разработки.



Сборочный чертеж — это графический документ, содержащий изображение изделия и другие данные, необходимые для его сборки и контроля. Согласно ГОСТ 2.109—73 «Основные требования к чертежам» сборочный чертеж содержит:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу;
- сведения, обеспечивающие возможность сборки и контроля сборочной единицы;

- указания о характере сопряжения и методах его осуществления;

- номера позиций составных частей;

- габаритные размеры, определяющие предельные внешние очертания изделия;

- установочные размеры, по которым изделие устанавливается на месте монтажа;

- присоединительные размеры;

- необходимые справочные размеры.

К сборочному чертежу прилагается спецификация, в которую вносят перечень составных частей.

К сборочным чертежам относят чертежи комплектов, машин или станков, состоящих из нескольких сборочных единиц и деталей, а также гидро-, пневмо- и электромонтажные чертежи.

При составлении сборочного чертежа необходимо учитывать не только надежность работы конструкции в процессе эксплуатации, но и порядок сборки и разборки, удобство в эксплуатации и возможность применения прогрессивных методов, наличие условий для повышения производительности труда.

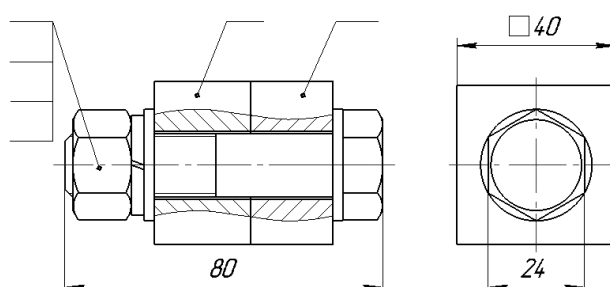
Данный тест характеризует умение прочитывать сборочный чертеж, т. е. выяснить по нему, из какого количества деталей состоит данное изделие. В табл. 6 представлены результаты прохождения теста 6.

Таблица 6

Результаты теста 6

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
6	97,00 %	94,50 %

Тест 7 Дополнить чертеж болтового соединения. Проставить номера позиций.



В технике применяются следующие основные виды крепежно-резьбовых соединений: соединения при помощи болтов и шпилек; соединения при помощи винтов; трубные соединения при помощи соединительных частей (фитингов) [4].

Болт состоит из цилиндрического стержня, на одном конце которого имеется резьба, а с другого конца — призматическая головка, с внешней стороны которой обычно снимается коническая фаска, сглаживающая острые углы. Наиболее часто в машиностроении встречаются болты с шестиугольной призматической головкой. Головка болта может иметь и квадратную форму. В комплект болтового соединения входят болт, гайка и шайба.

Данный тест характеризует знания раздела машиностроительного черчения, а также основных правил выполнения и оформления чертежей. В табл. 7 представлены результаты прохождения теста 7.

Таблица 7

Результаты теста 7

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
7	33,33 %	46,50 %

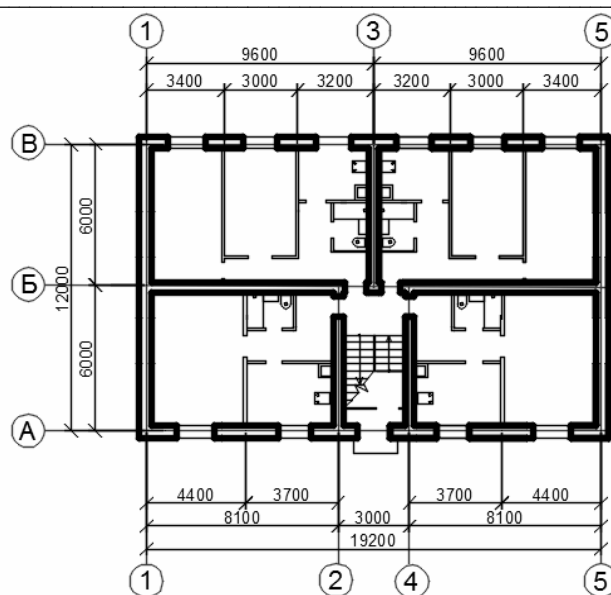
Тест 8. Прочитать чертеж.

