

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск **Серия: Строительство и архитектура** **2018**
54(73) 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

- Гурова Е. В., Курамшин Р. Х., Кувшинова К. А., Рябуха В. В., Ситникова А. А.** Особенности численного моделирования оснований объектов при их длительной эксплуатации 5
- Гурова Е. В., Курамшин Р. Х., Пайлеванян Л. О., Сапункова К. В., Ситников И. Н.** Опыт применения метода тепловизионного контроля к оценке технического состояния наружных стен здания исторической постройки 12
- Дорофеев Н. В., Кузичкин О. Р., Греченева А. В., Романов Р. В.** Проведение геотехнического мониторинга в карстовых районах на основе совместных геоэлектрических и акселерометрических измерений 20
- Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Тихонова Т. М.** Оценка устойчивости сарматских глин к длительному обводнению на основе результатов лабораторных исследований 32
- Субботин А. И.** Расчет осадки фундаментов больших площадей с учетом ограниченной распределительной способности грунтов основания 43
- Субботин А. И., Дыба В. П.** Закономерности формоизменения грунтов в краевой зоне фундаментов больших площадей 52

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Коновалов О. В., Арзамаскова Л. М., Евдокимов Е. Е.** Особенности метода обобщенных неизвестных в расчетах свободных колебаний одномерных бигекулярных систем 61

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Гофман Д. И., Лескин А. И., Алексиков С. В., Кейта Мохамед Ламин Фатумата.** Эмульсионно-минеральные смеси на известьесодержащих отходах 69
Ермаков О. В., Карпова О. И. Зависимость деформаций легкого бетона от температуры и влажности 76

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

- Азизова Н. В., Артемова С. Г., Алексиков С. В.** Состояние ливневой канализации г. Волгограда 82
Алексиков С. В., Парфенов М. В., Болдин А. И., Лескин А. И., Гофман Д. И. Расчет пластических деформаций дорожного покрытия от нагрузок грузового транспорта 89
Артемова С. Г., Сомова К. В., Муковнин А. С. Обоснование предложений по применению реверсивного движения на улично-дорожной сети г. Волгограда 97
Калашникова Ю. С., Богородская Н. С. О критериях оценки эффективности мероприятий по модернизации улично-дорожной сети (на примере УДС Центрального района г. Волгограда) 106
Миловатская Т. Н., Карпова О. И., Сабитова Т. А. Основные этапы и тенденции в развитии геодезических приборов и их применение при строительстве автомобильных дорог 113
Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В. Анализ транспортных потоков основных магистралей г. Волгограда 121

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Потоловский Р. В., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Коновалов О. В., Клименко В. И., Иванов М. В.** Доочистка краскосодержащих сточных вод для производственных нужд с помощью электрохимического метода 132
Потоловский Р. В., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Геращенко А. А., Юрьев Ю. Ю., Калиновский С. А. Использование осадков сточных вод производства стирол-акриловых лакокрасочных материалов в качестве вторичного сырья для производства водно-дисперсионных красок 141
Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л. Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населенных пунктов 148
Хецуриани Е. Д., Колмакова Т. С., Акименко М. А., Хецуриани Т. Е. Экологическая безопасность водной среды — залог здорового будущего 156
Хецуриани Е. Д. Результаты экспериментальных исследований по обеспечению экологической безопасности систем водоснабжения промышленных и населенных пунктов 165

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В.** Ландшафтно-экологическая организация визуального каркаса городских гибридных пространств в процессе ревитализации постиндустриального ландшафта набережной Волгограда 173
Растяпина О. А. Анализ природных и техногенных факторов, оказывающих влияние на проявление неблагоприятных природных процессов на урбанизированных территориях 187
Сенченко В. А., Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Пути решения проблемных вопросов пересечения воздушных линий связи и воздушных линий электропередач на узловых опорах густонаселенных территорий 195

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

- Клочкова О. Н., Сухинина Е. А., Селиванов А. А.** Реконструкция исторических зданий при смене функции с использованием экостандартов 205

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

- Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В.** Информационное обеспечение управления жизненным циклом строительных объектов в концепции BIM 217

Content

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

Gurova E. V., Kuramshin R. Kh., Kuvshinova K. A., Ryabukha V. V., Sitnikova A. A. Numerical modeling of the grounds of the facility long-term operation	5
Gurova E. V., Kuramshin R. Kh., Pailevanyan L. O., Sapunkova K. V., Sitnikov I. N. Experience with the method of thermal imaging control to evaluate the technical condition exterior walls of buildings of historical buildings	12
Dorofeev N. V., Kuzichkin O. R., Grecheneva A. V., Romanov R. V. Geotechnical monitoring in karst areas based on joint geoelectrical and accelerometric measurements	20
Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Tikhonova T. M. Assessment of the sustainability of Sarmatian clays to long-term waterflooding on the basis of laboratory research	32
Subbotin A. I. Calculation of sedimentation of the foundations of large areas accountability of the limited distributed capacity of ground soils	43
Subbotin A. I., Dyba V. P. Regularities of formalization of soils in the long area of foundations of large areas	52

STRUCTURAL MECHANICS

Konovalov O. V., Arzamaskova L. M., Evdokimov E. E. Features of the method of generalized unknowns in the calculations of free vibrations of one-dimensional systems biregular	61
---	----

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Gofman D. I., Leskin A. I., Aleksikov S. V., Kate Mohamed Lamine Fatumata. Emulsion-mineral mixture on lime-containing waste	69
Ermakov O. V., Karpova O. I. The dependence of deformations of light concrete from temperature and humidity	76

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

Azizova N. V., Artemova S. G., Aleksikov S. V. Condition of the drainage waste of Volgograd	82
Aleksikov S. V., Parfenov M. V., Boldin A. I., Leskin A. I., Gofman D. I. Calculation of plastic deformations of road coverage from load transport loads	89
Artemova S. G., Somova K. V., Mukovnin A. S. The rationale for the use of reverse traffic on the road network in the Volgograd city	97
Kalashnikova Yu. S., Bogorodskaya N. S. About criteries of an estimation of efficiency of measures on modernization of the road network (for example, the road network of the central district of Volgograd)	106
Milovatskaya T. N., Karpova O. I., Sabitova T. A. Main stages and trends in the development of surveying instruments and their application in construction of roads	113
Fomenko N. A., Nagumanova A. V., Aleksikov S. V. Analysis of traffic flows main roads in the city of Volgograd	121

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Potolovskii R. V., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Konovalov O. V., Klimenko V. I., Ivanov M. V. Post-treatment wastewater of containing dye, for industrial purposes, by means electrochemical method	132
Potolovskii R. V., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Gerashchenko A. A., Yur'ev Yu. Yu., Kalinovskii S. A. The use of sewage sludges for the production of styrene-acrylic coating materials as secondary raw materials for production water-dispersion paints	141
Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L. The basics of methodology of creation of nature-technical systems in water management in multipurpose water supply in urban farms and settlements	148
Khetsuriani E. D., Kolmakova T. S., Akimenko M. A., Khetsuriani T. E. Ecological safety of water environment — the key to a healthy future	156
Khetsuriani E. D. The results of experimental studies on ecological safety of water supply systems and industrial settlements	165

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Ivanova N. V., Ganzha O. A., Prokopenko V. V. Landscape-ecological organization of the visual frame hybrid urban spaces in the process of revitalization of post-industrial landscape embankment of Volgograd	173
Rastyapina O. A. Analysis of natural and technogenic factors affecting the impact on the manifestation	

of adverse natural processes on urbanized territories	187
Senchenko V. A., Pushenko S. L., Staseva E. V. Problems and solutions of crossing of aerial communication lines and overhead power transmission lines on nodal support of densely populated territories	195
THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE	
Klochkova O. N., Sukhinina E. A., Selivanov A. A. Reconstruction of historical buildings at the following of function with the use of ecostandards	205
INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Burlachenko O. V., Elfimov K. A., Bunin V. D. Information support of life cycle management of construction projects in conception of BIM	217

УДК 624.159.2

Е. В. Гурова, Р. Х. Курамшин, К. А. Кувшинова, В. В. Рябуха, А. А. Ситникова

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Изложены особенности моделирования основания эксплуатируемого объекта с учетом изменения физико-механических характеристик грунтов и упрочнения основания, рассмотрены особенности определения сжимаемой толщи грунтового основания и коэффициентов постели основания фундаментов при длительной эксплуатации здания.

Ключевые слова: физико-механические характеристики грунтов, моделирование основания, глубина сжимаемой толщи, длительная эксплуатация, упрочнение основания.

Длительная эксплуатация объекта недвижимости вне зависимости от его функционального назначения предполагает проведение капитального ремонта (реконструкции) объекта, мероприятий по усилению или восстановлению параметров эксплуатационной пригодности конструктивных элементов. С увеличением срока эксплуатации здания происходит снижение показателей параметров эксплуатационных качеств, увеличиваются показатели физического и морального износа, что вызвано недостатками проектирования, строительства и эксплуатации, изменением геологических условий, воздействием совокупности внешних неблагоприятных факторов, таких как деградация материалов конструктивных элементов, динамические и сейсмические воздействия и т. п. Работам по реконструкции и капитальному ремонту зданий и сооружений предшествуют исследования, в ходе которых выявляется действительное состояние грунтов их оснований, фундаментов и надфундаментных конструкций, проведение поверочных расчетов объекта исследования.

Проведение поверочных расчетов предполагает создание численной расчетной модели исследуемого объекта, с достаточной степенью точности отражающей характер работы элементов расчетной схемы. Неотъемлемой частью расчетов модели «сооружение-основание» (п. 4 ст. 16. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федер. закон Рос. Федерации от 30.12.2009 № 384-ФЗ) является идеализация свойств материала, для чего в программных комплексах применяется ряд различных методов моделирования процесса и задания характеристик материала.

В практике проектирования новых зданий и сооружений грунты оснований рассматриваются в статическом состоянии и их физико-механические свойства, выявленные в процессе изысканий, считаются неизменными. Однако известно, что после возведения зданий или сооружений состояние грунтов значительно изменяется.

Устройство фундаментов и прокладка коммуникаций нарушают гидрогеологические условия площадки застройки, обжатие грунтов оснований

внешней нагрузкой от сооружения меняет их физико-механические свойства. Таким образом, в основании сооружений происходят изменения:

- естественного напряженного состояния грунта под влиянием дополнительных (к природному) нагрузок от сооружения;
- природного сложения грунтов;
- естественного теплового режима и условий аэрации;
- гидрогеологического режима участка (прокладка сетей, неизбежные утечки из водонесущих коммуникаций).

В отличие от естественных сезонных, эти изменения в грунтах оснований относят к техногенным. Прогнозирование и учет изменений физико-механических характеристик грунтов основания в период эксплуатации здания или сооружения необходимо осуществлять на стадии проектирования как нового строительства, так и реконструкции (капитального ремонта).

Расчетные модели строительных конструкций и основания должны отражать действительные условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации (Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федер. закон Рос. Федерации от 30.12.2009 № 384-ФЗ). При этом должны быть учтены:

- 1) факторы, определяющие напряженно-деформированное состояние;
- 2) особенности взаимодействия элементов строительных конструкций между собой и с основанием;
- 3) пространственная работа строительных конструкций;
- 4) геометрическая и физическая нелинейность;
- 5) пластические и реологические свойства материалов и грунтов;
- 6) возможность образования трещин;
- 7) возможные отклонения геометрических параметров от их номинальных значений.

При моделировании основания для вычисления коэффициентов постели C_1 и C_2 при построении модели здания в программном комплексе «Лира», широко используемом для определения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, реализованы 3 основных модели основания — модель Пастернака, модель Винклера — Фусса и модифицированная модель Пастернака [1], включающие в себя характеристики сжимаемой толщи основания, физико-механические и деформационные характеристики грунтов основания.

Изменение пористости грунта и деформация его слоев происходит в результате приращения по глубине массива грунта от внешней нагрузки. Зона распространения напряжений в глубину массива грунта от нагрузки на его поверхности с точки зрения теории упругости не ограничена и стремится к бесконечности. Однако на большой глубине напряжения от собственного веса грунта значительно превышают приращения напряжений по глубине массива от внешней нагрузки, поэтому без большой погрешности можно допустить, что незначительное увеличение напряжений на определенной глубине практически не вызывает уплотнения грунта. В связи с этим глубину сжимаемого массива грунта (глубину сжимаемой толщи) под фундаментом в большинстве методов расчета осадок ограничивают тем слоем, в котором деформации грунта незначительные и поэтому могут не учитываться.

Существует несколько различных приемов определения грунта сжимаемой толщи основания для получения наиболее достоверных данных об ожидаемых осадках основания. Известные в настоящее время расчетные приемы определения глубины сжимаемой толщи грунта основания можно разделить на три группы. В первую группу включены способы, устанавливающие глубину сжимаемой толщи грунта из соотношения давлений на ее границе; во вторую — способы, устанавливающие глубину сжимаемой толщи из соотношения деформации слоев на ее границе; в третью группу — прочие способы, которые нельзя отнести к первым двум группам.

Первая группа приемов не учитывает в расчете осадок сооружений на сжатие тех слоев основания, где дополнительные вертикальные давления от нагрузок на фундаменты составляют ту или иную постоянную долю k от природного давления на кровле этих слоев. Согласно СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» при определении осадок методом послойного суммирования за сжимаемую толщу основания принимается такая толща, ниже которой дополнительное давление не превышает 20 % природного давления. Если нижняя граница сжимаемой толщи заканчивается в слое грунта с модулем деформаций $E < 5,0$ МПа, то в этом случае она ограничивается превышением в 10 %.

В инженерной практике за рубежом достаточно широкое распространение получил способ, согласно которому граница сжимаемой толщи находится на глубине, где наблюдается следующее условие:

$$p_z \leq 0,1p_0,$$

где p_z — дополнительное давление на глубине от подошвы фундамента; p_0 — дополнительное давление на уровне подошвы фундамента.

В. М. Веселовский при определении глубины сжимаемой толщи грунта рекомендует учитывать капиллярное давление в грунтах p_k . Как правило, при учете влияния капиллярного давления в грунтах величина сжимаемой толщи грунта уменьшается. Однако такой прием определения глубины сжимаемой толщи в инженерной практике не применяется из-за большой изменчивости капиллярного давления, сложности и неточности способов его определения.

Вторая группа приемов. Ввиду того, что сжимаемость грунтов, составляющих основание, может резко различаться, Н. Н. Маслов [4] предложил при установлении глубины сжимаемой толщи исходить из условия, что погрешность в определении осадки без учета сжатия глубокорасположенных горизонтов грунта не превышает 5 %, т. е.

$$\Delta S \leq 0,05S,$$

где ΔS — пренебрегаемая часть общей осадки S . Однако способа определения этой погрешности автор не дает.

Третья группа приемов. И. А. Розенфельдом в основу предлагаемого приема определения глубины сжимаемой толщи грунта положена гипотеза, согласно которой модуль деформации увеличивается при увеличении напряжений в грунте вследствие упрочнения грунта. При этом принимается, что на определенной глубине приращение модуля деформаций E под действием дополнительного давления p_z настолько незначительно, что практически при-

ют устанавливать связь между допускаемым давлением на грунт и сроком эксплуатации объекта исследования, что в процессе создания расчетной модели эксплуатируемого объекта, в особенности численного моделирования основания объекта, может повлиять на значения осадок фундаментов и показатели несущей способности фундаментов.

При длительной эксплуатации объекта в большинстве случаев значение осадки снижается, а несущая способность грунтов основания повышается. Кроме того, на дополнительные деформации зданий при проведении реконструкции (капитального ремонта), предполагающей увеличение нагрузок на фундаментные конструкции, могут влиять конструктивные особенности зданий, технология производства работ по реконструкции и усилению объекта, наличие и техническое состояние коммуникаций.

Указанные особенности определения характеристик грунтового основания для эксплуатируемых объектов реализованы при формировании расчетной модели здания. Объект исследования — административное здание в Центральном районе г. Волгограда, подлежащее капитальному ремонту с изменением функционального назначения. Здание послевоенной постройки эксплуатируется и в настоящее время. В результате обводнения грунтов вследствие техногенных аварий реализовались просадка суглинков и супесей, доуплотнение техногенных накоплений в основании фундаментов. Задачей исследования ставилось проведение поверочных расчетов системы «сооружение-основание» для разработки мероприятий по восстановлению эксплуатационной пригодности конструкций объекта.

В настоящей работе исследуется особенность моделирования основания объекта с учетом упрочнения основания при длительной эксплуатации. В качестве контролируемого параметра принята средняя осадка объекта исследования. Выполнены расчеты в соответствии с требованиями [3]. Расчетная модель объекта исследования сформирована с учетом данных ранее выполненных технических обследований. Моделирование грунтового основания проведено с использованием стандартных методик (по усредненным значениям модуля деформации и коэффициента Пуассона грунта; по формуле Винклера; по усредненным значениям модуля деформации и коэффициента Пуассона грунта с введением поправочного коэффициента). Кроме того, моделирование основания выполнено с учетом использования методики определения коэффициента жесткости основания [2], учитывающей изменение физико-механических характеристик грунтов основания с учетом длительной эксплуатации объекта. Корректировка значений физико-механических характеристик грунтов основания получена за счет применения коэффициентов, учитывающих изменение физико-механических свойств грунтов оснований за период эксплуатации здания и приращение осадки при увеличении нагрузок на фундаменты.

Анализ результатов выполненных расчетов позволяет говорить о том, что заложенный в СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция» критерий установления глубины сжимаемой толщи принят достаточно условно и не отражает в полной мере фактического распространения деформаций грунта по глубине основания. В результате чего получают завышенные значения глубины сжимаемой толщи, а абсолютные значения перемещений грунта по глубине основания оказываются меньше

расчетных. Кроме того, грунт наиболее сильно уплотняется в верхнем слое, и рост осадки во времени при действии постоянной нагрузки происходит вследствие уплотнения именно верхнего слоя грунта. Полученные в результате проведенных расчетов дополнительные осадки здания (за счет увеличения нагрузок на фундаменты, связанного с изменением функционального назначения объекта) с учетом упрочнения основания соответствуют действительным дополнительным осадкам, зафиксированным геодезическими методами после ввода объекта в эксплуатацию. Погрешность значений дополнительной осадки, полученных в результате расчетов, составила 15...20 % от результатов натурных измерений, что позволяет говорить о применимости вышеизложенного метода определения характеристик основания эксплуатируемых зданий при его использовании в практике проектирования реконструкции и капитального ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программный комплекс лира-сапр 2013 : учеб. пособие / Д. А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов и др. // Под ред. А. С. Городецкого. М., 2013. 376 с.
2. Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий М., 2000. 4-е изд., перераб. и доп. 308 с.
3. Бедов А. И., Знаменский В. В., Габитов А. И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых сооружений. М., 2014. 704 с.
4. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М : Высш. школа, 1982. 511 с.
5. Скибин Г. М., Дыба В. П., Кидакоев А. М. Экспериментальная оценка теоретического решения смешанной задачи о напряженно-деформированном состоянии основания ленточных фундаментов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 37—44.
6. Сотников С. Н., Симагин В. Г., Вершинин В. П. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений. М. : Стройиздат, 1986. 96 с.

© Гурова Е. В., Курамшин Р. Х., Кувшинова К. А., Рябуха В. В., Ситникова А. А., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности численного моделирования оснований объектов при их длительной эксплуатации / Е. В. Гурова, Р. Х. Курамшин, К. А. Кувшинова, В. В. Рябуха, А. А. Ситникова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 5—11.

Об авторах:

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

Курамшин Ренат Хосяинович — 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

Кувшинова Ксения Алексеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Рябуха Виталий Васильевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Ситникова Анастасия Александровна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Elena V. Gurova, Renat Kh. Kuramshin, Kseniya A. Kuvshinova, Vitalii V. Ryabukha, Anastasiya A. Sitnikova

Volgograd State Technical University

NUMERICAL MODELING OF THE GROUNDS OF THE FACILITY LONG-TERM OPERATION

Features of modeling of the base of the operated object taking into account change of physical and mechanical characteristics of soils and strengthening of the basis are stated, features of determination of the compressible thickness of a soil basis and coefficients of a bed of the basis of the bases at long operation of the building are considered.

Key words: physical and mechanical characteristics of soils, modeling of the base, depth of compressible thickness, long-term operation, strengthening of the base.

For citation:

Gurova E. V., Kuramshin R. Kh., Kuvshinova K. A., Ryabukha V. V., Sitnikova A. A. [Numerical modeling of the grounds of the facility long-term operation]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 5—11.

About authors:

Elena V. Gurova — Candidate of Engineering Sciences, 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

Renat Kh. Kuramshin — Candidate of Engineering Sciences, 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

Kseniya A. Kuvshinova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; eun.cafedra@yandex.ru

Vitalii V. Ryabukha — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; eun.cafedra@yandex.ru

Anastasiya A. Sitnikova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; eun.cafedra@yandex.ru

УДК 69.059.22

Е. В. Гурова, Р. Х. Курамшин, Л. О. Пайлеванян, К. В. Сапункова, И. Н. Ситников

Волгоградский государственный технический университет

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ПОСТРОЙКИ

Изложены особенности применения метода тепловизионного контроля для оценки параметров эксплуатационной пригодности наружных стен здания в рамках разработки проекта капитального ремонта. Приводятся результаты определения объемов работ по восстановлению кирпичной кладки с учетом проведенного термографирования объекта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: тепловизионный контроль, термография, дефекты, повреждения, капитальный ремонт.

Процесс обеспечения безопасных условий режима эксплуатации зданий и сооружений в настоящее время выводит на первый план задачи поддержания их технического состояния на должном уровне. Основными задачами при такой стратегии управления недвижимостью становятся: продление нормативных сроков эксплуатации, восстановление и реконструкция зданий и сооружений, реновация и воспроизводство объектов недвижимости различного функционального назначения, особое внимание уделяется вопросам снижения эксплуатационных затрат, в том числе основанных на принципах энергосбережения.

При обосновании мероприятий по реконструкции или капитальному ремонту одним из наиболее важных этапов, определяющим необходимость и целесообразность проведения реконструкции (капитального ремонта), является оценка действительного технического состояния объекта недвижимости. С этой точки зрения техническое обследование здания представляет собой процесс выявления фактических параметров эксплуатационных качеств конструкций и выяснения причин аварий, включающий в себя контроль, испытания, анализ и оценку технического состояния строительного объекта, а также диагностику и прогнозирование поведения конструкций здания. В настоящее время практически любая программа работ при проведении технической экспертизы зданий, кроме определения напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов, включает в себя вопросы исследования теплозащитных показателей ограждающих конструкций. Теплотехническое обследование ставит своей целью определение фактических теплозащитных качеств конструкций, выявление их соответствия требованиям современных нормативных документов в сфере тепловой защиты зданий.

Неразрушающие методы контроля являются наиболее приемлемыми для определения прочностных, деформативных и других физико-механических характеристик строительных материалов в условиях, когда эти свойства устанавливаются для конструкций возведенных и эксплуатирующихся зданий и сооружений.

Одним из современных методов неразрушающего контроля является тепловизионный контроль, представляющий собой один из видов неразру-

шающего контроля, основанный на фиксации и преобразовании инфракрасного излучения в видимый спектр. Тепловизионный метод контроля применим в тех отраслях промышленности, где по неоднородности теплового поля можно судить о техническом состоянии контролируемых объектов.

В настоящей работе рассмотрены вопросы оценки параметров эксплуатационной пригодности наружных стен здания в рамках разработки проекта капитального ремонта наружных стен здания при проведении предпроектных исследований для разработки проекта капитального ремонта здания ЧОУ ВО «Царицынский православный университет преподобного Сергия Радонежского» (здание бывшей послевоенной казармы, восстановленной на месте разбомбленного комплекса Илidorова монастыря XIX века постройки). Проектом капитального ремонта предусмотрен вариант восстановления показателей эксплуатационной пригодности поврежденных участков наружных стен с применением системы внешнего армирования композитными материалами из термореактивных адгезивов, армированных углеродными или стеклянными волокнами с предварительным восстановлением сплошности кирпичной кладки стен за счет инъектирования трещин полимерным раствором.

При проведении термографического контроля объекта исследования были поставлены следующие задачи:

1. Оценка теплозащитных характеристик ограждающих конструкций.
2. Выявление скрытых дефектов кирпичной кладки наружных стен.
3. Уточнение результатов оценки технического состояния объекта исследования с учетом данных тепловизионного контроля.
4. Корректировка объемов работ и применяемых материалов при проведении комплекса восстановительных мероприятий по капитальному ремонту наружных стен объекта исследования (восстановление сплошности кладки).

Контроль теплозащитных характеристик ограждающих конструкций при проведении оценки технического состояния наружных стен объекта исследования включал в себя решение следующих задач:

1. Установление температурных полей по поверхностям ограждающих конструкций (особое внимание уделялось участкам теплопроводных включений, узлам примыкания внутренних стен к наружным, зонам соединений элементов конструкций).
2. Выявление участков с пониженной температурой, где возможно образование конденсата на поверхностях конструкций.
3. Определение характера неоднородности температурного поля.

Согласно требованиям СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» температура внутренней поверхности ограждающей конструкции (за исключением вертикальных светопрозрачных конструкций) в зоне теплопроводных включений (диафрагм, сквозных растворных швов, стыков панелей, оконных откосах др.) должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года. Температура внутренней поверхности конструктивных элементов остекления окон зданий (за исключением производственных) должна быть не ниже +3 °С.

В основу метода тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций положен принцип дистанционного измерения полей

распределения поверхностных температур ограждающих конструкций с применением тепловизионной камеры. Основным условием реализации метода является существование перепада температур между внутренними и наружными поверхностями конструкций. Современные термографы выполняют визуализацию температурных аномалий для выявления дефектов в виде областей повышенных теплопотерь, связанных с наличием дефектов и повреждений теплоизоляции, а также участков внутренних поверхностей ограждающих конструкций, температура которых в процессе эксплуатации может опускаться ниже точки росы. В условиях эксплуатации термографирование рекомендуется производить при разности температур (наличии теплового потока ΔT) между температурой внутреннего объема объекта контроля T_{int} и наружного воздуха T_{ext} не менее чем $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наличие температурного напора $\Delta T = T_{int} - T_{ext}$ обуславливает образование на исследуемой поверхности температурного поля, качественный и количественный анализ которого позволяет выявлять дефекты, проводить оценку качества и определять характеристики контролируемого объекта.

Работы по тепловизионной съемке ограждающих конструкций проводились с учетом требований (СП 70.13330.2012, СП 50.13330.2012, СП 13.102.2003, МГСН 2.01-99, СП 23.101.2004, ГОСТ 26254-84, ГОСТ 26629-85, [1, 2]) при наружной температуре, близкой к среднесуточной. Для получения достоверных результатов измерения выполнены при отсутствии атмосферных осадков, тумана, смога и задымленности. Обследуемые поверхности не имели налетов, не свойственных материалам исследуемых конструкций. Коэффициент излучения обследуемых поверхностей — не менее 0,93. Перед каждой съемкой измерена температура в центре помещения и на расстоянии около 10 см от поверхности наружных стен, а также температура наружного воздуха. Термографирование поверхностей наружных ограждающих конструкций выполнено в основном в перпендикулярном к плоскости стены направлении, а возможные отклонения от этого направления не превышали 30° . С целью получения достоверных результатов измерений время съемки выбрано таким образом, чтобы исключить воздействие прямого и отраженного солнечного облучения на обследуемые поверхности в течение не менее 3-х часов до начала измерений.

Тепловизионное обследование выполнено при устойчивой работе системы отопления, проверка и контроль теплозащитных качеств осуществлены в зимний период при разности температуры внутреннего и наружного воздуха не менее $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перепад температур между наружным и внутренним воздухом при измерении теплозащитных характеристик превосходит минимально допустимый перепад, определяемый по формуле:

$$\Delta t_{\min} = \Theta R_0^n \frac{\alpha r}{1 - r}, \quad (1)$$

где Θ — предел температурной чувствительности тепловизора, $^{\circ}\text{C}$; R_0^n — значение сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; α — коэффициент теплоотдачи, принимаемый равным для внутренней поверхности стен — по нормативно-техническим документам; для наружной поверхности стен при скоростях ветра 1, 3, 6 м/с, соответственно, 11, 20, 30 $\text{м}^2/\text{C}\cdot\text{Вт}$; r — относитель-

ное сопротивление теплопередаче, принимаемое равным отношению значения, требуемого нормативно-технической документацией, к проектному значению сопротивления теплопередаче, но не более 0,85.

Для тепловизионного контроля объекта использована тепловизионная камера (тепловизор) Flir E8, разработанная с учетом требований, предъявляемых к мобильной аппаратуре, используемой для инфракрасной диагностики и позволяющей провести полное тепловизионное обследование здания.

Проведено обзорное термографирование наружной части здания, по которому определена неоднородность теплового поля и выявлены участки с нарушенными теплозащитными свойствами. Качественные и количественные результаты полученного распределения температур по поверхности объекта позволили выявить дефекты, определить параметры сопротивления теплопередачи, теплотехнической неоднородности и др. На основании обзорной термограммы определены участки поверхностей стен для более детального тепловизионного обследования и идентификации зон температурных аномалий для принятия решения об их соответствии скрытому дефекту или конструктивным особенностям исследуемого объекта. Температурные поля поверхностей ограждающих конструкций записаны в виде термограмм во встроенной памяти тепловизора, визуализированы и подвергнуты компьютерной обработке для анализа результатов измерений. Совместно с тепловизионной съемкой выполнено исследование температурно-влажностного режима помещений здания для расшифровки полученных термограмм. Тепловые аномалии отображаются на термограммах в виде областей повышенной или пониженной температуры, которые соответствуют конструктивным особенностям объекта контроля, неоднородностям коэффициента излучения поверхности, неоднородностям теплообмена с окружающей средой (например, в связи с неоднородностью и неравномерной толщиной тепловой изоляции), дефектам.

На рис. 1, 2 приведены термограммы фрагментов фасадов объекта, полученные в процессе тепловизионной съемки, на которых градиациями цвета (светло-желтый и белый) показаны участки повышенных теплопотерь через конструктивные элементы зданий. На основании термограмм, полученных при выполнении тепловизионной диагностики зданий, определены максимальные, минимальные и средние температуры отдельных участков ограждающих конструкций. Оценка тепловых аномалий проведена по величине температурного перепада в зоне несоответствий.

Оценка качества теплозащитных характеристик объекта, а также его элементов по результатам теплового контроля проведена по нормативным показателям качества, в соответствии с требованиями действующих нормативных технических документов [3, 4]. Проведенные тепловизионные исследования позволили сделать вывод о недостаточности теплозащитных характеристик ограждающих конструкций здания. На основании результатов проведенной технической экспертизы, включавшей сплошное термографирование ограждающих конструкций, разработан перечень рекомендаций по доведению теплозащитных характеристик ограждающих конструкций до нормативных значений для включения в проект капитального ремонта объекта.



Рис. 1. Термограмма участка фасада объекта обследования



Рис. 2. Термограмма участка покрытия объекта обследования

При проведении мероприятий по тепловизионному контролю теплозащитных характеристик объекта исследования решалась задача выявления и уточнения количества скрытых дефектов наружных стен здания, что напрямую связано с достоверностью определения показателей физического износа как отдельных конструктивных элементов, так и объекта в целом. На первом этапе проведено общее термографирование объекта исследования. По общим термограммам определены участки со сниженными теплотехническими характеристиками, свидетельствующими о наличии дефектов или повреждений. Особый интерес представляли участки наружных стен без наличия оконных или дверных проемов и с отсутствием трещин, выходящих на поверхность кладки, измерение параметров которых велось с применением стандартных методов измерения длины, ширины и глубины раскрытия трещин (с помощью линейки, рулетки, щупа). На втором этапе эти участки подвергались детальному термографированию для определения геометрических характеристик участков с выявленными скрытыми дефектами. По результатам выполненного детального термографического контроля выявлены скрытые дефекты и повреждения кирпичной кладки наружных стен, представленные как трещинами силового характера, так и нарушением сплошности кирпичной кладки наружных стен за счет применения не предназначенных для этих целей

материалов, обусловленной нарушениями, допущенными при производстве работ на этапе возведения объекта исследования. На основании введенных корректировок в части определения количественных показателей дефектов и повреждений наружных стен здания проведена корректировка объемов материала на инъектирование кирпичной кладки. Результаты корректировки объемов материала представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Уточненные объемы работ по инъектированию кирпичной кладки с учетом данных термографического контроля

№ п.п.	Вид работы	Материал	Объем (по результатам визуального обследования)	Объем (с учетом термографического контроля)
1	Инъектирование трещин шириной раскрытия более 0,2 мм	Состав на основе эпоксидных смол Мапорох 352 LV	$2350 \text{ м}^2 \times 1,3$ (кг/м ² — расход) $\times$ 2 % (поврежденная поверхность) $\times$ 15 мм (средняя глубина) = 922,5 кг	$2350 \text{ м}^2 \times 1,3$ (кг/м ² — расход) $\times$ 2 % (поврежденная поверхность) $\times$ 20 мм (средняя глубина) = 1230 кг
2	Заделка поверхностных трещин шириной раскрытия менее 0,2 мм	Полимерный состав Мапорох 352 или Sikadur-31CF Normal	570 кг	700 кг

На стадии выполнения предпроектных исследований, имеющих целью обоснование выбора перечня и состава ремонтно-восстановительных мероприятий по доведению эксплуатационных показателей объекта до нормативных значений, особое внимание должно быть уделено достоверной оценке технического состояния объекта исследования [5, 6]. При определении фактического технического состояния, показателей физического износа отдельных конструктивных элементов и объекта в целом методы, применяемые при проведении визуального обследования конструкций из кирпичной кладки, могут приводить к получению завышенных результатов оценки технического состояния из-за наличия скрытых дефектов и повреждений, имеющих как силовой характер, так и полученные на стадии возведения объекта. К «прямому эффекту» применения методов термографического контроля в настоящей работе можно отнести обнаружение участков ограждающих конструкций со сниженными теплотехническими характеристиками и, как следствие, разработку в рамках проекта капитального ремонта мероприятий по утеплению наружных стен с целью доведения их теплозащитных характеристик до нормативных показателей.

Выводы. Применение метода термографического контроля к определению скрытых дефектов и повреждений наружных стен из кирпичной кладки позволило не только выявить местоположение и определить количественные характеристики скрытых дефектов и повреждений, но и уточнить показатели физического износа, что, в свою очередь, скорректировало затраты на проведение капитального ремонта наружных стен здания ЧОУ ВО «Царицынский

православный университет преподобного Сергия Радонежского» (г. Волгоград, ул. Чапаева, 26) в части уточнения количества применяемого материала усиления и объемов работ по инъектированию кирпичной кладки на стадии разработки проекта капитального ремонта. На основании полученных результатов исследований откорректированы значения показателей интегрального износа наружных стен здания, которые изменились с показателя 42 % по результатам визуального обследования до 51 % по результатам оценки с учетом данных термографического контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Будадин О. Н., Потапов А. И., Колганов В. И и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М. : Наука, 2002. 473 с.
2. Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом / О. Н. Будадин, Е. В. Абрамова, В. И. Сучков. Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», 2001. 43 с.
3. Теоретическое и экспериментальное исследование теплофизических свойств конструкционных и строительных материалов / В. И. Лепилов, А. В. Ковылин, Н. Ю. Карапузова, Д. Г. Усадский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 53—62.
4. Методы определения теплотехнических параметров ограждающих конструкций неразрушающими методами контроля при решении задач повышения энергетической эффективности существующих зданий / Д. Г. Усадский, А. В. Ковылин, В. И. Лепилов, Н. Ю. Карапузова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 63—72.
5. Оценка технического состояния объекта недвижимости в составе предпроектных исследований при разработке проекта реконструкции (капитального ремонта) / А. А. Лутов, А. В. Сивко, Р. Х. Курамшин // Организационно-управленческий инжиниринг в экспертизе, оценке и управлении объектами недвижимости : материалы XXVI Международной науч.-практ. конф. «Научный потенциал организационно-управленческого инжиниринга в реализации инвестиционно-строительного и жилищно-коммунального комплекса» / под общ. ред. Д. П. Ануфриева. Астрахань, 2018. С. 135—139.
6. Оценка параметров эксплуатационной пригодности несущих конструкций объекта недвижимости с применением методов тепловизионного контроля / А. А. Лутов, А. В. Сивко, Р. Х. Курамшин // Организационно-управленческий инжиниринг в экспертизе, оценке и управлении объектами недвижимости : материалы XXVI Международной науч.-практ. конф. «Научный потенциал организационно-управленческого инжиниринга в реализации инвестиционно-строительного и жилищно-коммунального комплекса» / под общ. ред. Д. П. Ануфриева ; Астрахань, 2018. С. 140—145.

© Гурова Е. В., Курамшин Р. Х., Пайлеванян Л. О., Сапункова К. В., Ситников И. Н., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Опыт применения метода тепловизионного контроля к оценке технического состояния наружных стен здания исторической постройки / Е. В. Гурова, Р. Х. Курамшин, Л. О. Пайлеванян, К. В. Сапункова, И. Н. Ситников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 12—19.

Об авторах:

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

Курамшин Ренат Хосяинович — 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

Пайлеваниян Лусине Оганесовна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Сапункова Ксения Валерьевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Ситников Иван Николаевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Elena V. Gurova, Renat Kh. Kuramshin, Lusine O. Pailevanyan, Ksenia V. Sapunkova, Ivan N. Sitnikov

Volgograd State Technical University

EXPERIENCE WITH THE METHOD OF THERMAL IMAGING CONTROL TO EVALUATE THE TECHNICAL CONDITION EXTERIOR WALLS OF BUILDINGS OF HISTORICAL BUILDINGS

The particular application of the method of thermal imaging to estimate the parameters of the serviceability of the exterior walls of the building as part of the development of the project overhaul. Results of determination of volumes of works on restoration of a bricklaying taking into account the carried-out thermography of object are given.

Key words: thermal imaging control, thermography, defects, damages, overhaul..

For citation:

Gurova E. V., Kuramshin R. Kh., Pailevanyan L. O., Sapunkova K. V., Sitnikov I. N. [Experience with the method of thermal imaging control to evaluate the technical condition exterior walls of buildings of historical buildings]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 12—19.

About authors:

Elena V. Gurova — Candidate of Engineering Sciences, 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

Renat Kh. Kuramshin — Candidate of Engineering Sciences, 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

Lusine O. Pailevanyan — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, eun.cafedra@yandex.ru

Kseniya V. Sapunkova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, eun.cafedra@yandex.ru

Ivan N. Sitnikov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, eun.cafedra@yandex.ru

УДК 69.058

Н. В. Дорофеев^а, О. Р. Кузичкин^б, А. В. Греченева^б, Р. В. Романов^а

^а *Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых*

^б *Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

ПРОВЕДЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Работа выполнена по гранту Минобрнауки России № 5.3606.2017/ПЧ

Рассматривается вопрос повышения качества геотехнического мониторинга на территориях с активными карстово-суффозионными процессами. Геодинамический контроль осуществляется на эквипотенциальной геоэлектрической установке, акселерометрические измерения — на основе фазометрического принципа контроля. Рассматриваемый метод позволяет повысить устойчивость системы геотехнического мониторинга к климатическим и вибрационным помехам, повысить точность измерений.

Ключевые слова: геотехнический контроль, мониторинг, карстовые процессы, осадка сооружений, акселерометр, эквипотенциальная электроустановка.

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в карстовых районах осложнено повышенной вероятностью техногенной активизации карстовых процессов. Характерной особенностью этих процессов является появление под объектами карстовых полостей и образования провалов. Причем это часто происходит при условии, что к моменту начала строительства геологические изыскания свидетельствуют об отсутствии карстовых полостей под сооружением, однако при эксплуатации возможны условия их появления и роста [1—2]. Техногенная активизация карстовых процессов приводит к вероятности больших деформаций грунта под сооружениями и, соответственно, к разрушению фундамента сооружения с последующими катастрофическими последствиями [3].

Выявлением начальной стадии активизации необратимых деформационных процессов в сооружениях от воздействия карста является совместная обработка данных деформационных измерений в отдельных элементах сооружений и данных геодинамического мониторинга грунта под сооружением (СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве»). На основе анализа результатов совместной геотехнической обработки данных возможно выделить особенности взаимодействия в комплексе «грунтовое основание — фундамент — сооружение» и спрогнозировать его дальнейшее поведение в условиях развития карстовых процессов. Сложность применения такого подхода заключается в необходимости разработки математической модели деформационных процессов, включающей определение контролируемых деформационных параметров сооружения и функции влияния на них геодинамических карстовых вариаций в грунтовом основании сооружения. Применение современных акселерометрических систем для регистрации деформационных параметров сооружения позволяет с высокой точностью и детальностью определить

закономерности деформационного состояния сооружения [4]. Однако в практике построения деформационного прогноза вызывает сложность определение модельных параметров влияния геодинамической активности в грунтовом основании сооружения на деформационные параметры сооружения в целом.

Организация деформационного мониторинга на основе акселерометрических измерений. Деформационный мониторинг предполагает регистрацию углов поворота несущих конструкций и просадок фундамента объекта контроля. Одним из перспективных направлений построения систем деформационного мониторинга зданий и сооружений является использование акселерометрических инклинометров [5]. Однако разрешающая способность акселерометрических инклинометров при их использовании в системах деформационного мониторинга ограничена стабильностью коэффициента чувствительности акселерометрической базы и устойчивостью к вибрационным воздействиям [6]. Проблему температурной стабильности решают применением алгоритмов температурной коррекции, для этого в акселерометры встраивают датчики температуры [7]. Кроме того, существует риск появления погрешности, обусловленной операцией деления на малую величину, в ходе тригонометрического преобразования арктангенса [8].

Одним из решений данной проблемы является применение фазометрического метода. Реализация фазометрического метода измерения угла поворота в системах инклинометрического контроля строится на алгоритме сбора динамических данных, который основан на непосредственном преобразовании сигналов с акселерометров в фазу синусоидального колебания [9], посредством умножения сигналов $a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}, b_{x2}, b_{y2}, b_{z2}$ на сигналы $\sin \omega t$ и $\cos \omega t$ квадратурного генератора (КГ) с частотой, кратной частоте опорного генератора (ОГ) (рис. 1).

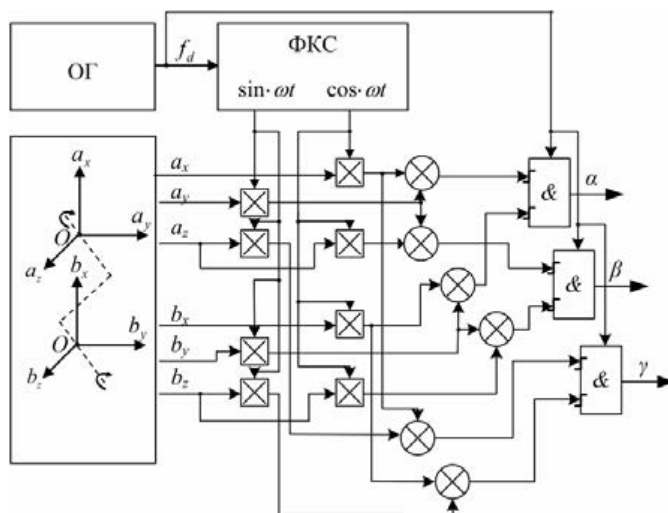


Рис. 1. Фазометрический метод гониометрического акселерометрического контроля

В соответствии с данным методом угол поворота в инклинометре определяется разностью фаз измеряемого и опорного сигнала. Следовательно, в результате суммирования полученных гармонических сигналов на выходе

формируются сигналы, пропорциональные углам α , β , γ наклона объекта контроля [10].

На рис. 2 схематично представлен принцип осуществления деформационного мониторинга фундамента здания с использованием десяти датчиков-инклинометров с применением акселерометрических преобразователей и алгоритма фазометрического метода формирования сигнала.

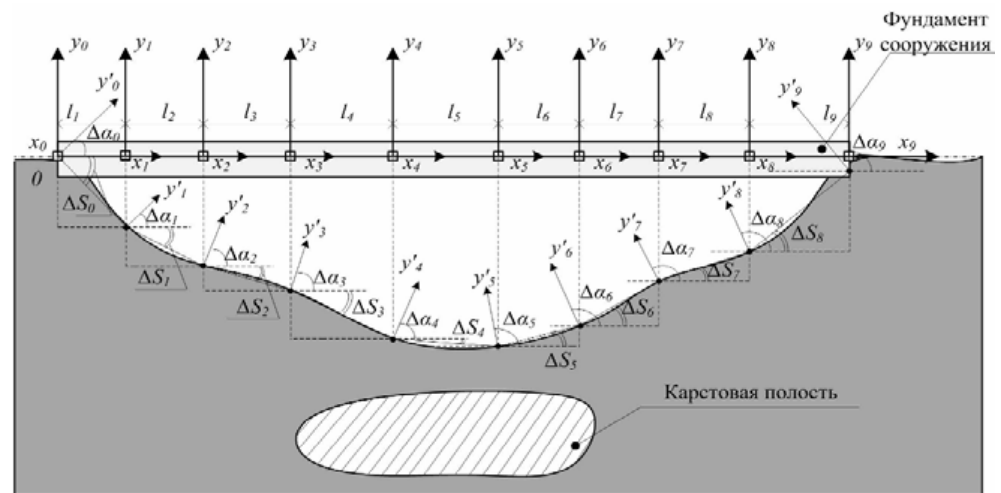


Рис. 2. Принцип деформационного мониторинга фундамента здания с применением акселерометрических преобразователей

На данном рисунке условно показано изменение просадки фундамента ΔS_i над предполагаемой карстовой полостью, которая регистрируется одновременно с изменениями угла наклона $\Delta \alpha_i$ частей фундамента $\{x_i, y_i\} \rightarrow \{x_i^*, y_i^*\}$ в контрольных точках. Отличительной особенностью рассматриваемого метода является то, что он позволяет регистрировать угловые девиации фундамента одновременно с его осадкой в контрольных точках. При этом:

$$S_n = \sum_{i=1}^n \Delta S_i, \quad \alpha_n = \alpha_0 + \Delta \alpha_n, \quad (1)$$

где α_0 — угол поворота опорного базиса, $\Delta S_i = l_i \sin \Delta \alpha_i$.