Определить:

количество окон, изображенных на разрезе здания	
количество дверей, изображенных на разрезе здания	
количество балконов, изображенных на разрезе здания	
высотную отметку междуэтажной площадки	

Строительные чертежи выполняются по правилам ортогонального проецирования с применением различных условностей: вопросы изготовления строительных чертежей изучают в курсе черчения в разделе «Строительное черчение» [5].





Указывая направление, в котором открываются двери, необходимо учитывать следующие правила:

- входные наружные двери должны открываться на улицу;
- входные двери в квартиры должны открываться внутрь квартиры;
- двери внутри квартиры открываются в любую сторону, исходя из удобств эксплуатации помещений.

Дверные створки изображают тонкими линиями, открытыми на угол 30°.

Данный тест характеризует знания обучающихся по разделу «Строительное черчение», а также требований ГОСТ 21.501—2011. В табл. 9 представлены результаты прохождения теста 9.

Таблица 9

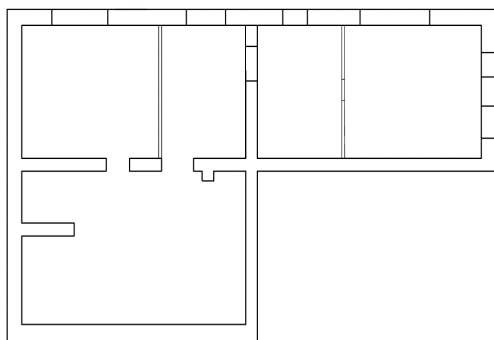
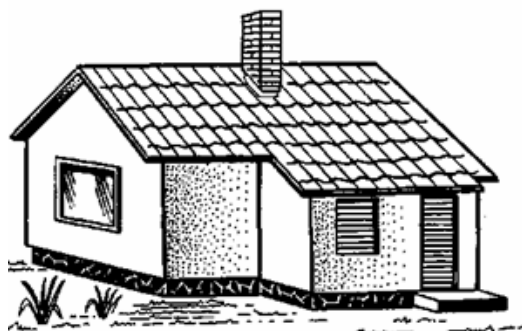
Результаты теста 9

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
9	40,00 %	39,70 %

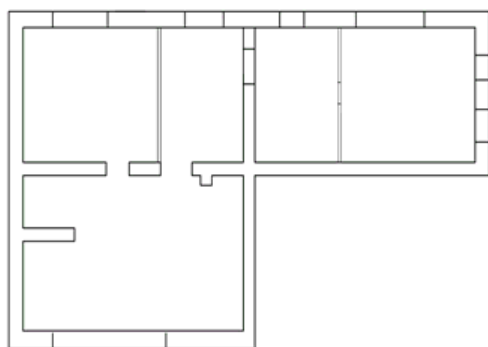
Тест 10. По данному перспективному изображению найти план заданного здания.

Перспективной проекцией (перспективой) называют изображение предмета (дома), полученное способом центрального проецирования. Основная особенность перспективы — перспективное сокращение, т.е. кажущееся уменьшение предметов по мере их удаления от наблюдателя. Перспективные изображения по сравнению с другими видами графических изображений являются наиболее наглядными. Они более точно передают те зрительные впечатления, которые получает наблюдатель, рассматривая объект в реальных условиях. Перспектива имеет некоторые преимущества даже по сравнению с макетами зданий.

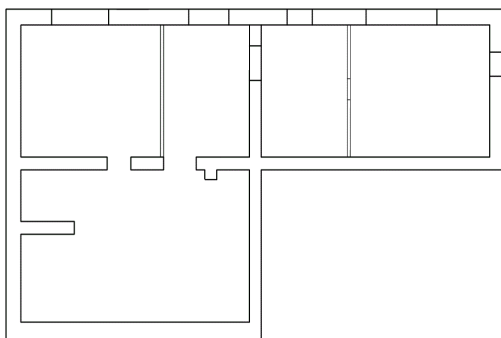
Данный тест характеризует степень развития пространственного воображения обучающегося.



a



б



в

В табл. 10 представлены результаты прохождения теста 10.