Методика оценки устойчивости на основе обработки геодинамических данных. Для получения качественной прогнозной оценки поведения фундамента сооружения при наличии карстовой полости под объектом деформационного контроля необходим совместный анализ данных о текущих геодинамических изменениях карстового процесса и динамики параметров контроля деформационного мониторинга [11]. При этом в качестве геодинамических данных могут использоваться данные режимных геоэлектрических наблюдений на основе эквипотенциальных электроразведочных методов [12]. Обычно процесс провалообразования, вызванный обрушением дисперсных пород, происходит над суффозионными полостями в результате их роста и является результатом подземной эрозии. Однако в случае наличия полости

под фундаментом сооружения ситуация осложнена дополнительной нагрузкой на грунт и возможными дополнительными техногенными воздействиями [13]. В этом случае при отсутствии в дисперсных породах водоносных слоев критическая величина полуширины суффозионной полости R_z может быть определена в соответствии со следующим соотношением [14]:

$$R_z = zB_z(\varphi_z) + 2c_z / (\gamma_z + \gamma_F(s)), \quad (2)$$

где z — глубина верхней точки суффозионной полости; φ_z — угол внутреннего трения; c_z — удельное сцепление; γ_z — удельный вес пород; γ_F — удельный вес фундамента с учетом осадки s ; $B_z(\varphi_z)$ — функция, определяющая боковое давление. Для радиальной суффозионной полости:

$$B_z(\varphi_z) = \frac{1 - \sin \varphi_z}{1 + \sin \varphi_z} \operatorname{tg} \varphi_z.$$

С точки зрения использования геоэлектрических методов контроля в мониторинговых исследованиях необходимо установить соответствие между пространственными функциями в уравнении для передаточной функции геоэлектрического разреза и геомеханическими условиями локального провалообразования (2). Данное соответствие может быть установлено из рассмотрения задачи о распределении геоэлектрического поля точечного источника поля в присутствии сферической неоднородности, которую в первом приближении можно представить как суффозионный процесс [15].

Общее уравнение для потенциалов электрического поля в присутствии приповерхностной неоднородности в виде шара может быть сведено к уравнению *Лежандра*, и его решение имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}(r, \theta) &= \frac{\dot{I} \dot{\rho}_1}{4\pi d} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{r}{d} \right)^n P_n(\cos \theta) + \sum_{n=0}^{\infty} A_n r^{-(n+1)} P_n(\cos \theta), \\ A_n &= \frac{\dot{I} \dot{\rho}_1}{4\pi} \dot{K}(j\omega) \frac{a^{2n+1}}{d^{n+1}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $P_n(\cos \theta)$ — полином Лежандра.

Коэффициент A_n определяется граничными условиями и пространственными параметрами приповерхностной неоднородности: расстоянием от точки зондирования до центра неоднородности d , дирекционным углом θ и радиусом шара a .

Соотношения (3) позволяют решить задачу определения характеристик залегания шара по наблюдаемым искажениям, вносимым им в пространственное распределение потенциала геоэлектрического поля. С учетом удвоения аномальной составляющей поля передаточная функция, определяющая пространственное смещение эквипотенциальных линий i -го источника для j -пары наблюдений, может быть записана в следующем виде:

$$\Delta H_{ij}(p, a, h) = K(p) \Psi_{ij}(a, h) = 2K(p) \frac{a^3 r_{ij}}{(r_{ij}^2 + h^2)^{3/2}}, \quad (4)$$

где $h = z + a$ — глубина залегания шара под поверхностью земли; $p = j\omega$ — оператор Лапласа.

На основании соотношения (4) можно провести оценку изменения глубины залегания и размеров карстовой полости на основании оценки смещения эквипотенциальных линий:

$$R_z^* = \sqrt[3]{\frac{3\sqrt{3}\Delta\hat{H}h^2}{2\|K(p)\|}}, \quad (5)$$

где $\Delta\hat{H}$ — максимальное оценочное значение смещения эквипотенциальной линии.

В качестве оценочного параметра может быть использована относительная величина по запасу устойчивости карстовой полости к расчетному предельному значению ее размера:

$$\Delta_R = \frac{1,21\sqrt[3]{\Delta\hat{H}h^2 / \|K(j\omega)\|}}{zB_z(\varphi_z) + 2c_z / (\gamma_z + \gamma_F(s))}. \quad (6)$$

В соответствии с вышеизложенной методикой вероятность образования провала может быть определена на основании анализа временных рядов геодеформационного мониторинга здания и электроразведочных данных геодинамического контроля.

Описание объекта геотехнического мониторинга. Объектом исследований с применением вышеизложенной методики являлась конструкция отдельно стоящего двухэтажного трехсекционного здания жилого кирпичного дома. Рельеф участка застройки спокойный, планировка приближается к горизонтальной. Здание двухэтажное, прямоугольное в плане, с подвальным этажом и с чердачным помещением. Высота подвального этажа (от пола до потолка) — 1500 мм. Высота первого и второго этажей (от пола до потолка) — 2700 мм. Генеральные размеры здания — 46 900 × 12 000 мм (рис. 3). Максимальная высота здания от уровня планировки — 9700 мм. По конструктивной системе здание данного жилого дома относится к стеновым зданиям. Конструктивная схема здания — бескаркасная продольно-стеновая. Вертикальные несущие конструкции — кирпичные стены (от отм. –0,800 до отм. +6300); горизонтальные несущие конструкции — сборные железобетонные плиты перекрытия (перекрытие подвального, первого и второго этажей).



Рис. 3. Общий вид исследуемого здания

Выбор объекта применения деформационного мониторинга связано в связи с образованием в грунтовом основании дома двух карстовых воронок (рис. 4), проявившихся в подвальном помещении.



Рис. 4. Карстовые провалы в подвале дома

Естественным основанием под фундаменты, по результатам визуального обследования, служит суглинок серовато-коричневый, желтовато-коричневый, твердый — тугопластичный. В момент обследования в помещениях подвального этажа обнаружены скопления воды и воронки в грунтовом основании глубиной до 750 мм и площадью до 16 м² с вероятным образованием в результате суффозионно-карстового провала.

В результате начального визуального осмотра выявлено, что стена здания имеет просадку до 103 мм. Просадка фундаментов неравномерная. Относительная разность осадок превышает предельно допустимое значение (коэффициент использования — 1,25) по приложению 4 СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».

Т а б л и ц а 1

Фактические деформации грунтов основания и фундаментов

Здание, сооружение, участок	Вид деформации	Деформации оснований, мм		Коэффициент использования
		Фактические	Предельно допустимые	
Стена	Относительная разность осадок $\frac{\Delta s}{L}$	$\frac{103}{40990} = 0,0025$	0,0020	1,25

Кроме того, были обнаружены визуально определяемые деформационные разрушения здания, расположенные в середине здания (рис. 5).

Методика регистрации и результаты экспериментальных исследований. Для определения деформационных прогнозных оценок была развернута система геотехнического мониторинга, включающая десятикомпонентную измерительную систему деформационного контроля на основе акселерометрических инклинометров. Достоинствами этой измерительной системы являются: простота применения и возможность обеспечения требуемой точ-

ности измерений. В данном случае для рассматриваемого жилого дома оценка погрешности акселерометрического инклинометра составила ($\pm 0,01^\circ$), и, соответственно, точность регистрации осадки фундамента — ($\pm 0,1$ мм). Геоэлектрический контроль осуществлялся двухполюсной эквипотенциальной электроустановкой с частотой зондирования 78 Гц и базой 20 м, расположенной вдоль расположения акселерометрических датчиков. На рис. 6 представлена схема размещения акселерометрических датчиков и эквипотенциальной электроустановки в подвале здания.



Рис. 5. Визуальные деформационные разрушения здания: *а* — вертикальные, горизонтальные и наклонные сквозные трещины в наружных кирпичных стенах здания с шириной раскрытия до 18 мм; *б, в* — деформации и просадки фундаментов здания в результате образования пустот (глубиной до 250 мм) в грунтовом основании под сборными железобетонными плитами ленточного фундамента; *г* — вертикальные и наклонные сквозные трещины во внутренних кирпичных стенах здания с шириной раскрытия до 16 мм

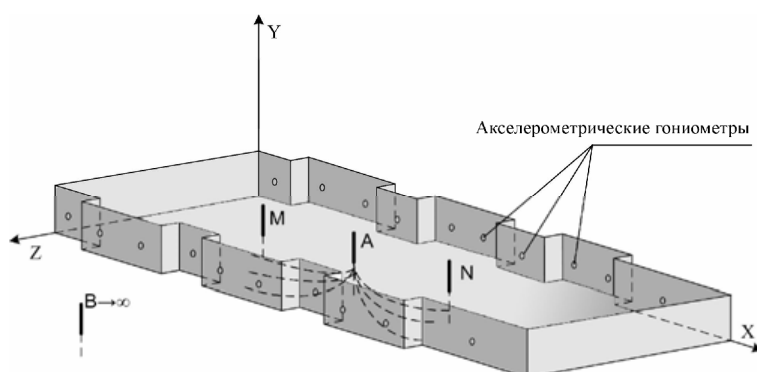


Рис. 6. Схема размещения системы измерения неравномерности осадок фундамента

На рис. 7 представлены распределения величин осадок вдоль периметра фундаментов в момент начала мониторинговых наблюдений.

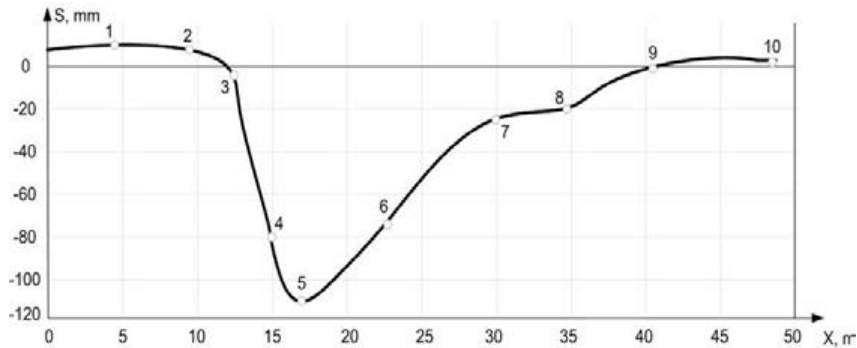


Рис. 7. Начальное распределение осадок вдоль периметра фундамента

Наблюдения велись на протяжении 7 месяцев в период с 12.03.2015 по 26.11.2015, данные по контрольным точкам приведены на рис. 8.

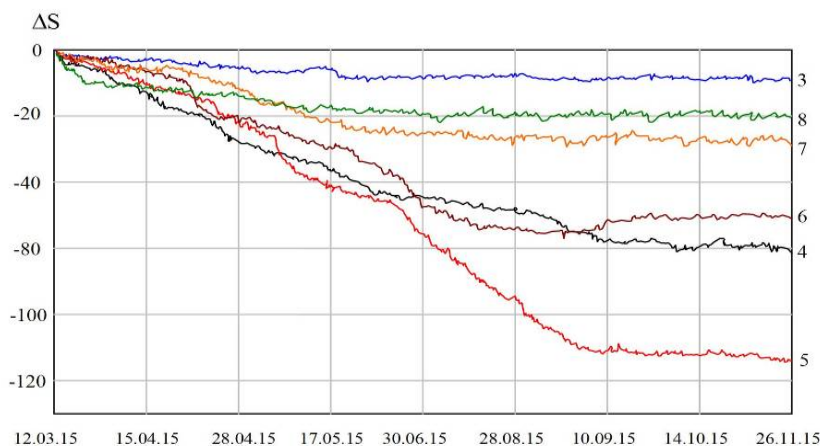


Рис. 8. График изменения осадок в местах установки датчиков

Для формирования прогнозных оценок была применена прогнозная модель влияния геомеханических параметров карстового процесса на геотехнические характеристики объекта, такие как просадка здания и угловые изменения основных несущих конструкций объекта контроля — в данном случае фундамента. Применялась методика, предполагающая при расчете принимать модель основания в виде линейно-деформируемого слоя с воронкой у поверхности, имеющей форму шарового сегмента, с зоной разрыхленного грунта под воронкой. Обработка поступающей информации выполнялась с помощью разработанного программного комплекса GEOTEX (рис. 9) в аналитическом блоке системы мониторинга, в результате чего были получены зависимости, которые характеризуют деформационные процессы, происходящие в наблюдаемом объекте «грунтовое основание — фундамент — сооружение» в условиях наличия карстовых проявлений.

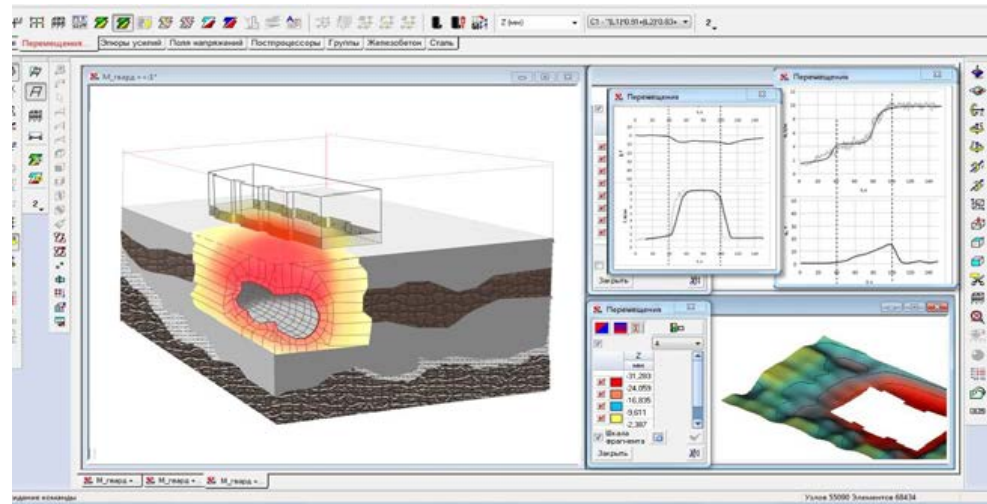


Рис. 9. Пример работы программы GEOTEX

На рис. 10 приведены обработанные в соответствии с рассмотренной методикой данные деформационного и геодинамического контроля.

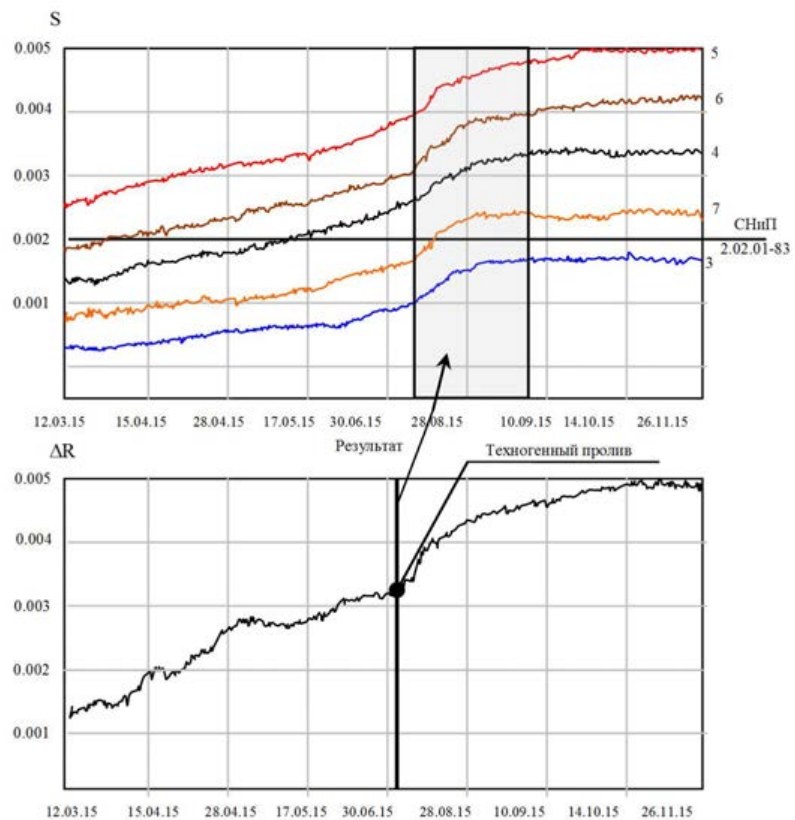


Рис. 10. Результаты обработки данных деформационного и геодинамического контроля

Приведенные зависимости позволяют оценить скорости изменения нормативного деформационного параметра — относительной разности осадок с привязкой к геодинамическим изменениям карстовой полости под зданием. Проведенные наблюдения деформационных процессов продемонстрировали рост относительной разности осадок между датчиками 3—7, расположенными близко к карстовым проявлениям в фундаменте здания.

Выводы. Таким образом, применение разработанных алгоритмов позволило повысить устойчивость системы геотехнического мониторинга к климатическим и вибрационным помехам, повысить точность измерений за счет применения фазометрического принципа контроля. Описанный принцип проведения геотехнического мониторинга фундамента здания и методика контроля осадок здания с применением акселерометрических датчиков расширяет теоретическую и практическую базу геотехнического мониторинга в целом.

Приведенная схема размещения акселерометрических датчиков на ключевых точках фундамента реального объекта контроля обеспечивает оптимальное наблюдение за динамикой деформаций.

Эффективность предложенного подхода составления прогнозных оценок на базе расчетной прогнозной модели влияния геомеханических параметров карстового процесса (просадка, угловые изменения) фундамента сооружения, модель которого представляется в виде линейно-деформируемого слоя с воронкой у поверхности, имеющей форму шарового сегмента, с зоной разрыхленного грунта под воронкой, подтверждается в результате экспериментальных исследований. Полученные зависимости позволяют с высокой степенью надежности оценить скорости изменения нормативного деформационного параметра — относительной разности осадок и оценить временной интервал безопасной эксплуатации сооружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толмачев В. В. Принципы устойчивого развития территорий в карстовых районах и примеры из практики их реализации // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 1. С 3—9.
2. Таранов Р. А. Природно-техногенные источники чрезвычайных ситуаций объектов инфраструктуры нефтегазового комплекса // Экологическое образование и охрана окружающей среды. Технические университеты в формировании единого научно-технологического и образовательного пространства СНГ. Москва, 2014. С. 155—166.
3. Лодыгина Н. Д. Расчет ленточного фундамента на сплошном упругом основании с учетом карстового провала // Фундаментальные исследования. 2016. № 7—2. С. 247—251.
4. Хиллер Б. Цифровые инклинометры в системах автоматизированного геодезического мониторинга деформаций // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 6. С. 23—30.
5. Информационная система мониторинга деформаций гидротехнических сооружений на основе интернет-технологий и микроконтроллеров / В. Е. Марлей и др. // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3. № 1. С. 54—68.
6. Andrejašič Matej. MEMS accelerometers. University of Ljubljana. 2008.
7. Осипов А. Б. Коррекция температурной погрешности MEMS-датчиков ускорения // Датчики и системы. 2016. № 7(205). С. 41—46.
8. Dorofeev N., Kuzichkin O., Grecheneva A. / Analysis of mistakes and errors application of the accelerometric phase method of biomechanical control // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. 2016, Book6. Vol. 1. Pp. 383—390.
9. Применение акселерометрических датчиков в измерительных гониометрических системах/ А. В. Греченева и др. // Информационные системы и технологии. 2015. № 4(90). С. 5—10.

10. Dorofeev N. V., Bykov A. A., Kuzichkin O. R. The use of the accelerometer sensor to control of the angles of rotation radar antenna // The 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology», 2016. Pp. 2011—2017.

11. Высоковский В. Л., Наумова Н. И., Соломин В. И. Метод и алгоритм расчета фундаментных плит зданий каркасно-связевого типа с учетом сложных грунтовых условий. Пермь, 1982.

12. Методы и средства автоматизированного геодинамического контроля и геоэкологического мониторинга / О. Р. Кузичкин и др. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 1(13). С. 63—72.

13. Устойчивость грунтового массива при подработке или ослаблении некоторой его области / А. Н. Богомолов и др. / Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и арх. 2016. № 43(62). С. 14—24.

14. Fredlund D. G., Rahardjo H. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. New York: Wiley, 1993.

15. Адушкин В. В., Спивак А. А. Физические поля в приповерхностной геофизике // ГЕОС. Москва, 2014. 360 с.

© Дорофеев Н. В., Кузичкин О. Р., Греченева А. В., Романов Р. В., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Проведение геотехнического мониторинга в карстовых районах на основе совместных геоэлектрических и акселерометрических измерений / Н. В. Дорофеев, О. Р. Кузичкин, А. В. Греченева, Р. В. Романов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 20—31.

Об авторах:

Дорофеев Николай Викторович — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой управления и контроля в технических системах, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, DorofeevNV@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович — д-р техн. наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, oldolkuz@yandex.ru

Греченева Анастасия Владимировна — аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, 1155464@bsu.edu.ru

Романов Роман Вячеславович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры управления и контроля в технических системах, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, romanov.roman.5@yandex.ru

Nikolay V. Dorofeev^a, Oleg R. Kuzichkin^b, Anastasia V. Grecheneva^b, Roman V. Romanov^a

^a Vladimir State University name after Alexander and Nikolai Stoiletovs

^b Belgorod State National Research University

GEOTECHNICAL MONITORING IN KARST AREAS BASED ON JOINT GEOELECTRICAL AND ACCELEROMETRIC MEASUREMENTS

The question of the improving of the quality of the geotechnical monitoring is considered in areas with active karst-suffusion processes. Geodynamic control is carried out on an equipotential geoelectric installation, accelerometric measurements are based on the phase-measuring principle of control. The considered method allows to increase the stability of the geotechnical monitoring system to climatic and vibration disturbances, to improve the measurement accuracy.

Key words: geotechnical monitoring, monitoring, karstic processes, sediment structures, accelerometer, equipotential electrical installation.

For citation:

Dorofeev N. V., Kuzichkin O. R., Grecheneva A. V., Romanov R. V. [Geotechnical monitoring in karst areas based on joint geoelectrical and accelerometric measurements]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 20—31.

About authors:

Nikolay V. Dorofeev — Candidate of Engineering Sciences, the Head of the Department of Management and Control in Technical Systems, Vladimir State University. 87, Gorkogo St., Vladimir, Russian Federation, DorofeevNV@yandex.ru

Oleg R. Kuzichkin — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belgorod State National Research University. 85, Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation; oldolkuz@yandex.ru

Anastasia V. Grecheneva — Postgraduate student of Mathematical and Software Information Systems Department, Belgorod State National Research University. 85, Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation; 1155464@bsu.edu.ru

Roman V. Romanov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Management and Control in Technical Systems Department, Vladimir State University. 87, Gorkogo St., Vladimir, Russian Federation; romanov.roman.5@yandex.ru

УДК 624.131.1: 624.131.22

Ю. И. Олянский^а, Е. В. Щекочихина^а, С. А. Калиновский^а, Т. М. Тихонова^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Волгоградский филиал ОАО «РусГидро»*

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ САРМАТСКИХ ГЛИН К ДЛИТЕЛЬНОМУ ОБВОДНЕНИЮ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе многомерного корреляционно-регрессионного анализа выявлены независимые переменные, существенно влияющие на устойчивость сарматских глин к длительному воздействию воды. Получен набор регрессионных уравнений для прогнозирования коэффициентов устойчивости при разработке типизации глин по устойчивости к длительному обводнению в основаниях инженерных сооружений.

Ключевые слова: сарматские глины, коэффициент устойчивости к обводнению, многомерный корреляционно-регрессионный анализ, типизация глин.

Одной из главных задач инженерной геологии является определение характера и степени устойчивости геологических систем, определение границ допустимых изменений отдельных ее признаков или характеристик. Характер устойчивости геосистем определяется размером области устойчивости в признаковом пространстве. При этом необходим рациональный выбор учитываемых признаков. Каждый индивидуальный признак и их совокупность должны быть важными для нормального функционирования геосистемы. Другой характеристикой системы является степень устойчивости, являющаяся количественным выражением эффекта воздействия этого фактора. Оценить степень устойчивости можно по изменению различных признаков. Так, при оценке степени устойчивости сарматских глин Северного Кавказа к техногенным воздействиям было использовано понятие *коэффициента устойчивости* равного отношению конечной величины признака к исходной [1]. При определении коэффициента устойчивости большое значение имеет обоснованность выбора характеристик, используемых для расчета. К ним предъявляются следующие условия: количественное выражение, отображение существенных особенностей геосистемы и наличие возможностей прогнозирования их изменений [2].

Оценка устойчивости является одной из задач прогнозирования. В связи с этим не всегда представляется возможным использовать прямые показатели наиболее важных характеристик, возникает необходимость применения косвенных характеристик. Определение коэффициента устойчивости в стандартных условиях позволяет получить сравнимые количественные оценки влияния изучаемого фактора на геосистему («порода — вода» в частности). Эти данные могут быть использованы как классификационные признаки и являться основой при их типизации по устойчивости к обводнению.

Изучались незасоленные сарматские глины, распространенные в Северном Причерноморье на территории междуречья Прут — Днестр. Обобщенные значения показателей физико-механических свойств глин среднего сармата [3] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств средне сарматских глин Северного Причерноморья
(по А. М. Моношко и Ю. И. Олянскому)

Показатели	Статистические характеристики					
	Количество определений	Пределы колебаний	Среднее $\bar{X}$	Стандартное отклонение S	Дисперсия S^2	Коэффициент вариации $V, \%$
Плотность $\rho, \text{г/см}^3$	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
Степень уплотненности K_d	631	0,56...1,42	1,04	0,13	0,0169	12,43
Свободное набухание ϵ_{sw}	321	0,21...0,32	0,33	0,083	0,007	45,31
Давление набухания $P_{sw} \cdot 10^5 \text{ Па}$	22	1,25...5,00	4,21	2,689	7,231	63,93
Удельное сцепление $c \cdot 10^5 \text{ Па}$	262	0,28...4,00	1,34	0,540	0,290	40,55
Угол внутреннего трения $\phi_{\text{град}}$	262	2,0...55,0	20,30	11,200	125,43	53,81
Пластическая прочность (до набухания) $P_m \cdot 10^5 \text{ Па}$	27	1,80...12,8	4,92	1,619	2,621	32,85
Пластическая прочность (после набухания) $P_m \cdot 10^5 \text{ Па}$	27	0,10...1,10	0,21	0,113	2,931	53,91

Таблица 2

Парные коэффициенты корреляции между коэффициентами устойчивости глин к обводнению и показателями их состава, состояния и физико-механических свойств

Коэффициенты устойчивости к обводнению		W	W _L	W _P	J _P	n	e	p ₀	p _d	Содержание глин. фракции A	Общая карбо-нат-ность K	Емкость поглощения E	Обменный Na ⁺ Na ₀	Обменный lg Na ⁺ Na ₀	Поровый Na ⁺	Поро-вый lg Na ⁺
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
K ₁	1	0,326	0,379	0,135	0,563	0,445	0,421	0,447	0,404	0,248	0,042	0,205	0,075	0,084	0,096	0,089
K ₂	2	0,083	0,193	0,193	0,157	0,033	0,038	0,155	0,029	0,135	0,198	0,127	0,169	0,261	0,007	0,147
K ₃	3	0,070	0,313	0,314	0,254	0,042	-0,043	0,030	0,031	0,364	0,055	0,039	0,309	0,333	0,181	0,212
K ₄	4	0,003	0,154	0,145	0,072	0,13	-0,011	0,027	0,015	0,196	0,150	0,065	0,137	0,207	0,101	0,071
K ₅	5	0,102	0,145	0,161	0,116	0,087	0,089	0,122	0,094	0,117	0,078	0,130	0,395	0,440	0,320	0,326
K ₆	6	0,075	0,113	0,133	0,051	0,029	0,027	0,001	0,030	0,132	0,156	0,075	-0,173	0,111	0,135	0,067

Окончание табл. 2

Содержание гипса Γ	Содержание гумуса	Коэф. агрегированности $K_{атр}$	Содержание монтмориллонита M	ϵ_{sw}	$lg \epsilon_{sw}$	W_H	$lg W_H$	C	$lg C$	ϕ	$lg \phi$	$\tau_{0,1}$	$lg \tau_{0,1}$	$K_{раз}$	Значение коэф. корреляции при $1 - \alpha = 0,95$
2	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	0,172	0,163	0,087	0,536	0,445	0,409	0,388	0,386	0,428	0,082	0,040	0,391	0,412	0,235	0,31
2	0,157	0,320	0,037	0,378	0,463	0,258	0,274	0,212	0,318	0,011	0,032	0,184	0,242	0,469	0,26
3	0,075	0,052	0,180	0,636	0,667	0,502	0,490	0,782	0,818	0,201	0,204	0,787	0,825	0,392	0,26
4	0,005	0,024	0,232	0,315	0,404	0,284	0,303	0,230	0,285	0,140	0,127	0,263	0,293	0,547	0,28
5	0,077	0,066	0,085	0,547	0,559	0,338	0,326	0,557	0,589	0,123	0,094	0,592	0,645	0,441	0,26
6	0,155	0,086	0,012	0,319	0,322	0,269	0,245	0,574	0,550	0,383	0,327	0,585	0,606	0,126	0,24

Методика выполнения лабораторных исследований грунтов дана в работах [4, 5] и подтверждена проведением испытаний различных глинистых грунтов посредством лабораторного комплекса АСИС.

Для количественного выражения изменчивости отдельных показателей свойств глинистых пород при взаимодействии с водой (оценки их устойчивости к обводнению) нами использовано понятие *коэффициента устойчивости*. В зависимости от использованных признаков, характеризующих изменение свойств глин при выщелачивании, выделено 6 коэффициентов устойчивости: $K_1 = \rho'/\rho$; $K_2 = P_{m3} / P_{m1}$; $K_3 = \tau'_{01}/\tau_{01}$; $K_4 = P_{m4} / P_{m1}$; $K_5 = c'/c$; $K_6 = \varphi'/\varphi$ [6, 7].

Для изучения возможности прогнозирования степени устойчивости глин к длительному воздействию воды по косвенным признакам выполнен корреляционно-регрессионный анализ зависимости коэффициентов устойчивости от независимых переменных, характеризующих состав, состояние и свойства глин. Результаты расчетов коэффициентов парной корреляции (табл. 2) показали, что коэффициенты устойчивости зависят от подавляющего большинства показателей. Однако роль каждого в отдельности показателя в формировании устойчивости неодинакова. Показателями, оказывающими достаточно существенное (причинно-следственное) влияние, являются: величина свободного набухания $-\epsilon_{sw}$, $\lg \epsilon_{sw}$; влажность набухания W_n , $\lg W_n$; удельное сцепление c , $\lg c$; срезающая нагрузка τ_{01} , $\lg \tau_{01}$; показатель разупрочнения $K_{раз}$. Практически для каждого из них выборочное значение коэффициента корреляции меньше его истинного значения (при $1 - \alpha = 0,95$). Зависимость между W_n и коэффициентом устойчивости аппроксимируется прямолинейными функциями с коэффициентами корреляции не более 0,502. Логарифмирование показателей не ведет к сколько-нибудь существенному повышению коэффициента корреляции. С другими показателями (ϵ_{sw} , c , τ_{01}) зависимости преимущественно экспоненциальные с коэффициентом корреляции до 0,825 [8].

Кроме этого, имеется большое число характеристик, косвенно (опосредственно) связанных с коэффициентом устойчивости. Для выявления последних использованы методы многомерного корреляционно-регрессионного анализа. Все признаки были разделены на три группы: физические свойства, показатели состава и показатели механических свойств. Основанием для включения показателя в расчет множественных коэффициентов корреляции послужили результаты парного корреляционного анализа. Использованы следующие 3 группы показателей: физические свойства — ρ_d , J_p ; показатели состава — содержание глинистой фракции A , содержание обменного натрия Na_o^+ , содержание гипса Γ , общая карбонатность K , содержание монтмориллонита M , показатель текучести W_L ; показатели механических свойств — срезающее усилие $\tau_{0,1}$, удельное сцепление c , угол внутреннего трения φ , величина свободного набухания ϵ_{sw} , коэффициент разуплотнения $K_{раз}$.

Анализ начинался с расчета трехмерных зависимостей, затем количество переменных увеличивалось до оптимальной величины. Оценка влияния независимых переменных на коэффициент множественной корреляции проводилась с использованием регрессионных уравнений в стандартизованном масштабе [9]. Пример таких расчетов дан в табл. 3 для коэффициента устойчивости K_3 .

Таблица 3

Результаты множественного корреляционного анализа зависимости
коэффициента устойчивости K_3 глин к обводнению от показателей состава, состояния и физико-механических свойств $N = 56$

№ п/п	Вид зависимости	Множественный коэффициент корреляции	Ошибка множественного коэфф. корреляции	Истинное знач. коэфф. корреляции при $1 - \alpha = 0,95$	Регрессионные уравнения в стандартизованном масштабе
1	2	3	4	5	6
1	$K_3 = f(\rho_d, K_{\text{раз}})$	0,429	0,112	0,26	$Z_{15} = 0,196Z_2 + 0,481Z_4$
2	$K_3 = f(\rho_d, \lg \varepsilon_{\text{sw}})$	0,704	0,069	0,27	$Z_{15} = -0,242Z_2 - 0,755Z_{13}$
3	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1})$	0,852	0,038	0,27	$Z_{15} = 0,217Z_2 - 0,871Z_{14}$
4	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, W_L)$	0,854	0,037	0,27	$Z_{15} = 0,134Z_2 - 0,839Z_{14} - 0,105Z_7$
5	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, A)$	0,863	0,035	0,27	$Z_{15} = 0,018Z_2 - 0,795Z_{14} - 0,242Z_9$
6	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, K_{\text{раз}})$	0,867	0,034	0,27	$Z_{15} = 0,115Z_2 - 0,814Z_{14} + 0,191Z_4$
7	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}})$	0,897	0,027	0,27	$Z_{15} = 0,018Z_2 - 0,679Z_{14} - 0,365Z_{13}$
8	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, W_L)$	0,907	0,024	0,28	$Z_{15} = 0,119Z_2 - 0,609Z_{14} - 0,387Z_{13} - 0,188Z_7$
9	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, A)$	0,906	0,025	0,28	$Z_{15} = -0,14Z_2 - 0,611Z_{14} - 0,356Z_{13} - 0,229Z_9$
10	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, \lg Na^+)$	0,896	0,027	0,27	$Z_{15} = 0,054Z_2 - 0,681Z_{14} - 0,375Z_{13} + 0,027Z_{10}$
11	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, K_{\text{раз}})$	0,897	0,027	0,27	$Z_{15} = -0,036Z_2 - 0,679Z_{14} - 0,35Z_{13} + 0,028Z_4$
12	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, W_L, A)$	0,906	0,025	0,28	$Z_{15} = -0,143Z_2 + 0,61Z_{14} - 0,358Z_{13} - 0,013Z_7 - 0,218Z_9$
13	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, A, \Gamma)$	0,905	0,025	0,28	$Z_{15} = -0,152Z_2 - 0,771Z_{14} - 0,167Z_{13} - 0,0027Z_9 - 0,070Z_5$
14	$K_3 = f(\rho_d, \lg \tau_{0,1}, \lg \varepsilon_{\text{sw}}, A, K)$	0,925	0,020	0,28	$Z_{15} = -0,513Z_2 - 0,48Z_{14} - 0,328Z_{13} - 0,701Z_8$

№ п. п.	Остаточная дисперсия уравнения	Относительная доля вклада показателей в коэффициент корреляции									
		ρ_d	$K_{раз}$	W_L	A	$\lg Na^+$	$\lg \varepsilon_{sw}$	$\lg \tau_{0,1}$	K	Γ	
1	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	0,816	0,031	0,967								
2	0,504	0,015	0,970				0,985				
3	0,274	0,009						0,991			
4	0,271	0,006		0,045				0,949			
5	0,255	0,001			0,118			0,881			
6	0,248	0,005	0,100					0,895			
7	0,195	0,001					0,302	0,697			
8	0,177	0,004		0,072			0,314	0,610			
9	0,179	0,005			0,101		0,286	0,608			
10	0,197	0,002				0,011	0,304	0,683			
11	0,195	0,001	0,014				0,290	0,695			
12	0,179	0,005		0,005	0,096		0,288	0,606			
13	0,181	0,006			0,101		0,286	0,603		0,004	
14	0,144	0,018			0,287		0,246	0,446	0,002		

П р и м е ч а н и е . Показатели состава и физико-механических свойств грунтов (независимые переменные), использованные в регрессионных уравнениях в стандартизованном масштабе: Z_2 — ρ_d (г/см³); Z_4 — $K_{\text{раз}}$; Z_5 — Γ (%); Z_7 — W_L ; Z_8 — K (%); Z_9 — A (%); Z_{10} — $\lg Na^+$ (мг) — экв/100 г пор.; Z_{13} — $\lg \phi$; Z_{14} — $\lg \tau_{0,1}$; Z_{15} — K_3 .

Коэффициент устойчивости K_1 , определяющий изменение плотности глин при набухании, зависит в первую очередь от потенциальной способности грунта к набуханию ε_{sw} и глинистости, выраженной через число пластичности. Доля вклада этих показателей в коэффициент корреляции составляет 0,457...0,656 и 0,380...0,512 соответственно при различных количествах переменных. Существенную роль играет также значение исходной плотности сухого грунта ρ_d . Однако значение вклада данного показателя варьирует от 0,098 до 0,726 и зависит от других использованных признаков. Другие показатели (W_L , K , A , $\lg Na_0^+$, M) при включении их в регрессионные уравнения несколько повышают множественный коэффициент корреляции. Однако относительная доля вклада их незначительна и не превышает 0,077.

При прогнозе коэффициента устойчивости K_2 , определяющего изменение пластической прочности глин, наиболее информативными являются два показателя — коэффициент разупрочнения при свободном набухании без выщелачивания $K_{раз}$ и показатель свободного набухания ε_{sw} . Относительная доля вклада этих показателей составляет 0,709...0,970 и 0,042...0,973 при различных комбинациях независимых переменных соответственно. В целом множественный коэффициент корреляции в выполненных расчетах не превысил величину 0,664, что указывает на сложность прогнозирования данного показателя по косвенным признакам.

Коэффициент устойчивости K_3 , характеризующий изменение срезающего усилия глин при выщелачивании, достаточно хорошо коррелирует с большинством показателей и в первую очередь с W_L , W_p , A , Na_0^+ , а также со всеми прочностными характеристиками (табл. 2). Для некоторых из них коэффициент парной корреляции достигает значений 0,825 и 0,818 (соответственно $\lg \tau_{01}$, $\lg c$). С увеличением независимых переменных с 2 до 5 коэффициент множественной корреляции повышается и его максимальное значение составляет 0,925 — при 5 независимых переменных (ρ_d , τ_{01} , $\lg \varepsilon_{sw}$, A , K). Основным показателем, наиболее тесно связанный с коэффициентом устойчивости, — сопротивление срезу грунта при природном сложении τ_{01} . Доля вклада данного показателя в коэффициент корреляции достигает 0,991. Несколько меньше доля вклада показателя ε_{sw} (0,246...0,985). Вклад показателей состава и состояния во множественный коэффициент корреляции невелик и не превышает 0,031.

Коэффициент устойчивости K_4 характеризует снижение пластической прочности глин, уплотненных нагрузкой 0,1 МПа. Основным информативным показателем, определяющим такое снижение, является коэффициент разупрочнения $K_{раз}$. Коэффициент корреляции составляет 0,547. Включение других независимых переменных в различных комбинациях повышает множественный коэффициент корреляции до 0,602.

Коэффициент устойчивости K_5 , характеризующий снижение удельного сцепления глин при выщелачивании, достаточно хорошо коррелирует с каждым из показателей механических свойств ε_{sw} , C , $\tau_{0,1}$, $K_{раз}$. Коэффициент парной корреляции составляет 0,326...0,645. Различные комбинации этих и других переменных дают увеличение коэффициента множественной корреляции до 0,779. Относительная доля вклада показателей физических свойств невелика и не превышает 0,244.

Коэффициент устойчивости K_6 , характеризующий изменение угла внутреннего трения, коррелирует со всеми показателями механических свойств, кроме $K_{раз}$. Коэффициенты парной корреляции составляют 0,245...0,606. Увеличение числа независимых переменных до 5 за счет показателей физических свойств и состава вызывает повышение множественного коэффициента корреляции до 0,777.

Графические зависимости коэффициентов устойчивости сарматских глин к обводнению K от величины их свободного набухания ε_{sw} приведены на рис. 1.

Таким образом, основными показателями, наиболее тесно коррелирующими с коэффициентом устойчивости, являются: величина свободного набухания, влажность набухания, удельное сцепление, срезающее усилие, показатель разупрочнения. Однако коэффициент парной корреляции не превышает 0,787. При включении в регрессионную модель других независимых переменных, косвенно влияющих на данный показатель, таких как: плотность сухого грунта, предел текучести, число пластичности; содержание глинистой фракции, монтмориллонита, обменного Na_0^+ , гипса, карбонатов коэффициент множественной корреляции повышается до 0,779...0,925.

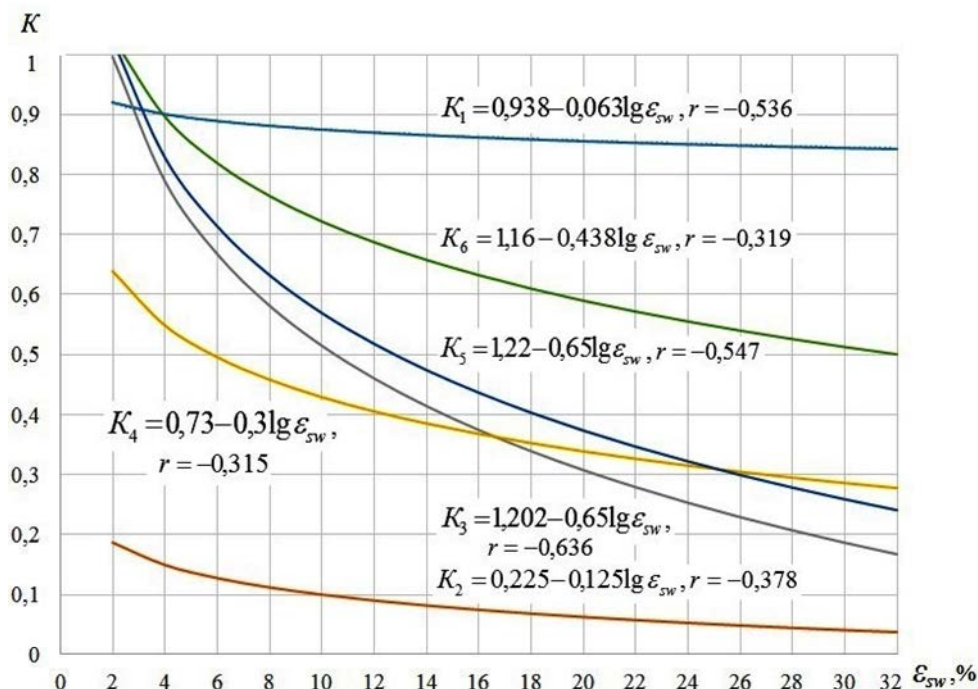


Рис. 1. Зависимость коэффициентов устойчивости сарматских глин к обводнению K от величины их свободного набухания ε_{sw}

В табл. 4 приведена зависимость различных коэффициентов устойчивости глин к обводнению от их степени агрегированности. С повышением последней грунт становится более устойчивым к обводнению. На рисунке даны графики зависимости коэффициентов устойчивости от величины свободного набухания. Наиболее тесная взаимосвязь наблюдается ε_{sw} с коэффициентом K_3 .

Т а б л и ц а 4

*Зависимость коэффициентов устойчивости
к обводнению глинистых пород от степени их агрегированности [1]*

Тип структурных связей (по И. М. Горьковой)	Коэффициенты устойчивости к обводнению			
	c'/c	φ'/φ	τ'_{01}/τ_{01}	P_{m1}/P_{m2}
Коагуляционный	0,22	0,64	0,28	0,04
Пластифицированно-коагуляционный	0,33	0,85	0,40	0,05
Смешанный коагуляционно-цементационный	0,46	0,88	0,67	0,11

Для изучения возможности прогнозирования степени устойчивости глин к длительному воздействию воды по косвенным признакам выполнен корреляционно-регрессионный анализ зависимости коэффициентов устойчивости от независимых переменных, характеризующих состав, состояние и свойства глин.

Прогнозные регрессионные уравнения для коэффициентов устойчивости с максимальными значениями коэффициентов множественной корреляции следующие:

$$K_1 = 0,941 - 0,073\rho_d - 0,28\varepsilon_{sw} + 0,401J_p;$$

$$r = 0,713, N = 38$$

$$K_2 = 0,722 - 0,356\rho_d + 0,415K_{раз} - 0,009\lg \varepsilon_{sw} - 0,193W_L + 0,09\lg \tau_{0,1};$$

$$r = 0,664, N = 54$$

$$K_3 = 2,08 - 0,718\rho_d + 0,611\lg \tau_{0,1} - 0,154\lg \varepsilon_{sw} - 0,007A - 0,001K;$$

$$r = 0,925, N = 56$$

$$K_4 = 0,305 + 0,043\rho_d + 1,035K_{раз} - 0,02M - 0,002A + \\ + 0,005K - 0,084\lg \varepsilon_{sw};$$

$$r = 0,602, N = 47$$

$$K_5 = 0,753 - 0,1\rho_d - 0,403\varepsilon_{sw} - 0,548\lg \tau_{0,1} - 0,122W_L - 0,016\lg Na^+;$$

$$r = 0,769, N = 53$$

$$K_6 = 1,082 + 0,343\rho_d - 0,368c - 0,019\varphi - 0,001K - 1,425\Gamma;$$

$$r = 0,777, N = 60,$$

где физические свойства — плотность сухого грунта ρ_d , число пластичности J_p ; показатели состава — содержания: глинистой фракции A , обменного натрия Na^+ , гипса Γ , монтмориллонита M , общая карбонатность K , показатель текучести W_L ; показатели механических свойств — срезающее усилие $\tau_{0,1}$, удельное сцепление c , угол внутреннего трения φ , величина свободного набухания ε_{sw} , коэффициент разуплотнения $K_{раз}$.

Установленные общие закономерности влияния обводнения на глинистые породы позволили обосновать и разработать схему их типизации по степени устойчивости к данному фактору, положенную в основу разработанной Ю. И. Олянским методики прогноза показателей прочности глин в основаниях инженерных сооружений [10] при длительном воздействии воды.

На основе вышеизложенного можно отметить следующее:

Выявлены факторы, существенно влияющие на устойчивость сарматских глин к длительному воздействию воды.

Выведены регрессионные уравнения для прогнозирования коэффициентов устойчивости при разработке типизации глин по устойчивости к длительному обводнению в основаниях инженерных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монюшко А. М., Пахомов С. И. Методические основы прогнозирования изменений свойств набухающих грунтов при их обводнении // Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по инженерной геологии. Ростов-на-Дону, 1980. С. 45—50.
2. Пахомов С. И., Монюшко А. М. Инженерно-геологические аспекты изменения свойств глин. М. : Наука, 1988. 119 с.
3. Монюшко А. М. Олянский Ю. И. Инженерно-геологические особенности сармат-меотических глин Молдовы. Кишинев : Штиинца, 1991. 172 с.
4. Олянский Ю. И., Богдевич О. П., Вовк В. М. Особенности изменения состава глинистых пород при длительном взаимодействии с водой // Известия АН Молдовы. Физика и техника. 1993. № 2(10). С. 105—115.
5. Закономерности изменения состава и свойств глинистых пород при длительном взаимодействии с водой в основаниях инженерных сооружений / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2017. № 50(69). С. 7—15.
6. Монюшко А. М., Пахомов С. И. Принципы прогнозирования изменений инженерно-геологических свойств глин при их обводнении // Инженерная геология. 1979. № 1. С. 98—109.
7. Оценка устойчивости сармат-меотических глин к длительному обводнению / Ю. И. Олянский, А. Н. Богомолов, С. И. Шияни др. // Геоэкология. 2010. № 1. С. 62—68.
8. Олянский Ю. И., Богомолов А. Н., Тихонова Т. М. Сарматские глины. Состав. Физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению // Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2013. 248 с.
9. Елисеев И. И. Эконометрика. М. : Финансы и кредит, 2003. 344 с.
10. Олянский Ю. И. Закономерности развития процессов набухания и просадки неоген-четвертичных глинистых пород юго-запада Русской платформы : Автореф. дис. д-ра геол.-мин. наук. СПб., 2004. 47 с.

© Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Калиновский С. А., Тихонова Т. М., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка устойчивости сарматских глин к длительному обводнению на основе результатов лабораторных исследований / Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Калиновский, Т. М. Тихонова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 32—42.

Об авторах:

Олянский Юрий Иванович — д-р геол.-минерал. наук, доцент, профессор 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

Калиновский Сергей Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sk0522@yandex.com

Тихонова Таисия Михайловна — инженер, Волгоградский филиал ОАО «РусГидро». Российская Федерация, 404130, г. Волжский, пр. Ленина, 1а; vges@rushydro.ru

**Yurii I. Olyanskii^a, Evgeniya V. Shchekochikhina^a, Sergei A. Kalinovskii^a,
Taisiya M. Tikhonova^b**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Volgograd branch of "RusGidro"*

ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF SARMATIAN CLAYS TO LONG-TERM WATERFLOODING ON THE BASIS OF LABORATORY RESEARCH

On the basis of multivariate correlation and regression analysis, independent variables significantly affecting the stability of Sarmatian clays to long-term water effects were identified. The resulting set of regression equations for prediction of stability factors in the development of the typing of the clays in terms of resistance to long-term flooding in the foundations of engineering structures.

Key words: sarmatian clays, coefficient of resistance to flooding, multivariate correlation and regression analysis, clay typing.

For citation:

Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kalinovskii S. A., Tikhonova T. M. [Assessment of the sustainability of Sarmatian clays to long-term waterflooding on the basis of laboratory research]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 32—42.

About authors:

Yurii I. Olyanskii — 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

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

Sergei A. Kalinovskii — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sk0522@yandex.com

Taisiya M. Tikhonova — Engineer, Volgograd branch of "RusGidro". 1a, Lenina Ave., Volzhskii, 404130, Russian Federation; vges@rushydro.ru

УДК 624.131

А. И. Субботин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова

РАСЧЕТ ОСАДКИ ФУНДАМЕНТОВ БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

В статье представлен анализ существующих методов и подходов к расчету оснований и фундаментных плит больших площадей. На основании обзора наиболее известных методов расчета фундаментов предложен подход к решению инженерной задачи по определению осадок фундаментов больших площадей с помощью расчетной модели упругой полуплоскости ограниченной распределительной способности, учитывающей дискретность грунтовой среды, и, как следствие, ее прочностные характеристики.

Ключевые слова: фундаменты, грунтовое основание, упругое основание, полубесконечное пространство, линейно-деформируемое основание, упругие деформации, гипотеза линейно-деформируемого полупространства, коэффициенты жесткости, ограниченно-распределительная способность, дискретная среда.

Из всех существующих в инженерной практике методов расчета конструкций на линейно-деформируемом основании самое большое практическое применение имеют методы, использующие коэффициенты жесткости или постели, и методы, основанные на применении теории упругости.

В методах теории упругости учитывается распределение деформаций грунта и за пределами грузовой площади. При расчете конструкций на линейно-деформируемом основании рассматриваются конструкции конечные и полубесконечные, жесткие и гибкие, балки, балочные плиты и просто плиты.

Задача создания теории расчета балок и плит на линейно-деформируемом основании была решена Н. М. Герсевановым [1], М. И. Горбуновым-Посадовым [2], Б. Н. Жемочкиным [4], И. А. Симвулиди [6, 7], В. А. Флориным [8] и др.

Все их вычисления основаны на применении решения Буссинеска, которое дает возможность найти осадку точек поверхности упругого полупространства ω на различных расстояниях r от приложенной к этой точке сосредоточенной силы P [9]:

$$\omega = \frac{P - (1 - \mu_0)}{\pi E_0 r}.$$

И. А. Симвулиди [6], используя плоскую задачу теории упругости, разработал простое решение для расчета конструкций, лежащих на линейно-деформируемом основании, нагруженных произвольными нагрузками, при любом варианте закрепления концов балок и плит. Он рассмотрел балку как тонкий упругий брус, деформирующийся по его длине, причем грунтом основания является однородная среда неограниченной мощности, характеризующейся модулем деформации и коэффициентом Пуассона.

Н. И. Герсеванов и Я. А. Мачерет [1], применив аппарат теории упругости, получили решение для бесконечно длинной балки, нагруженной сосредоточенной нагрузкой в условиях плоской задачи.

М. И. Горбунов-Посадов, используя метод укороченных систем, решил задачу и вычислил расчетные величины для балок постоянного сечения для непрерывной и прерывной нагрузки, сосредоточенных воздействий в виде сил или моментов [3].

Для расчета гибких плит Б. Н. Жемочкин [5] предложил заменить фундаментную плиту рядом пересекающихся балок. Кроме того, автором освещены вопросы о круглых и кольцевых плитах, плитах переменной жесткости.

В теории расчета оснований Н. И. Фуссом была предложена зависимость между нагрузкой p_x и осадкой поверхности ω [10] в виде:

$$p = k\omega_x,$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Е. Винклер [11], используя эту зависимость, предложил метод расчета гибкой конструкции на сжимаемом основании, при этом коэффициент k (коэффициент постели) численно соответствовал тому давлению, при котором осадка поверхности основания равна единице.

Основными недостатками этой гипотезы является предположение, что деформации грунта возникают лишь в трех точках поверхности основания, где приложено давление. В соседних же сколь угодно близких точках осадки якобы не происходят, что не соответствует действительности.

Г. Э. Проктором [12] во избежание недостатков гипотезы Винклера было предложено осадку точек поверхности основания определять не формулой, предложенной Фуссом, а формулами теории упругости и представлять основание в виде линейно-деформируемого полупространства. Данная модель позволяла определять деформацию основания не только в месте контакта нагруженной площади с грунтом, но и за ее пределами. В этой модели распределительные свойства грунта описывались по гиперболическому закону Буссинеска, а механические свойства грунта — модулем деформации и коэффициентом Пуассона.

Гипотеза линейно-деформируемого полупространства получила широкое распространение в расчетах фундаментных конструкций и, в частности, фундаментных плит [2, 3, 5, 7].

Модель линейно-деформируемого полупространства имеет свои допущения и неточности. Дело в том, что материал модели представляется однородной изотропной средой, грунт же является пористой неоднородной массой, механические свойства которого зависят от его структурных особенностей. Деформации грунтов из-за образующихся у краев фундамента пластических зон носят преимущественно нелинейный характер и практически довольно быстро затухают с глубиной и за пределами загруженного участка.

С целью лучшего учета свойств грунта и во избежание усложнения математического аппарата П. Л. Пастернаком [13] был предложен метод расчета конструкций с двумя коэффициентами жесткости, которые характеризуют упругие характеристики грунта как неоднородной среды.

По сравнению с гипотезой Винклера модель с двумя коэффициентами жесткости имеет ряд преимуществ. Она дает возможность определить прогибы плиты, загруженной по всей площади равномерно распределенной нагрузкой. По мере удаления от загруженной поверхности осадки основания по

гипотезе двух коэффициентов жесткости затухают значительно быстрее, чем в модели линейно деформируемого полупространства.

Недостатком модели с двумя коэффициентами жесткости является наличие, кроме распределенной по подошве реакции основания, дополнительной сосредоточенной реакции по внешнему контуру плиты, что приводит к завышению усилий у краев плиты. Коэффициенты жесткости можно определить только опытным путем, и поэтому их величины в определенной степени зависят от методики определения, при этом возрастает вероятность погрешности, так как вместо одного определяется два коэффициента.

В настоящее время информационные технологии позволили реализовать наиболее применяемые в инженерной практике расчета оснований фундаментов модели в программно-вычислительных комплексах, таких как SCAD Office, Лира, Plaxis, Ansys и других. Этими программными комплексами реализованы модель линейно деформируемого полупространства, модель Пастернака, модель переменных по площади коэффициентов постели, модель упругопластической среды. Используя опыт проектирования и аналитический подход к применяемым программным средствам, опираясь на собственный практический опыт и наблюдения за осадками фундаментов реальных объектов [16, 17, 18], современными исследователями [14, 15] приводятся сопоставления результатов расчета не только с нормативной методикой¹, но и с реальными данными наблюдений.

В рассмотренных выше инженерных расчетах использовались методы, учитывающие ограниченность распределения давлений в основании на эмпирическом уровне. Но они не рассматривали вопросы распределения компонентов напряжений в массиве основания, представляющий дискретную среду, и влияние на это распределение прочностных характеристик грунта. В работах [19, 20] автором предлагается учитывать ограниченную распределительную способность упругого основания при расчетах плитных и ленточных фундаментов.

Рассмотрение расчета оснований фундаментов больших площадей, согласно предлагаемой упругой модели, ведет к качественным изменениям в работе основания. В этом случае появляется значительная «средняя» зона основания, работающая практически в условиях одномерной задачи. В реальных условиях, в частности, при анализе кривизны изгиба фундаментной плиты резервуара, рассмотренного в работе [21], выявлены малые величины изгибающих моментов в центральной зоне плиты. Это доказывает наличие в средней зоне основания области одномерного уплотнения, соответствующей минимальным изгибающим моментам в самой плите. Это подтверждает правильность использования в расчетах оснований протяженных в плане фундаментов решений полубесконечных задач. Неучет этого фактора приводит к избыточному запасу прочности и излишнему расходу материалов.

При этом величина деформации основания протяженных в плане фундаментов будет складываться из двух составляющих:

деформации «средней» зоны основания, работающей в условиях одномерной задачи;

¹ СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*

деформации остальной сжимаемой толщи основания ограниченной рас-
пределительной способности с учетом функции убывания напряжений.

Методика определения деформаций основания принята согласно реше-
ниям полубесконечных задач, приведенным в работе [21].

В первом случае величина осадки «средней» зоны основания определя-
ется по формуле:

$$S = \frac{\varepsilon_{\max}}{m\gamma} (1 - e^{-mp}) (1 - e^{-m\sigma_{zg}}), \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\max}$, m — числовые коэффициенты, определяемые из компрессионных
испытаний; γ — собственный (удельный) вес грунта; p — среднее давление
под плитой; $\sigma_{zg} = \gamma H_1$ — бытовое давление на глубине H_1 .

Во втором случае осадка слоя полупространства определяется с учетом
функции убывания нормальных напряжений и выразится в виде:

$$S = \int_{H_1}^H (\varepsilon_p^k - \varepsilon_0) dz, \quad (2)$$

где ε_0 — деформации полупространства при мгновенном появлении собст-
венного веса среды; ε_p^k — деформации полупространства при конечной пло-
щади нагружения (рис. 1).

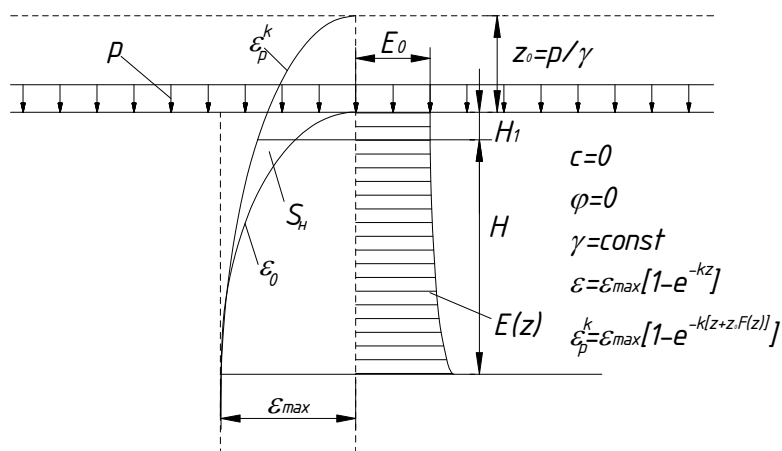


Рис. 1. Деформация весового полупространства при сплошной нагрузке p

Функция ε_0 аппроксимируется выражением вида:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{\max} (1 - e^{-kz}). \quad (3)$$

С учетом убывания нормальных напряжений:

$$\varepsilon_p^k = \varepsilon_{\max} (1 - e^{-kz} \cdot e^{-kz_0 F(z)}), \quad (4)$$

где $k = m\gamma$ — числовой коэффициент; $z_0 = p/\gamma$; $F(z)$ — функция убывания нормальных напряжений.

В случае плоской задачи функция убывания нормальных напряжений представляется в виде:

$$F(z) = \frac{\alpha_0 + \sin \alpha_0}{\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi}, \quad (5)$$

где $\alpha_0 = 2 \operatorname{arccctg} \frac{2z}{b}$.

Переходя к относительной глубине $\xi = \frac{2z}{b}$, получим безразмерную координату z уплотненного ядра «средней» зоны по оси полосы $\xi = \operatorname{tg} \varphi$. Это означает равенство $\sigma_z = p$ до значений ξ , равных углу внутреннего трения грунта φ . Отсюда глубина толщи основания, в пределах которой применима формула (1), равна $H_1 = \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi$.

Вводя $\Omega(z) = e^{-kz_0 F(z)}$, выражение (4) запишется в виде:

$$\varepsilon_p^k = \varepsilon_{\max} (1 - e^{-kz} \Omega(z)). \quad (6)$$

Приближенно представим (рис. 2, 3) функцию $\Omega(z)$ выражением вида:

$$\alpha(z) = 1 - e^{-n(z + z_1)}, \quad (7)$$

где n — численный коэффициент; z — некоторое значение условного дополнительного слоя.

Потребуем строгого равенства $\Omega(z) = \alpha(z)$ в трех точках: H_1, z, ∞ . Тогда при $z = H_1 = \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi$:

$$e^{-kz_0} = 1 - e^{-n\left(\frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi + z_1\right)}, \quad (8)$$

откуда:

$$n = -\frac{\ln(1 - e^{-kz_0})}{\frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi + z_1}. \quad (9)$$

При $z = z_1$:

$$\Omega(z_1) = 1 - e^{-n(z_1 + z_1)}, \quad (10)$$

где z_1 — некоторое значение z , называемое условной глубиной, о выборе которой будет сказано ниже.

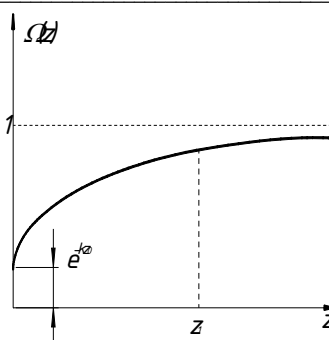


Рис. 2. Зависимость функций $\Omega(z)$ от глубины z

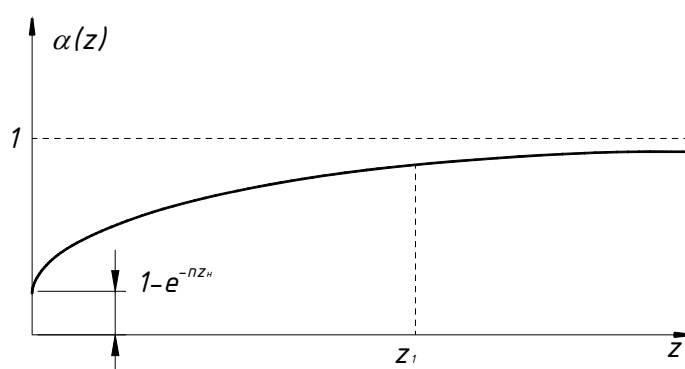


Рис. 3. Зависимость функций $\alpha(z)$ от глубины z

Преобразовав выражение (10), получим:

$$z_n = \frac{z_1 \ln(1 - e^{-mp}) - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi \ln(1 - \Omega(z_1))}{\ln \left[\frac{1 - \Omega(z_1)}{1 - e^{-mp}} \right]}. \quad (11)$$

Используя приведенные замены и преобразования, интеграл (2) выражается через элементарные функции:

$$S = \int_{H_1}^H (\varepsilon_p^k - \varepsilon_0) dz = \frac{\varepsilon_{\max}}{k+n} e^{-nz} \left(e^{-(k+n)H_1} - e^{-(k+n)H} \right). \quad (12)$$

Для полупространства, т. е. при $H \rightarrow \infty$, получим:

$$S = \frac{\varepsilon_{\max} e^{-(nz + (k+n)H_1)}}{k+n}. \quad (13)$$

Выражение (13) достаточно простое и удобное в пользовании.

При расчете фундаментов малых площадей (ленточных) используем методику СП 22.13330.2016, где функция убывания, обозначенная как коэффи-

циент α , вычисляется по формуле (5). Значения коэффициента α , в зависимости от величины угла внутреннего трения φ , представлены в таблице.

Коэффициент α при $\varphi \neq 0$, вычисленный по предлагаемому методу, превышает значения α по СП 22.13330.2016, что можно объяснить ограниченной распределительной способностью основания. Значения осадки при этом зависят от физико-механических свойств грунта и отличаются от расчетов по методике СП.

Значения коэффициента α в зависимости от угла внутреннего трения φ

$\xi = \frac{2z}{b}$	0° СП [19]	10°	20°	30°	40°	45°
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1,6	0,642	0,643	0,652	0,661	0,738	0,784
3,2	0,374	0,375	0,381	0,397	0,430	0,457
6,4	0,196	0,196	0,199	0,208	0,225	0,239
9,6	0,132	0,132	0,134	0,140	0,152	0,161
12,0	0,106	0,106	0,108	0,112	0,122	0,129

Выше отмечалось, что с увеличением угла внутреннего трения φ распределительная способность основания уменьшается. Это соответствует большим осадкам при больших значениях угла внутреннего трения. Однако большие значения φ соответствуют более прочным грунтам и, следовательно, меньшим осадкам. Поэтому возникает противоречие между теоретическими предположениями и известными фактами. Однако увеличение угла внутреннего трения φ сопровождается значительным повышением модуля деформации E основания (СП 22.13330.2016). Таким образом, несмотря на уменьшение распределительной способности, осадки фундамента будут уменьшаться с увеличением φ , что соответствует натурным наблюдениям. Это является следствием опережения роста модуля деформации E (следовательно, и параметров сжимаемости $\varepsilon_{\max}, m$), увеличения угла внутреннего трения φ .

Так как предлагаемый метод представляет собой упругую расчетную модель, то выбор угловой глубины сжимаемой толщи z_1 можно производить согласно рекомендациям СП 22.13330.2016.

Расчет деформаций фундаментов, таким образом, выполняется с выделением краевой и средней зон, с использованием соответствующих расчетных формул для каждой из зон, с использованием таблицы коэффициента рассеивания нормальных напряжений с глубиной, с применением стандартных физико-механических характеристик грунтов в зависимости от угла внутреннего трения.

Предложенный метод, в отличие от нормативной методики СП 22.13330.2016, позволяет производить расчеты и прогнозы деформаций оснований фундаментов с учетом физико-механических свойств грунта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герсеванов Н. М., Мачерет Я. А. К вопросу о бесконечно длинной балке на упругой почве, нагруженной силой // Гидротехническое строительство. 1975. № 10.
2. Горбунов-Посадов М. И. Балки на упругом основании. М. : Стройиздат, 1949.
3. Горбунов-Посадов М. И. Расчет балок на упругом основании в условиях плоской задачи теории упругости // Сб. трудов НИС Фундаментстроя. М., 1937. № 8.
4. Жемочкин Б. Н. Качественная теория по расчету балок на упругом основании. Ч. 1. Плоская задача бесконечно длинной балки на упругом основании. Ч. 2. Расчет балок на упругом полупространстве и полуплоскости. М. : ВИА, 1937.
5. Жемочкин Б. Н., Сеницын А. П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. 2-е изд. М. : Госстройиздат, 1962.
6. Симбулиди И. А. Расчет сложных фундаментов на упругом основании. М., 1969.
7. Симбулиди И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании. Высшая школа. М., 1973.
8. Флорин В. А. Некоторые теоретические положения расчета сооружений на податливых грунтах // Гидротехническое строительство. М., 1936. № 11.
9. Boussinesq J. Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques. Paris, 1885.
10. Fuss H. U. Versuch einer theorie des Widerstandes zwei- und vierradrigen wagen usw. Copenhagen, 1798.
11. Winkler E. Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. Teil F. Praga, 1867.
12. Проктор Г. Э. Об изгибе балок, лежащих на сплошном упругом основании без гипотезы Винклера-Циммермана. Дипломная работа / Петроградский технологический институт. Л., 1922.
13. Пастернак П. Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М. : Стройиздат, 1954. 55 с.
14. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D / Е. С. Егорова и др. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 3(42). С. 32—56.
15. Сравнительный анализ численного моделирования системы «зданиефундамент-основание» в программных комплексах SCAD и PLAXIS / Р. А. Мангушев и др. // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3. С. 96—101.
16. Полищук А. И., Самарин Д. Г., Филипович А. А. Оценка несущей способности свай в глинистых грунтах с помощью Plaxis 3D Foundation // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 3. С. 351—359.
17. Федоровский В. Г., Безволев С. Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. № 4. С. 10—18.
18. Сафина А. Г. Сопоставление прогнозируемых осадок плитных фундаментов с фактическим осадками // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2010. № 10. С. 52—57.
19. Субботин А. И. Использование решения для основания ограниченной распределительной способности при развитии упругопластических решений // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2008. Вып. 9(28). С. 33—36.
20. Субботин А. И. Распределение напряжений в упругой полуплоскости ограниченной распределительной способности // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 175—178.
21. Шматков В. В. Деформации основания фундаментной плиты / Взаимодействие сплошных фундаментных плит с грунтовым массивом. Новочеркасск : НПИ, 1982. С. 133—135.

© Субботин А. И., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Субботин А. И. Расчет осадки фундаментов больших площадей с учетом ограниченной распределительной способности грунтов основания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 43—51.

Об авторе:

Субботин Анатолий Иванович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; spu_pr@mail.ru

Anatolii I. Subbotin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

CALCULATION OF SEDIMENTATION OF THE FOUNDATIONS OF LARGE AREAS ACCOUNTABILITY OF THE LIMITED DISTRIBUTED CAPACITY OF GROUND SOILS

The article presents an analysis of existing methods and approaches to the calculation of bases and foundation slabs of large areas. Based on a review of the most well-known methods for calculating foundations, an approach to the solution of the engineering problem for determining the sediment of large-area foundations with the help of the computational model of an elastic half-plane of a limited distribution capacity, taking into account the discreteness of the ground environment, and, as a result, its strength characteristics.

Key words: foundations, soil base, elastic base, semi-infinite space, linearly deformable base, elastic deformations, hypothesis of linearly deformed half-space, stiffness coefficients, limited-distributive capacity, discrete medium.

For citation:

Subbotin A. I. [Calculation of sedimentation of the foundations of large areas accountability of the limited distributed capacity of ground soils]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 43—51.

About author:

Anatolii I. Subbotin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; spu_pr@mail.ru

УДК 624.131

А. И. Субботин, В. П. Дыба

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ГРУНТОВ В КРАЕВОЙ ЗОНЕ ФУНДАМЕНТОВ БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ

В статье приводится анализ изучения закономерности формоизменения и объемной деформации грунтов как сложного физико-механического процесса на основе исследований в приборах трехосного сжатия и в лотках. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований деформаций формоизменения грунтового основания при штамповых испытаниях и на модели фундаментной плиты. Представлены результаты экспериментальных исследований сдвиговых деформаций в краевой зоне модели фундаментной плиты при действии полубесконечных нагрузок.

Ключевые слова: деформации формоизменения, объемные деформации, дилатансия, краевая зона, экспериментальные исследования, модель фундамента, штамп, песчаное основание, экспериментальное моделирование.

Современное развитие информационных технологий и наличие большого числа программных средств позволяет рассчитывать фундаменты зданий и сооружений в достаточно сложных инженерно-геологических условиях. Однако в основе расчетных моделей программных комплексов используется один и тот же математический механизм, который не всегда полно отражает природу деформирования основания.

Деформирование грунтов является сложным физико-механическим процессом, изучение которого постоянно привлекает экспериментаторов и теоретиков. С развитием техники и методики экспериментов удастся все глубже проникнуть в сущность этих процессов и, как результат, использовать эти сведения в развитии теории расчета.

Вопросы формоизменения грунтов одним из первых исследовал А. И. Боткин [1, 2], нагружая песок в цилиндрической резиновой оболочке боковым давлением и осевой силой ($\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$; $\mu_\sigma = -1$). Им было установлено, что интенсивность сдвиговых деформаций ε_i в грунтах зависит не только от интенсивности нормального напряжения σ_i , но и от главного напряжения σ_1 , представляя диаграммы $\varepsilon_i - \sigma_i$ как семейство кривых, каждое из которых соответствует определенному значению σ .

Используя координатные оси ε_i и σ_i / σ , А. И. Боткину удалось совместить это семейство кривых в единую кривую, которая оказалась инвариантной по отношению к траекториям нагружения.

А. И. Боткиным была предложена дробно-линейная зависимость для аппроксимации закона формирования:

$$\frac{\sigma_i}{\sigma} = \frac{A \cdot \varepsilon_i}{B + \varepsilon_i},$$

(где A и B — постоянные параметры), которая при $\varepsilon_i \rightarrow \infty$ переходит в условие прочности Мизеса — Шлейхера — Боткина [3], записанное при данных обозначениях так:

$$\sigma_i^* = A \cdot \sigma_i,$$

где σ_i^* — интенсивность касательных напряжений в предельном состоянии.

Для связных грунтов А. И. Боткин предлагал аналогичные зависимости:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma + \sigma_0} = \frac{A \cdot \varepsilon_i}{B + \varepsilon_i};$$

$$\sigma_i^* = A \cdot (\sigma + \sigma_0),$$

где σ_0 — всестороннее давление, эквивалентное сцеплению грунта.

Многочисленные исследования других авторов, проведенные в стабилометрах, — приборах, создающих определенный вид напряженного состояния, когда $\mu_\sigma = -1$ [4, 5, 6, 7, 8], подтвердили закономерности формоизменения грунтов, выявленные А. И. Боткиным.

Исследования Г. М. Ломизе, А. Л. Крыжановского и др. [5, 9, 10] показали, что на прочность и деформацию грунтов оказывает влияние вид напряженного состояния. Представляя деформации в грунтах как следствие локального разрушения связей между его частицами, авторы этих работ описывали интенсивность сдвиговых деформаций с помощью эмпирических параметров, определяющих степень достижения предельного состояния, описанных ими как «чисел прочности».

На основе экспериментальных исследований с песками и суглинками в работе А. Л. Крыжановского и др. [11] были приняты деформационные зависимости более общего вида и уравнение предельного равновесия, которое принималось в форме обобщенного условия Мизеса-Шлейхера-Боткина:

$$\sigma_i^* = \alpha_1 + \sigma^{\alpha_2} (\alpha_3 + \alpha_4 \mu_\sigma + \alpha_5 \mu_\sigma^2).$$

Анализируя данные вышеуказанных экспериментальных исследований, можно сказать, что условие прочности и формоизменение грунтов описывается тремя инвариантами тензора напряжений. В качестве таких инвариантов были приняты: среднее давление — σ , интенсивность касательных напряжений — σ_i и параметр вида напряженного состояния — μ_σ .

Следует отметить теоретические исследования [12], показавшие, что при ассиметричной деформации влиянием μ_σ можно пренебречь, тогда как в плоской задаче его необходимо учитывать.

Наибольший интерес вызывает изучение процессов деформирования грунтов в краевой зоне фундаментов, где концентрируются касательные напряжения и сдвиговые деформации, зарождаются зоны пластичности и разрушения структуры грунта, наблюдаются, казалось бы, парадоксальные явления — с ростом нагрузки грунт может уменьшать свою плотность. В случае фундаментов ограниченных размеров в плане явления деформирования грунта в краевой зоне существенно влияют на общую осадку фундамента и устойчивость основания.

Одним из многих проявлений специфики процесса деформирования грунта в краевой зоне основания являются дилатансионные процессы изменения структуры, плотности грунта в результате развития объемных сдвиговых деформаций формоизменения под влиянием девиаторной составляющей напряженно-деформированного состояния грунта.

Явление дилатансии впервые было описано Ш. Кулоном в мемуаре 1777 г. по трению [13] и является основополагающим для объяснения явления трения, упрочнения и дилатансии в грунтах, затем в 1885 г. отмечено О. Рейнольдсом [14], и к настоящему времени накоплен объемный материал по изучению объемных деформаций в грунте.

С развитием механики грунтов и методов экспериментальных исследований на моделях появились возможности изучения дилатансионных явлений в грунтовом основании в процессе нагружения с более глубоким проникновением в сложный механизм объемного деформирования.

Экспериментальные исследования объемного деформирования грунтов разделились на два направления.

Первое направление — исследования работы грунта в камере трехосного сжатия с независимо регулируемыми режимами нагружения по каждому из направлений. Исследования в этой области широко опубликованы, например, в трудах Г. М. Ломизе, А. Л. Крыжановского, Ю. К. Зарецкого и др. [9, 10, 15].

Возможность осуществлять нагружение, моделируя приложение к образцу грунта напряжений по схеме шарового тензора и девиатора напряжений, практически в любой последовательности и при нагрузке-разгрузке с выделением параметров поведения образца позволяет вычислять дилатансионные характеристики.

Исследования образца грунта в приборах трехосного сжатия с независимо регулируемыми траекториями нагружения позволили получить обширную информацию о дилатансионных процессах, а также числовые значения коэффициента дилатансии [6, 16, 17, 18].

Недостатком первого направления является изучение объемного деформирования как бы в чистом виде без учета специфики работы грунта в массиве основания.

Второе направление — изучение деформирования грунта в массиве основания под моделями фундаментов. В этих исследованиях различных авторов наблюдались косвенные признаки и следствия дилатансионных явлений из-за сложности процессов и весьма ограниченных возможностей прямых измерений параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) для вычисления дилатансионных характеристик грунта. Однако с развитием техники и методики экспериментов удалось перейти к изучению главных признаков дилатансионных явлений как проявлений деформаций формоизменения.

Рассмотрим экспериментальные работы второго направления, связанные с получением данных о деформациях формоизменения непосредственно из экспериментальных исследований. В экспериментальных исследованиях взаимодействия моделей фундаментов и песчаного основания, выполнявшихся различными авторами и которые можно отнести ко второму направлению, были выявлены зоны разуплотнения однородного грунта до нагружения песчаного грунта в области основания под краем модели фундамента.

Обширные исследования были проведены в лотке с песчаным основанием Ю. Н. Мурзенко [19]. Им было обнаружено влияние разуплотнения грунта от сдвиговых деформаций на процесс перераспределения контактных напряжений σ_k по подошве жесткого фундамента на песчаном основании.

По результатам специальной программы экспериментов [20] было изучено осесимметричное поле «остаточной» плотности в процессе возрастающей нагрузки на круглый штамп по специальной методике измерения остаточности плотности песчаного грунта. Были обнаружены зоны разуплотнения грунта, установлена сложная пространственная схема деформирования песчаного основания.

В работах В. В. Ревенко и Ю. В. Галашева впервые в практике экспериментальных исследований были реализованы задачи исследования процессов деформирования песчаного основания путем непосредственных измерений всех компонент тензора напряжений [21] и тензора деформаций [22]. Это дало возможность привлечения к анализу НДС грунтового основания теоретического аппарата механики сплошной среды.

Идея исследования дилатансионных характеристик грунта в опытном грунтовом лотке под моделями фундаментов принадлежит профессору Ю. Н. Мурзенко. Реализация таких исследований потребовала разработки специальных методик и, самое главное, приборов для непосредственных измерений всех компонент тензора деформаций.

Исследование в массиве грунта как пространственной системы впервые выполнено Л. В. Краснояруженским, Ю. Н. Мурзенко и В. П. Дыбой [23, 24].

В работах [25, 26] автор приводит исследования коэффициента дилатации, усовершенствовав методику нагружения [23] и повысив точность получаемых значений пластической части приращения тензора и девиатора деформированного состояния грунта в выбранных точках основания при пошаговой нагрузке-разгрузке основания, обеспечивая малое изменение «истории» нагружения небольшой величиной пошаговой разгрузки.

Экспериментальные исследования проводились в пространственном лотке испытательной машины МФ-1, заполненном плотным песчаным грунтом. Модель — фундаментная плита с размерами в плане $1,5 \times 0,8$ м — нагружалась двумя гидравлическими домкратами машины, погрешность измерения усилий на модель не превосходила $\pm 1,0$ %. Чтобы изучить картину развития линейных и угловых деформаций в краевой зоне фундаментной плиты, по длинной ее стороне в поперечном сечении размещались в нескольких створах дистанционные преобразователи для измерения шести компонент тензора деформаций. Преобразователи деформаций входили в АСНИ с компьютерной обработкой результатов измерений на каждой ступени нагружения по предварительно полученным градуированным характеристикам. На каждой ступени нагружения проводились измерения при помощи автоматизированной системы обработки тензометрических измерений «СОТИ», сопряженной с тензостанцией СИИТ-3 [27]. Экспериментальные исследования выполнялись на модели фундаментной плиты в лотке с песчаным основанием. Краевая зона основания рассматривалась как соответствующая полубесконечной нагрузке с пригрузкой.

Автоматизированная система обработки тензометрических измерений позволила в проводимых экспериментальных исследованиях проводить из-

мерения сразу шести компонент тензора деформации, что дало возможность впервые выполнять обработку поступающих сигналов в реальном масштабе времени и влиять на ход проведения эксперимента в зависимости от результатов оперативной обработки. Визуализация результатов измерений представлялась с различной степенью детализации в виде таблиц и изолиний.

На основании полученных данных в виде изолиний сдвиговых деформаций γ_{xy} на соответствующих ступенях нагружения выбирались фиксированные точки, в которых измерялись все компоненты тензора деформаций. Выбор фиксированных точек обуславливался сложностью эксперимента, связанной с пошаговой нагрузкой-разгрузкой, измерением всех компонент тензора деформаций ($\varepsilon_z, \varepsilon_y, \varepsilon_x, \gamma_{zy}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}$) в каждой из изучаемых точек и необходимостью дублирования измерений.

Рассматривая полученные данные развития сдвиговых деформаций (рис. 1—4), четко видны определившиеся четыре характерные зоны, границами которых являются изолинии $\gamma_{zy} = 0$. Зона I ($-\gamma_{zy}$) примыкает к краю фундаментной плиты и имеет округлую, слегка вытянутую от края плиты форму (краевая зона). Зона II ($+\gamma_{zy}$) расположена вне площадки нагружения и тяготеет к поверхности грунтового основания (зона выпирания). Зона III ($-\gamma_{zy}$) находится под краевой зоной в толще основания с характерным полюсом концентрации сдвиговых деформаций и примыкает снизу к зоне I, являясь как бы ее продолжением. Зона IV ($+\gamma_{zy}$) расположена под нагрузкой и занимает место справа от зон I и III с развитием в сторону площади нагружения.

Наибольшее развитие сдвиговых деформаций γ_{zy} наблюдается у края фундаментной плиты, в зоне I, где их абсолютная величина достигает наибольшего значения. Причем их развитие происходит от края фундаментной плиты в стороны.

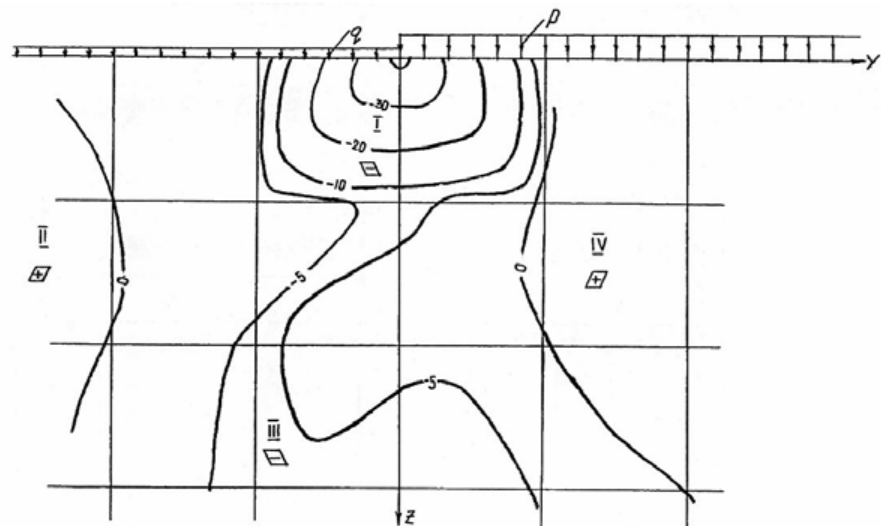


Рис. 1. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P = 0,16$ МПа

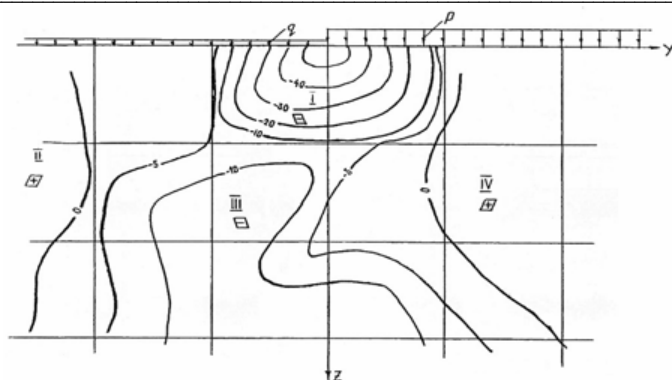


Рис. 2. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P = 0,32$ МПа

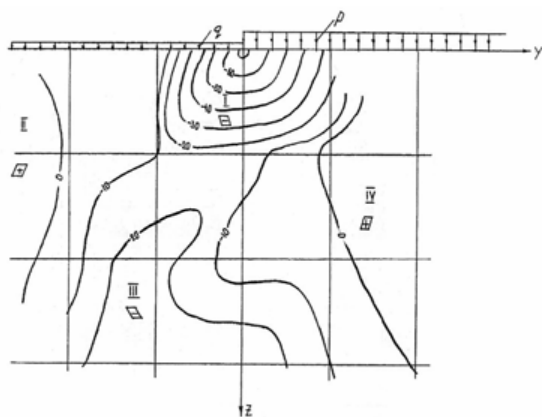


Рис. 3. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P = 0,48$ МПа



Рис. 4. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P = 0,6$ МПа

По данным опытов проведенных экспериментальных исследований были вычислены значения коэффициента дилатансии для характерных точек [25, 26].

Анализируя данные проведенных опытов [25, 26], установлено, что в целом значения коэффициентов дилатансии λ отвечают общей картине деформации основания у края плиты (рис. 1—4).

Общая картина изменения λ совпадает с результатами экспериментального изучения НДС основания с применением других средств измерений.

Результатом лотковых испытаний являлось не только определение величин и знаков λ на различных реальных траекториях нагружения, т. е. в различных точках основания, но и проверка выполнимости самой гипотезы Кулона о кинематическом ограничении пластических деформаций, вызванной представлением о грунте как о зернистой среде.

При исследованиях деформаций формоизменения в лотке с песчаным основанием авторы [23, 25, 26] столкнулись с тем, что пластическое изменение объема происходит не только вследствие дилатансии, но и в результате явления затекания пор, а это, в свою очередь, может привести к завышенным значениям λ . Помимо этого, для определения пластических деформаций необходима некоторая пошаговая нагрузка-разгрузка, этот процесс изменяет историю нагружения песчаного основания по сравнению с обычным активным ступенчатым нагружением, особенно для моделей гибкой фундаментной плиты.

Полученные результаты экспериментальных исследований по изучению дилатансионных явлений не носят законченный характер и ставят задачи для дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боткин А. И. Исследование напряженного состояния в сыпучих связных грунтах // Известия НИИТ. 1939. № 24.
2. Боткин А. И. О прочности сыпучих и хрупких материалов // Известия НИИТ. Т. 26. 1940.
3. Арутюнян Н. Х. Плоская контактная задача теории пластичности с системным упрочнением материала // Известия АН Арм. ССР. Сер.: физ-мат. наук. Т. 12. 1959. Вып. 2.
4. Баршевский Б. Н. О гипотезе прочности несвязанного грунта // Известия АН СССР. Отделение техн. наук. 1956. № 4.
5. Малышев М. В. Об определении угла внутреннего трения и сцепления предельно напряженно сыпучей среды // Известия АН СССР. Отдел техн. наук. 1954. № 7.
6. Строганов А. С. Метод прогноза конечных осадок оснований сооружений // Сб. трудов Моск. энергетич. ин-та. 1956. Вып. 19.
7. Федоров И. В. О некоторых закономерностях прочности и деформируемости сыпучей среды. М. : ВОДГЕО, 1957. № 5.
8. Ломизе Г. И., Магер И. Экспериментальные исследования деформируемости и прочности песчаных грунтов // Вопросы прочности и деформируемости грунтов. Баку : Азернешр, 1966.
9. Ломизе Г. И., Крыжановский А. Л. Прочность грунтов // Гидротехническое строительство. 1967. № 3.
10. Ломизе Г. И., Крыжановский А. Л., Петрянин В. Ф. Исследование закономерности развития напряженно-деформированного состояния песчаного основания при плоской деформации // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1972. № 1.
11. Крыжановский А. Л., Чевикин А. С., Куликов О. В. Эффективность расчета оснований с учетом нелинейных деформационных свойств грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1975. № 5.
12. Широков В. Н. К задаче о круглом жестком штампе на нелинейно-деформируемом полупространстве // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 5.

13. *Coulomb C. A.* Theorie des machines simples-ouvrage couronne par l'Academie Bibl. Ac. Set // Savants arrangeurs. 1781.
14. *Вялов И.* Геологические основы механики грунтов. М. : Высшая школа, 1978.
15. *Зарецкий Ю. К.* Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений. М. : Стройиздат, 1988. 349 с.
16. *Ladani B.* Etude des relations entre les contraintes et les deformations lors du cisaillement des sols pulverulents. Ann. Trav. Publics Belg. 1960. № 3.
17. *Рейнер И.* Деформация и течение. М. : Гостехиздат, 1963. 385 с.
18. *Городецкий С. Э.* Влияние направления сдвига на объемные дефекты мерзлых грунтов // Сб. трудов НИИ оснований. 1969. № 58.
19. *Мурзенко Ю. Н.* Результаты экспериментальных исследований характера распределения нормальных контактных напряжений по подошве жестких фундаментов на песчаном основании // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1965. № 2. С. 1—4.
20. *Аринина Э. В., Мурзенко Ю. Н.* Исследование пространственного поля плотности песчаного основания под моделями фундаментов // Экспериментальные исследования инженерных сооружений : материалы ко 2-му симпозиуму. Л., 1969.
21. *Ревенко В. В.* Развитие деформаций в основании круглого штампа // Исследования оснований и фундаментов : Межвуз. сб. Новочеркасск : Новочерк. политехн. ин-т, 1977. С. 20—23.
22. *Галашев Ю. В.* Экспериментальное изучение деформаций песчаного основания под круглым жестким штампом // Взаимодействие сплошных фундаментных плит с грунтовым массивом : Межвуз. сб. Новочеркасск : Новочерк. политехн. ин-т, 1982. С. 116—121.
23. *Мурзенко Ю. Н., Шматков В. В., Краснояруженский Л. В.* Сдвиговые деформации и дилатансионные характеристики в песчаном основании при осесимметричном нагружении // Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований : Межвуз. сб. Новочеркасск : Новочерк. политехн. ин-т., 1993. С. 4—13.
24. *Мурзенко Ю. Н., Дыба В. П.* Дилатансионные процессы в грунтовой основе фундаментов // Механика грунтов и фундаментостроение : труды Рос. конф. по механике грунтов и фундаментостроению. СПб., 1995. С. 478—483.
25. *Субботин А. И.* Работа оснований ограниченной распределительной способности : дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск : Новочерк. политехн. ин-т., 1995. 221 с.
26. *Субботин А. И.* Экспериментальные исследования развития деформаций формоизменения в грунтовой основе фундаментов больших площадей // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. № 1. С. 102—105.
27. *Субботин А. И.* Автоматизация экспериментальных исследований работы оснований и фундаментов // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 1(67). С. 142—149.

© Субботин А. И., Дыба В. П., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Субботин А. И., Дыба В. П. Закономерности формоизменения грунтов в краевой зоне фундаментов больших площадей // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 52—60.

Об авторах:

Субботин Анатолий Иванович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; spru_pr@mail.ru

Дыба Владимир Петрович — д-р техн. наук, проф., проф. кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Anatolii I. Subbotin, Vladimir P. Dyba

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

REGULARITIES OF FORMALIZATION OF SOILS IN THE LONG AREA OF FOUNDATIONS OF LARGE AREAS

The article analyzes the study of patterns of deformation and volumetric deformation of soils as a complex physical-mechanical process based on studies in triaxial compression instruments and in trays. The results of experimental studies of deformations in the shaping of the soil base during die tests and on the base plate model are considered. The results of experimental studies of shear deformations in the marginal zone of the foundation plate model under the action of semi-infinite loads are presented.

Key words: strain deformations, volumetric deformations, dilatancy, edge zone, experimental studies, base model, stamp, sand base, experimental modeling.