Т а б л и ц а 10

Результаты теста 10

№ теста	Студенты строительного техникума	Студенты ИАиС ВолгГТУ
10	92,00 %	79,45 %

Тестирование рассчитано на один академический час. Результаты обработки данных тестирования представлены в табл. 11

Т а б л и ц а 11

Результаты обработки данных тестирования

№ теста	Студенты ГБПОУ ВСТ, %	Студенты, ИАиС ВолгГТУ, %
1	94,95	87,59
2	64,27	62,54
3	86,00	84,95
4	56,00	54,50
5	50,00	43,85
6	97,00	94,50
7	33,33	46,50
8	4,95	3,33
9	40,00	39,70
10	92,00	79,45
И т о г о :	61,85	59,69

Результаты тестирования показали, что в связи с тем, что в техникуме на изучение курса «Инженерная графика» выделено больше часов, чем в вузе, 78 против 36, студенты техникума могут лучше и глубже изучить и закрепить учебный материал данной дисциплине.

На основании всего вышесказанного предлагаем следующие возможные мероприятия по повышению уровня знаний обучающихся [6]:

в соответствующих вузах, в рамках факультета довузовской подготовки ввести курс черчения;

в технических вузах увеличить количество часов, отводимых на изучение дисциплины «Инженерная графика».

Необходимость повышения качества графического образования диктуется не только внедрением в производство современных технологий, но и ролью графики в развитии познавательных способностей обучающихся². Развитое воображение необходимо любому человеку, который в своей профессиональной сфере должен мысленно представлять последствия своих действий и возможные варианты развития событий. Воображение является одним из жизненно важных качеств, наличие которого учитывается во время профессионального отбора при трудоустройстве [7, 8].

² Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования» на 2013—2020 годы (Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 295). // Тематический сборник журнала «Вестник московского образования». 2014. № 2. С. 8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Филисюк Н. В., Филисюк В. Г.* Графические дисциплины — необходимая составляющая при формировании инженерного мышления специалиста направления «Автомобильные дороги» // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 1. С. 110—110.
2. *Вольхин К. А., Пак Н. И.* О состоянии графической подготовки учащихся в школе с позиции информационного подхода // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. 2011. Т. 1. № 3. С. 74—78.
3. Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях ФГОС ВПО: материалы 2-й Международной науч.-практич. Интернет-конференции (Пермь, февраль — март 2011 г.). Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. 322 с.
4. *Преображенская Н. Г., Преображенская И. Ю.* Черчение: Второй год обучения. 8 класс: Сечения: Рабочая тетрадь № 1. М.: Вентана-Граф, 2000. 64 с.
5. *Преображенская Н. Г., Кучукова Т. В., Беляева И. А.* Черчение. 7 класс. Рабочая тетрадь № 1. М.: Вентана-Граф, 2001. 48 с.
6. *Торгашина С. Н., Степанова И. Е., Богдалова О. В.* Анализ уровня подготовки обучающихся графическим дисциплинам. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. 6 с.
7. *Гузнецов В. Н.* Геометро-графическая подготовка в техническом университете // Российский научный журнал. 2013. № 6. С. 159—166.
8. *Болбат О. Б.* Формирование профессионально значимых качеств при изучении инженерной графики в образовательной системе школа — вуз: дис... канд. пед. наук. Новосибирск: СГУПС, 2002. 209 с.

© *Торгашина С. Н., Степанова И. Е., Богдалова О. В., Бурлаченко Е. А., 2017*

*Поступила в редакцию
в мае 2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Исследования качества обучения графическим дисциплинам / С. Н. Торгашина, И. Е. Степанова, О. В. Богдалова, Е. А. Бурлаченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 205—218.

Об авторах:

Торгашина Светлана Николаевна — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Степанова Ирина Евгеньевна — доцент кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Богдалова Ольга Вячеславовна — старший преподаватель кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Бурлаченко Елена Анатольевна — Волгоградский строительный техникум. Российская Федерация, 400001, г. Волгоград, ул. Скосярева, 1

S. N. Torgashina, I. E. Stepanova, O. V. Bogdalova, E. A. Burlachenko

THE STUDY OF THE QUALITY OF GRAPHIC DISCIPLINES TRAINING

The subject analysis of the “Engineering Graphics” course is presented. This course forms analytical and creative components of thinking and is the main source of development of static and dynamic spatial representations of students. Studies of the quality of graphic disciplines training of students of institutions of higher education and technical school are conducted, depending on the amount of hours allocated for this discipline. The article presents the analysis of testing of various categories of students. The authors established the direct dependence of the students’ level of mastering graphic disciplines on the number of hours implemented under the work program.