For citation:

Subbotin A. I., Dyba V. P. [Regularities of formalization of soils in the long area of foundations of large areas]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 52—60.

About authors:

Anatolii I. Subbotin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; spu_pr@mail.ru

Vladimir P. Dyba — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Industrial, Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation

УДК 624.072.2

О. В. Коновалов, Л. М. Арзамаскова, Е. Е. Евдокимов

Волгоградский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА ОБОБЩЕННЫХ НЕИЗВЕСТНЫХ В РАСЧЕТАХ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ОДНОМЕРНЫХ БИРЕГУЛЯРНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается одномерная бирегулярная система в виде многопролетной балки на жестких опорах, нагруженной эквидистантно расположенными точечными массами. Предлагается методика расчета частот свободных колебаний конструкции на основании метода обобщенных неизвестных в форме метода сил. Результаты работы и методику расчета можно использовать в расчетах регулярных и бирегулярных систем в виде пластин и оболочек.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бирегулярная система, обобщенные силы, обобщенные неизвестные, инерционные силы, инерционные перемещения, свободные колебания.

В связи с тем, что регулярные и бирегулярные стержневые системы широко распространены в инженерной практике благодаря большим возможностям их поточного производства, создания больших объемов и пролетов, достижения эффективных архитектурно-конструктивных решений, разработка и совершенствование методов расчета таких конструкций является актуальным. Метод обобщенных неизвестных значительно упрощает расчет регулярных систем и базируется на основных идеях упрощения расчета сложных статически неопределимых стержневых систем:

1. Идея группировки неизвестных как метода приведения системы канонических уравнений к простейшему виду разработана Н. С. Стрелецким [1], получила применение и дальнейшее развитие в работах И. М. Рабиновича [2].

2. Идея расчленения сложного статически неопределимого сооружения [1] на более простые элементы и составления для них уравнений связи с небольшим числом неизвестных.

3. Упрощение канонических уравнений путем ортогонализации основных эпюр [2].

4. Использование свойств циклически симметричных (обладающих многими слоями симметрии) систем для упрощения их расчета. Эта идея получила наиболее полное развитие в работе А. И. Сегалю [3].

Метод обобщенных неизвестных значительно упрощает расчет регулярных систем, что показано на примере расчета бирегулярной одномерной системы в виде многопролетной балки.

Под *регулярными* понимаются такие системы, которые состоят из одинаковых (регулярность первого рода, рис. 1, а) или подобных (регулярность второго рода) элементов, и для которых выполняются условия периодического продолжения. Одинаковость или подобие элементов, из которых состоит конструкция (система), в совокупности с условиями ее периодического продолжения называются условиями регулярности системы [4].

Для выполнения условий периодического продолжения за расчетную схему принимается система с бесконечно большим числом пролетов или так называемая циклически симметричная система. Такая расчетная схема пред-

ложена А. А. Уманским [5] для расчета неразрезных балок с одинаковыми пролетами и колец. Система с конечным числом пролетов, вырезанная из бесконечной системы, будет удовлетворять условиям периодического продолжения. При этом жесткости элементов системы и значения сосредоточенных нагрузок, находящихся на линии разреза, делятся пополам. Опорные закрепления конечной системы должны позволять ей деформироваться по бесконечной схеме [6]. Под бирегулярными системами понимаются системы, имеющие два уровня регулярности.

Понятия об обобщенных силах и обобщенных координатах заложены в теоретической механике. С точки зрения строительной механики обобщенными перемещениями называют такую совокупность координат, выбранных взамен декартовых, которой полностью определяются перемещения всех точек упругого тела или упругой системы [7]. При этом возможны различные варианты совокупностей обобщенных перемещений (координат). Однако обобщенные перемещения должны быть выбраны так, чтобы они были независимы и при произвольном их приращении не нарушались связи, наложенные на рассматриваемую систему, то есть выполнялись граничные условия.

Число обобщенных перемещений для системы с геометрическими (голомными) связями равно числу степеней свободы этой системы.

Для упругой континуальной системы число степеней свободы в общем случае бесконечно велико. Однако использование метода конечных элементов, одним из вариантов которого можно считать метод перемещений, позволяет уменьшить расчетное число степеней свободы системы до числа степеней свободы стыковочных узлов между конечными элементами. Для дискретной системы число степеней свободы является конечным.

Так, например, упругую линию шарнирно закрепленной по концам балки длиной l можно представить в виде ряда:

$$y(x) = \sum_{k=0}^{\infty} Y_k \sin \frac{k\pi x}{l}. \quad (1)$$

Предложенные в [8] коэффициенты Y_k ряда, имеющие размерность (м), можно рассматривать как обобщенные координаты (перемещения) при групповых перемещениях $\sin \frac{k\pi x}{l}$, так как при любом изменении обобщенной координаты δY_k равенство нулю прогиба балки на ее концах (уравнений связи) не будет нарушено. Если эту балку рассчитывать по методу перемещений, разделив ее на конечное число стержневых элементов, то при подстановке в основную систему дополнительных связей (при замене континуальной расчетной схемы дискретной) упругая линия балки может быть представлена в виде конечного ряда:

$$y_i = \sum_{k=0}^n Y_k \sin \frac{k\pi i}{n}, \quad (2)$$

где i — номера равноотстоящих точек приложения нагрузки для принятой дискретной расчетной схемы; n — число участков (элементов) в основной системе, совпадающее в общем случае с числом точек приложения нагрузки.

Каждой выбранной системе обобщенных перемещений соответствует своя вполне определенная система обобщенных сил.

Решения поставленных задач строятся в обобщенных силах, получаемых заменой обычных сил в узловых точках дискретной регулярной системы групповыми силами и перемещениями в виде дискретных рядов:

$$P_i = \sum_{k=0}^n P_{ik} = \sum_{k=0}^n P_k \alpha_k(i), \quad (3)$$

где $\alpha_k(i)$ — фундаментальные дискретные функции (функции формы), а P_k — амплитудные значения этих функций, принимаемые за обобщенные силы соответственно.

Совокупность фундаментальных дискретных функции $\alpha_k(i)$ должна быть такой, чтобы в виде рядов можно было выразить интересующие нас функции $P(i)$ [9]. Для этого необходимо, прежде всего, чтобы системы функций $\alpha_k(i)$ были полными.

Согласно общей теории интерполирования [10] существует единственный интерполяционный многочлен, составленный из дискретных тригонометрических функций $\sin \frac{k\pi i}{n}$, $\cos \frac{k\pi i}{n}$ или форм собственных колебаний (собственных векторов, решений, функций), значения которых в узлах интерполирования точно совпадают со значениями заданных дискретных величин. Дискретные тригонометрические функции $\sin \frac{k\pi i}{n}$, $\cos \frac{k\pi i}{n}$ ортогональны на интервале значений i от 0 до n .

Рассмотрим одномерную бирегулярную систему в виде многопролетной балки на жестких опорах, нагруженной эквидистантно расположенными точечными массами $m_i = m$ и шарнирно опертой по концам (рис. 1, а). Шаг регулярности для масс — d , шаг регулярности для опор — $l = vd$.

Возникающие при гармонических колебаниях такой балки инерционные силы и реакции показаны на рис. 1, б.

Любая форма свободных колебаний принятой основной системы (эквивалентной заданной) может быть представлена с учетом граничных условий в следующем виде [11]:

$$Y_{i,s} = A_{i,s} \sin(\Omega_s t + \varphi), \quad (4)$$

где $A_{i,s}$ — амплитудные значения i -й массы m_i ; Ω_s — частота свободных колебаний балки.

Перемещениям (4) соответствуют инерционные силы [12]:

$$F_{i,s} = m_i \Omega_s^2 A_{i,s} \sin(\Omega_s t + \varphi). \quad (5)$$

Выполним расчет в форме метода сил. Основную систему получим, заменяя промежуточные опоры реакциями, возникающими в них.

Представим любую форму свободных колебаний основной системы с учетом граничных условий в следующем виде [13]:

$$Y_{i,s(\max)} = A_{i,s} = \sum_{k=1}^{n-1} A_k \sin \frac{k\pi i}{n}, \quad (6)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots, n-1$.

Здесь A_k принимается в дальнейшем за обобщенное перемещение [14].

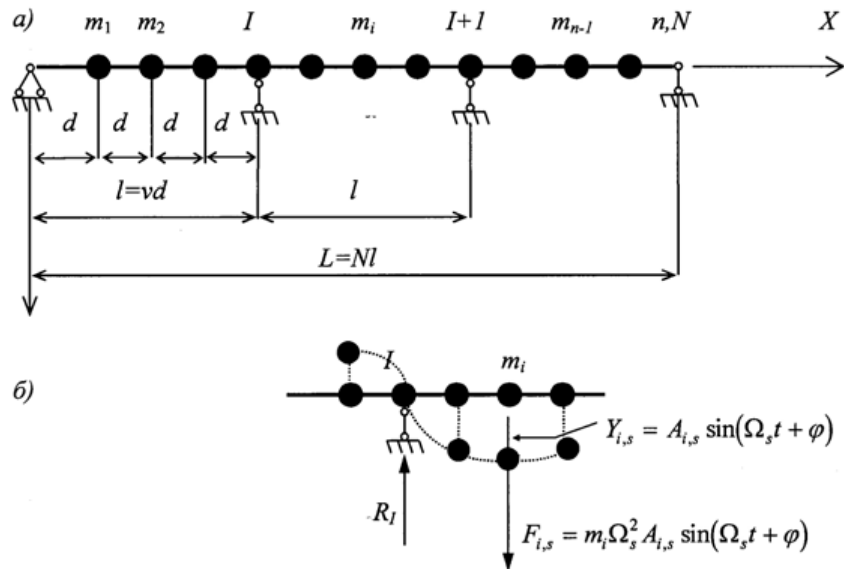


Рис. 1

Перемещения (6) соответствуют максимальные инерционные силы:

$$F_{i,s(0)}^{(0)} = \sum_{k=1}^{n-1} F_k \sin \frac{k\pi i}{n}, \quad (7)$$

где F_k — обобщенные силы.

Из (3—6) следует зависимость между обобщенными силами и обобщенными перемещениями:

$$A_k = \frac{F_k}{m\Omega_s^2}. \quad (8)$$

Так как рассматриваемая система подчиняется условиям периодического продолжения искомым функций перемещений [10] ($y_{-1} = -y_1$; $y_{-2} = -y_2$; ... $y_{n-2} = -y_{n+2}$; $y_{n-1} = -y_{n+1}$), то для решения поставленной задачи можно использовать метод обобщенных неизвестных.

За обобщенные неизвестные примем коэффициенты F_k в разложении (7) и R_K в разложении для реакций промежуточных опор:

$$R_l = \sum_{K=1}^{N-1} R_K \sin \frac{K\pi l}{N}, \quad (K = 1, 2, \dots, N-1), \quad (9)$$

где R_K — обобщенные реакции.

По физическому смыслу эти неизвестные являются амплитудными значениями групповых неизвестных [15, 9]: $F_k \sin \frac{k\pi i}{n}$ и $R_K \sin \frac{K\pi I}{N}$.

Применяя теорию метода обобщенных неизвестных и опуская достаточно громоздкие алгебраические преобразования, на основании [12] окончательно получаем значения коэффициентов при неизвестных метода обобщенных сил:

$$\begin{aligned}\delta_{kk} &= \sum_{i=1}^{n-1} \left[1 \times \sin \left(\frac{k\pi i}{n} \right) \lambda_{k,y}^{(p)} \sin \left(\frac{k\pi i}{n} \right) \right] = \frac{n}{4} \lambda_{k,y}^{(p)}, \\ \delta_{Kk} &= \sum_{i'=1}^{n-1} \left[1 \times \sin \left(\frac{K\pi I}{N} \right) \times \lambda_{k,y}^{(p)} \sin \left(\frac{k\pi i'}{n} \right) \right] = \\ &= \sum_{i'=1}^{n-1} \sin \left(\frac{K\pi I}{N} \right) \times \lambda_{k,y}^{(p)} \sin \left(\frac{k\pi I v}{N v} \right) = (N/2) (\lambda_{k,y}^{(p)}) \\ \delta_{K,k} &= \delta_{k,K}, \\ \delta_{KK} &= \sum_{I=1}^{N-1} \left[1 \times \sin \left(\frac{K\pi I}{N} \right) \sin \left(\frac{K\pi I}{N} \right) \lambda_{K,y}^{(p)} \right] = \frac{N}{2} \lambda_{K,y}^{(p)}, \\ \Delta_k &= \sum_{i=1}^{n-1} \left[1 \times \sin \left(\frac{k\pi i}{n} \right) A_k \sin \left(\frac{k\pi i}{n} \right) \right] = \frac{n}{2} A_k, \\ \Delta_K &= \sum_{I=1}^{N-1} \left[1 \times \sin \left(\frac{K\pi I}{N} \right) A_K \sin \left(\frac{K\pi I}{N} \right) \right] = \frac{N}{2} A_K.\end{aligned}\quad (10)$$

Здесь $\lambda_{k,y}^{(p)}$, $\lambda_{K,y}^{(p)}$ — обобщенные податливости:

$$\lambda_{k,y}^{(p)} = \frac{d^3}{48EI} \times \frac{2 + \cos \frac{k\pi}{n}}{\sin^4 \frac{k\pi}{2n}}, \quad \lambda_{K,y}^{(p)} = \frac{l^3}{48EI} \times \frac{2 + \cos \frac{K\pi}{N}}{\sin^4 \frac{K\pi}{2N}}, \quad (11)$$

где d — шаг регулярности для масс; $l = vd$ — шаг регулярности для опор.

С учетом (10) система уравнений метода обобщенных сил распадается на две группы уравнений и будет иметь следующий вид [16]:

$$F_k \delta_{kk} + R_K \delta_{kK} = \frac{n}{2} A_k = \frac{n}{2} \frac{F_k}{m\Omega_s^2}, \quad \sum F_k \delta_{Kk} + R_K \delta_{KK} = \frac{N}{2} A_K, \quad (12)$$

где $k = \beta N - t$; ($t = 1, 2, 3, \dots, N-1$; $\beta = 1, 2, \dots, v$), $K = N - t$, если β — нечетное, $K = t$, если β — четное.

В предельном случае, когда $t = 0$, имеем на основании (12):

$$K = N, k = \beta N, \delta_{Kk} = \delta_{kK} = 0.$$

Следовательно, последнее уравнение первой группы системы уравнений (12) принимает в данном случае следующий вид:

$$F_k \delta_{kk} = \Delta_k. \quad (13)$$

Отсюда, с учетом (10) получаем выражение:

$$F_k \frac{n}{2} \left[\lambda_{k,y}^{(P)} - \frac{1}{m\Omega_s^2} \right] = 0, \quad (14)$$

из которого находятся непосредственно $(v - 1)$ частоты колебаний:

$$\Omega_s^2 = \Omega_k^2 = \frac{1}{m\lambda_{k,y}^{(P)}} = \frac{48EI}{md^3} \left(\frac{\sin^4 \frac{k\pi}{2n}}{2 + \cos \frac{k\pi}{n}} \right), \quad (15)$$

где $k = \beta N$; $\beta = 1, 2, \dots, v - 1$.

Полученное выражение для Ω_s совпадает с выражением для частот свободных колебаний Ω_k балки, шарнирно опертой по концам, и соответствует тем формам колебаний, нулевые точки которых совпадают с местами расположения промежуточных опор.

Результаты расчетов собственных частот колебаний многопролетной неразрезной балки на жестких опорах, полученные по методу конечного элемента, который для данной задачи является точным, и по методу обобщенных сил, полностью совпадают.

Таким образом, на основании вышеизложенного мы уходим от решения систем уравнений и приводим определение частот свободных колебаний многопролетной системы к решению отдельных независимых уравнений.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Решения поставленной задачи строятся в обобщенных силах, получаемых заменой обычных сил в узловых точках дискретной регулярной системы групповыми силами в виде дискретных рядов, что дает возможность перехода от системы уравнений к решению отдельных независимых уравнений для определения частот собственных колебаний.

2. Предложенная методика дает точные результаты расчета частот собственных колебаний в форме метода обобщенных сил для одномерной бирегулярной системы в виде многопролетной балки на жестких опорах, нагруженной эквидистантно расположенными точечными массами и шарнирно опертой по концам.

3. Полученные результаты полностью совпадают с результатами, полученными по МКЭ.

4. Данная методика дает возможность упрощения расчетов частот собственных колебаний регулярных и бирегулярных систем в виде пластин и оболочек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрелецкий Н. С. К расчету сложных статически неопределимых систем. М. : высш. техн. комитет НКПС, 1931. 364 с.
2. Рабинович И. М. Методы расчета рам. 3-е изд. М. ; Л. : Госстройиздат, 1934—1937. Ч. 1, 2, 3.

3. *Сегаль А. И.* Некоторые итоги решения циклических задач. М. : Госстройиздат, 1955. Вып. 3. С. 161—185.
4. *Динкевич С. З.* Расчет циклических конструкций. Спектральный метод. М. : Стройиздат, 1977. 128 с.
5. *Уманский А. А.* О расчете конструкций с большим числом одинаковых пролетов // Исследования по теории сооружений. М. : Стройиздат, 1939. Вып. 3.
6. *Гордеев В. Н., Динкевич С. З.* Об особенностях расчета механических систем, обладающих свойствами симметрии // Численные методы решения задач строительной механики. Киев, 1978. С. 126—149.
7. *Рабинович И. М.* Обобщения метода сил // Рамы и фермы пространственные и плоские. М. : Госстройиздат, 1933.
8. *Жданов А. П.* Тригонометрические полиномы по теории интерполирования и их применение к расчету регулярных статически неопределимых систем строительных конструкций // Московский автомобильно-дорожный институт. М. : МАДИ, 1972. Вып. 36. С. 92—110.
9. *Золотов О. Н., Милейковский И. Е.* Использование свойств ортогональности тригонометрических функций дискретного аргумента при расчете пространственных систем // Механика твердого тела. 1995. № 2. С. 148—154.
10. *Гончаров В. Л.* Теория интерполирования и приближения функций. М. : Государственное технико-теоретическое издательство, 1934. 316 с.
11. *Александров А. В., Лащенников Б. Я., Шапошников Н. Н.* Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ. М. : Стройиздат, 1976. Ч. 1, 2.
12. *Игнатьев В. А.* Расчет регулярных статически неопределимых стержневых систем. Саратов : Сарат. ун-т, 1979. 327 с.
13. *Игнатьев В. А., Коновалов О. В.* Свободные колебания бигекулярных систем с граничными условиями, соответствующими условиям периодического продолжения: Депонированная рукопись. Волгоград : ВолгИСИ, 1994. 13 с.
14. *Коновалов О. В.* Расчет свободных колебаний бигекулярных стержневых систем // Проблемы теории пластин, оболочек и стержневых систем / Межвузовский научный сборник. Саратов : СГУ, 1995. С. 82—91.
15. *Игнатьев В. А., Коновалов О. В.* К расчету циклических систем // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Строительство и архитектура. 1999. Вып. 1. С. 6—11.
16. *Коновалов О. В.* Расчет свободных колебаний многопролетной балки с точечными массами в узлах в форме метода обобщенных неизвестных // Актуальные вопросы науки и техники : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2015. Вып. 2. С. 124—127.

© Коновалов О. В., Арзамаскова Л. М., Евдокимов Е. Е., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Коновалов О. В., Арзамаскова Л. М., Евдокимов Е. Е. Особенности метода обобщенных неизвестных в расчетах свободных колебаний одномерных бигекулярных систем // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 61—68.

Об авторах:

Коновалов Олег Владимирович — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и математического моделирования, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, miit.vgasu@mail.ru

Арзамаскова Лариса Михайловна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, stroymech@vgasu.ru

Евдокимов Евгений Евгеньевич — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, stroymech@vgasu.ru

Oleg V. Kononov, Larisa M. Arzamaskova, Evgenii E. Evdokimov

Volgograd State Technical University

**FEATURES OF THE METHOD OF GENERALIZED UNKNOWNNS
IN THE CALCULATIONS OF FREE VIBRATIONS OF ONE-DIMENSIONAL SYSTEMS
BIREGULAR**

A one-dimensional biregular system in the form of a multi-span beam on rigid supports loaded with equidistant point masses is considered. The method of calculation of frequencies of free vibrations of a design on the basis of a method of the generalized unknown in the form of a method of forces is offered. The results of the work and the method of calculation can be used in the calculations of regular and biregular systems in the form of plates and shells.

Key words: biregular system, generalized forces, generalized unknowns, inertial forces, inertial displacements, free oscillations.

For citation:

Kononov O. V., Arzamaskova L. M., Evdokimov E. E. [Features of the method of generalized unknowns in the calculations of free vibrations of one-dimensional systems biregular]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 61—68.

About authors:

Oleg V. Kononov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, miit.vgasu@mail.ru

Larisa M. Arzamaskova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, stroytech@vgasu.ru

Evgenii E. Evdokimov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, stroytech@vgasu.ru

УДК 625.855.3

Д. И. Гофман, А. И. Лескин, С. В. Алексиков, Кейта Мохамед Ламин Фатумата

Волгоградский государственный технический университет

ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ИЗВЕСТЬСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДАХ

Рассматриваются вопросы теории эмульгируемости нефтяных дорожных битумов на твердых эмульгаторах, обосновываются преимущества активированных битумных паст, приводятся результаты измерений электрической проводимости суспензии твердого эмульгатора и пасты, полученных на одинаковом объеме воды. Даны теоретические предпосылки физико-химического взаимодействия известьсодержащих отходов с битумом в качестве активизатора в процессе обработки пастой минеральных материалов. Подобраны и изучены эмульсионно-минеральные смеси оптимального состава.

К л ю ч е в ы е с л о в а: битум, эмульсия, паста, эмульгатор, известьсодержащие отходы.

Битумная паста является разновидностью битумных эмульсий, в качестве эмульгатора которой применяется тонкодисперсный минеральный материал в виде водной суспензии с определенным содержанием воды. Составляющие пасты битум — твердый эмульгатор и вода — взаимодействуют друг с другом, причем порошкообразный минеральный материал (*эмульгатор*) выполняет функцию защитной оболочки на поверхности раздела фаз (*битум — вода*). Частицы твердого эмульгатора должны иметь мозаичное строение, то есть наибольшая часть поверхности частиц должна быть гидрофильной [1], но в то же время поверхность этой частицы должна иметь незначительные олеофильные участки. Такие участки, обладая избирательным смачиванием эмульгированной жидкостью (*битум*) в присутствии воды, способствуют эмульгированию.

Поверхностно-активные вещества, находящиеся в битуме, изменяют концентрацию водородных ионов (рН) водной среды. В результате уменьшается толщина диффузных оболочек на твердых частицах и их электрический заряд, что способствует приближению и прилипанию твердых частиц к поверхности капель битума [2].

Известно, что от концентрации водородных ионов (рН) водной среды прямо зависит электрическая проводимость этой среды. С целью выявления причины изменения (рН) водной среды при приготовлении пасты нами выполнено измерение электрической проводимости воды, суспензии твердого эмульгатора и пасты, полученных на одинаковом объеме воды. Для приготовления суспензии и пасты взят молотый известняк.

Результаты измерений электрической проводимости (1/Ом) приведены ниже:

для воды — 0,00125;

для суспензии — 0,00168;

для пасты — 0,00170.

Проведенный опыт показывает, что с введением в водную среду твердого эмульгатора (*известняк*) резко увеличивается электрическая проводимость, а добавление битума в суспензии практически ее не изменяет, следовательно, при приготовлении пасты концентрацию водородных ионов (рН) водной среды изменяет не битум, а минеральная часть (*твердый эмульгатор*).

Решающую роль в процессе эмульгирования битума играет двойной электрический слой, образующийся вокруг минеральных частиц эмульгатора, находящихся в водной среде¹. При приготовлении водной суспензии эмульгатора в процессе взаимодействия молекул воды с минеральными частицами одни ионы минерала начинают переходить в раствор в большем количестве, чем другие. Вследствие этого нарушается электрическое равновесие на поверхности минерала. Поверхность минеральной частицы получает заряд, противоположный по знаку более интенсивно переходящих в раствор ионов. Эти ионы частично концентрируются вблизи притягивающей их заряженной поверхности, а частично под действием теплового движения молекул воды образуют диффузный слой с постепенно убывающей концентрацией. Таким образом, вокруг минеральной частицы образуется двойной электрический слой из заряда самой поверхности и сконцентрированных вокруг нее перешедших в раствор ионов. Интенсивность электрических полей, возникающих в двойном электрическом слое, весьма велика. Такие поля должны сильно воздействовать на процессы, протекающие у поверхности раздела фаз, влияя на находящиеся здесь ионы и дипольные молекулы. Это подтверждается изменением поверхностного натяжения на поверхности раздела фаз. Существует зависимость между скачком потенциала двойного электрического слоя, величиной электрического заряда на поверхности раздела фаз и поверхностным натяжением, выражаемая уравнением [3]:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial f} = -e,$$

где σ — поверхностное натяжение, f — скачок потенциала; e — плотность заряда на поверхности раздела фаз.

На остроугольных гранях частиц эмульгатора переход ионов минерала в водный раствор происходит в большей степени, следовательно, заряд и интенсивность поля двойного электрического слоя на гранях значительно больше, чем на плоских поверхностях частиц.

Происходит выравнивание поверхностного натяжения на поверхности раздела фаз (*битум — вода*) около участков эмульгатора с более интенсивным полем двойного электрического слоя, что приводит к сближению частиц эмульгатора указанными участками с диспергированными каплями битума. Капельки битума, окруженные минеральными частицами эмульгатора, становятся защищенными от слипания между собой.

Эмульгирование битума легко происходит в том случае, если водная суспензия эмульгатора будет иметь тестообразную консистенцию с вполне определенным содержанием воды². Излишек или недостаток воды приводит к затруднению или невозможности эмульгирования битума. При избытке воды это явление, возможно, объясняется тем, что увеличение толщины водных оболочек вокруг частиц эмульгатора препятствует сближению диспергируемых ка-

¹ Bitumenemulsion: Strassenbau mit bitumenemulsion / Technische Kommission des Fachverbandes der Kaltasphaltindustrie e.V. Frankfurt am Main, 1983.

² Emulsion World Congress 23-26.09.1997. Bordeaux, France. URL: <http://www.spidernet.tm/CME97>.

пель битума с двойным электрическим слоем, расположенным у поверхности частиц эмульгатора. Интенсивность электрических полей двойного электрического слоя резко падает с увеличением расстояния от поверхности частиц эмульгатора и около отдаленной поверхности битума становится незначительной, мало влияющей на выравнивание поверхностного натяжения у поверхности раздела фаз (*битум — вода*). Сближения частиц эмульгатора с поверхностью битума не происходит. Причиной невозможности эмульгирования при недостатке воды в суспензии является чрезмерное утончение пленок воды вокруг частиц эмульгатора, разрыв сплошности водных прослоек между частицами эмульгатора, образование воздушных прослоек. Битум, растекаясь по поверхности слабообводненных частиц и проникая в воздушные прослойки, при перемешивании обволакивает влажные частицы эмульгатора, и эмульгирования не происходит. Такой процесс наблюдается при приготовлении влажной органоминеральной смеси, когда слипшиеся минеральные частицы, образуя макроагрегаты до 2...5 мм, обволакиваются пленкой битума, а эмульгированный битум отсутствует. Свободная поверхностная энергия на минеральных зернах способствует адсорбции вяжущего особенно мальтеновой его части в поры. Крупные зерна обладают меньшей адсорбционной способностью и остаются без пленки вяжущего, поэтому однородность распределения вяжущего неудовлетворительна и требует увеличения количества свободного битума для покрытия крупных зерен минерального материала [4].

Отличительной особенностью влажной органоминеральной смеси от эмульсионно-минеральной смеси является то, что в первой битум находится в пленочном состоянии, покрывая минеральные микроагрегаты, а во второй битум диспергирован, то есть сильно измельчен, и каждая частица вяжущего покрыта защитным слоем из еще более мелких минеральных частиц.

Материал, применяемый в качестве твердого эмульгатора, должен диспергироваться в водной среде в основном до размеров значительно меньших, чем размеры диспергированных частиц битума. Это обеспечит достаточно полную защиту диспергированных капель битума от слипания. Для эмульгирования битума потребуется тем меньше эмульгатора, чем больше степень его дисперсности и активности, то есть способность к образованию необходимой величины интенсивности электрического поля в двойном электрическом слое.

При получении битумных паст имеется возможность использовать в небольших количествах известьсодержащие отходы, выполняющие двойную функцию — активного эмульгатора в процессе получения пасты и активизатора в процессе обработки пастой минеральных материалов. Битумную пасту, имеющую в своем составе от 3 до 7 % известьсодержащих отходов, назовем активизированной пастой. Из экономических соображений недостающую часть эмульгатора при получении пасты могут составлять слабоионогенные местные материалы, такие как лесс, суглинок и порошкообразные отходы промышленности (доломитовая и колошниковая пыли, фильпмесные отходы, различные золы ТЭЦ, отходы цементных заводов и др.).

В качестве твердого эмульгатора авторами рассматривается применение известьсодержащего отхода — извести-пушонки $\text{Ca}(\text{OH})_2$, называемой карбидной известью (КИ-80) в соответствии с ТУ 301-06-16-90. Медианный размер минеральных частиц — 45 мкм [5]. При максимально допускаемой влажности

происходит незначительное слипание минеральных частиц, легко разрушаемое при погрузо-разгрузочных операциях с помощью сжатого воздуха или ковшевых погрузчиков. Карбидная известь по санитарно-эпидемиологическому заключению № 34.12. 03. 213. П. 002792. 06. 01 от 20 июня 2001 г. отнесена к умеренно опасным веществам 3 класса, для которых предъявляются определенные требования по технике безопасности и экологии.

Для приготовления эмульсионно-минеральных смесей применялись три вида битумных паст, составы которых приведены в табл. 1:

Т а б л и ц а 1

Составы приготовленных битумных паст

Наименование	Состав
Паста № 1	Битум БНД 60/90 — 45 %
	Известь-пушонка КИ-80 — 7 %
	Лесс — 7 %
	Вода — 41 %
Паста № 2	Битум БНД 60/90 — 45 %
	Известь-пушонка КИ-80 — 3 %
	Суглинок — 14 %
	Вода — 35 %
Паста № 3	Битум БНД 60/90 — 45 %
	Суглинок — 15 %
	Вода — 40 %

Активированные пасты № 1 и № 2, полученные в лабораторных условиях, имеют равномерную дисперсность битума со средним размером частиц 20 мк, а неактивированные пасты на суглинистом эмульгаторе — грубодисперсный состав со средним размером частиц 70 мк. Следует отметить, что известь-пушонка в пасте предохранена в значительной степени от влияния углекислого газа воздуха и может сохранять активность при хранении пасты.

При обработке щебеночно-песчаного материала активированной пастой потребное количество известьсодержащего отхода для активации зерен каменного материала может составлять не более 0,2 % от веса обрабатываемого мелкозернистого щебеночно-песчаного материала. Такое незначительное необходимое для активации количество извести-пушонки объясняется равномерным ее распределением в битумной пасте, а также незамедлительным воздействием поверхностно-активных веществ диспергированных капель битума со свежееобразованными кальциевыми соединениями на поверхности зерен минерального материала. Лабораторные исследования показали, что образцы, сформованные из смесей щебеночного материала с активированными пастами, при испытании на следующие сутки имеют достаточно высокую прочность и водостойчивость. Образцы смесей на неактивированных пастах (без извести-пушонки) имеют незначительную прочность и водостойчивость (см. рис. 1 и табл. 2).

Очевидно, что дорожные покрытия, построенные с применением неактивированных битумных паст, потребуют очень длительных сроков формирования и будут недостаточно водостойчивы.

Т а б л и ц а 2

Физико-механические свойства мелкозернистой щебеночно-песчаной смеси

№ образца	Условия испытаний	Объемный вес, г/см ³	Водонасыщение, % к объему	Прочность образцов, МПа			
				R_B	R_{20}	R_{50}	R_0
№ 1	Через 1 сутки	2,26	5,3	1,53	1,78	0,91	—
	Высушены и доуплотнены	2,29	3,3	4,6	4,0	2,04	8,3
№ 2	Через 1 сутки	2,30	5,3	1,53	1,61	0,66	4,4
	Высушены и доуплотнены	2,36	4,2	3,85	4,26	3,13	8,8
№ 3	Через 1 сутки	2,28	7,9	0,59	—	—	—
	Высушены и доуплотнены	2,36	4,7	3,21	4,88	1,78	6,76

П р и м е ч а н и е. В перерасчете на битум содержание пасты в смеси — 6 %

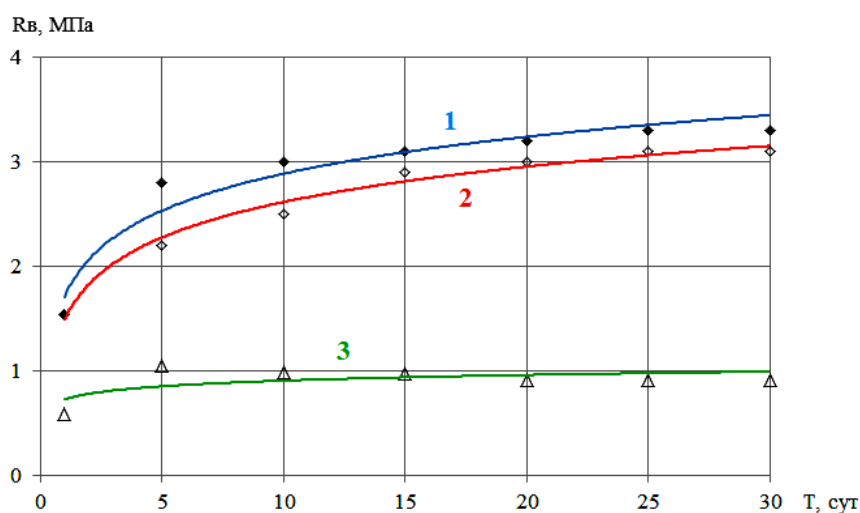


Рис. 1. Зависимость прочности (R_B) водонасыщенных образцов от времени выдержки (T , сутки) перед испытанием: 1, 2 и 3 — кривые зависимости соответственно паст № 1, 2, 3

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение активированных паст устраняет необходимость предварительной активизации поверхности обрабатываемого пастой минерального материала, кроме того, формирование эмульсионно-минеральных смесей не требует длительного времени.

2. Для достижения достаточно быстрого и равномерного распределения пасты в лабораторных условиях влажность обрабатываемого щебеночно-песчаного материала должна быть не менее 2...3 %.

3. При решении проблемы предохранения пасты от седиментации в процессе хранения и перевозки, а также поддержания равномерного состава при дозировке для смешения становится очевидным преимущество активированных паст перед эмульсиями на органических эмульгаторах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребиндер П. А. К теории эмульсий // Коллоидный журнал. 1946. № 3.
2. Никишина М. Ф., Эвентов И. М., Архипов А. П. Дорожные эмульсии. М. : Транспорт, 1964.
3. Классен В. И., Мокроусов В. А. Введение в теорию флотации. М. : Metallurgizdat, 1953.
4. Никишина М. Ф. Выбор нефтяных битумов для производства дорожных эмульсий // Пути улучшения свойств асфальтобетонных и других битумо-минеральных смесей. М., 1971. Вып. 44. С. 160—180.
5. Донченко Б. Г. Совершенствование систем аспирации карбидных производств с использованием вихревых пылеуловителей: Автореф. дис. канд. техн. наук. Волгоград, 2002. 21 с.

© Гофман Д. И., Лескин А. И., Алексиков С. В., Кейта Мохамед Ламин Фатумата, 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Эмульсионно-минеральные смеси на известьесодержащих отходах / Д. И. Гофман, А. И. Лескин, С. В. Алексиков, Кейта Мохамед Ламин Фатумата // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 69—75.

Об авторах:

Гофман Дмитрий Иванович — старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, dima.0103@mail.ru

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, leskien@inbox.ru

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Кейта Мохамед Ламин Фатумата — магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Dmitrii I. Gofman, Andrei I. Leskin, Sergei V. Aleksikov, Kate Mohamed Lamine Fatumata

Volgograd State Technical University

EMULSION-MINERAL MIXTURE ON LIME-CONTAINING WASTE

The paper deals with the theory of emulsification of oil road bitumen on solid emulsifiers, substantiates the advantages of activated bitumen pastes, and presents the results of measurements of electrical conductivity of the suspension of solid emulsifier and paste obtained on the same volume of water. The theoretical background of physical and chemical interaction of lime-containing waste with bitumen as an activator in the process of processing with a paste of mineral materials is given. Selected and studied emulsion-mineral mixtures of optimal composition.

Key words: bitumen, emulsion, paste, emulsifier, lime-containing waste.

For citation:

Gofman D. I., Leskin A. I., Aleksikov S. V., Kate Mohamed Lamine Fatumata [Emulsion-mineral mixture on lime-containing waste]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 69—75.

About authors:

Dmitrii I. Gofman — 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

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, 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

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, 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

Kate Mohamed Lamine Fatumata — Master's Degree student of Construction and Operation of Transport Works 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 ООО «Инвестиции и строительство»

^б Волгоградский государственный технический университет

ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАЦИЙ ЛЕГКОГО БЕТОНА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

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

К л ю ч е в ы е с л о в а: температура, влажность, деформации, легкий бетон, быстросхватывающиеся деформации, ползучесть.

При сопоставлении экспериментальных и теоретических данных замечено [2, 4, 5, 6], что реологические уравнения нелинейной теории ползучести зачастую не совсем точно 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, 3].

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 деформации меняются в соответствии с изменением условий внешней среды при различных уровнях загрузки, поэтому полученные реологические уравнения ползучести в большинстве случаев не могут быть использованы при расчете конструкций, работающих в нестандартных средах.

Исследования деформаций ползучести легкого бетона в условиях различных температур и влажностей внешней среды проводились на керамзитобетоне для оценки возможности использования его в условиях повышенной влажности и температуры внешней среды. При проведении экспериментов ставились задачи аналогичные исследованиям тяжелых бетонов. Экспериментальные исследования проводились в камерах с режимами среды на бетонах в возрасте двух суток. Деформативные свойства бетонов изучались в условиях действия постоянного повышения уровня загрузки и переменного при различных температурах и влажностях среды. При постоянном уровне загрузки, равном $0,6 R_b$, определялись оптимальные соотношения температур и влажностей среды, оказывающих влияние на развитие нелинейных деформаций в материале, с целью уменьшения их при высоких уровнях загрузки. Регулируя влагосодержание материала в соответствии с экспериментальными данными, можно уменьшать потери предварительного натяжения арматуры в напрягаемых элементах, работающих при повышенных температурах. За выборочные функции принимались — температура (t), влажность среды (ϕ) и комбинация этих факторов. Обработка экспериментальных исследований проводилась методами математической статистики.

При температуре среды $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ тесная линейная связь наблюдается между удельными деформациями ползучести и выборочными функциями: $1/t$, ϕ , ϕ/t . Уровень значимости данных функций приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Коэффициенты корреляции выборочных функций легкого бетона
при температуре 30...70 °C*

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции, r	Степень свободы	Параметр, t	Уровень значимости, α
φ	0,501	4	1,16	0,17
$\frac{1}{t}$	0,778	4	2,46	0,07
$\frac{\varphi}{t}$	0,981	4	9,81	0,001

Уровень значимости α (в математической статистике) — вероятность ошибочного отклонения (отвержения) гипотезы, в то время как она на самом деле верна. Речь идет об отклонении нулевой гипотезы.

Параметр t — t -статистика (t -критерий Стьюдента) используется для проверки значимости каждого фактора регрессионной модели. Выдвигается гипотеза о равенстве коэффициента нулю. Значение t -статистики сравнивается с критическим, имеющим распределение Стьюдента со $(n-k-1)$ степенями свободы.

На основании полученных результатов выведено уравнение регрессии функции нелинейности напряжений легкого бетона:

$$F[\sigma] = \left[1,78 - 0,028\varphi + 3,5\frac{\varphi}{t} - 126,23\frac{1}{t} \right] \sigma, \quad (1)$$

анализ которого показывает, что ползучесть легкого бетона увеличивается с увеличением влажности внешней среды (при $\varphi > 12\%$). Из уравнения (1) получено соотношение критических температур и влажностей среды, соответствующих развитию нелинейных деформаций ползучести в бетоне при заданном уровне нагружения:

$$\varphi = \frac{0,78 - 126,23\frac{1}{t}}{0,028 - 3,5\frac{1}{t}}. \quad (2)$$

При изменении температуры от 70 до 100 °C и влажности от 40 до 100 % меняются закономерности развития удельных деформаций бетона. Выборочные функции приведены в табл. 2.

Уравнение регрессии получено в виде:

$$F[\sigma] = [0,00448 \cdot t\varphi + 0,318t - 0,169\varphi - 3,63] \sigma$$

$$F[\sigma] = \left[0,162 \cdot t + 0,00231\varphi - 0,00433t\varphi \left(\frac{\sigma}{R} \right)^2 - 18,5 \right] \sigma. \quad (3)$$

Т а б л и ц а 2

*Коэффициенты корреляции выборочных функций нелинейности напряжений
легкого бетона при температуре от 70 до 100 °С*

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции, r	Степень свободы	Параметр, t	Уровень значимости, α
t	0,576	4	1,382	0,17
φ	0,625	4	1,6	0,15
$t \cdot \varphi$	0,834	4	3,03	0,03

Анализ уравнения (3) показывает, что при температуре среды более 37,5 °С функция нелинейности напряжений увеличивается с увеличением влажности среды. Соотношение критических температур и влажностей среды в исследуемом диапазоне температур и влажностей имеет вид:

$$t = \frac{37,516 + 0,169\varphi}{0,318 + 0,0045\varphi}; t = \frac{19,5 - 0,00231\varphi}{0,162 + 0,0043\varphi \left(\frac{\sigma}{R} \right)^2}. \quad (4)$$

При исследовании совместного влияния температурно-влажностных режимов среды и уровня загрузки на деформации ползучести изучались вопросы изменения деформативных свойств материала при постоянных температурах и переменных влажностях среды. При температуре 30 °С выборочные функции $\frac{\sigma}{R}$, $\frac{\sigma}{R}\varphi$ принимались в соответствии с уровнем значимости, приведенным в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

*Коэффициенты корреляции выборочных функций удельных деформаций
легкого бетона при различных уровнях загрузки*

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции, r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости α
φ	0,456	14	1,96	0,1
$\frac{\sigma}{R}$	0,917	14	8,5	0,0001
$\frac{\sigma}{R}\varphi$	0,688	14	3,57	0,002

Уравнение регрессии изменения деформаций легкого бетона в зависимости от уровня загрузки:

$$C = 0,18 \frac{\sigma}{R} (348,11 + \varphi) - 24,768. \quad (5)$$

На основании анализа уравнения (5) получено соотношение критических температур, влажностей и уровня загрузки:

$$\frac{\sigma}{R} = \frac{5,11}{19,415 - 0,03\varphi}. \quad (6)$$

Данное уравнение можно аппроксимировать линейной зависимостью:

$$\frac{\sigma}{R} = 0,45 - 0,0012\varphi. \quad (7)$$

Следовательно, при температуре 30 °С закон развития нелинейных деформаций ползучести легкого бетона подобен развитию нелинейных деформаций в тяжелом бетоне.

При температуре среды 70 °С удельные деформации ползучести легкого бетона мало зависят от температуры и влажности внешней среды, выборочные функции t и φ имеют высокий уровень значимости. Коэффициент корреляции выборочной функции равен 1. Тогда удельные деформации ползучести выражаются зависимостью:

$$C = 15,16 \frac{\sigma}{R} - 5,9. \quad (8)$$

Критический уровень загрузки, вызывающий развитие нелинейных деформаций в бетоне равен $0,38R_b$.

Уровень значимости выборочных функций легкого бетона при температуре 120 °С приведен в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты корреляции выборочных функций легкого бетона

Выборочные функции	Коэффициенты корреляции, r	Степень свободы	Параметр t	Уровень значимости, α
φ	0,456	13	1,84	0,008
$\frac{\sigma}{R}$	0,45	13	1,84	0,008
$\frac{\sigma}{R} \varphi$	0,745	13	4,0	0,001

Уравнение регрессии изменения удельных деформаций ползучести легкого бетона влажности внешней среды от 40 до 70 % имеет вид:

$$C = C_0 \left(13,35 \frac{\sigma}{R} - 4,5 \right), \quad (9)$$

где C_0 — удельные деформации ползучести легкого бетона при температуре среды 120 °С и влажности 40 %.

Анализ уравнения (9) показывает, что при уровне загрузки, равном $0,327 R_b$, и изменении влажности среды от 40 до 70 % развитие удельных деформаций ползучести легкого бетона не зависит от влажности среды. При влажности внешней среды более 70 % удельные деформации ползучести увеличиваются при повышении уровня загрузки и увеличении влажности, уравнение регрессии изменения удельных деформаций при этом будет иметь вид:

$$C = C_0 \left(52,6 + 2,04 \frac{\sigma}{R} \varphi - 0,816\varphi - 129,16 \frac{\sigma}{R} \right). \quad (10)$$

Из уравнения (10) видно, что при влажности среды более 63 % ползучесть легкого бетона увеличивается:

$$\frac{\sigma}{R}(2,04\varphi - 129,16) = 0; \varphi = 63 \% \quad (11)$$

При $\frac{\sigma}{R} > 0,4$ удельные деформации бетона возрастают, с увеличением влажности среды, при $\frac{\sigma}{R} \leq 0,4$ уменьшаются:

$$\varphi \left(2,04 \frac{\sigma}{R} - 0,816 \right) = 0. \quad (12)$$

Таким образом, быстронатекающие деформации ползучести легкого бетона при изменении температуры от 30 до 120 °С аналогичны быстронатекающим деформациям тяжелых бетонов [7].

Выводы:

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александровский С. В., Коган Е. А. Экспериментально теоретическое исследование предельного термонапряженного состояния бетонных элементов при действии перепада температур // Ползучесть строительных материалов и конструкций. М. : Стройиздат, 1974. С. 196—205.
2. Bayliss P. Further interlayer deformation studies of CSH(1) // Cement and concrete research. 1973. Vol. 3. P. 185.
3. Александровский С. В., Попкова О. М. Нелинейные деформации бетона при сложных режимах загрузки // Бетон и железобетон. 1971. № 1. С. 10—15.
4. Милованов А. Ф., Карасев И. М. Усадка и ползучесть бетона при циклическом нагреве // Ползучесть строительных материалов и конструкций. М. : Стройиздат, 1974. С. 10—14.
5. Тупов Н. И. Особенности развития усадки и температурных деформаций тяжелого бетона при 60—200 °С // Длительные деформативные процессы в бетонных и железобетонных конструкциях : материалы науч.-техн. конференции молодых науч. сотрудников. М. : Стройиздат, 1970. С. 160—168.
6. 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.
7. Ермаков О. В., Карпова О. И. Экспериментальные исследования многофакторности влияния на деформацию ползучести тяжелого бетона // Вестник ВолгГАСУ. 2017. № 48(67). С. 73—81.

© Ермаков О. В., Карпова О. И., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Ермаков О. В., Карпова О. И. Зависимость деформаций легкого бетона от температуры и влажности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 76—81.

Об авторах:

Ермаков Олег Владимирович — канд. техн. наук, главный инженер проекта, ООО «Инвестиции и строительство». Российская Федерация, 119415, г. Москва, пр-т Вернадского, 41/1; EOV@oooinc.ru

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

Oleg V. Ermakov^a, Ol'ga I. Karpova^b

^a“Investment and construction” Ltd

^b Volgograd State Technical University

THE DEPENDENCE OF DEFORMATIONS OF LIGHT CONCRETE FROM TEMPERATURE AND HUMIDITY

In article the analysis of the results of comparison of experimental and theoretical materials of creep deformation of lightweight concrete with increasing temperature, humidity and different levels of loading.

Key words: temperature, humidity, strain, light concrete, fast-flowing deformation, creep.

For citation:

Ermakov O. V., Karpova O. I. [The dependence of deformations of light concrete from temperature and humidity]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 76—81.

About authors:

Oleg V. Ermakov — Candidate of Engineering Sciences, Chief Project Engineer, “Investment and construction” Ltd. 41/1, Vernadskogo Ave., Moscow, 119415, Russian Federation. EOV@oooinc.ru

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

УДК 628.258+625.712

Н. В. Азизова, С. Г. Артемова, С. В. Алексиков

Волгоградский государственный технический университет

СОСТОЯНИЕ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ Г. ВОЛГОГРАДА

Исследовано состояние ливневой канализации на улично-дорожной сети в г. Волгограде. Установлены основные дефекты системы водоотведения и намечены мероприятия по их устранению.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, ливневая канализация, водоотведение, коллекторы, дождеприемные колодцы, дренаж.

Эксплуатационное состояние улично-дорожной сети, безопасность дорожного движения, экологическая ситуация в городских агломерациях в значительной степени зависит от надежной работы системы ливневого стока, которая включает: тротуары и проезжую часть с продольными и поперечными уклонами, бордюрные лотки, дренажные трубопроводы, смотровые колодцы, коллекторы ливневой канализации и канализации грязной воды, водопропускные трубы, дренажные слои (рис. 1).

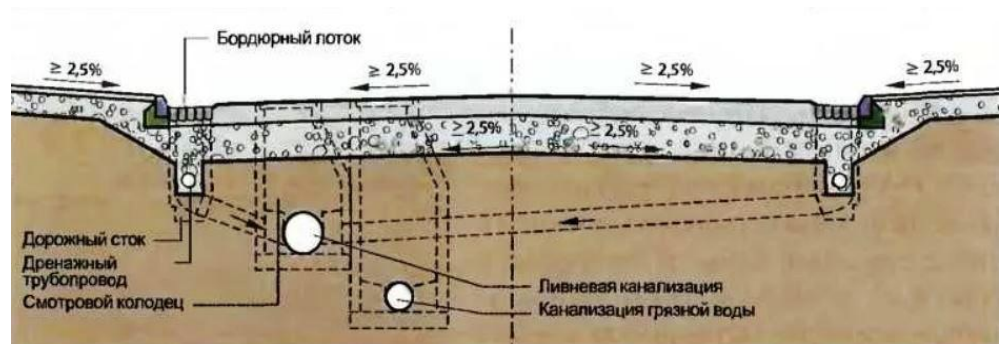


Рис. 1. Система дорожного ливневого стока

Общая протяженность сетей системы ливневой канализации г. Волгограда составляет 823,1 пог. км. Обеспеченность магистральной улично-дорожной сети водосточной сетью составляет 30...35 %. Имеющийся фонд дождевой канализации — коллекторы общей протяженностью около 140 км с учетом бесхозяйных водосточных коллекторов. В 2017—2018 гг. выполнено обследование ливневой канализации с целью оценки ее эксплуатационного состояния и разработки мероприятий по капитальному ремонту и реконструкции (ОДМ 218.2.055—2015 «Рекомендации по расчету дренажных систем дорожных конструкций»). Установлено, что до 70 % системы находится в неудовлетворительном состоянии. Это обусловлено тем, что при ремонте и реконструкции улично-дорожной сети основное внимание уделяется дорожному покрытию. Восстановление смотровых и дождеприемных колодцев зачастую не выполняется или ограничивается косметическим ремонтом. След-

ствие этого дорожное покрытие проезжей части у смотровых люков и ливневых решеток разрушено, водоотводные сооружения имеют заниженные отметки (рис. 2). При укладке новых слоев асфальтобетона на существующее неровное покрытие исправление поперечных и продольных уклонов проезжей части не производится. В результате на новом покрытии формируются локальные бессточные просадки или участки дорог без уклонов.



Рис. 2. Дорожное покрытие у ливневых решеток

Наибольшая протяженность действующих сетей имеется в Дзержинском районе (рис. 4), наименьшая — в Красноармейском районе (рис. 3). Общее количество смотровых колодцев составляет более 16 тыс. шт. (рис. 5). До 3 % существующих сетей не действуют или действуют частично. Протяженность недействующих сетей составляет 23 км и располагается в Дзержинском, Краснооктябрьском и Центральном районах (рис. 6). Одним из признаков недействующих участков ливневой системы является «замурованность» смотровых колодцев и решеток асфальтобетоном или их «замусоренность». Количество заваленных мусором и замурованных колодцев составляет более 3 тыс. шт. или 18 % (рис. 7—8). Это указывает на неудовлетворительную работу коммунальных служб по содержанию и ремонту ливневой канализации (в соответствии с СП 31.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения»).

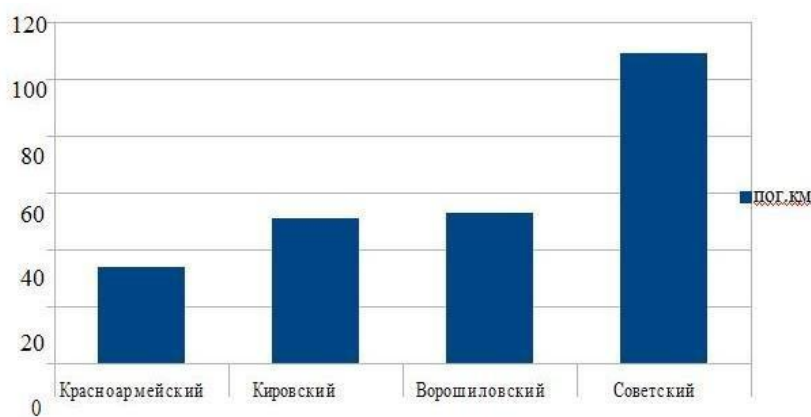


Рис. 3. Общая протяженность действующих сетей, пог. км, по Красноармейскому, Кировскому, Ворошиловскому, Советскому районам

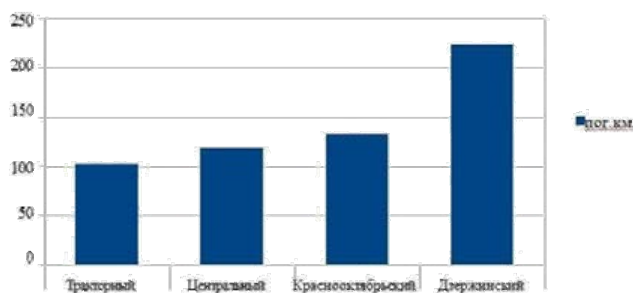


Рис. 4. Общая протяженность действующих сетей, пог. км, по Тракторному, Центральному, Краснооктябрьскому, Дзержинскому районам

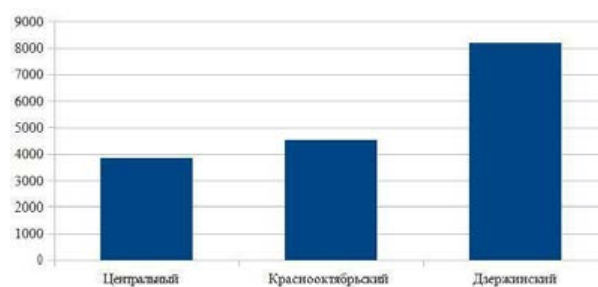


Рис. 5. Общее количество колодцев

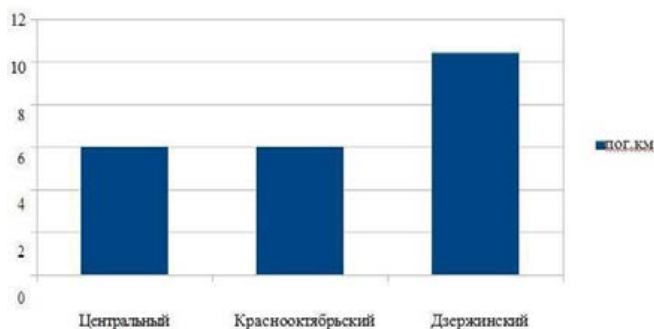


Рис.6. Общая протяженность недействующей ливневой канализации, пог. км

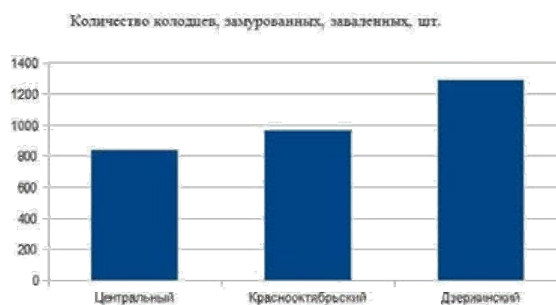


Рис. 7. Количество смотровых колодцев, замурованных асфальтобетоном или заваленных мусором, шт.



Рис. 8. «Замусоренный» смотровой колодец

При обследовании выявлены объекты и участки сетей ливневой канализации с «заиленностью» грунта. «Заиленность» трубопроводов, колодцев и дождеприемников уменьшает пропускную способность и нарушает бесперебойную работу канализации. Сброс загрязненных сточных вод производится без очистки напрямую в овраги. Это грубое нарушение санитарно-гигиенических норм негативно сказывается на экологическом состоянии города.

Большинство дворовых территорий (рис. 9) не имеют систему водоотведения, поэтому в период осадков наблюдается застой воды. Промывка и очистка дождеприемников на дорогах и пешеходных зонах производится крайне редко, что приводит к подтоплению территории в холодный период года (рис. 10).



Рис. 9. Состояние дворовых территорий в осенне-зимний период



Рис. 10. Состояние пешеходной зоны в зимний период

Существенную проблему для безопасности дорожного движения создают открытые люки дождеприемных колодцев (рис. 11) по причине их воровства (ГОСТ 3634-99 «Люки смотровых колодцев и дождеприемники ливневосточных колодцев. Технические условия»). Представляется целесообразным произвести замену металлических люков на пластиковые или полимеркомпозитные аналоги.



Рис. 11. Открытые люки дождеприемных колодцев

За последнее время эксплуатация ливневой канализации г. Волгограда показала ее низкую водоотводящую способность. В период летних ливней 2018 г. улично-дорожная сеть была затоплена ливневыми стоками (рис. 12). Низкая пропускная способность ливневой канализации в районе стадиона «Волгоград Арена» привела к разрушению стыковых соединений труб и размыву склоновых откосов (рис. 13). В результате движение по Нулевой магистрали было остановлено.



Рис. 12. Движение автотранспорта по затопленному участку УДС



Рис. 13. Размывы склонового откоса у стадиона «Волгоград Арена»

Выполненные исследования состояния городской ливневой канализации и анализ опыта ее эксплуатации [1, 2, 3, 4] позволяют сделать следующий *вывод*. Около 90 % сетей водоотведения города эксплуатируется более 25 лет без капитального ремонта и надлежащего содержания. Это привело к износу системы водоотведения до 70 %, ее низкой надежности. В период летних ливней низкая пропускная способность коллекторов и дождеприемных устройств приводит к подтоплению проезжей части улично-дорожной сети, делает невозможным проезд автомобильного транспорта. Назрела необходимость в капитальном ремонте системы водоотведения с заменой устаревших и изношенных железобетонных и металлических элементов на современные аналоги. Промывка, удаление засоров, очистка от грязи и многое другое является необходимым элементом функционирования наружной системы ливневки на дорогах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Е. П., Дыбов А. М., Сутырин Н. М. Техника и технологии отраслей городского хозяйства : учеб. пособие. СПб. : СПбГИЭУ, 2005. С. 198—201.
2. Канализация : учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. М. : Стройиздат, 1975. 632 с.
3. Молоков М. В. Дождевая канализация площадок промышленных предприятий. М. : Стройиздат. 1964. 181 с.
4. Кичева Т. Д. Дождевые сточные воды с городских территорий. URL: <http://www.dissercat.com/content/>

© Азизова Н. В., Артемова С. Г., Алексиков С. В., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Азизова Н. В., Артемова С. Г., Алексиков С. В. Состояние ливневой канализации г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 82—88.

Об авторах:

Азизова Наталья Витальевна — магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, nataviza@mail.ru

Артемова Светлана Георгиевна — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, snartemov@mail.ru

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Natal'ya V. Azizova, Svetlana G. Artemova, Sergei V. Aleksikov

Volgograd State Technical University

CONDITION OF THE DRAINAGE WASTE OF VOLGOGRAD

Investigated the state of storm sewers on the road network in the city of Volgograd. The main defects of the drainage system were identified and measures were taken to eliminate them.

Key words: street-road network, storm sewers, drainage, collectors, rainwater wells, drainage.

For citation:

Azizova N. V., Artemova S. G., Aleksikov S. V. [Condition of the drainage waste of Volgograd]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 82—88.

About authors:

Natal'ya V. Azizova — Masters' Degree student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, nataviza@mail.ru

Svetlana G. Artemova — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, snartemov@mail.ru

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, 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 625.72

С. В. Алексиков, М. В. Парфенов, А. И. Болдин, А. И. Лескин, Д. И. Гофман

Волгоградский государственный технический университет

РАСЧЕТ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ОТ НАГРУЗОК ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА

В работе приведена методика расчета пластических деформаций нежестких дорожных покрытий в летний период от осевых нагрузок грузового транспорта на дорогах Юга России.

Ключевые слова: грузовой транспорт, осевая нагрузка, дорожное покрытие, пластические деформации.

Неудовлетворительное состояние региональной дорожной сети РФ (50...70 %) в значительной мере обусловлено чрезмерным ростом осевой нагрузки от крупнотоннажного автотранспорта, высоким износом и недостаточной толщиной дорожных одежд [1—3]. Несмотря на законодательные ограничения, до 30 % грузоперевозчиков нарушают установленные нормы [1, 7—11]. Средний перевес составляет 78 %, что усиливает разрушающий эффект на дороги в 5,06 раза. На проезжей части региональных дорог формируется «колейность» до 15...18 см, сетка трещин по полосе наката. Размер ущерба, наносимый дорожной сети РФ, составляет более 2,5 трлн. рублей в год [1, 3].

Учитывая сложившееся положение с грузовыми перевозками, на дорогах РФ формируется сеть пунктов автоматического весогабаритного контроля транспорта [3, 4]. Обоснование весовых ограничений на осевые нагрузки возможно на основе прогноза остаточных деформаций проезжей части дорог от проезда грузовых автомобилей в летний период года. При этом важно учитывать интенсивность, состав движения автотранспорта и фактический износ проезжей части.

Интенсивность и состав движения грузового транспорта принято определять суммарным числом приложений расчетных нагрузок ($N_c(t)$ за расчетный период (t) по формуле¹:

$$N_c(t) = 0,33N_1K_c(t)T_p, \quad (1)$$

где N_1 — суточная интенсивность движения автомобилей, приведенных к расчетной нагрузке, в первый год службы дорожной одежды, авт./сут; $K_c(t)$ — коэффициент суммирования; T_p — количество дней в году, соответствующее расчетному состоянию дорожной одежды (для Нижнего Поволжья $T_p = 145$ суток).

Интенсивность движения грузовых автомобилей, приведенная к расчетной нагрузке 100 кН на ось (50 кН на колесо), вычисляется с учетом коэффициентов приведения по формуле [5, 6]:

¹ОДМ 218.6.002—2010. Методические рекомендации по определению допустимых нагрузок автотранспортных средств в весенний период на основании результатов диагностики автомобильных дорог общего пользования федерального значения. Минтранс России, Росавтодор, М., 2011. 216 с.

$$N_1 = \sum_{i=1}^M N_i S_i, \quad (2)$$

где N_i — количество автомобилей в сутки по типам (согласно ОДН 218.046-01), авт./сут; S_i — коэффициенты приведения автомобилей различного типа к расчетной нагрузке.

Коэффициент суммирования можно рассчитать по формуле:

$$K_c(t) = 0,72q^{5,36}t^{1,16}, \quad (3)$$

где t — срок службы дорожной одежды, годы; q — показатель изменения интенсивности движения по годам;

Согласно исследованиям² остаточные деформации проезжей части ($H(t)$) формируются на основе деформаций грунта земляного полотна ($h_3(t)$), основания ($h_0(t)$) и асфальтобетонного покрытия ($h_a(t)$):

$$H(t) = h_3(t) + h_0(t) + h_a(t). \quad (4)$$

Расчет остаточных (пластических) деформаций в грунтовом основании по годам t производится по формуле:

$$h_3(t) = \frac{0,0162N_c(t)^{0,275}}{\varphi^{0,809} \left(\frac{E_d}{E_{гр}} \right)^{0,21} \cdot \left(\frac{h}{D} \right)^{0,65}}, \quad (5)$$

где φ — угол внутреннего трения в грунте земляного полотна при его расчетной влажности (согласно ОДН 218.046-01); E_d — средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа; $E_{гр}$ — модуль упругости грунта, МПа;

Средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды следует рассчитывать с учетом коэффициента износа конструктивных слоев ($K_i^n = 0,50 \dots 1,0$):

$$E_d = \frac{\sum_{i=1}^N E_i K_i^n}{N}, \quad (6)$$

где E_i — модуль упругости i -го слоя, МПа; N — число конструктивных слоев.

Приведенные формулы (5, 6) позволяют прогнозировать остаточные (пластические) деформации в грунтовом основании под дорожной одеждой от тяжелых осевых нагрузок по полосе наката в процессе эксплуатации дороги.

Расчет остаточной деформации основания $h_0(t)$ складывается из деформаций грунта $h_3(t)$, песчаного подстилающего слоя $h_n(t)$ и слоев основания

$$\sum_{j=1}^J h_j^0(t):$$

² Методические рекомендации по расчету и прогнозированию колееобразования на нежестких дорожных одеждах / Росавтодор Министерства транспорта РФ. М., 2001. 38 с.

$$h_o(t) = h_n(t) + \sum_{j=1}^J h_j^o(t) + h_3(t), \quad (8)$$

где J — число слоев основания; $h_j^o(t)$ — остаточная деформация j -ого слоя основания; $h_n(t)$ — остаточная деформация песчаного подстилающего слоя.

Расчет деформации песчаного подстилающего слоя ($h_n(t)$) выполняется с учетом пластической деформации грунтового основания по формуле:

$$h_n(t) = \frac{0,3477 h_3(t) H_n^{0,707}}{\left(\frac{E_n}{E_{гр}} \right)^{2,503}}, \quad (9)$$

где H_n — толщина песчаного слоя; $E_n, E_{гр}$ — модули упругости песка и грунта соответственно.

Расчет остаточной деформации j -ого слоя основания $h_j^o(t)$ выполняется по формуле:

$$h_j^o(t) = \frac{0,0154 h_3(t) H_{oj}^{1,563}}{\left(\frac{E_{oj}}{E_{гр}} \right)^{0,764}}, \quad (10)$$

где H_{oj} — толщина j -го слоя основания; $E_{oj}, E_{гр}$ — модули упругости j -го слоя основания (с учетом износа) и грунта, соответственно.

Исследования³ показывают, что пластические деформации асфальтобетонного покрытия в летний период года наиболее интенсивно развиваются в верхней сдвигоопасной зоне 5...6 см. Расчет «колейности» производится исходя из суммарного числа приложений расчетной нагрузки $N_c(t)$. Расчет ведется с учетом количества сдвигоопасных дней в году (приведенных к температуре воздуха +50 °С) $T_{рег}$. Согласно исследованиям $T_{рег}$ зависит от среднегодовой положительной температуры воздуха $t_{срг}$ (рис. 1):

$$t_{срг} = \frac{\sum_{m=1}^M t_{срм}}{M}, \quad (11)$$

где M — количество месяцев в году с устойчивой положительной температурой; $t_{срм}$ — средняя положительная температура m -го месяца (по данным метеостанции или климатического справочника).

В отдельные дни июля — августа температура воздуха Волгоградской области повышается до +35...+40 °С. Температура асфальтобетонного покрытия возрастает до 57...65 °С (рис. 2) при одновременном снижении модуля упругости плотных асфальтобетонов с 3000 МПа до 514 МПа и пористых асфальтобетонов с 1900 МПа до 370 МПа (рис. 3).

³ Методические рекомендации по расчету и прогнозированию колееобразования на жестких дорожных одеждах / Росавтодор Министерства транспорта РФ. М., 2001. 38 с.

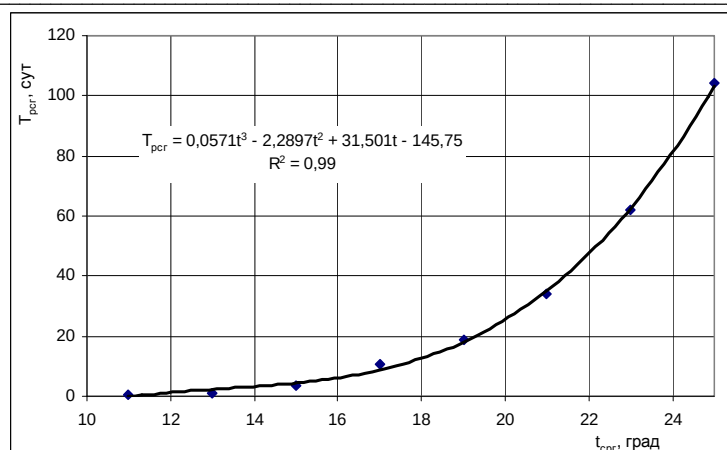


Рис. 1. Зависимость количества сдвигопасных дней в году от среднегодовой положительной температуры воздуха

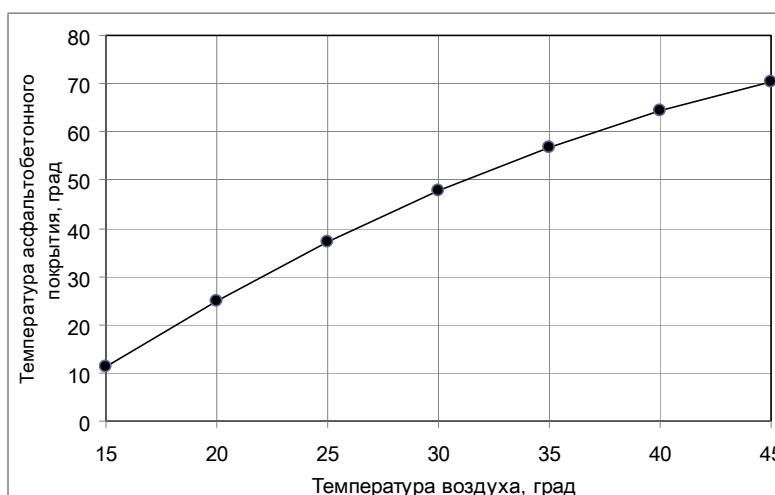


Рис. 2. Зависимость температуры асфальтобетонного покрытия от температуры воздуха в летний период

Движение тяжеловесных транспортных средств по чрезмерно нагретому дорожному покрытию происходит в условиях упруго-вязко-пластичной стадии работы дорожной конструкции. Как показали наблюдения, введение ограничения движения грузового транспорта при температуре воздуха более +32 °С не решает проблему «колеиности» на проезжей части⁴. Следует пересмотреть температурные ограничения движения тяжеловесного транспорта для региона. Согласно ОДН 218.046-01 расчет прочности дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости выполняется для расчетной температуры покрытия +50 °С (V дорожно-климатическая зона) и +40 °С (IV дорожно-климатическая зона). Указанный нагрев дорожного покрытия происходит при

⁴ Весенние ограничения на дорогах России 2017. URL: <http://dorinfo.ru>

температуре воздуха более $+32^{\circ}\text{C}$ и $+26^{\circ}\text{C}$ соответственно (рис. 2). Следовательно, для территории Волгоградской области в качестве температурного летнего ограничения на дорогах следует принимать температуру воздуха севернее г. Волгограда $+26^{\circ}\text{C}$, для южной территории региона — $+32^{\circ}\text{C}$. Движение тяжеловесных автомобилей в период с 30 июня по 30 июля следует разрешать только в ночное время с 21:00 до 6:00.

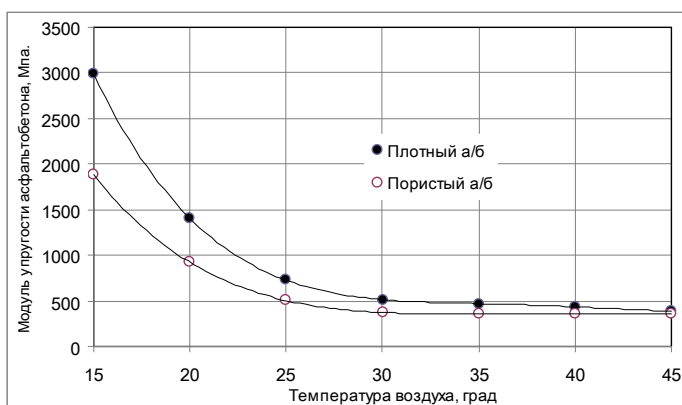


Рис. 3. Зависимость модуля упругости асфальтобетона в покрытии от температуры воздуха в летний период

Обоснование допустимых осевых нагрузок следует выполнять с учетом несущей способности дорожных одежд. Обследование региональной дорожной сети позволило определить характерную конструкцию дорожной одежды: покрытие — асфальтобетон плотный на битуме БНД 60/90 (тип Б, марка II) толщиной 5 см; верхний слой основания — асфальтобетон пористый горячий на битуме БНД 60/90 (крупнозернистый, марка III) толщиной 7 см; несущий слой основания — щебень фракционированный 40...70 мм с заклинкой известняковой мелкой смесью толщиной 18 см; подстилающий слой — песок мелкий с 5%-м содержанием пылеглинистой фракции; грунт земляного полотна — суглинок легкий.

Выполнен прогноз формирования «колеяности» на проезжей части дорог IV категории в зависимости от износа дорожной конструкции (рис. 4) и суммарной приведенной транспортной нагрузки (рис. 5) в течение межремонтного срока — 15 лет.

Расчеты показали, что за период трех-четырех лет эксплуатации дороги на ее проезжей части формируется предельно допустимая по условиям безопасности «колеяность» высотой 30 мм⁵.

При износе дорожной конструкции до 50 % пластические деформации развиваются в 2 раза интенсивней (рис. 4). Влияние состава грузового движения на формирование «колеяности» менее значимо (рис. 5). При этом «колеяность» на дорожном покрытии развивается более интенсивно в первые 5—6 лет эксплуатации дороги.

⁵ ОДН 218.0.006—2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог / Росавтодор Министерства транспорта РФ. М. : Информавтодор, 2002. 138 с.

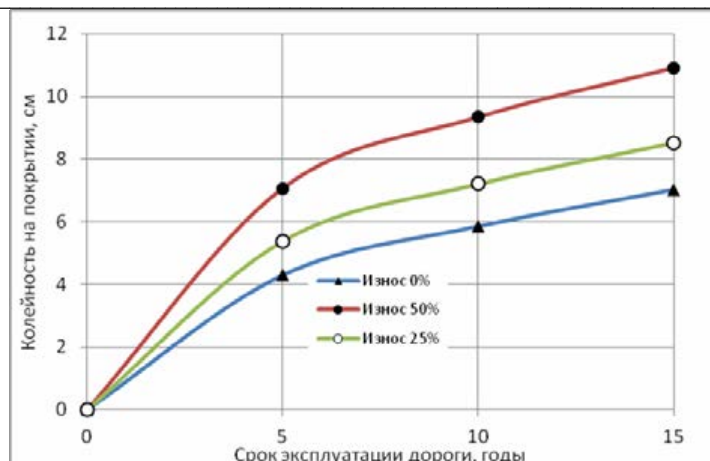


Рис. 4. Зависимость глубины колеи на асфальтобетонном покрытии в зависимости от среднего износа дорожной одежды

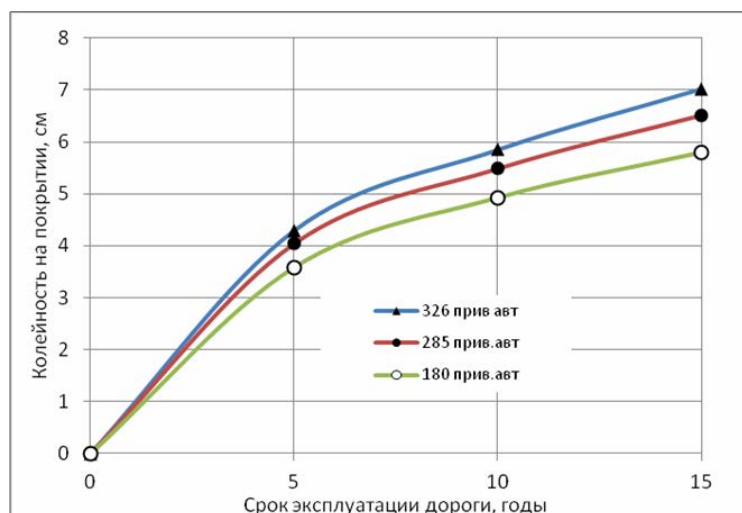


Рис. 5. Зависимость глубины колеи на асфальтобетонном покрытии от суммарной приведенной нагрузки

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что существующие конструкции дорожных одежд региональных дорог не в состоянии обеспечить развитие «колейности» проезжей части в пределах нормативных значений. Для сохранения поперечной ровности покрытия в течение межремонтного срока необходимо восстановление прочности конструкций методом их «ресайклирования».

Формирование «колейности» проезжей части в зависимости от суммарного числа приложений приведенной расчетной нагрузки и коэффициента износа конструктивных слоев дорожной одежды можно описать зависимостью:

$$H(t) = \frac{0,0279 N_c(t)^{0,441}}{K_{и}^{0,309}}. \quad (12)$$

Коэффициент множественной корреляции — 0,96, стандартная ошибка — 0,13.

Зависимость (12) позволяет обосновать ограничение движения автотранспорта по осевым нагрузкам с учетом износа дорожной конструкции для сохранения поперечной ровности проезжей части региональных дорог в пределах нормативных значений.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Ограничение движения крупнотоннажного автотранспорта в летний период следует вводить при повышении температуры воздуха до +24 °С в северной части и до +32 °С в южной части территории Волгоградской области.

2. Существующие конструкции дорожных одежд региональных дорог не в состоянии обеспечить поперечную ровность («колейность») проезжей части в пределах нормативных значений. Для сохранения нормативной ровности покрытия в течение межремонтного срока необходимо восстановление прочности конструкций методом их «ресайклирования».

3. Обоснование допустимых осевых нагрузок следует выполнять с учетом приведенной интенсивности движения грузового транспорта и износа дорожных конструкций (12).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Апестин В. К.* Оценка и расчет ущерба от проезда тяжеловесных транспортных средств // Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 3. С. 10—12.
2. *Апестин В. К.* Укрупненные зависимости для определения величины ущерба при проезде тяжеловесного автотранспортного средства по дорогам общего пользования // Дорожная Держава. 2012. № 43. С. 70—71.
3. *Апестин В. К.* Методы обеспечения сохранности автомобильных дорог в условиях движения тяжеловесных автотранспортных средств : Учебное пособие. М., 2011. 102 с.
4. *Апестин В. К.* Обеспечение сохранности дорожных конструкций в условиях движения тяжеловесных автотранспортных средств // Дорожная Держава. 2009. № 23. С. 42—45.
5. *Апестин В. К., Дудаков А. И.* Прогноз расчетных параметров (нагрузка, габарит) применительно к учету воздействия автомобилей большой грузоподъемности на дорожные одежды / Труды Гипродорнии, М., 1976. Вып. 17. С. 83—90.
6. *Апестин В. К.* Расчет допустимых осевых нагрузок // Наука и техника в дорожной отрасли. 2009. № 1. С. 27—29.
7. *Dawn P. Guegan, Peter T. Martin, Wayne D. Cottrell.* Prioritizing Traffic Calming Projects Using the Analytic Hierarchy Process. Murray, Utah 2000. 26 p.
8. *Debacker M., Harshman R.* Concrete measures help manage traffic // Concrete Products. 2001. Т. 104. № 10. Pp. 32.
9. *Ewing R.* Legal status of traffic calming // Transportation Quarterly. 2003. Т. 57. № 2. Pp. 11.
10. *Grammenos F., Tasker-Brown J.* Residential Street Pattern Design for Healthy Liveable Communities. URL: <http://www.greenroofs.ca/nua/ip/ip02.htm>
11. *Knapp K.* Traffic-Calming Basics. Civil Engineering. 2000. Т. 70. № 1. Pp. 46.

© Алексиков С. В., Парфенов М. В., Болдин А. И., Лескин А. И., Гофман Д. И., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Расчет пластических деформаций дорожного покрытия от нагрузок грузового транспорта / С. В. Алексиков, М. В. Парфенов, А. И. Болдин, А. И. Лескин, Д. И. Гофман // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 89—96.

Об авторах:

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Парфенов Максим Вадимович — магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Болдин Александр Игоревич — аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, skip-1313@mail.ru

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). 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 (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, dima.0103@mail.ru

Sergei V. Aleksikov, Maksim V. Parfenov, Aleksandr I. Boldin, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman

Volgograd State Technical University

CALCULATION OF PLASTIC DEFORMATIONS OF ROAD COVERAGE FROM LOAD TRANSPORT LOADS

The paper presents a technique for calculating the plastic deformations of nonrigid road surfaces during the summer period from the axle loads of trucks on the roads of the South of Russia.

Key words: freight transport, axle load, road surface, plastic deformation.

For citation:

Aleksikov S. V., Parfenov M. V., Boldin A. I., Leskin A. I., Gofman D. I. [Calculation of plastic deformations of road coverage from load transport loads]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 89—96.

About authors:

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, 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

Maksim V. Parfenov — Masters' Degree student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

Aleksandr I. Boldin — Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, skip-1313@mail.ru

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, 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

Dmitrii I. Gofman — 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

УДК 656.11

С. Г. Артемова, К. В. Сомова, А. С. Муковнин

Волгоградский государственный технический университет

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕВЕРСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ Г. ВОЛГОГРАДА

В статье обосновывается возможность внедрения реверсивного движения на отдельных участках улично-дорожной сети г. Волгограда и описываются перспективы и преимущества устройства подобной трансформации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: интенсивность, транспортный поток, реверсивное регулирование, безопасность дорожного движения, технические средства организации дорожного движения.

Мегалополисы XXI века задыхаются от пробок на дорогах. Причины этого явления заключаются в значительном росте количества транспорта у населения. При этом проезжие части дорог в исторических центрах современных городов расширить физически не представляется возможным.

Увеличение интенсивности движения на улично-дорожной сети быстро исчерпало потенциальные транспортные возможности многих крупных городов мира. Недостаточная изученность закономерностей распределения автомобильных потоков в городах не позволила найти быстродействующие меры повышения пропускной способности городских дорог и улиц. В результате произошло снижение скорости и безопасности дорожного движения, увеличение транспортных расходов и потерь времени пассажирами, снижение производительности работы автомобильного парка. Возникла потребность в реконструкции существующих улиц и дорог со строительством сложных развязок и различных транспортных сооружений.

Учитывая растянутый вдоль р. Волги характер планировки Волгограда, необходимо отметить, что наибольшее число поездок по нему совершается в часы пик по продольным магистралям сети. Быстрому проезду препятствует большое количество регулируемых перекрестков на продольных направлениях города. Перекрестки работают на пределе запаса пропускной способности в течение дня и исчерпывают ее полностью в час пик. В этот период на регулируемых перекрестках города создаются заторы, по основным направлениям достигающие порой 500 м (вплоть до предыдущего перекрестка) [2].

Средняя скорость движения транспорта за последние пять лет снизилась на многих участках улично-дорожной сети почти на 40 % и составляет: в мегаполисах — 15...30 км/ч, в крупных городах — 20...40 км/ч, а в часы пик падает до 5...10 км/ч. В связи с повышением уровня автомобилизации и увеличением подвижности населения на фоне недостаточных темпов развития улично-дорожной сети остро стоит проблема применения различных методов управления, учитывающих постоянно меняющиеся условия.

По состоянию на сегодняшний день в транспортную сеть г. Волгограда внедрены технические средства организации дорожного движения, применяемые для управления реверсивным регулированием, но фактически они не используются на практике и не применяются для повышения пропускной

способности и регулирования движения. Соответственно, отсутствуют данные, позволяющие провести анализ и выявить эффективность работы подобного мероприятия.

Ширины проезжей части дорог и количества полос на ней просто не хватает для нормального функционирования городского транспортного хозяйства. Среднее время, которое проводят автовладельцы в уличных заторах, составляет около 4-х часов в день.

Работу улично-дорожной сети следует оценивать на основе таких характеристик, как:

- уровень загрузки магистралей и основных узлов;
- скорость движения транспортных потоков;
- уровень безопасности движения транспорта и пешеходов;
- доля транзитного движения;
- плотность магистральной сети с учетом дифференциации по зонам города;
- плотность и интенсивность транспортных и пешеходных потоков¹.

В фактических условиях дорожного движения в городах пропускная способность УДС полностью определяется пропускной способностью пересечений — суммой максимального количества транспорта (в приведенных единицах в час), который может пройти через сечения проезжих частей на подходах к осям пересечений. Фактическую пропускную способность узлов рекомендуется определять по имеющемуся распределению потоков на регулируемых и нерегулируемых пересечениях и принятым на время обследования условиям организации движения циклов светофорного регулирования. Пропускную способность нерегулируемых пересечений, а также кольцевых саморегулирующихся узлов рекомендуется принимать по данным табл. 1 (в соответствии с ГОСТ Р 50597-93 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения»).

Т а б л и ц а 1

Пропускная способность нерегулируемых пересечений

Соотношение пересекающихся потоков	Пропускная способность пересекающихся полос при однополосных проезжих частях, ед/ч		
	Главная улица	Второстепенная улица	Всего
1:5	850	170	1020
1:4,5	830	180	1010
1:4	800	200	1000
1:3	740	240	980
1:2	630	320	950
1:1,5	560	370	930
1:1	450	450	900

¹ Методические рекомендации по проектированию автомобильных дорог на подходах к крупным городам. Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). Разработан: ООО «НПФ РУСАВТОДОР» и Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва 2010. 46 с.

На основе определения уровней загрузки узлов должны быть сделаны выводы о запасе или исчерпании пропускной способности отдельных пересечений или магистральных направлений. При этом особое внимание следует обратить на пересечения, пропускная способность которых определяется большими пешеходными потоками, поскольку такие узлы требуют специфических проектных решений.

Создание и применение автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД), адаптированных к различным дорожно-транспортным условиям, позволяет улучшить общую транспортную ситуацию на улично-дорожной сети в городе: снизить количество дорожно-транспортных происшествий на 10...20 %; уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу на 20...30 %; сократить время проезда по координируемым направлениям на 15...20 %; сэкономить топливо на 10...20 %.

Современные АСУДД способны осуществлять различные стратегии управления: координированное и сетевое управление транспортными потоками, дозированный выпуск автомобилей на автомагистраль для поддержания оптимального уровня загрузки движением, предоставление приоритетного проезда отдельным видам транспорта, перераспределение автомобилей по улично-дорожной сети с рекомендацией оптимальных маршрутов движения [3].

Управление дорожным движением с помощью АСУДД позволяет более эффективно осуществить согласованность работы светофорных объектов в режиме «зеленая волна» по заранее рассчитанным программам координации, соответствующим условиям движения транспортных потоков. Таким образом, автоматизированные системы управления дорожным движением обеспечивают эффективное гибкое координированное управление с учетом реальной транспортной ситуации [3].

Одним из методов борьбы с постоянно формирующимися заторами является применение реверсивного движения. Смысл такой организации состоит в следующем: на проезжей части выделяется одна или несколько полос, которым придается особый статус.

Согласно исследованиям, при грамотном введении реверсивного движения в час пик время проезда сложного участка сокращается на 30 %, а общая скорость потока увеличивается на 10 км/час.

Зона с реверсивным регулированием движения — это участок дороги, на котором направление транспортного потока осуществляется по одной или более полосе движения, в определенные периоды времени направлено в противоположном направлении в зависимости от того, в каком направлении преобладает транспортный поток (в соответствии с ГОСТ Р 5228—2004 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств»).

Необходимость применения реверсивного движения возникает только при регулярно появляющихся «маятниковых потоках» с ярко выраженной неравномерностью интенсивности по направлениям. Эти потоки формируются в часы пик на подходах к крупным городам (пятница — воскресенье), на магистральных улицах и дорогах (утро, вечер), улицах и дорогах местного движения, связывающих пассажиров с крупными объектами массового притяжения (стадионами, театрами и т. д.).

Также необходимо отметить, что уровень автомобилизации, по данным УГИБДД ГУВД Волгоградской области, в 2015 году составил порядка 257,8 транспортного средства на 1 тыс. жителей, из них легковых в собственности граждан — 410 304 штуки. Учитывая рост уровня автомобилизации и то, что численность населения Волгоградской области за период с 2010 по 2015 гг. уменьшилась на 53 243 жителя, прирост легковых автомобилей составляет в среднем 8,1 % в год.

Среди рассматриваемых участков в качестве разрабатываемых была выбрана ул. им. Рокоссовского в пределах от ул. Кубанской до ул. Качинцев. Протяженность выбранного участка составляет 2,49 км. Территориальное расположение и стратегическое значение данной дороги для транспортной инфраструктуры г. Волгограда являлось одним из факторов, способствующих выбору для внедрения реверсивного регулирования.

Данная магистраль является важнейшим связующим звеном, соединяя между собой Центральный, Дзержинский и Краснооктябрьский районы с последующим выходом на Краснослободское направление. Кроме того, магистраль имеет важнейшую экономическую и транспортную функции.

Выборанный для проектирования участок в виде ул. им. Рокоссовского пересекается со следующими улицами:

- 1) ул. Кубанская;
- 2) ул. Невская (просп. Маршала Жукова);
- 3) ул. Двинская;
- 4) ул. Ткачева;
- 5) ул. Хиросимы;
- 6) ул. Качинцев.

Учитывая данные аварийности как по району, так и по выбранному для исследования участку, следует отметить, что наблюдается высокий процент аварий, связанных с несоблюдением очередности проезда и с участием пешеходов.

Несмотря на наличие светофорного регулирования, левоповоротный проезд и разворот являются частыми причинами ДТП, включая наезды на пешеходов.

Реверсивное регулирование призвано снизить риск возникновения подобных дорожно-транспортных происшествий и, следовательно, повысить уровень безопасности участников дорожного движения. Вместе с тем важна не только общая опасность магистрали, но и возможность на основе анализа существующего положения более обоснованно наметить задачи проектных решений (в соответствии с ГОСТ Р 52282—2004 «Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры. Общие технические требования»).

Натурные исследования являются единственным способом получения достоверной информации о состоянии дорог и позволяют дать точную характеристику существующих транспортных потоков. Интенсивность движения является одним из основных параметров, характеризующих дорожное движение.

Рассматривались определенные параметры, позволяющие наиболее точно удостовериться в правильности выбора участка проектирования и необходимости внедрения реверсивного регулирования. Расчетные данные формировались по основным перечисленным выше пересечениям.

При условии, что одним из признаков необходимости применения реверсивного движения является превышение интенсивности транспортного потока какого-либо направления по сравнению со встречным более чем на 500 ед/ч, первоочередным этапом было проведение анализа существующей интенсивности. Причем указанная неравномерность систематически изменяется в течение суток или по дням недели, а интенсивность в часы пик составляет более 500 ед/ч на каждую полосу проезжей части в более загруженном направлении. Во всех случаях обязательным условием является наличие трех и более полос на проезжей части, используемых для движения транспортных средств в обоих направлениях (ОДМ 218.2.020—2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог»).

Сбор расчетных данных производился в зимнее и летнее время, часы пик с 7:30 до 09:00 и с 16:30 до 18:00 соответственно, а также в период с 12:00 до 13:00. Замеры интенсивности движения транспорта проводились как на перегонах, так и на пересечениях. На рисунке приведены данные существующей интенсивности на одном из ключевых перекрестков во время вечернего часа пик.

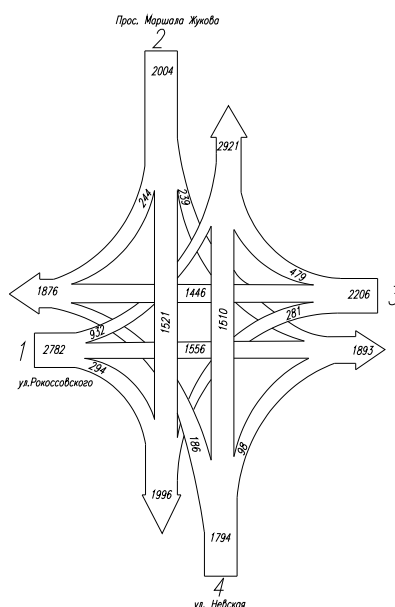
Показатели анализа интенсивности не являются единственным требованием к внедрению реверсивного регулирования. Следовательно, устройство реверсивного движения целесообразно в следующих основных случаях:

1) при снижении средней скорости движения по автомобильной дороге как минимум на 25 % по сравнению с нормальной обычной скоростью или при существенном скоплении транспорта на регулируемых перекрестках, при котором автомобили пропускают один или более интервалов зеленого сигнала светофора;

2) когда согласно данным наблюдений транспортные заторы являются периодическими и предсказуемыми;

3) когда разница в объеме транспортных потоков, двигающихся в противоположных направлениях, достигает как минимум 2:1, а желательно 3:1 [1].