Key words: test, subjects of graphic profile, process of education, drawing, projection, analysis, view, geometric shape.

REFERENCES

1. Filisyuk N. V., Filisyuk V.G. [Graphic disciplines — an essential component when forming engineering thinking of a specialist of “Highways” discipline]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education], 2013, no. 1, pp. 110—110.
2. Volhin K. A., Pak N. I. [About the condition of graphic preparation of pupils at a school from the position of information approach]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V. P. Astafeva* [Bulletin of Krasnoyarsk State Pedagogical University], 2011, 1(3), pp. 74—78.
3. *Problemy kachestva graficheskoi podgotovki studentov v tekhnicheskoy vuzakh FGOS VPO* [Problems of the quality of graphic training of students in institutes of technology under conditions of FSEI HPE]. Proc. of the 2nd Int. Sci.-Pract. Internet Conferences (Perm, February — March, 2011). Perm, the Publishing House of PSTU, 2011. 322 p.
4. Preobrazhenskaya N. G., Preobrazhenskaya I. Yu. *Cherchenie: Vtoroi god obucheniya. 8 klass: Secheniya: Rabochaya tetrad' № 1* [Drawing: Second year of training. 8th form: Sections: Workbook no. 1]. Moscow, Ventana-Graf Publ., 2000. 64 p.
5. Preobrazhenskaya N. G., Kuchukova T. V., Belyaeva I. A. *Cherchenie. 7 klass. Rabochaya tetrad' № 1* [Drawing. 7th form. Workbook no. 1]. Moscow, Ventana-Graf Publ., 2001. 48 p.
6. Torgashina S. N., Stepanova I. E., Bogdalova O. V. *Analiz urovnya podgotovki obuchayushchikhsya graficheskimi distsiplinami* [The analysis of the level of training of students of graphic disciplines]. Volgograd, VSTU, 2017. 6 p.
7. Guzenkov V. N. [Geometric-Graphic Preparation of the Technical Universit]. *Rossiiskii nauchnyi zhurnal* [Russian Scientific Journal], 2013, no. 6, pp. 159—166.
8. Bolbat O. B. *Formirovanie professional'no znachimyykh kachestv pri izuchenii inzhenernoi grafiki v obrazovatel'noi sisteme shkola — vuz* [Formation of professionally significant qualities when learning engineering graphics in the educational system school – institution of higher education. Cand. Ped. Sci. Diss.] Novosibirsk, STU, 2002. 209 p.

For citation:

Torgashina S. N., Stepanova I. E., Bogdalova O. V., Burlachenko E. A. [The study of the quality of graphic disciplines training]. *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], 2017, iss. 48(67), pp. 205—218.

About authors:

Torgashina Svetlana Nikolaevna — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Stepanova Irina Evgen'evna — Docent of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Bogdalova Ol'ga Vyacheslavovna — Senior Lecturer of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Burlachenko Elena Anatol'evna — Volgograd Construction College. 1, Skosyeva St., Volgograd, 400001, Russian Federation

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» **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, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК*; на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи завершается личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 10 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*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата A4 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. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. 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 *в переводе на английский язык*, 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.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градоостроительной 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 ВолгГТУ <http://vgasu.ru/publishing/journals/> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. (8442)-96-98-65. E-mail: sk0522@yandex.com (ответственный секретарь журнала Калиновский Сергей Андреевич).

Уточнить **условия публикации статей и приобретения** очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-65 у ответственного секретаря редсовета журнала **Калиновского Сергея Андреевича**.

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: mariaapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»
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)-96-98-65 к отв. секретарю редсовета *С. А. Калиновскому*

Продолжается прием статей в очередные выпуски
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, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информре-
гистр», свидетельство № **594 от 20.10.11**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация на сайте журнала <http://vgasu.ru/publishing/journals/>

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **E 29507**.
Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от**
17.11.06, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: <http://vgasu.ru/publishing/journals/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2017. Вып. 48(67)**

Редактор *О. А. Шипунова*
Перевод на английский язык *О. Ю. Юшко*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Подписано в печать 30.06.2017. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 8,3. Усл. печ. л. 19,4. Тираж 500 экз. Заказ № 05

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1