Также следует сформировать основные параметры и характеристики выбранного участка, включая необходимую информацию о пересекаемых улицах. Для подтверждения необходимости использования реверсивного регулирования нужно получить количественные и качественные показатели. В связи с этим необходимо провести исследования транспортного потока, интенсивности движения, выявить закономерности формирования потоков насыщения, изучить существующую организацию дорожного движения на исследуемом участке.



Пересечение ул. Рокоссовского и ул. Невская- пр. Маршала Жукова

В табл. 2, 3, 4, 5 представлены основные данные, выявленные при анализе исследуемого участка.

Т а б л и ц а 2

Видимость направлений

Пересечение	Прямое направление + примыкание	Обратное направление + примыкание
	ул. им. Рокоссовского	
ул. Кубанская	150 м	> 300 м
ул. Невская (пр. Маршала Жукова)	<150 м	> 300 м
ул. Двинская	250 м	250 м
ул. Ткачева	200 м	230 м
ул. Хиросимы	190 м	215 м
ул. Качинцев	260 м	170 м

На момент проведения натурных исследований состояние покрытия проезжей части — хорошее, местами — удовлетворительное. По прогнозам на момент внедрения данного проекта будет необходим текущий ремонт верхних слоев покрытия, а также обновление отдельных элементов технических средств организации дорожного движения.

Т а б л и ц а 3

Остановочные пункты

Пересечение	Прямое направление + примыкание	Обратное направление + примыкание
	ул. им. Рокоссовского	
ул. Кубанская	—	—
ул. Невская (пр. Маршала Жукова)	+	+
ул. Двинская	+	+
ул. Ткачева	+	+
ул. Хиросимы	+	+
ул. Качинцев	—	—

Т а б л и ц а 4

Формирование заторовых ситуаций

Пересечение	Прямое направление + примыкание	Обратное направление + примыкание
	ул. им. Рокоссовского	
ул. Кубанская	100 %	85%
ул. Невская (пр. Маршала Жукова)	100 %	100 %
ул. Двинская	75 %	75 %
ул. Ткачева	80 %	80 %
ул. Хиросимы	100 %	75%
ул. Качинцев	80 %	90 %

П р и м е ч а н и е. Данные в табл. 4 приведены в процентах (100 % — пропуск водителем более 4 циклов светофора). Метод интерполирования. Время — вечерний час пик.

Т а б л и ц а 5

Оборудование светофорной сигнализацией

Пересечение	Прямое направление + примыкание	Обратное направление + примыкание
	ул. им. Рокоссовского	
ул. Кубанская	+	+
ул. Невская (пр. Маршала Жукова)	+	+
ул. Двинская	+	+
ул. Ткачева	+	+
ул. Хиросимы	+	+
ул. Качинцев	+	+

Учитывая наличие светофорной сигнализации на исследуемом участке, необходимо отметить, что при установке реверсивных светофоров можно использовать элементы электропитания, которые использовались для светофоров ТЗ (в соответствии с ГОСТ Р 52290—2004 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования»).

Зоны движения с реверсивным регулированием не ограничиваются только устройством полос с реверсивным движением.

Этот процесс имеет более широкое понятие и может включать введение в определенные временные интервалы ограничений на совершение левого поворота, ограничение допуска транзитного транспорта или взимание платы с них, предоставление приоритета для транспорта с двумя и более пассажирами, создание выделенных полос для транзитного движения, а также создание платных полос движения (в соответствии с ГОСТ 31970—2012 «Технические средства организации дорожного движения. Методы испытаний дорожных ограждений»).

У реверсивного движения как способа управления транспортными потоками есть как сторонники, так и противники. Это связано с тем, что данный способ одновременно имеет как преимущества, так и недостатки, основные из них приведены ниже и чаще всего озвучиваются как результаты использования и рекомендации к внедрению.

Преимущества заключаются в следующем:

- 1) этот способ координации очень удобен для участков дорог с недостаточным количеством полос;
- 2) попеременное использование частей дороги как во встречном, так и в попутном направлении, то есть загруженность является рациональной;
- 3) применение динамических (светофоров) и статических (дорожных знаков или разметки) указателей;
- 4) цивилизованный уход от негативного влияния маятниковой миграции;
- 5) нормализация функционирования транспорта в условиях глобальной урбанизации;
- 6) обеспечение равномерной нагрузки на дорожное полотно;
- 7) отсутствие необходимости строить новые дороги для автомобилей;
- 8) обеспечение постоянного и бесперебойного передвижения по автомобильным дорогам.

В свою очередь, недостатками являются:

- 1) повышенный риск аварий и ДТП (стадия внедрения);
- 2) требование от водителей большей концентрации на дороге, чем в обычных условиях;
- 3) невысокая эффективность (как в экономии времени, так и при разгрузке дороги).

Интересен тот факт, что негативный опыт от использования реверсивного движения носит исключительно отечественный характер, т. е. проблемы возникают лишь в России и некоторых постсоветских странах, западные государства имеют в основном лишь положительный результат от использования таких полос.

В связи с тем, что проектная составляющая должна, прежде всего, опираться на нормативную документацию, проводился ее непосредственный анализ.

Проведенный анализ позволил сформулировать следующие выводы:

1. Отсутствует единый нормативный документ, который бы регулировал процесс проектирования и внедрения реверсивного движения.
2. Информация, изложенная в существующих нормативных документах, представлена в виде отдельных пунктов или разделов. Это, в свою очередь, приводит к возникновению противоречий согласования и соотнесения информации и определения приоритетности документа.

3. Из-за недостаточной практики применения реверсивного движения отсутствуют статистические данные, позволяющие определить различные показатели использования реверсивного регулирования.

Из вышесказанного можно сделать *вывод*, что внедрение реверсивного регулирования оптимизирует движение на проектируемом участке и даст положительные результаты. Уход от негативных последствий является вполне реализуемой задачей.

Настоящее проектное решение об организации реверсивных полос носит не только оптимизационный характер, но и дает возможность формулирования основных требований и условий в отдельный фрагмент, создания полноценного нормативного документа и привлечения внимания к данному способу организации дорожного движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организация реверсивного движения с помощью передвижных дорожных ограждений парапетного типа / Анохин Б. Б., Югова Е. И., Грачева Д. А. и др. // Дороги и мосты. 2016. № 1(35).
2. Справочник по безопасности дорожного движения / Пер. с норв. Под редакцией проф. В. В. Сильянова. М.: МАДИ (ГТУ), 2001. 754 с.
3. Серова Е. Ю. Возможные пути повышения пропускной способности улично-дорожной сети города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. Вып. 46(65). С. 84—94.

© Артемова С. Г., Сомова К. В., Муковнин А. С., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Артемова С. Г., Сомова К. В., Муковнин А. С. Обоснование предложений по применению реверсивного движения на улично-дорожной сети г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 97—105.

Об авторах:

Артемова Светлана Георгиевна — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, snartemov@mail.ru

Сомова Ксения Владимировна — старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, skv_83@inbox.ru

Муковнин Александр Сергеевич — магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, snartemov@mail.ru

Svetlana G. Artemova, Kseniya V. Somova, Aleksandr S. Mukovnin

Volgograd State Technical University

**THE RATIONALE FOR THE USE OF REVERSE TRAFFIC ON THE ROAD NETWORK
IN THE VOLGOGRAD CITY**

The article proves the possibility of implementing a reverse motion on the separate sections of the road network in the city of Volgograd and describes the prospects and advantages of the device of this transformation.

Key words: intensity, traffic flow, reverse regulation, road safety, technical means of traffic management.

For citation:

Artemova S. G., Somova K. V., Mukovnin A. S. [The rationale for the use of reverse traffic on the road network in the Volgograd city]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 97—105

About authors:

Svetlana G. Artemova — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, snartemov@mail.ru

Kseniya V. Somova — Senior Lecturer of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, skv_83@inbox.ru

Aleksandr S. Mukovnin — Master's Degree student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, snartemov@mail.ru

УДК 625.712.14

Ю. С. Калашникова, Н. С. Богородская

Волгоградский государственный технический университет

**О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ
УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ (НА ПРИМЕРЕ УДС ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА
Г. ВОЛГОГРАДА)**

Анализируется принцип и структура оценочных критериев, определяющих состав реконструктивных и модернизационных мероприятий для улично-дорожной сети в сложившейся застройке крупного города. В качестве целевой функции принято комфортное использование потребителями элементов транспортной сети и инфраструктуры, являющихся существенными для оценки с позиции «качества жизни».

К л ю ч е в ы е с л о в а: транспортный каркас города, улично-дорожная сеть, модернизация, оптимизация, качество обслуживания транспортной инфраструктуры.

Модернизация элементов градостроительной инфраструктуры, к которым относятся здания и инженерные сооружения различных типов и отраслевой принадлежности, представляет собой как процесс изменения объемно-планировочных, композиционно-пространственных и конструктивных решений объекта, так и их адаптацию к современным нормативным и экологическим требованиям, а также к условиям эксплуатации в современном обществе с учетом требований потребителя [1].

Основными объектами модернизации городской среды в последнее время становятся не только многоквартирные жилые дома и общественные здания, но и элементы улично-дорожной сети города. К подобным элементам относятся и общественные пространства, и места хранения транспорта, и пути сообщения для абсолютно любых средств — как велодорожки, так и наземные транспортные системы.

Градостроители и урбанисты выделяют несколько основных стратегических направлений модернизации УДС в современных городах:

устройство многоуровневых пересечений, разрешающих конфликт как между пешеходами и транспортом, так и между различными видами транспорта или конкурирующими транспортными потоками (развязки, эстакады и подземные переходы);

применение мероприятий, разрешающих конфликт как между пешеходами и транспортом, так и между различными видами транспорта или конкурирующими транспортными потоками (экраны, островки безопасности, ограждения, организация одностороннего движения и отнесенного левого поворота);

конструктивное изменение дорожных одежд, рельсового полотна или иных элементов пути сообщения на более прочные, экономичные или экологичные виды материалов (защитные покрытия, эластичные покрытия, бесстыковые рельсы);

изменения габаритов структурных планировочных элементов городской улицы или автомобильной дороги, включение новых и демонтаж морально устаревших элементов в ее профиле;

реорганизация структуры хранения личного транспорта;

В отдельную группу модернизационных мероприятий относят изменения подвижного состава, маршрутных линий и интервалов движения общественного транспорта. Но предпосылками к модернизации данной инфраструктуры также являются условия, диктуемые современным потребителем.

Процесс видоизменения градостроительных инфраструктур довольно длителен и требует стандартных для градостроительного проектирования натурных исследований и подсчетов, возможна необходимость проведения градостроительных слушаний, внесение изменений в генеральный план развития населенного пункта, отчуждение территорий, находящихся в частной собственности. Техничко-экономическое обоснование модернизационных и реконструктивных мероприятий, как правило, формируется в виде аналитических выводов из предпроектного обследования.

Принятие решения о проведении градостроительной модернизации объектов транспортной инфраструктуры основывается не только на экономической эффективности, но и на социальной значимости мероприятий, повышении уровня безопасности, удобства использования пространств и объектов. Именно поэтому становится важна система оценочных критериев, используемых при проведении обследования и анализа и формировании технико-экономического обоснования модернизации.

Оценочные критерии, от которых зависит принятие или непринятие решения о вмешательстве в элемент транспортной инфраструктуры, должны отвечать следующим требованиям:

- быть объективными;
- иметь численное значение (эталонное);
- иметь возможность качественной оценки жителем города.

Выбор группы оценочных критериев зависит от цели модернизационных мероприятий и определяется ее задачами. Если принимать во внимание то, что модернизируется одна из важных городских инфраструктур и именно инфраструктура или ее составные элементы являются объектами модернизации, на совершенствование этих инфраструктур или элементов и будет направлена деятельность субъекта городской среды, т. е. жителя города [2]. Индивид или группа индивидуумов тогда выступают как источник познания и преобразования городской среды вокруг себя. Объектом в таком случае можно назвать некий предмет, вещь или явление, на который направлена деятельность субъектов, то есть то, что подвергается какому-либо воздействию. Оптимизация инфраструктуры может проводиться по различным критериям: можно сделать городские улицы и дороги более живописными или безопасными, стремиться к наибольшей экологичности и находить варианты наиболее экономически эффективного использования транспортной инфраструктуры. Однако для субъекта наиболее важным является критерий комфортности.

Комфортность проживания в современном городе практически не определяется какими-либо численными параметрами, так как это понятие субъективное [3]. В него могут входить как экологические, так и экономические, социальные и даже пространственно-композиционные критерии. Чаще всего источниками под комфортностью жизни отдельно взятого субъекта понимается улучшение его качества жизни как постоянно эволюционирующей экономико-философской категории, охватывающей и материальную и духовную составляющие существования людей. Экономические и юридические источ-

ники трактуют качество как совокупность свойств, признаков продукции, товаров, услуг, работ, труда или среды, обуславливающих их способность удовлетворять потребности и запросы людей, соответствовать своему назначению и предъявляемым требованиям. Такое определение частично пересекается с определением модернизации — в каждом из определений фигурируют предъявляемые потребителем требования к объектам и элементам инфраструктуры. Качество среды принято различать с качеством продукции, работы, труда, материалов, товаров, услуг. Потому что качеством среды источники называют в основном меру соответствия окружающих условий потребностям живущих или находящихся в этой среде живых существ.

Следующее из понимания качества среды само понятие «качество жизни» толкуется и источниками, и субъектами среды по-разному. С экономической точки зрения — это совокупность показателей общего благосостояния людей, характеризующих уровень материального потребления (уровень жизни), а также потребление непосредственно неоплачиваемых благ. Качество жизни предполагает чистую окружающую среду, личную и национальную безопасность, политические и экономические свободы. Кроме этого, оцениваются другие условия человеческого благополучия, трудно поддающиеся количественному измерению. Сложно определить, что входит в группы «других благ» помимо благополучия исходя из возможности сравнительного анализа, поскольку субъективные мнения каждого обитателя городской среды различны. Сделать более объективной оценку качества среды или качества жизни достаточно просто, если принять во внимание необходимость оценки именно транспортной инфраструктуры. Для любого из городских жителей высокая оценка качества жизни субъектом городской среды зависит от степени удобства его обслуживания транспортной системой города [4]. Поэтому основой для оценки комфортности транспортной системы должен стать перечень таких количественных показателей, оптимизация которых приведет к улучшению работы транспортной системы и повышению уровня качества ее обслуживания для конкретного потребителя.

К аспектам качества жизни в городской среде многие жители современного крупного города относят и свою субъективную оценку внутригородских деловых и личных передвижений [5]. Под «комфортностью» понимается и техническое состояние дорог, и отсутствие пробок и заторов на улично-дорожной сети, и удобство системы городского общественного транспорта, и легкость ориентирования на городских улицах, и удобство расположения центров тяготения относительно маршрутной и улично-дорожной сети. В ходе социологического мониторинга в г. Волгограде установлено, что положительно и удовлетворительно работу муниципального авто- и электротранспорта после модернизации транспортной системы оценивают около 50 % респондентов. При этом наибольший уровень удовлетворенности имеют жители периферийных районов города. Для центральных районов города уровень удовлетворенности снижает необходимость пересадок и уровень наполненности салона.

Немаловажным является и то, что удобство пользования транспортной системой и легкость совершения внутригородских перемещений повышает общую транспортную подвижность населения. Жители города не ограничивают себя в выборе мест учебы, приложения труда, проведения свободного времени. Все это тоже положительно сказывается на состоянии удовлетво-

ренности собственной деятельностью и повышает показатели, которые население дает, оценивая свое качество жизни.

В применении к транспортной инфраструктуре определенного города необходимо также учитывать и градостроительные особенности населенного пункта. В первую очередь — его планировочную структуру, т. к. особенности ее планировки оказывают влияние на множество факторов, в т. ч. плотность сети, скорость внутригородских корреспонденций и пр. [6]. Линейным городским структурам, таким как Волгоград, необходим, прежде всего, тщательный анализ их градостроительных особенностей, которые вполне возможно применить, чтобы адаптироваться к современным тенденциям развития населенных пунктов¹. Развитие линейных градостроительных образований началось с испанского инженера Артуро Сория-и-Мата, предложившего в начале XX в. оригинальную концепцию по развитию Мадрида, заключающуюся в строительстве нового города, соединяющего два крупных, лежащих вокруг него.

Именно тогда были предложены основные особенности: разделение функциональных зон по полосам, наличие выделенной линии общественного транспорта (трамвая), небольшая ширина полосы застройки. В дальнейшем на волне популяризации городского транспорта и идей урбанистики идеи Артуро Сория-и-Мата оказались популярны среди российских и зарубежных теоретиков архитектуры и инженеров (Ле Корбюзье, Эрнст Май, Н. А. Ладовский, Н. А. Милютин, М. А. Охитович) [7].

В результате ожесточенных споров и развития концептуальных градостроительных проектов сформировались и были реализованы на практике основные принципы «поточно-функциональной» схемы с параллельным расположением жилья и мест приложения труда, линейным положением коммуникаций с разреженной застройкой².

Несмотря на несостоятельность концепции линейного города в форме, предложенной в эпоху архитектурного авангарда, идея линейного расселения по-прежнему остается привлекательной, противопоставляясь как наиболее оптимальная стандартным компактным пространственным структурам. При этом актуальной является сложность в организации системы беспересадочных и скоростных связей, необходимость развития для субъектов городской среды системы городских центров тяготения на протяжении всей полосы застройки и многие другие объективные сложности.

Стратегические решения в планировании городской транспортной инфраструктуры входят в комплексную программу стратегического развития региона. Стратегия социально-экономического развития Волгограда до 2030 года разработана по результату решения Волгоградской городской Думы от 15.07.2015 № 32/1002 «Об утверждении Положения о стратегическом планировании в городском округе город-герой Волгоград». Стратегия является базовым документом планирования, определяя приоритеты, цели и задачи социально-экономического развития региона на длительный срок. В актуальный на данный момент документ включались и мероприятия, обеспечивающие проведение матчей 21-го чемпионата мира по футболу ФИФА в Волгограде.

¹ СП 42.13330.2011. Градостроительство планировка и застройка населенных пунктов. М. : Минрегионразвитие, 2011. 109 с.

² Там же.

Основными задачами в стратегическом развитии стали следующие мероприятия [8]:

развитие транспортных связей в продольном направлении путем строительства и реконструкции уличной сети: продолжение на юг (1-я Продольная магистраль — ул. Рабоче-Крестьянская — ул. Электросовская), организация западного дублера 2-й Продольной магистрали (ул. Московская, ул. им. Полины Осипенко, ул. им. Азизбекова, ул. Феодосийская), продолжение строительства в южном направлении набережной р. Волги (Нулевая рокадная Продольная магистраль), реконструкция пр-та им. Маршала Советского Союза Г. К. Жукова в Дзержинском районе Волгограда, комплексное благоустройство пр-та им. Маршала Советского Союза Г. К. Жукова и шоссе Авиаторов;

создание трасс общегородского значения в поперечном направлении в целях разгрузки магистральной сети, обеспечивающих дополнительные транспортные связи между продольными магистралями с обходной дорогой, подходами внешних автодорог, а также с площадками нового строительства: магистраль вдоль железнодорожной линии от плотины ГЭС;

прокладка ряда магистральных улиц вдоль железнодорожных линий с использованием существующей улично-дорожной сети промышленно-коммунальных районов, создание единой системы магистральных улиц и дорог для пропуска основных потоков грузового автотранспорта;

развитие сети магистральных улиц районного значения для улучшения транспортного обслуживания жилых районов Волгограда и обеспечения надлежащей плотности транспортной сети в целом и ее пешеходной доступности, развитие сети дорог с твердым покрытием на территориях индивидуальной жилой застройки;

оснащение магистральной улично-дорожной сети необходимыми транспортными сооружениями — мостами, путепроводами и транспортными развязками в разных уровнях, внеуличными пешеходными переходами;

разгрузка центра Волгограда от легковых автомобилей путем отвода транзитного движения, создание «перехватывающих» автостоянок у въездов в центр и в город;

строительство пешеходной и велосипедной инфраструктур (пешеходных и велосипедных дорожек, в том числе адаптированных для маломобильных групп населения).

Вышеперечисленный список мероприятий в целом отвечает текущим задачам модернизации транспортной инфраструктуры города с точки зрения повышения уровня качества жизни в городской среде, и список основных мероприятий охватывает всю улично-дорожную сеть Волгограда, сохраняя тенденции и для наиболее загруженного транзитными транспортными потоками и внутригородскими миграциями Центрального административного района. Сосредоточение всех типов мест тяготения (спортивные сооружения, объекты культуры, парки, общественные пространства, внешний транспорт, событийные мероприятия и городские праздники) показывает основные проблемы, наметившиеся в транспортной инфраструктуре района уже после проведения модернизационных мероприятий стратегии развития.

Основной проблемой для владельцев личного транспорта явилось введение системы выделенных полос для движения общественного транспорта. Уменьшение «гостевых» парковочных мест при неизменном количестве трудовых ми-

граций и поездок выходного дня привело к большому количеству нарушений. Это не только парковка на загруженных сверх нормы внутриквартальных территориях, но и нарушение правил парковки с оставлением транспортных средств на полосе. Таким образом, из работы выключаются целые перегоны, что не только снижает среднюю скорость общественного транспорта, но и сводит на нет эффективность работы всей системы выделенных полос.

Помимо этого, проблемой стало изменение маршрутных линий и оптимизация подвижного состава и интервалов движения. Выявилось, что основное количество маршрутов носит исключительно подвозящий характер, в то время как корреспонденции в пределах Центрального района практически потеряли беспересадочный характер.

Подобные «проблемные» элементы транспортной инфраструктуры не только снижают уровень восприятия качества жизни, но и отрицательно сказываются на общей оценке эффективности работы транспортной инфраструктуры, поскольку экономическая эффективность транспортной системы также закладывается как положительная величина в стратегии развития.

На первом уровне экономическая эффективность транспортной системы будет определяться отношением эффекта ее работы к расходам [9], но такое определение работает, пожалуй, только для системы общественного транспорта или даже скорее автотранспортного предприятия. В какой мере система удовлетворяет потребности потребителей для ведения бизнеса, обеспечение мобильности и других аспектов качества жизни — ответ на это вопрос можно получить, только оценивая последствия функционирования транспортной системы, которые выражаются как во внешних расходах на ее функционирование и развитие, так и решают стратегические экономические, социальные и экологические задачи, актуальные для общества и государства, то есть мероприятия затратные, не приносящие должного экономического эффекта. Чаще всего это мероприятия по безопасности и мобильности [10, 11].

Заключение: выявленные противоречия в оценке эффективности работы транспортной системы должны стимулировать развитие новых форм и видов транспортного обслуживания (вплоть до развития велосипедного движения) и конкретизировать направления модернизации, решая не только стратегические задачи развития, но и обеспечивать определенный уровень комфорта и качества обслуживания элементами транспортной инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шепелев Н. П., Шумилов М. С. Реконструкция городской застройки. М. : Высш. шк., 2000. 271 с.
2. Перетолчина Л. В. Основы территориально-пространственного развития городов : учебное пособие. Братск : БрГТУ, 2003. 184 с.
3. Творогова Н. Д. Клиническая психология. Словарь. М. : ПЕР СЭ, 2007. 416 с.
4. Аксенов И. Я. Единая транспортная система. М. : Высшая школа, 1991. 383 с.
5. Калашикова Ю. С., Калашиников С. Ю. Особенности идентификации понятия «качество жизни» жителями линейных градостроительных образований // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. Вып. 1(13). С. 3—7.
6. Витюк Е. Ю. Линейная модель расселения: ретроспективный анализ концепции идеального города // Архитектон: известия вузов. 2014. № 47. С 36—47.
7. Малоян Г. А. Основы градостроительства. М. : АСВ, 2004. 115 с.
8. Стратегия социально-экономического развития Волгограда до 2030 года решения Волгоградской городской Думы от 15.07.2015 № 32/1002 «Об утверждении Положения о стратегическом планировании в городском округе город-герой Волгоград»

9. *Chrostowska H.* Wirtschaftliche Vorteile der Modernisierung Erweiterung des Strassennetzes // Zeitschrift der OSShD. Warschau: PAB-Front s.c. 1967. Pp. 17—19.

10. *Gerlach J.* Mehr Verkehrssicherheit durch bessere Infrastruktur // Seminar Decade of Action for Road Safety: Verkehrssicherheit in Entwicklung und Schwellenländer. Köln, 2012.

11. *Gerlach J.* Sichere Gestaltung von Stadtstraßen — wirksam und preiswert? // Schriftenreihe Verkehrssicherheit. Bonn, 2015. №. 19.

© *Калашникова Ю. С., Богородская Н. С., 2018*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Калашникова Ю. С., Богородская Н. С. О критериях оценки эффективности мероприятий по модернизации улично-дорожной сети (на примере УДС Центрального района г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 106—112.

Об авторах:

Калашникова Юлия Сергеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры экспертизы и эксплуатации объектов недвижимости, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ikalashnikova.vgasu@gmail.com

Богородская Наталья Сергеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, eun.cafedra@yandex.ru

Yulia S. Kalashnikova, Natalja S. Bogorodskaja

Volgograd State Technical University

ABOUT CRITERIES OF AN ESTIMATION OF EFFICIENCY OF MEASURES ON MODERNIZATION OF THE ROAD NETWORK (FOR EXAMPLE, THE ROAD NETWORK OF THE CENTRAL DISTRICT OF VOLGOGRAD)

The principle and structure of the evaluation criteria that determine the composition of reconstruction and modernization measures for the road network in the current development of a large city are analyzed. The target function is the comfortable use by consumers of elements of the transport network and infrastructure, which are essential for assessing the “quality of life”.

Key words: transport framework of the city, road network, modernization, optimization, quality of service of transport infrastructure.

For citation:

Kalashnikova Yu. S., Bogorodskaja N. S. [About criteries of an estimation of efficiency of measures on modernization of the road network (for example, the road network of the Central district of Volgograd)]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 106—112.

About authors:

Yuliya S. Kalashnikova — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Examination and Management of Real Estate Department, Volgograd State Technical University. 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ikalashnikova.vgasu@gmail.com

Natalja S. Bogorodskaja — Master's Degree student of Examination and Management of Real Estate Department, Volgograd State Technical University. 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, eun.cafedra@yandex.ru

УДК 528.5

Т. Н. Миловатская, О. И. Карпова, Т. А. Сабитова

Волгоградский государственный технический университет

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Показано, какие геодезические приборы применялись в разные исторические периоды развития цивилизации при строительстве автомобильных дорог.

Ключевые слова: геодезия, геодезические измерения, геодезические приборы, строительство автомобильных дорог.

Геодезия — одна из древнейших наук (в переводе с греческого образовано из двух слов — «земля» и «разделяю»), возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков и их правовому закреплению. Это наука об измерениях на земной поверхности, проводимых для определения формы и размеров Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт, профилей, а также для создания различных инженерных сооружений. Эти задачи решаются в геодезии на основе измерений, выполняемых геодезическими приборами и инструментами. Археологические раскопки подтверждают, что за несколько тысячелетий до нашей эры производились строительные работы по возведению пирамид, дворцов, храмов, сложных оросительных систем, каналов, дорог, и это было возможным лишь благодаря хорошо разработанным методам измерений и применению геодезических приборов.

Геодезия имеет огромное значение в различных отраслях народного хозяйства. Одна из таких отраслей — строительство, в частности строительство автомобильных дорог. Процветание и обороноспособность любой страны зависит от степени развития дорожной сети. Дороги представляют собой транспортные артерии, связывающие между собой населенные пункты воедино.

Сохранилось много документов и сведений о строительстве дорог в древних цивилизациях. Так, персидский царь Дарий (522—486 до н. э.) и его приемники из династии Ахеменидов построили в своей империи сеть дорог, охранявшихся сторожевыми постами. Главная грунтовая дорога Ахеменидов, именовавшаяся «царской», тянулась на 2,4 тыс. км (от города Сузы в Малую Азию). Через каждые 25 км на ней располагались станции, посты конных курьеров. Вся дорожная сеть находилась в образцовом состоянии, регулярно ремонтировалась и обновлялась. На колесном транспорте по этой дороге местным жителям ездить не разрешалось¹.

В Римской империи изначально дороги строились в военных целях, затем они стали играть значительную роль в экономическом развитии. Дороги связывали между собой крупные города, различные экономические и политические центры. Первая мощная дорога была построена в 312 г. до н. э. между Римом и Капуей и получила название «Аппиева дорога» в честь своего создателя Аппия Клавдия Цека. Дороги строились в прямом направлении на максимальную дли-

¹ История дорог в России и мире. URL: <http://about-roads.ru /auto/ road-history/>

ну. Уже в следующем веке Аппиеву дорогу продлили, и она стала частью торгового пути, связавшего Рим с Грецией и Малой Азией. За семь веков римляне окутали Средиземноморский мир — территории трех частей света — высококачественной дорожной сетью общей протяженностью в два земных экватора.

Дороги относились к военным сооружениям, их прокладывали военные инженеры и солдаты римских легионов, порой привлекались рабы и вольнонаемное население. Многие римские дороги сохранились до наших дней, так как к их строительству подходили очень основательно. Эти дороги отличаются идеальной прямизной, потому что для римских войск, передвигавшихся преимущественно в пешем строю, любой «крюк» приводил бы к серьезной потере времени².

В античные времена Европа не знала компаса, и картография находилась в зачаточном состоянии, но тем не менее римским землемерам — «агримензорам» и «громатикам» удавалось прокладывать почти идеально прямые трассы между населенными пунктами, отстоящими друг от друга на десятки и даже сотни километров. Во время работы они использовали приборы: грома, хоробат и дионтра [1].

Грома была одним из главных и наиболее совершенных инструментов римских геодезистов. Она представляла собой вертикальную металлическую штангу с заостренным нижним концом для втыкания в землю. Верхний конец венчался кронштейном с осью, на которую была посажена горизонтальная крестовина. С каждого из четырех концов крестовины свисали нити с грузиками.

Хоробат — длинная, негнущаяся линейка (около 6-ти метров) на специальных подставках. В верхней части линейки была вырезана канавка, в которую заливалась вода. Инструмент использовался для определения уклона в местностях с неровным рельефом.

Дионтра — треугольный инструмент, к которому подвешивалась нитка со свинцовым грузиком. Использовался для установки направления на объект.

Строительство дороги начиналось с прокладки маршрута, а уже затем создавалась основа для дорожного покрытия. При строительстве дороги обязательно учитывался рельеф. Иногда дорогу поднимали на насыпь, иногда приходилось прорубать проходы в скалах, через реки перебрасывать мосты, а в горах прокладывать тоннели. Землемеры расставляли колышки вдоль линии, представляющей собой будущий маршрут. Грома помогала наиболее точно выстроить три колышка вдоль одной прямой, даже если все они не находились в зоне прямой видимости. Другое назначение грома — проведение на земляном участке перпендикулярных линий (для чего и нужна была крестовина). Землемерные работы велись буквально «на глазок» — совмещая в поле зрения нити отвесов и стоящие в отдалении колышки. Инженеры проверяли, не отклоняются ли колышки от вертикальной оси и точно ли они выстроены в прямую линию.

Для комфортного и безопасного передвижения по дорогам возводились дополнительные сооружения: через 10...15 км устраивались станции для смены лошадей, а через 25...50 км — постоянные дворы с харчевнями. Кроме этого, на римских дорогах устанавливались мильные столбы, благодаря которым можно было легко определить, какой путь пройден и сколько еще осталось.

² Римские дороги: кружево империи: Строительство // Популярная механика. 2009. № 8. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/9332-rimskie-dorogi-kruzhevo-imperiistroitelstvo/#part7>

Подробно технология строительства римских дорог описана выдающимся архитектором и инженером Марком Витрувием Поллионом (I в. н. э.).

После окончательного крушения Западной империи в V в. н. э. каменные дороги были практически заброшены и пришли в упадок. Дорожное строительство в Европе возобновилось лишь примерно 800 лет спустя.

Сущность геодезических измерений сводилась к решению задач, связанных с ориентированием и определением размеров различных объектов (земельных участков, сооружений — храмов, дворцов), строительством и геометрическими съемками. При этом использовались простейшие инструменты:

- 1) для задач на ориентирование — инструменты прямого угла (египетские, греческие, римские устройства типа «громы» или землемерного креста, гномон, веревки с узлами и угольники);
- 2) для определения размеров — мерные веревки, шнуры, шесты;
- 3) для нивелирования — водные нивелиры и ватерпасы;
- 4) для измерения дорог и составления дорожных карт использовался одометр (годометр) — коляска с мерным колесом [1].

По одному из предписаний Юлия Цезаря от 76 г. до Рождества Христова римские землемеры были обязаны измерять земли, устанавливать границы и вместе с тем делать геометрическую съемку общественных и частных зданий, больших дорог и укреплений городов.

В качестве единицы измерения малых расстояний служили ступня, локоть, ладонь, пядь (растопыренные пальцы), палец, а также маковое и ячменное зерно. Для оценки больших расстояний в качестве меры служил переход за световой день или его часть. Для основной единицы площади участка — дневная норма вспаханного волами поля.

Эти инструменты и методы измерений неизменно использовались более тысячи лет, вплоть до XVII—XVIII вв., когда начался новый период в развитии геодезии. За период средневековья, примерно тысячу лет, не было создано каких-либо новых геодезических приборов и устройств. Более того, возрос уровень неупорядоченности в единицах измерений, так как в каждом государстве и в отдельных княжествах существовала своя система мер. В этот период важно было сохранить тот уровень знаний, который был достигнут древними людьми.

На протяжении XVII и XVIII вв. в геодезии были разработаны методы, приемы, приборы и принципы измерений, которые сформировали систему геодезических знаний и практику измерений, которая дошла до середины XX столетия неизменной.

Развитие капитализма вызвало небывалые масштабы строительства — растут как грибы города, промышленные комплексы, повсюду строятся дороги. Появилась широкая потребность в развитии инженерной геодезии.

Эффективным методом, применяемым на протяжении уже 400 лет, является координатизация с помощью геодезических сетей, развиваемых по всей поверхности Земли. Переход от непосредственных измерений к косвенным нашло выражение в методе построения геодезических сетей путем линейно-угловых измерений. Был создан метод топографической съемки и технология создания топографических карт. В XVII—XVIII столетиях были созданы: метод триангуляции (построение геодезических сетей), мензурная съемка, были впервые разработаны научные методы обработки результатов измерений, топографические карты.

В геодезии для всех видов линейных, угловых и нивелирных работ была создана совершенно новая система измерительных инструментов, приборов и принципов измерений, сменивших прежнюю систему, описанную еще Героном в его работах почти полторы тысячи лет тому назад.

Основными достижениями в области геодезического приборостроения на этом этапе стали теодолит, нивелир, мензула, буссоль, барометр. С созданием новых приборов стали предъявлять и более высокие требования к точности геодезических работ.

В XIX веке была создана аэрофототопография, фотограмметрия, сформировался метод наземной фототеодолитной съемки с последующей обработкой на стереокомпараторе, впервые был разработан физический метод измерений — барометрия, до сих пор используемый при инженерно-геодезических изысканиях в дорожном строительстве. Во второй половине XIX в. в развитых европейских странах переходят к созданию высотных сетей методом геометрического нивелирования, и отрабатывается технология и методика нивелирования из середины. К концу XIX в. теория и практика получает достаточно большое разнообразие в методах нивелирования (барометрическое, геометрическое, тригонометрическое), применяемых в зависимости от условий работ, требований к точности, местности. В качестве отсчетных поверхностей принимают геоид и земной эллипсоид. Осуществляется переход к единой системе мер и весов [1].

Первые упоминания о геодезических измерениях в России относятся к XI веку, когда было измерено расстояние между Керчью и Таманью по льду Керченского залива.

Первое упоминание о дорожных работах относится к 1015 году. Согласно «Повести временных лет», киевский князь Владимир, собираясь в поход на своего сына Ярослава, княжившего в Новгороде, приказал слугам: «Теребите пути и мосты мостите».

Крупнейшей дорожной стройкой петровского времени было строительство «прешпективной» — прямолинейной дороги из Петербурга в Москву. Работы по строительству дороги продолжались до 1746 года.

Во второй половине XIX в. значение грунтовых и шоссейных дорог в России в связи с развитием железнодорожного транспорта значительно уменьшилось. В период с 1840—1860 гг. ежегодно в строй вводили до 266 верст шоссейных дорог, в 60-х годах — в 2,5 раза меньше.

В конце XIX в. произошло революционное событие — появление автомобиля. В России первые автомобили появились в 1901 году, а их массовое производство дало толчок дорожному строительству.

Огромное влияние на развитие дорожной сети страны оказали революции 1917 г. и гражданская война 1918—1920 гг. Начались реформы органов управления дорожным хозяйством. Остро стояла проблема финансирования. И все-таки в результате второй пятилетки (1933—1937 гг.) страна получила более 230 тысяч километров профилированных грунтовых дорог.

Пик дорожного строительства в СССР приходится на 1960—70 гг., интенсивное дорожное строительство продолжалось и в 1970—80 гг. В результате в 1990 г. сеть дорог общего пользования в РСФСР составляла 455,4 тыс. км. Несмотря на все трудности, за 1997—1999 гг. наметились реальные сдвиги в развитии дорожной сети.

Наши дороги пока еще уступают европейским. Для полного удовлетворения социально-экономических потребностей страны минимальная протяженность дорожной сети автомобильных дорог России должна составлять не менее 1,5 млн км³.

Строительство современных дорог осуществляется постадийно. Основными являются четыре стадии: инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация.

Сначала на стадии проекта выполняют камеральное трассирование, выбирают наилучший вариант и приступают к полевому трассированию. Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносят на местность. Окончательно закрепляют углы поворота трассы и разбивают пикетаж. Работы выполняют при помощи теодолита и мерной ленты. На углах поворота трассы вставляют круговые и переходные кривые. В процессе разбивки пикетажа ведут пикетажный журнал, в котором показывают все основные элементы трассы, пункты геодезической основы, ситуацию, отдельные элементы рельефа. Для характеристики поперечного уклона местности разбивают поперечные профили. Затем выполняют нивелирование трассы при помощи нивелира и составляют продольный профиль местности. Это основной документ, полученный в процессе изысканий. Им постоянно пользуются при проектировании и строительстве автомобильной дороги. Между проектированием и строительством дороги проходит определенный промежуток времени, за который точки закрепления трассы на местности утрачиваются. Перед началом строительства трассу восстанавливают и приступают к окончательной разбивке трассы на местности, применяя те же приборы: теодолит, мерную ленту, нивелир и рейки. Точность геодезических работ при восстановлении трассы должна быть не ниже точности этих работ на стадии изысканий. Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна, после возведения земляного полотна еще раз разбивают поперечники для устройства автодорожного покрытия. После окончательной отделки полотна дороги производят исполнительную съемку [2].

Современный период развития геодезии совпадает с запуском первых искусственных спутников Земли. Появление ИСЗ открыло новые возможности для решения научных и практических задач геодезии, позволило создать принципиально новый метод определения координат — спутниковый. Появление систем глобального позиционирования NAVSTAR GPS в США и ГЛОНАСС (Глобальной навигационной Спутниковой Системы) в России позволяет использовать подвижные спутники для определения координат в любой момент времени.

На сегодняшний день геодезия является одной из самых высокотехнологичных отраслей в современном производстве. Современные геодезические технологии базируются на использовании электронных геодезических приборов, таких как электронные тахеометры, лазерные сканеры, цифровые нивелиры [3, 4].

Электронные тахеометры применяют и при изысканиях, и в период строительства автомобильных дорог. Это прибор, объединяющий в себе светодальномер, электронный теодолит и микроЭВМ. Светодальномер измеряет

³ Дороги России: история и современность. URL: <http://www.rosavtodor.ru/doc/history/history1.htm>

расстояние до отражателя, установленного на штативе или укрепленного на вешке, переносимой с точки на точку. МикроЭВМ обеспечивает возможность решения ряда стандартных геодезических задач, для чего электронный тахеометр снабжен набором необходимых прикладных программ. Полученная в ходе измерений информация высвечивается на табло, регистрируется во внутренней памяти прибора и на флэш-картах для последующего ввода в компьютер для дальнейшей обработки. По результатам измерений выполняется вычисление горизонтальных и вертикальных углов, дирекционных углов линий, горизонтальных проложений, превышений, высот точек, приращений координат, плоских и пространственных координат точек. Использование электронных тахеометров значительно повышает производительность труда, упрощает и сокращает время на обработку измерений, исключает ошибки исполнителя (при снятии отсчетов, записи результатов, в вычислениях).

К современным методам топографических съемок относится лазерное сканирование. Основным принципом лазерного сканирования является получение объемного изображения объекта съемки (облако точек с трехмерными координатами) с помощью специальных устройств — сканеров. После сканирования полученное в результате облако точек обрабатывается с помощью специальных компьютерных программ.

Съемка дорог имеет большую сложность при проведении работ, так как экономически не выгодно останавливать движение. Лазерный сканер использовать удобно. Даже если по снимаемому участку дороги непрерывно едут автомобили и в результате будет множество измерений, отраженных от автомобилей, то при обработке измерений можно выбрать одну точку, принадлежащую дорожному покрытию, и включить функцию построения сглаженной поверхности. Такая программа позволит выбрать точки, принадлежащие дороге, и построить по ним трехмерную поверхность без вмешательства человека, а также профили дороги через заданное расстояние.

Лазерное сканирование по сравнению с тахеометрической съемкой имеет преимущества:

- мгновенная трехмерная визуализация;
- высокая скорость сбора данных (от 200 до 250 км в день против обычных 5...10 км бригадой геодезистов);
- высокая точность получения исходных данных, исключающая ошибки, связанные с человеческим фактором;
- безопасность при ведении съемки на объектах с затрудненным доступом;
- значительно более полная информация об объекте.

При проектировании дорог повышается качество подготовки документов и их автоматизированной обработки. При строительстве есть возможность повышения эффективности использования строительной техники и повышения контроля параметров конструкции и геометрии дороги в соответствии с 3D-моделью. При эксплуатации лазерное сканирование является эффективным инструментом для мониторинга состояния дороги и прилегающих инженерных коммуникаций, обновления банка данных⁴.

⁴ Строительство и ремонт а/м дорог, мостов, туннелей. URL: <http://www.technokauf.ru>

Но есть и недостатки: точки в облаке лазерного сканирования не несут семантической информации. Семантические коды несут информацию о снимаемом объекте, что позволяет в автоматическом режиме провести его идентификацию. Они представлены огромным массивом неидентифицированных точек, что не позволяет в автоматическом режиме распознавать объекты, но это на сегодняшнем этапе развития технологии.

К современным и новым методам топографических съемок относится съемка с помощью комбинированных систем. Впервые в мире тахеометр и спутниковый приемник объединили в одну систему SmartStation. Преимуществом данной системы является то, что при съемке нет необходимости в наличии опорного обоснования, прокладке длинных ходов и выполнении обратных засечек. SmartStation устанавливается там, где удобно, GNSS приемник определяет местоположение, и далее можно начинать съемку тахеометром. Съемка при этом легче, быстрее и с меньшим количеством перестановок (станций) [5].

Таким образом, мы видим, какой прогресс произошел в создании геодезических приборов. Многие геодезические приборы теперь оснащены электроникой. Изменились технические характеристики приборов. Причем эти приборы можно применять не только при изысканиях и строительстве дорог, но и при строительстве высотных жилых комплексов, при строительстве прецизионных сооружений.

На современном этапе инженер-строитель должен уметь владеть как традиционными методами геодезических работ и уметь работать с обычными геодезическими приборами, так и с современными электронными приборами. И наша задача состоит в том, чтобы постоянно совершенствовать свои профессиональные навыки и передавать свои знания и опыт молодому поколению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тетерин Г. Н.* История геодезии с древнейших времен. Новосибирск : СГТА, 2001. 432 с.
2. Инженерная геодезия: Учеб. для вузов / Е. Б.Клюшин, М. И.Киселев, Д. Ш.Михелев и др. / Под ред. Д. Ш.Михелева. М. : Высш. шк., 2000. 464 с.
3. *Кравченко Е. С., Будагов И. В.* Применение наземного лазерного сканирования для целей дорожного строительства // Молодая наука : материалы IV Открытой Международной молодежной науч.-практ. конф. Краснодар, 2014. С. 222—224.
4. Электронные геодезические приборы и работа с ними: Учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко и др. Гомель : БелГУТ, 2008. 36 с.
5. Геодезические работы при изысканиях, строительстве и эксплуатации железных и автомобильных дорог: Учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко и др. Гомель : БелГУТ, 2011. 60 с.

© Миловатская Т. Н., Карпова О. И., Сабитова Т. А., 2018

Поступила в редакцию
в октябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Миловатская Т. Н., Карпова О. И., Сабитова Т. А. Основные этапы и тенденции в развитии геодезических приборов и их применение при строительстве автомобильных дорог // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 113—120.

Об авторах:

Миловатская Татьяна Николаевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, kafgeopro@mail.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

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

Tat'yana N. Milovatskaya, Ol'ga I. Karpova, Tat'yana A. Sabitova

Volgograd State Technical University

MAIN STAGES AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SURVEYING INSTRUMENTS AND THEIR APPLICATION IN CONSTRUCTION OF ROADS

It is shown, what geodesic devices were used in different historical periods of development of civilization at building of highways.

Key words: geodesy, geodesic measuring, geodesic devices, building of highways.

For citation:

Milovatskaya T. N., Karpova O. I., Sabitova T. A. [Main stages and trends in the development of surveying instruments and their application in construction of roads]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 113—120.

About authors:

Tat'yana N. Milovatskaya — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, kafgeopro@mail.ru

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

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

УДК 656.13.021 (470.45)

Н. А. Фоменко, А. В. Нагуманова, С. В. Алексиков

Волгоградский государственный технический университет

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ОСНОВНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ Г. ВОЛГОГРАДА

Проведена оценка состояния основных магистралей г. Волгограда, режимов движения транспортных потоков, уровня загрузки улично-дорожной сети, и предложены технические решения по ее модернизации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: продольная магистраль, скоростной режим, коэффициент загрузки, транспортный поток, интенсивность движения, состав потока, задержка транспортных потоков, схема организации движения.

В исторически сложившейся улично-дорожной сети города на основных магистральных направлениях возникает проблема по обеспечению пропускной способности автотранспорта. К основным магистральным направлениям г. Волгограда можно отнести Первую, Вторую, Третью и частично введенную в эксплуатацию Нулевую Продольные магистрали. Каждая из перечисленных магистралей включает улично-дорожную сеть, которая позволяет перераспределить транспортные потоки. Однако их потенциальные возможности ограничены и не обеспечивают нормативную пропускную способность и интенсивность движения.

Первая Продольная магистраль проходит по основным районам города, включает ул. Н. Отрады, пр. Ленина, ул. Рабоче-Крестьянскую и ул. Электrolесовскую с тоннельным переходом на Вторую Продольную магистраль, которая соединяет Тракторозаводской, Центральный и Ворошиловский районы города и осуществляет сквозной пропуск легковых и частично грузовых автомобилей с заездом в центральную часть города, т. к. заезд в центральную часть города запрещен.

Вторая Продольная магистраль осуществляет транзит транспорта от Тракторозаводского до Кировского района, т. е. от южной до северной оконечности города, что в значительной степени ограничивает движение в центральной части города. Движение по этой магистрали, как и по Первой Продольной, нельзя назвать непрерывным, т. к. пересечения на них выполнены в одном уровне, и движение регулируется светофорными объектами.

Третья Продольная магистраль охватывает северную и центральную части города и лишь частично справляется с задачей пропуска транзитного транспорта. Третья Продольная магистраль должна быть продолжена до южных выходов из города. Но ее строительство временно приостановлено и пока она также не в полной мере справляется с основной задачей пропуска транзитного транспорта.

Нулевая Продольная магистраль, по замыслам архитекторов, должна соединить Тракторозаводской и Кировский районы г. Волгограда, находится на I стадии реконструкции участка улично-дорожной сети от остановки «Современник» до ул. 7-й Гвардейской Дивизии, который проходит по набережной и соединяет Ворошиловский, Центральный и Краснооктябрьский районы.

Движение по этим магистралям нельзя назвать непрерывным, так как пересечения на них выполнены в одном уровне, а движение транспортных потоков управляется светофорным регулированием. Однако наличие трех магистралей и вновь возведенной в центральной части города Нулевой Продольной положительно влияет на режимы движения транспортных потоков.

Определяющим показателем целевой функции транспортной инфраструктуры автомобильных дорог и улично-дорожной сети города является скорость движения транспортных потоков [1]. Этот показатель служит одним из универсальных способов оценки скоростного режима движения транспортных потоков. На формирование режимов движения транспортных потоков улично-дорожной сети оказывают влияние множество факторов, основными из которых являются:

- интенсивность движения и состав транспортного потока;
- число полос движения и плотность транспортного потока;
- частота расположения перекрестков и степень координации их работы;
- степень изолированности пешеходного движения.

Интенсивность движения равна числу автомобилей, проходящих через сечение дороги за единицу времени. При высоких интенсивностях движения используют более короткие интервалы времени. Интенсивность движения транспортного потока определяется отношением числа автомобилей, проходящих через сечение дороги за заданную единицу времени T , т. е. частное [2]:

$$Na = n/T, \quad (1)$$

где n — число автомобилей, T — время прохождения автомобилей.

Состав транспортного потока — соотношение транспортных средств различного рода в составе движущегося транспортного потока. Состав транспортного потока влияет на пропускную способность дороги из-за габарита транспортных средств, входящих в его состав [3].

Число полос движения и плотность транспортного потока. Плотность ρ транспортного потока равна числу автомобилей, расположенных на участке дороги заданной длины. Как правило, используют участки в 1 км, получают плотность авт/км или используют более короткие участки [4]. Чаще всего плотность не измеряют, а рассчитывают по скорости и интенсивности движения транспортного потока. Однако для измерения плотности можно использовать аэрофотосъемку, башни или высокие здания [5].

Частота расположения перекрестков и степень координации их работы. Координированным управлением называется согласованная работа ряда светофорных объектов с целью сокращения задержки транспортных средств [6]. Принцип координации заключается во включении на последующем перекрестке по отношению к предыдущему зеленого сигнала с некоторым сдвигом, длительность которого зависит от времени движения транспортных средств между этими перекрестками. Таким образом, транспортные средства следуют по магистрали как бы по расписанию, прибывая к очередному перекрестку в тот момент, когда на нем в данном направлении движения включается зеленый сигнал [7]. Это обеспечивает уменьшение числа неоправданных остановок и торможений в потоке, а также снижение уровня транспортных задержек.

Степень изолирования пешеходного движения от транспортных потоков. Принцип изолирования пешеходного движения — создание сети улиц с уче-

том устройства велодорожек и пешеходных дорожек, не пересекающихся с автотранспортом [8].

Наиболее интенсивное движение автотранспорта проявляется на городской улично-дорожной сети [9, 10], которая формирует планировочную структуру мегаполисов. Параметры улично-дорожной сети не всегда отвечают возросшему объему движения транспортных потоков, поэтому уровень загрузки улично-дорожной сети на некоторых участках магистралей приближается к критическим значениям, когда движение осуществляется с малоэффективными скоростями. Степень использования пропускной способности улицы (дороги) характеризуется отношением интенсивности потока к пропускной способности проезжей части и определяется по формуле¹:

$$Z = \frac{N_{\text{сущ}}}{N_{\text{м}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{сущ}}$ — интенсивность потока, $N_{\text{м}}$ — пропускная способность проезжей части.

Это отношение называется уровнем загрузки проезжей части движением и находится в пределах $0 \leq Z \leq 1$ (рис. 1).

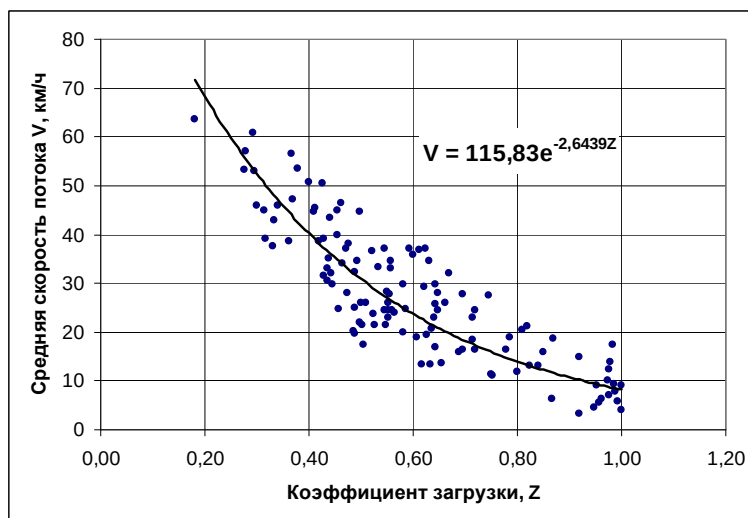


Рис. 1. График зависимости средней скорости потока от коэффициента загрузки улично-дорожной сети

График показывает, что для условий движения по улично-дорожной сети г. Волгограда оптимальный коэффициент загрузки не должен превышать значение $Z = 0,5$, в противном случае наблюдаются резкое снижение скоростей, а также кратковременные остановки транспортных потоков² [11].

¹ ГОСТ 33100—2014. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог

² ГОСТ 33062—2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к размещению объектов дорожного и придорожного сервиса

На интенсивность движения и состав транспортных потоков влияет класс легковых и грузовых автомобилей, грузоподъемность, габариты и др. Состояние транспортных потоков во многом зависит также от эксплуатационных качеств автомобилей³ [12], причем такие параметры транспортных потоков, как степень загрузки дороги, скорость движения, интенсивность движения, пропускная способность и т. д. меняются во времени. На основе этих факторов определен состав транспортных средств на улично-дорожной сети г. Волгограда и дана оценка процентного соотношения категорий транспорта (рис. 2).

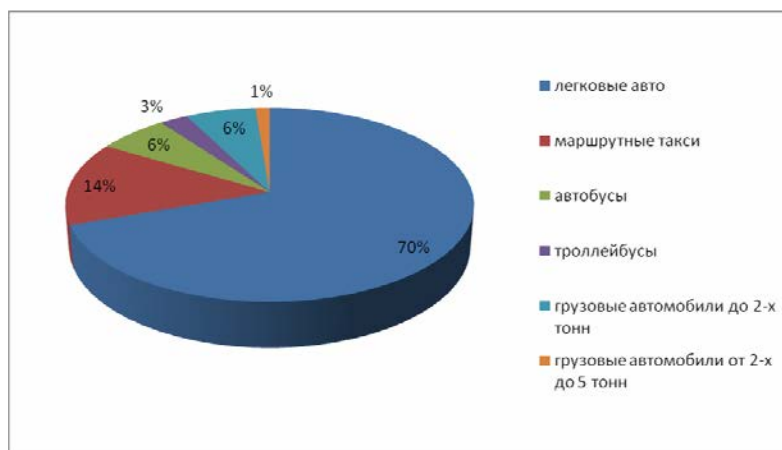


Рис. 2. Состав потока на улично-дорожной сети г. Волгограда

Анализ данных натурных наблюдений за интенсивностью и составом движения на улично-дорожной сети г. Волгограда показал, что на улицах города преобладает легковой транспорт (70 %), значительную часть занимает маршрутный транспорт малой вместимости (14 %), грузовой транспорт движется в основном по объездным магистралям, кроме малотоннажного подвижного состава, который работает на всей улично-дорожной сети и выполняет социально значимые перевозки: обслуживание торговой сети, почты, вывоз мусора, доставка строительных грузов, работа аварийной спецтехники и т. п. (рис. 3). Легковой автомобиль в основном имеет высокие скоростные характеристики и эффективные тормозные качества, и поэтому приходится специально ограничивать скоростные режимы движения. Даже грузовые автомобили имеют тенденцию развиваться так, чтобы водителю было удобно работать. Создаются комфортные условия для водителя, но комфортность не всегда положительно отражается на водителе, так как присутствует вероятность заснуть за рулем [13].

В настоящее время пропускная способность отдельных элементов улично-дорожных сетей исчерпана. Поэтому даже в межпиковое время образуются заторы транспортных потоков. Тяжелое положение наблюдается на улицах, которые характеризуются подвижным составом городского пассажирского общественного транспорта, особенно в тех местах, где некоторое

³ Эксплуатационные показатели автомобиля. URL: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/bez-rubriki/ekspluatatsionnye-kachestva-avtomobilya/>

количество маршрутов коммерческого транспорта частично или полностью накладывается друг на друга. На рис. 4 показан график, по которому можно оценить уровень загрузки основных магистралей г. Волгограда в часы пик. График показывает, что на протяжении последних пяти лет интенсивность движения в напряженные моменты работы магистралей приближается к их теоретической пропускной способности.

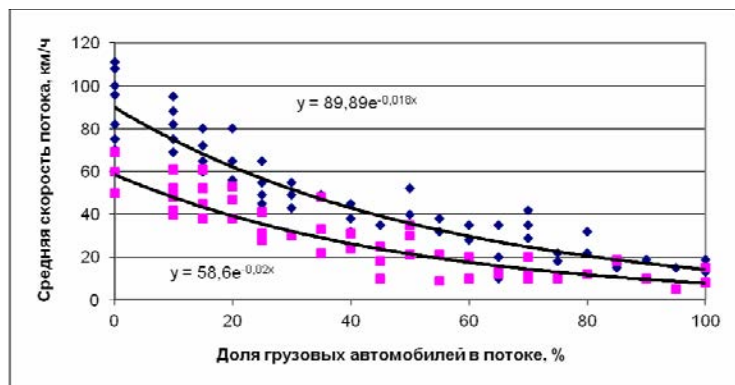


Рис. 3. График зависимости средней скорости от состава потока: 1 — при интенсивности движения 500 авт/ч; 2 — при интенсивности движения 1000 авт/ч

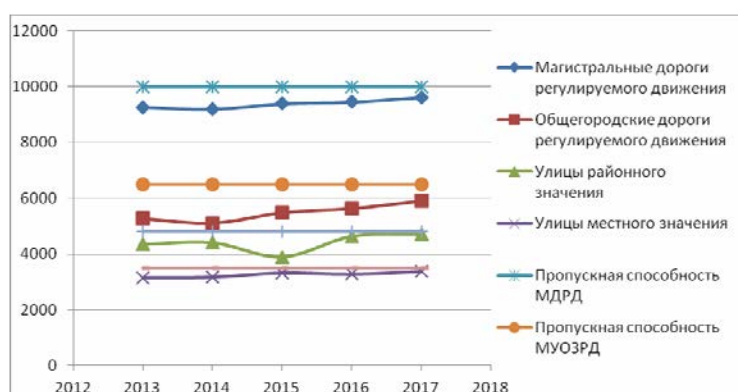


Рис. 4. Динамика изменения среднегодовой суточной интенсивности движения на основных магистралях г. Волгограда

В условиях нарастающих транспортных потоков, особенно в час пик, существует проблема разделения грузового и пассажирского движения. Так как скорости движения у подвижного состава, обслуживающие две эти сферы, различны, то возникают задержки движения пассажирского транспорта. Возникла необходимость устанавливать предельную минимальную скорость движения, выравнивающую среднюю скорость потока. Оказалось, что это очень выгодно, особенно на участках с большой интенсивностью движения. Ограничение такого рода уменьшает количество дорожно-транспортных происшествий⁴. Влияние медленно движущихся автомобилей на пропускную способность дороги и воз-

⁴ ОДМ 218.6.015—2015. Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации

никновение дорожно-транспортных происшествий настолько велико, что возможно еще более широкое ограничение минимальной скорости. Однако это ограничение снижает эффективность транспортной работы [14].

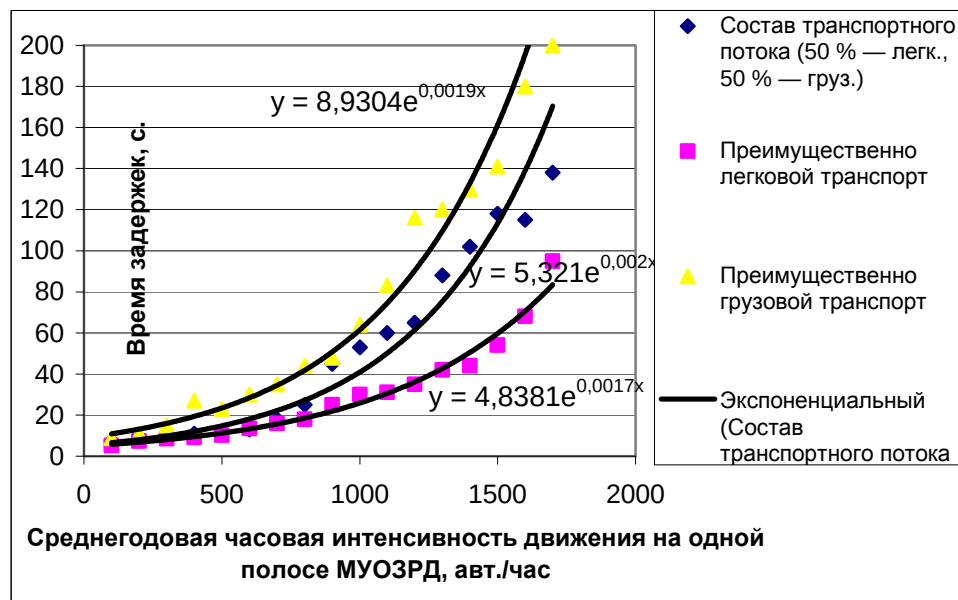


Рис. 5. Зависимость задержек разных вариантов состава транспортных потоков от интенсивности движения одной полосы

Основной проблемой городского движения является отсутствие надежной изоляции транспортных и пешеходных потоков.

Наиболее опасными признаются нерегулируемые пешеходные переходы, особенно на перегонах, а безопасными — подземные и надземные⁵. Однако даже безопасные виды пешеходных переходов используются не в полной мере. Причинами такого положения являются: неудобное месторасположение; отсутствие пандусов либо их несовершенство, затрудняющее движение по ним людей с ограниченными возможностями; отсутствие освещения в темное время суток; неудовлетворительное общее техническое и санитарное состояние лестничных маршей. Респонденты отмечают опасные причины социального характера, влияющие на маршруты пешеходов. В результате возникает множество конфликтных ситуаций, приводящих к наездам на пешеходов.

В зависимости от сложившихся схем планировки городов эти вопросы необходимо решать новыми методами организации движения, например:

отказ от схем левоповоротных движений транспортных потоков на перекрестках;

разделение встречных потоков полосами безопасности с установкой ограждений;

⁵ Методические рекомендации по назначению мероприятий для повышения безопасности движения на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий. М. : Информавтодор, 2000.

устройство кольцевых пересечений;
внедрение одностороннего движения, полос для общественного транспорта и др.

Схемы организации движения должны учитывать перспективы модернизации улично-дорожной сети⁶.

Кольцевые пересечения являются эффективными типами пересечений с меньшим числом конфликтных точек, характеризуются отсутствием конфликтных точек пересечений поворачивающих транспортных потоков, безопасными скоростями движения, лучшей обзорностью и более простыми условиями для восприятия водителем и принятия им решений, по сравнению с обычными пересечениями в одном уровне.

На рис. 6 приведена схема организации движения кольцевого пересечения Третьей магистрали и ул. Менделеева г. Волгограда.



Рис. 6. Кольцевое пересечение Третьей магистрали и ул. Менделеева

Внедрение кольцевого движения на данном пересечении позволило снизить сложность перекрестка и оптимально распределить транспортные потоки.

Перераспределение транспортных потоков на ул. Рокоссовского и ул. им. Покрышкина (рис. 7) с помощью круговой схемы организации движения позволило снизить количество конфликтных точек и тем самым уменьшить автомобильные заторы на пересечениях.

⁶ Правила подготовки проектов и схем организации дорожного движения. URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293763382>

Новая схема проезда по набережной обусловлена вводом в эксплуатацию Нулевой продольной в улично-дорожную сеть Волгограда, которая соединяет Ворошиловский и Краснооктябрьский районы города, а также позволяет разгрузить пр. Ленина на участке от ул. Краснознаменной до Мамаева Кургана. Круговое движение на пересечении Нулевой Продольной и Набережной 62-й Армии (рис. 8) позволило оптимально перераспределить транспортный поток, идущий со Второй Продольной магистрали.

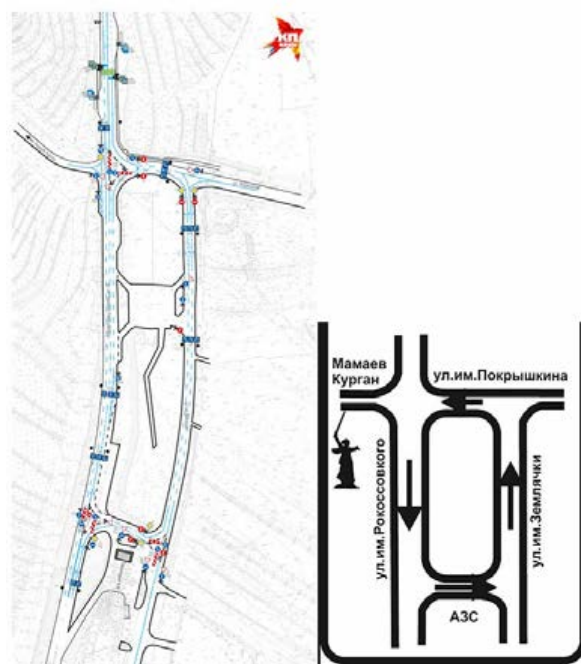


Рис. 7. Кольцевое пересечение в районе Мамаева Кургана

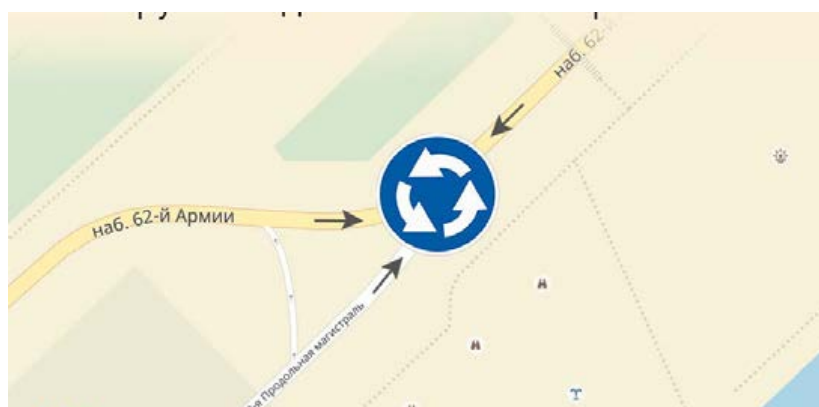


Рис. 8. Кольцевое пересечение на набережной

Основной транспортный поток, движущийся с Первой Продольной через тоннель в сторону Советского района, очень велик. Для уменьшения заторов обустроено кольцевое пересечение (рис. 9).



Рис. 9. Кольцевое пересечение в районе Тулака: ул. Электролесовская и ул. Казахская

На основе данных существующих кольцевых схем организации движения для примера приведем перекресток на ул. Землячки и пр. Дорожников в г. Волгограде (рис. 10) [15]. На У-образном перекрестке установлен светофорный объект, который осуществляет трехфазное регулирование. Интенсивность перекрестка настолько велика, что на запрещающий сигнал светофора скапливаются достаточно большие очереди. Вместе с тем имеется возможность использовать близлежащий пустырь и устроить кольцевую развязку с канализированной схемой распределения потоков с приоритетным движением их по кольцу.

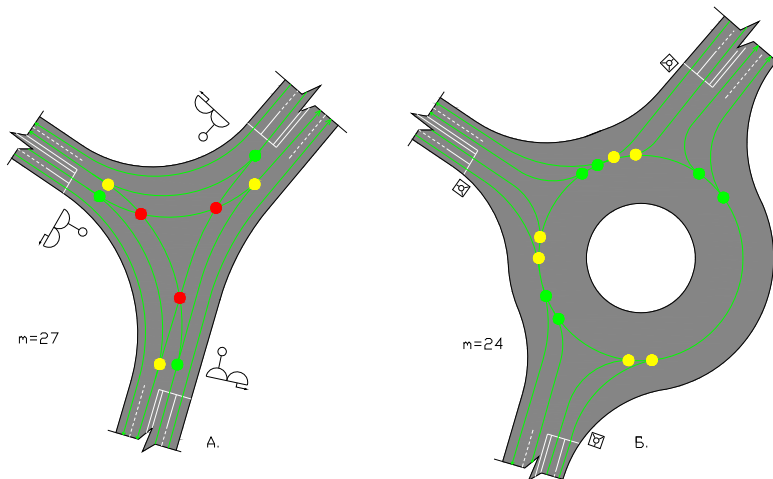


Рис. 10. Варианты схем организации движения: А — существующая схема; Б — предлагаемая схема

В заключение на основе проведенных исследований можно предложить ряд мероприятий, таких как:

- 1) расширение проезжей части на отдельных участках рассмотренных объектов улично-дорожной сети;
- 2) разделение транспортных потоков от пешеходных;
- 3) внедрение кольцевого движения.

Все эти мероприятия позволят улучшить динамику интенсивности движения на основных магистралях г. Волгограда, зависимость средней скорости потока от коэффициента загрузки улично-дорожной сети, средней скорости от состава потока, задержек разных вариантов состава транспортных потоков от интенсивности движения одной полосы, снизить аварийность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения : Учеб. для вузов. М. : Транспорт, 1993. 400 с.
2. Кликовитейн Г. И. Организация дорожного движения : Учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 2001. 247 с.
3. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М. : Транспорт, 1977. 303 с.
4. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения : Справочник. Пер. с англ. / В. У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. М. : Транспорт, 1981. 592 с.
5. Лукьянов В. В. Безопасность дорожного движения. М. : Транспорт, 1978. 247 с.
6. Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б. Технические средства организации дорожного движения : Учеб. для вузов. М. : ИКЦ Академкнига, 2005. 279 с.
7. Пеньшин Н. В., Гавриков В. А. Технические средства организации движения : метод. указания. Тамбов : ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2013. 32 с.
8. Буга П. Г., Шелков Ю. Д. Организация пешеходного движения в городах. М. : Высшая школа, 1980. 231 с.
9. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1984. 287 с.
10. Пропускная способность автомобильных дорог / В. В. Сильянов, Е. М. Лобанов, Ю. М. Ситников и др. М. : Транспорт, 1970. 152 с.
11. Дрю Л. Теория транспортных потоков и управление ими. Пер. с англ. М. : Транспорт, 1972. 423 с.
12. Янте А. Механика движения автомобилей. М. : Машгиз, 1958.
13. Клеббельберг Д. Транспортная психология. Пер. с нем. М. : Транспорт, 1989. 365 с.
14. Лохов А. Н. Организация управления на автомобильном транспорте. М. : Транспорт, 2007. 272 с.
15. Нагуманова А. В., Фоменко Н. А. Анализ уровня загрузки УДС Волгограда и планировочное решение транспортных узлов // XXI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, г. Волгоград, 8—11 нояб. 2016 г. : тез. докл. Волгоград : ВолГУ, 2017. 288 с.

© Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В. Анализ транспортных потоков основных магистралей г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 121—131.

Об авторах:

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

Нагуманова Айджан Васильевна — магистрант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Nikolai A. Fomenko, Aidzhan V. Nagumanova, Sergei V. Aleksikov

Volgograd State Technical University

ANALYSIS OF TRAFFIC FLOWS MAIN ROADS IN THE CITY OF VOLGOGRAD

The assessment of the condition of the main highways of Volgograd, traffic flow modes, the level of loading of the road network and proposed technical solutions for its modernization.

Key words: longitudinal highway, high-speed mode, load factor, traffic flow, traffic intensity, flow composition, delay of traffic flows, traffic organization scheme..

For citation:

Fomenko N. A., Nagumanova A. V., Aleksikov S. V. [Analysis of traffic flows main roads in the city of Volgograd]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 121—131.

About authors:

Nikolai A. Fomenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

Aidzhan V. Nagumanova — Master's Degree student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AL34rus@mail.ru

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, 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 628.316.12

**Р. В. Потоловский, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, О. В. Коновалов,
В. И. Клименко, М. В. Иванов**

Волгоградский государственный технический университет

ДООЧИСТКА КРАСКОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НУЖД С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА

В статье предложен метод доочистки сточных вод, образующихся в процессе производства водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

После электрохимической обработки очищенную воду можно использовать на предприятии для мойки оборудования, а после специальной подготовки — при производстве водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: водно-дисперсионные лакокрасочные материалы, доочистка.

На технологические процессы приготовления водно-дисперсионных красок вода расходуется безвозвратно, и только воды, используемые для промывки оборудования и возвратной тары, сбрасываются в систему канализации после механической очистки с высоким содержанием растворенных органических веществ. Как известно, в состав водно-дисперсионных ЛКМ входят многочисленные компоненты органической и неорганической природы, такие как дисперсии сополимеров с различным (часто сложным) мономерным составом, диспергаторы, органические и неорганические пигменты и наполнители, загустители, пеногасители, консерванты, антифризы и др. всевозможные добавки, являющиеся, в свою очередь, композициями, состоящими из смеси нескольких органических соединений. Суспензия, которую представляют собой сточные воды после промывки лакокрасочного оборудования, седиментационно чрезвычайно устойчива благодаря соответствующей технологии измельчения пигментов и наполнителей. В составе ЛКМ присутствуют антифлокулирующие добавки, которые обеспечивают необратимость такой суспензии в течение довольно длительного времени. Такие стоки не соответствуют санитарным нормам и правилам приема их в городскую канализацию, а также создают опасность засорения коллекторов и, как следствие, возможен выход из строя системы муниципальных стоков. Решение проблемы очистки сточных вод, образующихся при производстве водно-дисперсионных ЛКМ, является сложной задачей [1]. В последние годы вопрос первичной очистки таких стоков был разрешен в некоторых работах [2—11]. Однако остается открытым вопрос о полном вовлечении предварительно очищенных стоков в оборотное водоснабжение предприятий.

Доочистка сточных вод необходима перед использованием их в системах повторного и оборотного водоснабжения промышленных предприятий [12].

Глубина доочистки сточных вод, используемых в замкнутых системах водоснабжения предприятий, зависит от технологических требований к ее качественным показателям, и в некоторых случаях эти требования могут быть менее жесткими, чем требования к качеству очищенной воды перед сбросом в водоемы.

При дальнейших исследованиях были использованы известные рецепты водно-дисперсионных ЛКМ [13]. Содержание органических веществ в сточной воде оценивалось с помощью ИК-спектров, получаемых на ИК-Фурье спектрометре ФСМ-1201 с приставкой МНПВО-36 (приставка многократного нарушенного полного отражения горизонтального типа с кюветой из селенида цинка) («Мониторинг»). Для анализа эффективности очистки проводилось измерение мутности с помощью турбидиметра фирмы HACH, типа 2100AN. Мутность измерялась в нефелометрических единицах мутности NTU.

Исходя из состава водной фракции (табл. 1), образовавшейся после первого (грубого) этапа очистки, основная часть загрязнений приходится на растворенные органические вещества, но также в малом количестве имеются и взвешенные вещества. Наиболее приемлемым для такого типа сточных вод является применение электролиза [14].

Т а б л и ц а 1

Водная фракция после механической очистки сточных вод

Наименование загрязнителя	Концентрация, г/л	Мутность, NTU
Пена		
Алюмосиликатные полые микросферы	20,5	—
Водная фракция		
Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1	485
C _{10,5} H _{21,0}	7,3	
ИД-20	5,1	
CH ₂ O	0,4	
TiO ₂	1,0	
Стирол-акриловая дисперсия	0,7	
Осадок (коагулят)		
Стирол-акриловая дисперсия;	57,0	—
CaCO ₃	9,3	
TiO ₂	9,0	
C _{10,5} H _{21,0}	0,05	

Электрохимический метод подразумевает деструкцию органических веществ, происходящую на аноде с образованием сначала органических кислот, а затем углекислого газа и воды [15].

Очистка от мелкодисперсных частиц под действием электрического поля проходит с разрушением электростатической стабилизации частиц, которые агрегируют [15].

Деструкция растворенных органических веществ происходит под воздействием атомарного кислорода, образующегося в прианодном пространстве. Количество атомарного кислорода, а следовательно, и интенсивность окисления органических веществ зависит от плотности тока. При малых плотностях (ниже 100 А/м²) значительная часть кислорода выделяется в виде газа и в окислении не участвует.

При проведении опытов особое внимание уделено выбору анодного материала, поскольку электрохимическая очистка сточных вод будет осуществляться окислением органических веществ на аноде. Основная трудность при очистке возникает вследствие того, что большинство металлов термодинамически неустойчивы в условиях анодной поляризации (происходит их раство-

рение или пассивация) [16, 17]. Основным фактором, обуславливающим пригодность того или иного материала в качестве анодов, является достаточная механическая прочность, простота изготовления и химическая устойчивость к агрессивным средам [17].

Известно, что процесс анодного окисления органических веществ существенно зависит от pH среды [18].

Также велико влияние температуры растворов как ускорителя большинства химических реакций [19].

Таким образом, для успешного осуществления электрообработки необходим соответствующий подбор материала анода и определенных режимных параметров обработки: плотности тока, времени обработки стоков, температуры и pH среды [20].

Для определения величины потенциала окисления растворенных органических веществ, плотности тока и материала анода были получены поляризационные кривые прианодного процесса. При снятии поляризационных кривых в качестве материала анода использовалась платина, графит, нержавеющая сталь. Исследования проводились на 8 модельных растворах, содержащих неорганические и органические вещества той же концентрации, что и в реальных стоках, и отдельные фракции веществ. Состав модельных растворов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Состав модельных растворов для изучения кинетики процесса электроокисления органических веществ

№ р-ра	Наименование компонентов	Концентрация, г/л
1	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
	C _{10,5} H _{21,0}	7,3
	TiO ₂	1,0
	Стирол-акриловая дисперсия	0,7
2	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
	C _{10,5} H _{21,0}	7,3
	ИД-20	5,1
	CH ₂ O	0,4
	TiO ₂	1,0
	Стирол-акриловая дисперсия	0,7
3	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
	CH ₂ O	0,4
4	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
	C _{10,5} H _{21,0}	7,3
5	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
	ИД-20	5,1
6	C _{10,5} H _{21,0}	7,3
	ИД-20	5,1
	CH ₂ O	0,4
	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
7	Na ₆ P ₆ O ₁₈	5,1
	ИД-20	5,1
	TiO ₂	1,0
	Стирол-акриловая дисперсия	0,7

Окончание табл. 2

№ р-ра	Наименование компонентов	Концентрация, г/л
8	$\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$	5,1
	CH_2O	0,4
	TiO_2	1,0
	Стирол-акриловая дисперсия	0,7

Поляризационные кривые прианодного пространства сняты при помощи потенциостата ПИ-50-1.1 и представлены на рис. 2—9.

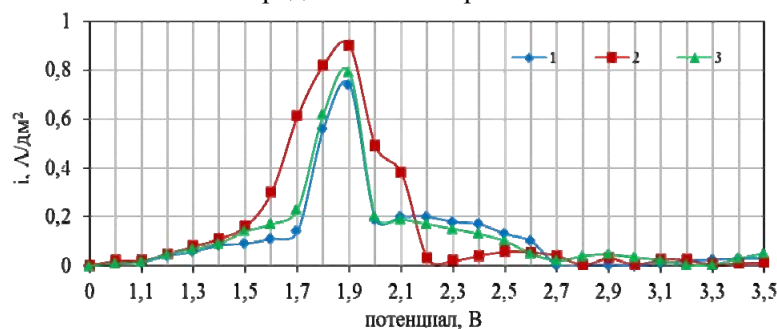


Рис. 2. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 1): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

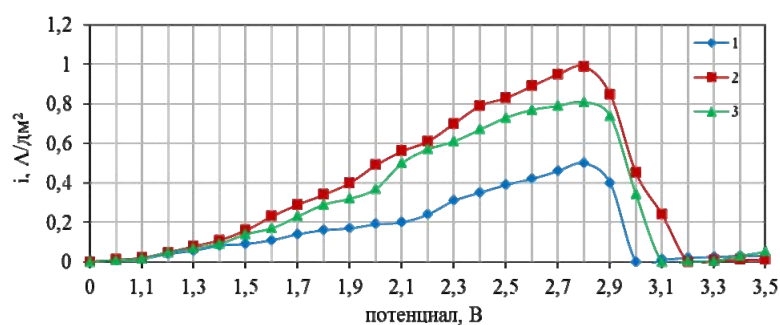


Рис. 3. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 2): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

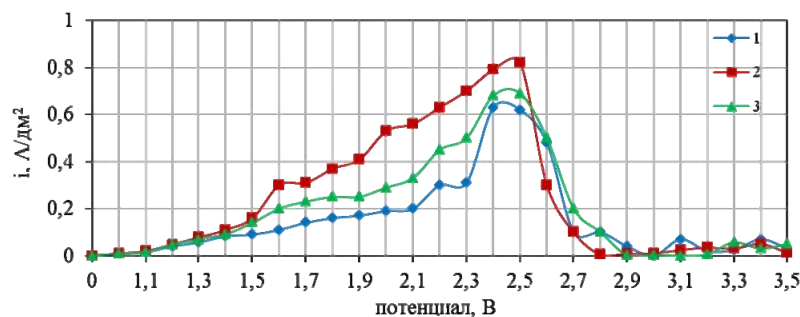


Рис. 4. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 3): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

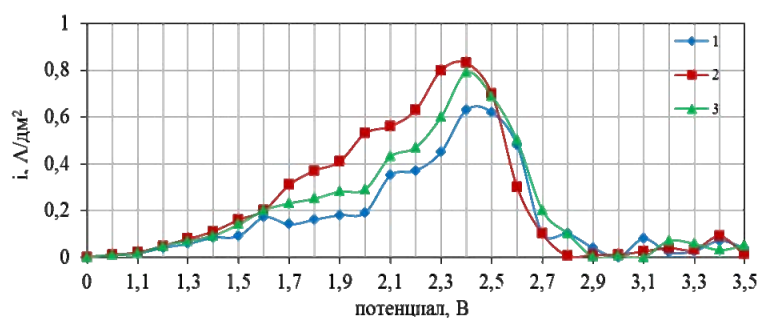


Рис. 5. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 4): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

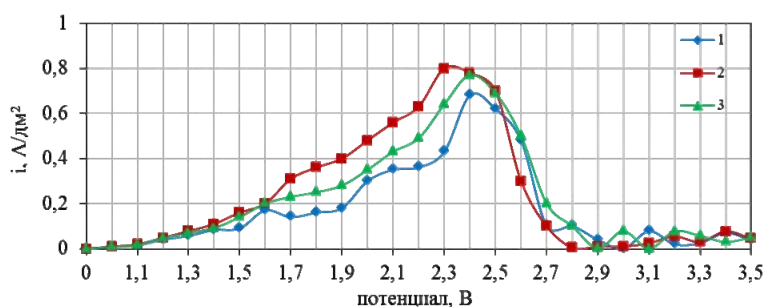


Рис. 6. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 5): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

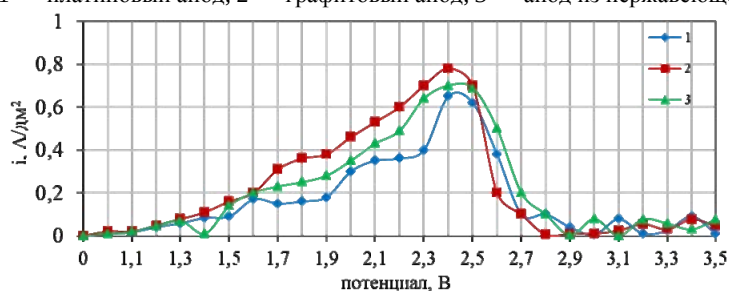


Рис. 7. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 6): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

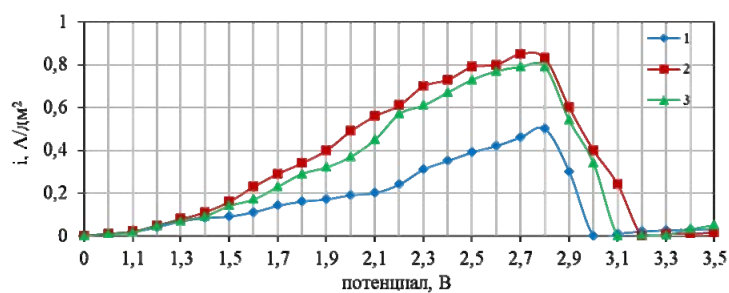


Рис. 8. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 7): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

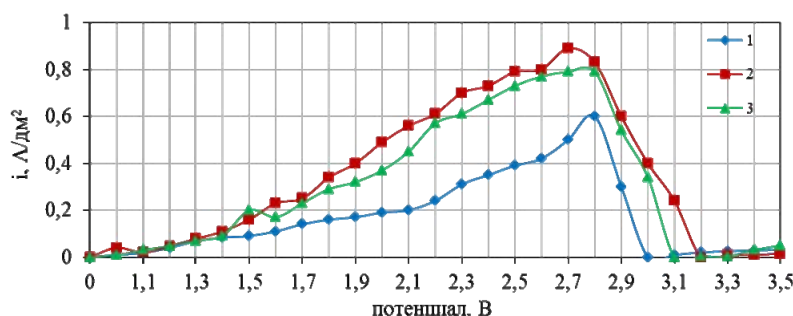


Рис. 9. Зависимость потенциала окисления от плотности тока (модельный раствор № 8): 1 — платиновый анод; 2 — графитовый анод; 3 — анод из нержавеющей стали

Проведенное исследование позволяет заключить, что наибольшая плотность тока, необходимая для достижения потенциала окисления полного перечня органических веществ ($C_{10,5}H_{21,0}$; ИД-20; CH_2O ; $C_{10,5}H_{21,0}$) при электроокислении на поверхности анода, составляет $1,0 \text{ A/dm}^2$, наименьшая — $0,5 \text{ A/dm}^2$. Видно, что процесс электроокисления проходил при меньших плотностях на платиновом аноде, однако использование платиновых анодов нецелесообразно. При использовании графитовых анодов наблюдалось самое высокое значение плотности тока. Выявлено, что оптимальным вариантом является применение анодов из нержавеющей стали. Для уточнения выбора материала анода исследования проводились на реальных и модельных растворах, содержащих весь спектр органических загрязняющих веществ в широком диапазоне их концентраций.

Дополнительное отстаивание после электрохимической обработки является завершающим этапом всего комплекса очистки полимерсодержащих сточных вод. При проведении электрохимической очистки произошло образование осадка в прианодном и в прикатодном пространстве. Осадок имеет хлопьевидную структуру, и в первые минуты после обработки электрическим током часть его всплывает на поверхность обрабатываемого раствора. После окончания обработки раствора происходит осаждение хлопьев в течение некоторого времени. Кривые кинетики вторичного отстаивания — (Э) от (τ) были получены экспериментально по общепринятой методике [21]. Анализы по выявлению эффективности очистки сточных вод были проведены согласно стандартным методикам [22, 23]. Пробы воды отбирались строго из середины высоты слоя отстаивания.

Проанализировав полученные экспериментальные данные, видим, что максимальная степень доочистки сточных вод достигается при отстаивании после электрохимической обработки в течение 35 минут.

Химический состав сточной воды после электрохимической обработки показан в табл. 3.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что очищенную посредством электрохимического метода воду можно использовать на предприятии для мойки оборудования, а после специальной подготовки — при производстве водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, являющихся продукцией предприятия их производящего.

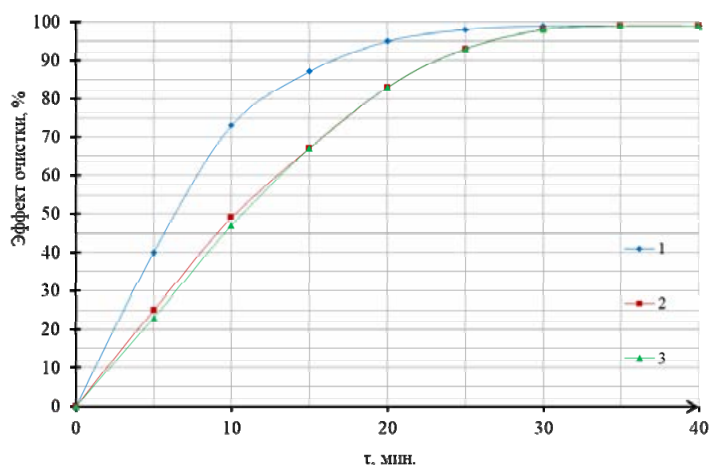


Рис. 10. Зависимость эффекта очистки от продолжительности отстаивания: 1 — модельный раствор № 1; 2 — модельные растворы № 2 и № 10; 3 — реальные сточные воды

Таблица 3

Химический состав сточной воды

Наименование загрязнителя	Концентрация, г/л		Мутность, NTU	
	До очистки	После электрохим. очистки и отстаивания	до	после
Водная фракция				
Na ₆ P ₆ O ₁₈				
C _{10,5} H _{21,0}	5,1			
ИД-20	7,3	0,001		
CH ₂ O	5,1	0,004	485	15
TiO ₂	0,4	0,001		
Стирол-	1,0	0,005		
акриловая дисперсия	0,7			

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Витковская Р. Ф., Кочуров И. В. Очистка сточных вод производства водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Вода: химия и экология. 2013. № 8. С. 43—47.
2. Потоловский Р. В. Малоотходная безреагентная технология очистки сточных вод от водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Водоочистка. 2014. № 9. С. 46—56.
3. Гандурина Л. В. Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка. Аналитический обзор. М. : ЗАО ДАР/ВОДГЕО, 2002. 74 с.
4. Гандурина Л. В. Очистка сточных вод с применением синтетических флокулянтов. Монография. М. : ДАР/ВОДГЕО, 2007. 198 с.
5. Кочуров И. В., Витковская Р. Ф. Метод электрокоагуляции для локальной очистки сточной воды производства воднодисперсионных лакокрасочных материалов // Вестник СПГУТД. 2015. № 1. С. 14—20.
6. Коагулянты для очистки краскосодержащих сточных вод окрасочных производств / Л. В. Гандурина и др. // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. № 4. С. 33—35.
7. Витковская Р. Ф., Кочуров И. В. Использование метода электрокоагуляции для очистки сточной воды производства лакокрасочных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 28, № 2. С.33—39.

8. Совершенствование оборотных систем водопользования с использованием флотационной техники / Б. С. Ксенофонов и др. // Экология и промышленность России. 2014. № 7. С. 7—11.
9. Holt P. K., Barton G. W., Mitchell C. A. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology // ELSEVIER Chemosphere. 2005. № 59. Pp. 355—367.
10. Akyol A. Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation // Desalination. 2012. № 285. Pp. 91—99.
11. Особенности очистки сточных вод, содержащих водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения (ВД ЛКМ) / Р. В. Потоловский и др. // Вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2011. Вып. 25(44). С. 294—299.
12. Воронов Ю. В., Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов. М.: Ассоциация строительных вузов, 2006. 704 с.
13. Казакова Е. Е., Скороходова О. Н. Водно-дисперсионные лакокрасочные материалы строительного назначения. М.: Пейт-Медиа, 2003. 136 с.
14. Дамаскин Б. Б., Петрий, О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия: Учебник для вузов. М.: Химия, 2001. 624 с.
15. Багоцкий В. С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
16. Гордон Дж. Органическая химия растворов электролитов. М.: Мир, 1979. 712 с.
17. Зигмонди Р. Коллоидная химия. Киев: ЦНИС, 1931. 146 с.
18. Бондаренко А. В. Электрохимия. М.: Химия, 1975. 675 с.
19. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967. 856 с.
20. Краснобородько И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л.: Химия, 1988. 192 с.
21. Яковлев С. В., Калищун В. И. Механическая очистка сточных вод. М.: Стройиздат, 1977. 200 с.
22. Отраслевой сборник методик проведения химического анализа веществ, применяемых в легкой промышленности содержащихся в сточной воде / Ю. М. Ласков и др. М.: ЦНИИТЭИ лег. пром-сти, 1988. С. 8—9, 24—33, 57—64, 93—101, 107—108, 120—124, 161.
23. Методика проведения экспериментов по очистке сточных и природных вод физико-химическими методами / Ю. М. Ласков и др. София, 1990. С. 8—16.

© Потоловский Р. В., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Коновалов О. В.,
Клименко В. И., Иванов М. В., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Доочистка краскосодержащих сточных вод для производственных нужд с помощью электрохимического метода / Р. В. Потоловский, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, О. В. Коновалов, В. И. Клименко, М. В. Иванов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 132—140.

Об авторах:

Потоловский Роман Валерьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, potolovski@ro.ru

Сахарова Анастасия Андреевна — ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Коновалов Олег Владимирович — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и математического моделирования, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, miit.vgasu@mail.ru

Клименко Владимир Иванович — канд. тех. наук, доцент кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, stroytech@vgasu.ru

Иванов Максим Витальевич — аспирант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

**Roman V. Potolovskii, Anastasiya A. Sakharova, Elena V. Moskvicheva,
Oleg V. Konovalov, Vladimir I. Klimenko, Maksim V. Ivanov**

Volgograd State Technical University

POST-TREATMENT WASTEWATER OF CONTAINING DYE, FOR INDUSTRIAL PURPOSES, BY MEANS ELECTROCHEMICAL METHOD

The article proposes a method of post-treatment of wastewater generated in the production of water-dispersion paints.

After electrochemical treatment, purified water can be used at the plant for washing equipment, and after special preparation and for production of water-dispersion paints.

Key words: water-dispersion paints, post-treatment.

For citation:

Potolovskii R. V., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Konovalov O. V., Klimenko V. I., Ivanov M. V. [Post-treatment wastewater of containing dye, for industrial purposes, by means electrochemical 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], 2018, iss. 54(73), pp. 132—140.

About authors:

Roman V. Potolovskii — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, potolovski@ro.ru

Anastasiya A. Sakharova — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Elena V. Moskvicheva — Doctor of Engineering Sciences, 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

Oleg V. Konovalov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Mathematic and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, miit.vgasu@mail.ru

Vladimir I. Klimenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Structural Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, stroytech@vgasu.ru

Maksim V. Ivanov — Postgraduate student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

УДК 628.316.12

**Р. В. Потоловский, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, А. А. Геращенко,
Ю. Ю. Юрьев, С. А. Калиновский**

Волгоградский государственный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА СТИРОЛ-АКРИЛОВЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ КРАСОК

В данной статье рассматривается проблема использования осадков сточных вод производства лакокрасочных материалов в качестве вторичного сырья для изготовления водно-дисперсионных красок на основе выделенного из стоков стирол-акрилового связующего и других компонентов.

Ключевые слова: стирол-акриловые лакокрасочные материалы, отходы сточных вод, ресурсосберегающие технологии.

В настоящее время для повышения экологичности и эффективности промышленных предприятий актуально развитие ресурсосберегающих технологий, позволяющих использовать отходы промышленности и снизить антропогенную нагрузку предприятий на окружающую среду [1].

Для решения проблемы необходимо развивать индустрию утилизации, вторичной переработки и использования отходов. Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их повторное использование при получении различного вида продукции [2—5].

В качестве перспективного сырья для получения новой продукции нами рассматривались осадки сточных вод производства стирол-акриловых лакокрасочных материалов. В таких сточных водах содержатся вещества (стирол-акриловое связующее, наполнители и т. д.), которые представляют большую техническую ценность, их необходимо выделять и возвращать в производство.

Основным компонентом лакокрасочного материала является пленкообразователь, который способен формировать твердое покрытие. Под пленкообразованием понимается процесс слипания частиц дисперсной фазы (стирол-акриловой) при удалении дисперсной среды, т. е. при испарении воды [6]. Функциональные добавки, входящие в состав стирол-акриловых красок, — это вспомогательные вещества, применяемые для улучшения процессов пленкообразования и нанесения, повышения стабильности и долговечности красок и покрытий, а также для придания им каких-либо специальных свойств [7—14].

Далее рассмотрим состав выделенных компонентов сточных вод производства стирол-акриловых лакокрасочных материалов. Осадки из сточных вод были выделены после обработки известными технологиями реагентной и безреагентной обработки [15—17].

Всплывшие примеси представлены крупнодисперсными частицами наполнителя (рис. 1). Загрязнитель был выделен без потери своих физических свойств.

Коагулят (рис. 2) состоит из гелеобразных комочков, которые при механическом воздействии разрушаются и становятся более мелкими. В свою очередь, комочки образованы стирол-акриловым связующим. В процессе очистки сточных вод комочки коагулянта укрупняются и захватывают частички наполнителей (CaCO_3 , TiO_2). Таким образом, в составе гелеобразных комочков коагулянта находятся стирол-акриловое связующее и частицы наполнителя. Также в составе коагулянта есть и свободные частицы наполнителя, которые были выделены с помощью другого механизма осаждения (не захватывались полимерными частицами, которые образовали агрегаты).

Таблица 1

Состав выделенных загрязнителей

Наименование компонента	Концентрация, г/л	Размер частиц, мкм	Влажность, %
Всплывшие примеси			
Алюмосиликатные полые микросферы	20,5	25...125	93
Осадок (коагулят)			
Стирол-акриловая дисперсия;	57,0	20...50	99
CaCO_3	9,3		
TiO_2	9,0		

Примечание. Химический состав водной части осадка не рассматривался.



Рис. 1. Выделенные алюмосиликатные полые микросферы

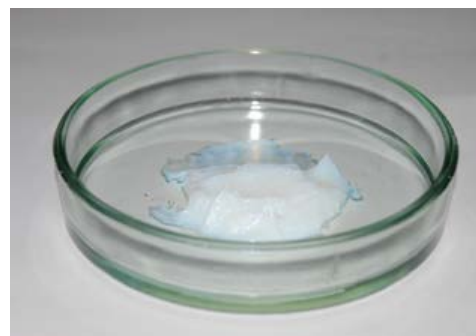


Рис. 2. Образовавшийся коагулят (стирол-акриловое связующее и не более 10 % алюмосиликатных полых микросфер)

В структуре осадка влага находится в форме свободной воды, т. е. имеет наименьшую энергию связи со структурой осадка и легко может быть из него удалена. Однако обезвоживание осадка запускает механизм пленкообразования стирол-акрилового связующего, что не дает возможность использовать выделенный загрязнитель с учетом его полезных свойств.

Основным свойством стирол-акрилового связующего является его способность к пленкообразованию [7], т. е. формированию твердого покрытия. Под пленкообразованием понимается процесс слипания частиц дисперсной фазы при удалении дисперсной среды, например, в результате испарения, с образованием однофазной сплошной пленки. Этот процесс по своей природе

имеет много общего с обычной коагуляцией дисперсии вследствие разрушения ее стабилизирующей системы [11].

При формировании покрытий посредством испарения воды различают три стадии (рис. 3).

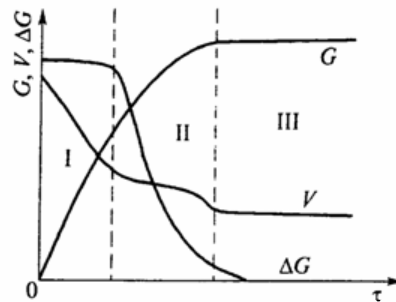


Рис. 3. Потеря воды G , изменение объема V и поверхностной энергии ΔG полимерной системы при пленкообразовании

Первая стадия образования промежуточного геля характеризуется сближением частиц и усилением взаимодействия между ними. Вязкость материала резко повышается, он становится пастообразным; содержание жидкой фазы в нем не превышает 30 %. Этот процесс носит обратимый характер. Скорость испарения воды на этой стадии примерно постоянна и близка к скорости испарения ее со свободной поверхности.

На второй стадии происходит сжатие промежуточного геля. При этом происходит дальнейшее удаление воды из пленки и разрушение имеющихся на поверхности глобул адсорбционно-гидратных оболочек. Коагуляционные контакты между частицами заменяются на конденсационные. Частицы деформируются: теряют шарообразную форму и принимают вид плотно уложенных многогранников (рис. 4). Образуется так называемая псевдопленка.

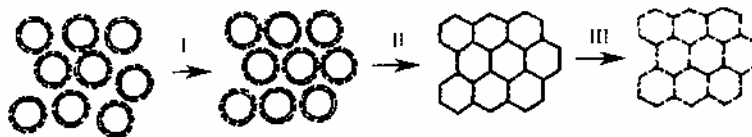


Рис. 4. Схема структурных превращений при образовании пленки (по данным В. И. Елисеевой)

Третью стадию составляют аутогезионные процессы, заключающиеся в ликвидации межфазной границы, т. е. слиянии.

Коагулят, образовавшийся в процессе очистки сточных вод, по своим физическим свойствам находится на первой стадии пленкообразования, при которой частицы сближены до обратимого соприкосновения. Таким образом, данный факт дает нам возможность использовать коагулят в качестве вторичного сырья. Однако в результате процесса очистки сточных вод была нарушена агрегативная устойчивость частиц стирол-акрилового связующего, они были укрупнены.

Учитывая вышесказанное, для восстановления свойств и изменения дисперсного состава проводится обработка коагулята и доведение его до требований, предъявляемых к полимерным связующим в лакокрасочной промышленности.

Агрегативная устойчивость таких дисперсий восстанавливается введением стабилизаторов (ионогенные ПАВ) или защитных коллоидов, в качестве которых обычно используют водорастворимые полимеры (поливиниловый спирт, карбоксиметилцеллюлозу) [18—21].

Уменьшение дисперсного состава осуществляется с помощью бисерной мельницы, которая способна разбить гелеобразные комочки коагулята и восстановить размеры полимерных частиц до 0,5...2 мкм.

В результате предварительной обработки на кафедре водоснабжения и водоотведения была получена устойчивая стирол-акриловая дисперсия, которая может применяться в качестве связующего при производстве лакокрасочных материалов по известным рецептурам [7, 22, 23].

Знание свойств покрытий необходимо для правильного определения областей их применения, поэтому нами была предложена рецептура стирол-акрилового лакокрасочного материала (ЛКМ) и были выявлены основные свойства покрытия.

Для создания краски была выбрана типовая рецептура (табл. 2) стирол-акрилового ЛКМ для внутренних работ. Процесс производства был строго регламентирован [7].

Т а б л и ц а 2

Типовая рецептура стирол-акрилового ЛКМ

Компонент	Вид сырья	Общее кол-во, % (по массе)
Пленкообразователь	Стирол-акриловое связующее	40
Наполнители	Мел (кальцит) Диоксид титана Полые микросферы	30
Функциональные добавки (суммарно)	Диспергатор Консервант Коалесцент Пеногаситель	5
Другие	Вода	25
Всего:		100

Испытания водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность подложки, были проведены по стандартным методам (рис. 5) [17].

В табл. 3 приведены важнейшие свойства стирол-акрилового ЛКМ в сравнении с контрольным образцом (эталон).

На основании вышеизложенного можно отметить следующее:

1. Из жидких отходов, образовавшихся при производстве стирол-акриловых лако-красочных материалов, можно выделить коагулят, состоящий из частиц стирол-акрилового вяжущего и полых микросфер, обеспечив качественную очистку сточных вод.
2. Частицы акрилового связующего и алюмосиликатные полые микросферы, составляющие выделенный коагулят, не теряют своих физических

свойств, что позволяет использовать их в качестве вторичного сырья для производства водно-дисперсионных красок для внутренних работ.

3. Стирол-акриловое связующее может входить в состав легких бетонов и ряда теплоизоляционных материалов, поэтому выделенное из осадков сточных вод связующее также может быть применено для производства этих строительных материалов.

Таблица 3

Свойства водно-дисперсионной краски на основе выделенного из сточных вод стирол-акрилового связующего

Свойство	Первый образец (на основе выделенного из сточных вод стирол-акрилового связующего)	Второй образец (контрольный образец)
Адгезия	+	++
Проницаемость	—	—
Эластичность	++	+++
Атмосферостойкость	—	++
Ремонтируемость	+++	+++
Укрывистость	+	++

Примечания. «—» — низкое значение, «+» — удовлетворительное, «++» — хорошее, «+++» — очень хорошее.

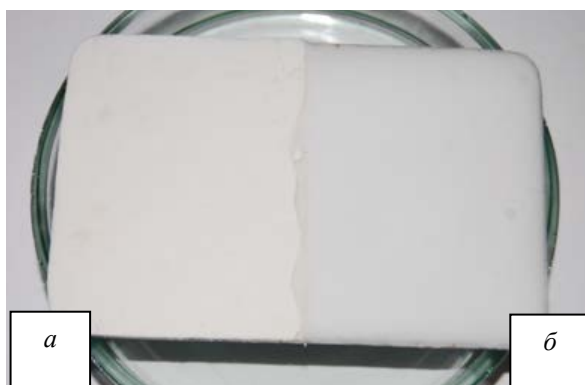


Рис. 5. Лакокрасочные материалы, нанесенные на подложку: *а* — контрольный образец; *б* — краска на основе выделенного из сточных вод стирол-акрилового связующего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заболотских В. В., Васильев А. В., Батова К. Э. Анализ проблемы образования отходов лакокрасочных материалов в Самарской области и перспективы их переработки // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. № 4—1.
2. Васильев А. «Зеленая политика»: проблемы и структура // Pro et Contra. 2002. Т. 7, № 1. С. 84—93.
3. Васильев А. В., Васильева Л. А. К вопросу о системном обеспечении экологической безопасности в условиях современного города // Изв. Самар. НЦ РАН. 2003. Т. 5, № 2. С. 363—368.
4. Vasilyev A. V., Khamidullova L. R., Podurueva V. V. Investigation of toxicity of waste water of «AVTOVAZ» company by using biological testing methods. Safety of Technogenic Environment. 2012. № 2. С. 72—75.
5. Vasilyev A. V., Gusarova D. V. Analysis of lubricating cooling liquids negative influence to the human's health and the ways of it reduction. Safety of Technogenic Environment. 2013. № 4. Pp. 37—41.

6. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. СПб. : ХИМИЗДАТ, 2008. 448 с.
7. Казакова Е. Е., Скороходова О. Н. Водно-дисперсионные лакокрасочные материалы строительного назначения. М. : Пейнт-Медиа, 2003. 136 с.
8. Крутько Э. Т., Прокопчук Н. Р. Химия и технология лакокрасочных материалов и покрытий. Учебное пособие. Мн. : БГТУ, 2004. 314 с.
9. Лакокрасочные покрытия. Технология и оборудование. Справ. изд. /А. М. Елисаветский др.; Под ред. А. М. Елисаветского. М. : Химия, 1992. 416 с.
10. Schwarz M. Waterbased Acrylates for Decorative Coatings. Hannover : Vincentz Verlag, 2001. 282 p.
11. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. СПб. : Химиздат, 2008. 448 с.
12. Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов : международная научно-техническая конференция, 18—20 ноября 2015 г. : материалы конференции / гл. ред. И. М. Жарский. Мн. : БГТУ, 2009. 294 с.
13. Химия и технология пленкообразующих веществ: Учебник для вузов / М. Ф. Сорокин и др. / 2-е изд., перераб. и доп. М. : Химия, 1989. 480 с.
14. Ламбурн Р. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика: Пер. с англ. / Под ред. Р. Ламбурна. СПб. : Химия, 1991. 512 с.
15. Витковская Р. Ф., Кочуров И. В. Очистка сточных вод производства водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Вода: химия и экология. 2013. № 8. С. 43—47.
16. Потоловский Р. В. Малоотходная безреагентная технология очистки сточных вод от водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Водоочистка. 2014. № 9. С. 46—56.
17. Гандурина Л. В. Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка. Аналитический обзор. М. : ЗАО «ДАР/ВОДГЕО», 2002. 74 с.
18. Верхованцев В. В. Водные краски на основе синтетических полимеров. Л. : Химия, 1968. 200 с.
19. Дой М., Эдварде С. Динамическая теория полимеров. Пер. с англ. М. : Мир, 1998. 440 с.
20. Зонтаг Г., Шренге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Пер. с нем. Л. : Химия, 1973. 152 с.
21. Коагуляционные контакты в дисперсных системах / В. В. Яминский и др. М. : Химия, 1982. 185 с.
22. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур. Пер. с нем. М. : ООО «Пэйнт-Медиа», 2007. 237 с.
23. Сырье и полупродукты для лакокрасочных материалов: Справочное пособие / Под ред. М. М. Гольдверга. М. : Химия, 1987. 512 с.

© Потоловский Р. В., Сахарова А. А., Москвичева Е. В., Геращенко А. А., Юрьев Ю. Ю., Калиновский С. А., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Использование осадков сточных вод производства стирол-акриловых лакокрасочных материалов в качестве вторичного сырья для производства водно-дисперсионных красок / Р. В. Потоловский, А. А. Сахарова, Е. В. Москвичева, А. А. Геращенко, Ю. Ю. Юрьев, С. А. Калиновский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 141—147.

Об авторах:

Потоловский Роман Валерьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, potolovski@ro.ru

Сахарова Анастасия Андреевна — ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Москвичева Елена Викторовна — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Герашенко Алла Анатольевна — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Юрьев Юрий Юрьевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

Калиновский Сергей Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sk0522@yandex.com

**Roman V. Potolovskii, Anastasiya A. Sakharova, Elena V. Moskvicheva,
Alla A. Gerashchenko, Yurii Yu. Yur'ev, Sergei A. Kalinovskii**

Volgograd State Technical University

THE USE OF SEWAGE SLUDGES FOR THE PRODUCTION OF STYRENE-ACRYLIC COATING MATERIALS AS SECONDARY RAW MATERIALS FOR PRODUCTION WATER-DISPERSION PAINTS

This article deals with the problem of the use of sewage sludge in the production of paints and varnishes as a secondary raw material for the manufacture of water-dispersion paints on the basis of styrene-acrylic binder and other components extracted from the effluent.

К е y w o r d s: styrene-acrylic paints, waste water, resource-saving technologies.

For citation:

Potolovskii R. V., Sakharova A. A., Moskvicheva E. V., Gerashchenko A. A., Yuriev Yu. Yu., Kalinovskii C. A. [The use of sewage sludges for the production of styrene-acrylic coating materials as secondary raw materials for production water-dispersion paints]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 141—147.

About authors:

Roman V. Potolovskii — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, potolovski@ro.ru

Anastasiya A. Sakharova — Assistant of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Elena V. Moskvicheva — Doctor of Engineering Sciences, 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

Alla A. Gerashchenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Yurii Yu. Yur'ev — Canidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

Sergei A. Kalinovskii — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sk0522@yandex.com

УДК 628.161:627.221.2(282.247.36)

Е. Д. Хецуриани^а, В. Л. Бондаренко^б

^а *Южно-Российский государственный политехнический университет им М. И. Платова*

^б *Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова*

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В МНОГОЦЕЛЕВОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ ГОРОДСКИХ ХОЗЯЙСТВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Проведены результаты исследований по разработке основ методологии создания и развития специализированного типа природно-технических систем (ПТС) «Природная водная среда — Водозаборный технологический комплекс — Система многоцелевого водоснабжения» (ПВС — ВТК — СМВ) для целей санитарно-гигиенического и нормативного водоснабжения городских хозяйств, населенных пунктов, промышленных предприятий, ТЭС, ГРЭС, АЭС. Одним из наиболее важных требований для создаваемого специализированного типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» являлось обеспечение экологической безопасности в зонах влияния «ВТК» на водном объекте путем защиты от попадания молоди рыб, донных и взвешенных наносов, плавающих предметов, водной растительности в водозаборный ковш, а также от сине-зеленых водорослей, влияющих на качественные показатели используемой питьевой воды.

Ключевые слова: система многоцелевого водоснабжения, водозаборно-технологический комплекс, водный объект, природная водная среда, экологическая безопасность, биоресурсы.

Использование водных ресурсов в отраслях промышленного, сельскохозяйственного, энергетического производства, в системах многоцелевого водоснабжения промышленных и населенных пунктов обуславливает особый вид хозяйственной деятельности (далее — ХД). Особенность данного вида ХД определяется жизненной необходимостью в жизнедеятельности человека, животного и растительного миров биосферы Земли и практически во всех действующих технологических процессах¹.

Современное развитие общества как на уровне глобальной системы [1], так и на локальном уровне в пространственных пределах речных бассейновых геосистем, где формируются водные ресурсы в виде поверхностного и подземного стока, наблюдается определенная ограниченность водных ресурсов в ограничивающихся условиях дальнейшего развития, к примеру, в регионах Южно-Федерального округа (ЮФО) и Северного Кавказа, в частности, в нижнем течении р. Дон (объем пространственных пределов бассейновой геосистемы $W_{Б.Г.С} = 1010,0$ тыс. км³; площадь водосбора речной гидрографической сети $F_{вод} = 101,0$ тыс. км²), где проживает население более 4-х млн человек [4, 5].

Использование водных ресурсов в пределах рассматриваемых бассейновых геосистем в отраслях ХД неотъемлемо связано с действующими водохозяйственными системами и новыми. По целенаправленному назначению водохозяйственные системы подразделяются для промышленного, сельскохозяйственного

¹ Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году». М. : НИА-Природа, 2010.

зяйственного производства, технического водоснабжения тепловых (ТЭС) и атомных электростанций (АЭС), по выработке электрической энергии на ГЭС и ГАЭС, в системах многоцелевого водоснабжения городских хозяйств и населенных пунктов и других объектов водопотребления и водопользования. Технологическое использование водных ресурсов в той или иной отрасли ХД обуславливается определенной отличительной спецификой, которая появляется в процессах взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения (далее — ВВВ) объектов водопотребления или водопользования с водным объектом, из которого осуществляется водоотбор расчетных расходов воды (Q , $\text{м}^3/\text{с}$). Объекты водопотребления или водопользования в своем составе представляют комплекс различных типов гидротехнических сооружений (далее — КГТС), которые находятся во ВВВ с природными средами (атмосферой, гидросферой, верхними слоями литосферы и почвенным покровом) и с населением в зонах влияния КГТС [2, 6, 7], представляет собой особый класс природно-технических систем (далее — ПТС) «Природная среда — Объект деятельности — Население» (далее — «ПС — ОД — Н»), где под «ОД» рассматривается необходимый КГТС в виде водохранилищного гидроузла, водозаборного сооружения, оросительной системы и т. п.

Функциональные особенности действующих и создаваемых водохозяйственных систем по использованию водных ресурсов определили собой системные различия в классе ПТС «ПС — ОД — Н». Так, на основе системного анализа действующих систем многоцелевого водоснабжения городских хозяйств (СМВГХ) в процессах ВВВ «ОД», представляющий собой водозаборный технологический комплекс (далее — ВТК), с «ПС» особое внимание при изучении уделяется вопросам защиты водной среды водного объекта от воздействия конструктивных элементов ВТК в части сохранения биоресурсов в виде ихтиофауны (молоди рыб) и флоры (водной растительности) от их попадания в конструктивную систему водоподготовки и последующего водоснабжения потребителей городского хозяйства [4, 7]. Защита водной среды водного объекта в зоне влияния ВТК, функционально обеспечивающего отбор расчетных расходов воды (Q , $\text{м}^3/\text{с}$) в СМВГХ, также предусматривает значительное снижение захвата данных русловых наносов и различных плавающих предметов в конструктивную систему водоподготовки.

Обеспечение защиты водной среды водного объекта в створе осуществления отбора расчетных расходов воды в СМВГХ, как показали результаты системного анализа действующих ВТК на участке нижнего течения р. Дон (объем пространственных пределов бассейновой геосистемы $W_{\text{Б.Г.С}} = 1010,0$ тыс. км^3 ; площадь водосбора речной гидрографической сети $F_{\text{вод}} = 101,0$ тыс. км^2), определило собой специализированный тип ПТС «ПВС — ВТК — СМВ», являющийся важным направлением в развитии теоретических основ методологии известного класса ПТС «ПС — ОД — Н» по использованию водных ресурсов в отраслях ХД, которые изложены в работах [2, 6].

Состав специализированного типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ», включающий в себя различные типы гидротехнических сооружений (ГТС) для обеспечения различных видов защиты водной среды водного объекта от негативного его воздействия, является центральным техногенным комплексом.

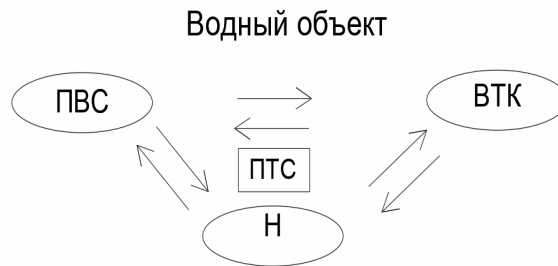


Рис. 1. Модель схемы взаимодействия компонентов специализированной ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» в пределах зон влияния «ВТК»

При изучении специализированного вида ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» учитывались аксиоматические предпосылки: 1) функциональная необходимость существования; 2) множество природных и конструктивных структурных образований; 3) единство действий природы и «ВТК»; 4) достаточность [2].

Условие 1) обуславливает необходимость существования специализированного типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ».

Условие 2) определяется множеством природных и техногенных системных элементов, входящих в состав природных (биотических и абиотических) и техногенных (различные типы ГТС) компонентов, которые учитываются при создании данного типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» в конкретных условиях.

Условие 3) определяется единством действий и «ВТК», обуславливающее собой новые свойства в процессе функционирования ПТС «ПВС — ВТК — СМВ», которые являются важными в оценке уровня защищенности «ПВС» водного объекта как важного фактора в обеспечении экологической безопасности (ЭБ).

Условие 4) характеризуется определенной достаточностью результатов исследований в части экологического состояния (ЭС) водной среды водного объекта, ихтиологических, руслоформирующих и гидрологических процессов и др.

Функциональная эффективность рассматриваемого типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ», как показывают результаты исследований, определяется, с одной стороны, структурой ВВВ между составляющими компонентами и входящими в них элементами, а с другой стороны, экологической приемлемостью принимаемых конструктивных решений в «ВТК» [8].

Функциональная структура действующих и создаваемых специализированных ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» характеризуется комплексом ГТС и устройств, взаимодействующих с «ПВС» на участках водозаборного ковша (рис. 2), в пределах которых формируется необходимая гидравлическая структура водного потока, обеспечивающая целевую направленность по сохранению биоресурсов в водном объекте (не менее 80 %), максимально возможное (до 90 %) снижение захвата данных и влекомых наносов, участвующих в естественных руслоформирующих процессах, сохранение биоразнообразия в речном русле как особого вида ихтиофауны и защиты от различных плавающих предметов [4, 9].

Пространственная структура ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» определяется характером расположения комплекса ГТС и устройств на участках водозаборного ковша (рис. 2), из которых наиболее важным является участок № 1,

взаимодействующий непосредственно с «ПВС» водного объекта, и по функциональному назначению должны обеспечивать сохранение биоресурсов в водном объекте, защиту «ВТК» от донных влекомых наносов и плавающих предметов в русловом водном потоке. На участке № 2 водозаборного ковша производится предварительная биологическая очистка «ПВС» по основным показателям: концентрация фитопланктона, микроорганизмов, биогенных элементов, железа и др., повышение уровня окисляемости и снижение мутности водной среды на участке № 3.

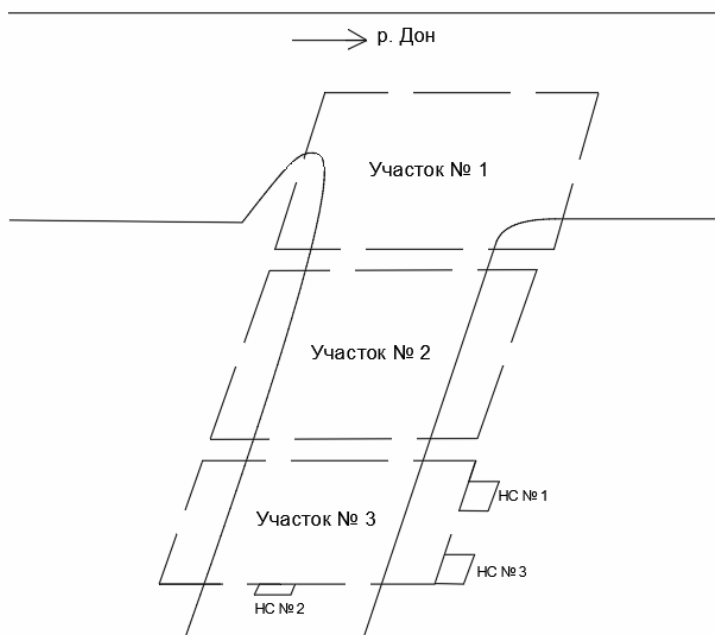


Рис. 2. Пространственная структура ПТС «ПВС — ВТК — СМВ»

Временная структура ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» выражается функциональным использованием «ВТК» в сезонные периоды года, связанные с гидрологическими характеристиками водного объекта в весенне-летние и осенне-зимние периоды.

Исследованиями установлено, что отличительными признаками функциональной сложности структурных образований и организации ВВВ между компонентами и составляющими их элементами ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» (рис. 1) можно считать следующие:

- наличие большого количества ВВВ между элементами природного происхождения (виды ихтиофауны и флоры водного объекта) и конструктивными элементами ГТС и защитных устройств;

- сложность выполняемых функций по обеспечению защиты «ПВС» от негативного воздействия «ВТК»;

- возможность разделения системы на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели обеспечения водой городского хозяйства в нужном количестве при условии обеспечения защиты «ПВС» от негативного воздействия «ВТК» в зоне его влияния;

наличие возможности управления компонентами и их элементами в составе ПТС «ПВС — ВТК — СМВ», исходя из базового принципа функционирования, экологической приемлемости (ЭП) обеспечения экологической безопасности (ЭБ).

Обеспечение ЭП в используемых конструктивных решениях и функционально-целевом назначении «ВТК» в составе рассматриваемой ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» в теоретическом и практическом отношении возникла необходимость в разработке основ методологии (ОМ) создания и развития данного типа систем по использованию водных ресурсов в системе СМВ промышленных и населенных пунктов [2, 4, 10] «ВТК» и системный подход в оценке его функциональной эффективности в рассматриваемой системе.

Следует отметить, что системный анализ и системный подход базируется на исходящем понятии «система», первенство которого отмечается у Аристотеля, а основы теории систем лежат в идеях Гегеля, где целое рассматривается как нечто большее, чем сумма частей, а целое определяет природу частей, которые не могут быть познаны вне целого [2].

Для рассматриваемого специализированного типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» части представляют собой природные (биотические, абиотические), техногенные (различные типы ГТС в составе ВТК) компоненты и «СМВ», потребляющие воду в городском хозяйстве, которые находятся в непрерывной ВВВ между собой (рис. 2).

Природный компонент системы включает в себя водную среду водного объекта, ЭС которого формируется в пространственных пределах бассейна новой геосистемы или ее части, к примеру, нижнего течения р. Дон, из которого осуществляется отбор воды в СМВ.

Техногенный компонент в виде «ВТК», в котором многофункциональные ГТС обеспечивают на входном участке отбор расчетных расходов воды в СМВ с максимально достижимым (до 80 %) сохранением биоресурсов на водном объекте (молоди рыб и др. ихтиофауны), снижением (до 90 %) поступления влекомых донных русловых наносов в конструктивную систему водоподготовки (рис. 2). На последующем функциональном участке «ВТК» размещены устройства, обеспечивающие снижение мутности водного потока путем задержания сине-зеленых водорослей на ершовых фильтрах [11].

На основе результатов системных исследований процессов ВВВ «ВТК» с «ПВС» водного объекта были выявлены основные свойства ОМ на действующих ПТС «ПВС — ВТК — СМВ», которые базируются на понятии «Система» и рассматриваются как абстрактная модель; ОМ абстрактных моделей охватывают множество специализированных теорий, которые рассматривают более конкретные классы моделей; ОМ способны использовать достижения в области математики, биологии, экологии и др.; ОМ обуславливают в себе область научных исследований, связанных с изучением процессов ВВВ моделей «ВТК» с «ПВС».

В системном рассмотрении процессов ВВВ «ВТК» с «ПВС» в пределах зоны влияния техногенного компонента наблюдаются управляемые изменения в гидравлической структуре водного потока, под воздействием которых обеспечивается сохранение речной ихтиофауны, защита водозаборного ковша от донных наносов, плавающих предметов. Целенаправленное функционирование «ВТК» как материального образования определяет собой изучение сфер «Строения» и «Поведения» техногенного компонента в составе ПТС «ПВС — ВТК — СМВ».

Понятие «Система» интегрирует категории «Поведения», «Строения» и отражает объективную реальность для каждого компонента и входящих в них элементов (речная ихтиофауна и растительность, донные и взвешенные речные наносы и др.), входящих в сферу «Поведения», и материальных носителей поведения сферы «Строения». Системные исследования ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» зависят от понимания системного подхода как принципа ОМ исследования, который позволяет получать объективную оценку функционирования ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» на более высоком иерархическом уровне по сравнению с другими методами оценки, применяемыми в настоящее время [5]. Следует отметить, что при системном подходе наряду с процессами исследования ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» возможно их проектирование, связанное с созданием оптимальной ее структуры и организации.

Проектирование ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» определяет в себе, с одной стороны, создание оптимальной структуры ВВВ между компонентами и входящими в них элементами (рис. 2), с другой стороны, обеспечение ЭП данной системы как важного фактора по обеспечению ЭБ [3, 8, 9].

Системный подход как концептуальная основа обуславливается тем, что системы из самых различных областей имеют много общих свойств, поэтому при проектировании ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» одной из задач системного подхода является нахождение подобных структурных ВВВ, свойств и явлений, относящихся к системам из других областей.

Системный подход как научный метод в проектировании исследований ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» обуславливает метод мышления, который дополняет традиционные научные методы путем создания новых подходов к объяснению и доказательству процессов взаимодействия «ВТК» с «Н» городского хозяйства. Системный подход дает возможность соединить анализ системы с позиции обеспечения ЭБ, экономики, социальной сферы и рассматривать организацию как единое целое с достижением наибольшей функциональной эффективности [3].

Важнейшим инструментом в проведении системного анализа является использование подобия систем из различных областей знаний. Так, У. Р. Эшби впервые ввел в практику системного анализа понятие модель гомеостаза, которую широко используют в современной экономике. Используя инструмент подобия при выполнении системного анализа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» необходимо учитывать системный принцип эмерджентности, суть которого заключается в том, что истина в малом может оказаться ложным в большом и наоборот. Для рассматриваемых ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» изменения в одних элементах как подсистем оказывают влияние на процессы функционирования других подсистем, что необходимо учитывать при проектировании как целостной системы.

Создание и развитие ОМ ПТК «ПВС — ВТК — СМВ» могут быть отнесены как к функциональным наукам (математика, физика, биология, химия), так и к прикладным наукам (экология, гидрология, социология и др.), что обуславливает необходимость в достижении единства знаний в области исследования и проектирования данного типа систем [2, 3].

При решении практических задач по обеспечению функциональной эффективности «ВТК» в составе ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» строят физические модели с заданными масштабами (1:50, 1:100) или разрабатывают мате-

математические модели для изучения процессов ВВВ между техногенным компонентом в виде «ВТК» и водной средой участка водного объекта с целью выявления сущности реальной действительности с наблюдаемыми явлениями, к примеру, отвода молоди рыб от водозаборного окна. Физические и математические модели позволяют лучше понимать сложные ВВВ между элементами «ВТК» и элементами «ПВС», что в конечном итоге обеспечивает достаточную функциональную эффективность, как факторы ЭБ.

Исходя из системного механизма управления по обеспечению сохранения биоресурсов в водном объекте, с одной стороны, и обеспечению водой потребности городского хозяйства, с другой стороны, с сохранением приемлемого ЭС в пространственных пределах зоны влияния «ВТК», что определяет собой ЭБ [8, 10].

Основные выводы:

1. На основе результатов исследований процессов ВВВ между природным компонентом в виде «ПВС» водного объекта и техногенными компонентами в виде «ВТК» и «СМВ» основы методологии создания специализированного типа ПТС «ПВС — ВТК — СМВ» для систем водоснабжения городских хозяйств, промышленных предприятий, ТЭС, ГРЭС и АЭС, в которых одним из основных требований является обеспечение ЭБ.

2. При обеспечении ЭБ в зонах влияния «ВТК» и «СМВ» городских хозяйств, населенных пунктов, промышленных предприятий, ТЭС, ГРЭС, АЭС доминирующими критериальными показателями являются сохранение биоресурсов в водном объекте и защита от негативного воздействия синезеленых водорослей на качество питьевой воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковальчук М. В. От синтеза в науке — к конвергенции в образовании // Образовательная политика. 2010. № 11—12 (49—50). С. 1—12.
2. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейнов геосистем : монография / В. Л. Бондаренко и др. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. 204 с.
3. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М. : Прогресс, 1986. 256 с.
4. Решение экологических проблем при проектировании гидротехнических сооружений (на примере бассейновой геосистемы Верхней Кубани) / В. Л. Бондаренко и др. Южный научный центр РАН, 2009. 309 с.
5. Россия: Вводно-ресурсный потенциал / Под науч. ред. А. М. Черняева. Екатеринбург : РосНИИВХ, 1998. 338 с.
6. Системный подход в оценке воздействия водохранилищ на окружающую среду / В. Л. Бондаренко и др. // Проблемы региональной экологии. 2006. № 5. С. 6—12.
7. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: экологическая инфраструктура бассейновых геосистем : монография / В. Л. Бондаренко и др. Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2012. 308 с.
8. Природообустройство: территории бассейновых геосистем : Учебное пособие / под общ. ред. И. С. Румянцев. Ростов-на-Дону : МарТ, 2010. 528 с.
9. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем ; монография / В. Л. Бондаренко и др. Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ) им. Платова, 2016. 416 с.
10. Life Cycle Management. Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. BASF / P. Saling and others. Germany, 2002. Pp. 42—57.
11. P. Saling, R. Hover «Metrics for Sustainability» as part of RSC // Green Chemistry. 2009. № 4. Pp. 25—37.

© Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л. Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 148—155.

Об авторах:

Хецуриани Елгуджа Демурович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; goodga@mail.ru

Бондаренко Владимир Леонидович — д-р техн. наук, профессор кафедры техногенной безопасности, мелиорации и природообустройства, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова — филиал Донского государственного аграрного университета. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111, kafedra.tbmp@yandex.ru

Elgudzha D. Khetsuriani^a, Vladimir L. Bondarenko^b

^a *Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)*

^b *Novocherkassk Engineering-Meliorative Institute of A. K. Kortunov — branch of Don State Agrarian University*

THE BASICS OF METHODOLOGY OF CREATION OF NATURE-TECHNICAL SYSTEMS IN WATER MANAGEMENT IN MULTIPURPOSE WATER SUPPLY IN URBAN FARMS AND SETTLEMENTS

The results of research on the development of the methodology of co-building and the development of specialized type of natural and technical systems (PTS) “Natural water environment-water Intake technological complex — system of multi — purpose water supply” (PVS — VTK — SMV) for the purposes of sanitary-hygienic and normative water supply of urban farms, settlements, industrial enterprises, TPP, GRES, NPP. One of the most important requirements for the created specialized type of PTS “PVS — VTK — SMV” “was to ensure environmental safety in the areas of influence of “VTK” on the water body by protecting against the ingress of juvenile fish, bottom and suspended sediments, floating objects, aquatic vegetation in the intake bucket, as well as from blue-green algae affecting the quality indicators of drinking water use.

Key words: system of multipurpose water supply, water technology facility, water body, natural water environment, ecological safety, and biological resources.

For citation:

Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L. [The basics of methodology of creation of nature-technical systems in water management in multipurpose water supply in urban farms and 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], 2018, iss. 54(73), pp. 148—155.

About authors:

Elgudzha D. Khetsuriani — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; goodga@mail.ru

Vladimir L. Bondarenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Technogenic Safety, Melioration and Environmental Engineering Department, Novocherkassk Engineering-Meliorative Institute of A. K. Kortunov — branch of Don State Agrarian University. 111, Pushkinskaya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation, kafedra.tbmp@yandex.ru

УДК 628.161:627.221.2(282.247.36)

Е. Д. Хецуриани^а, Т. С. Колмакова^б, М. А. Акименко^б, Т. Е. Хецуриани^б

^а *Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова*

^б *Ростовский государственный медицинский университет*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДНОЙ СРЕДЫ — ЗАЛОГ ЗДОРОВОГО БУДУЩЕГО

Статья является частью акции «Вода и здоровье» проекта «Здоровое будущее» партии «Единая Россия» и направлена на экологическое просвещение детей, подростков и молодежи, вовлечение подрастающего поколения в решение проблем водных ресурсов. В данной статье проводится обзор проблемы токсичности сине-зеленых водорослей, их влияние на организм животных и человека. Массовое развитие микрофитов в водах поверхностных источников водоснабжения в периоды цветения воды создает значительные трудности при водоподготовке и существенно влияет на такие нормируемые показатели, как «запах» и «привкус». В этой статье мы показали важность воды для здоровья человека и в перспективе хотели бы провести научные опыты, связанные с химическими и физическими свойствами воды.

Ключевые слова: природопользование, сине-зеленые водоросли, токсичность, загрязненности водоисточника, органолептические показатели, здоровое будущее.

Первый заместитель председателя комитета Госдумы по образованию и науке Геннадий Онищенко, посетивший открытый экологический урок «Вода и здоровье», заявил: «Ростовская область должна стать лидером в сфере экологии. Для этого донской регион обладает научным потенциалом, экологическими ресурсами, равнодушными людьми».

Мы, «изучая уникальное прошлое — строим экологически чистое будущее». Участие в конференции — это возможность реализации своих творческих способностей в области экологии, осознания своей ответственности за окружающий мир, свою Родину, населенный пункт и университет. Кроме того, это прекрасный опыт наставничества для старшеклассников, организации встреч с политическими и общественными деятелями, возможность раскрытия актуальных проблем и вопросов в области экологии и здоровья населения, исследования путей их решения.

В процессе хозяйственной деятельности человечество интенсивно использует важнейшие природные ресурсы: воду, землю, воздух, полезные ископаемые, при этом нарушается экологическое равновесие, формирующееся на земле в течение миллионов лет ее эволюции. Негативные последствия человеческой деятельности в большей степени сказываются на биогеофизической обстановке нашей планеты, но наиболее сильно страдает гидросфера. Одним из важнейших факторов нарушения экологического режима в водоемах является их эвтрофирование, то есть увеличение содержания азота, фосфора и других биогенных элементов, что обуславливает повышение интенсивности первичного продуцирования органических веществ, стимулирует развитие микроводорослей и высших водных растений. Первое обусловлено влиянием на водоем комплекса абиотических и биологических факторов, в нормальных условиях оно осуществляется медленно и представляет собой

один из этапов эволюции водоема. Антропогенное эвтрофирование как следствие хозяйственной деятельности человека — процесс очень быстрый, и в зависимости от масштабов воздействия вызываемые изменения в водоемах происходят в течение нескольких десятков лет, а иногда и одного десятилетия [1—3].

Для водоснабжения г. Ростова-на-Дону, Батайска и Аксая используется поверхностный источник — река Дон, в которой концентрация фитопланктона в летне-осенний период превышает более чем в 4 раза допустимый норматив для водоисточников, пригодных для использования в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора).

К качеству питьевой воды предъявляются жесткие гигиенические требования: вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Массовое развитие микрофитов в водах поверхностных источников водоснабжения в периоды цветения воды создает значительные трудности при водоподготовке и существенно влияет на такие нормируемые показатели, как запах и привкус.

Микрофиты присутствуют в донской воде в створе водозаборов ОАО «ПО Водоканал» во все периоды года и представлены в основном 3 отделами: сине-зеленые водоросли (Cyanophyta), диатомовые водоросли (Bacillariophyta) и зеленые водоросли (Chlorophyta). Из отдела сине-зеленых водорослей в донской воде присутствуют виды *Synechocystis*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*; из отдела диатомовых водорослей — *Melosira*, *Navicula*, *Diatoma*, *Synedra*, *Nitzschia*, *Asterionella*, *Cyclotella*, *Pinnularia*; из отдела зеленых водорослей — *Scenedesmus*, *Chlamidomonas*, *Pediastrum*.

Наблюдения за развитием микрофитов в донской воде ведутся на протяжении 34 лет с 1981 года [1—5]. За этот период наблюдается рост количества клеток микроводорослей в водоисточнике, а также изменение их видового состава. Так, до 1990 года среднегодовая концентрация микрофитов в донской воде была 2 000...4 000 клеток/мл, в отдельные дни до 25 000 клеток/мл, а начиная с 1990 г., наблюдается интенсивное развитие фитопланктонов. Микроводоросли являются индикаторами качества водоисточника, в зависимости от степени загрязненности водоисточника могут развиваться различные организмы. До 1990 года видовой состав микроводорослей водоисточника был очень разнообразен, с преобладанием микроводорослей рода *Synechocystis*, которые свидетельствовали о принадлежности реки Дон по уровню загрязнения к олигосапробной зоне, то есть водоисточник с незначительными загрязнениями, с высоким содержанием кислорода в воде. Начиная с 2000-х годов, возрастает количество микроводорослей родов *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*, микроорганизмов-индикаторов β -мезосапробной зоны, а с 2007 г. начинают интенсивно развиваться в теплые периоды годы микроорганизмы-индикаторы α -мезосапробной зоны, такие как *Aphanizomenon flos-aquae*. В период интенсивного «цветения» водоема в августе — сентябре 2013 г. вид микроводорослей *Aphanizomenon flos-aqua* был преобладающим. Снижение количества доминирующих микроорганизмов при значительном развитии определенного вида в мезотрофных водоемах является признаком его эвтрофикации.

Анализ литературных данных показал, что некоторые виды микроводорослей в результате своей жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении при помощи актиномицетов являются продуцентами «пахнущих» веществ. К таким микроводорослям могут относиться виды: *Oscillatoria agardhii*, *Aphanizomenon flos-aqua*, *Anabaena flos-aqua*, *Melosira granulate*, *Nodularie* и другие. На интенсивность образования одорирующих веществ в процессе жизнедеятельности микроводорослей влияет их стадия роста, а также условия среды обитания: освещенность, температура окружающей среды, причем при снижении последних двух параметров интенсивность образования одорирующих веществ увеличивается. В результате развития различных микроводорослей наиболее часто встречаются следующие запахи: гнилостно-землистый, гнилостный, землисто-гнилостный, гнилостно-тенистый, травянисто-гнилостный, землистый, навозный, гнилостно-сточный, рыбный. Обуславливают данные запахи такие выделяемые микроводорослями и актиномицетами летучие природные органические вещества, как геосмин, 2-метилизоборнеол (МИБ) и др. Данные показатели могут определяться в воде с помощью хромато-масс-спектрометрического анализа.

Как уже было отмечено выше, пик развития водорослей в реке Дон приходится на август — сентябрь месяцы, именно в эти периоды вода приобретает специфический запах, интенсивность которого может превышать 2 балла, характер запаха определяется как «травянисто-гнилостный», «гнилостно-сточный».

По данным проведенных исследований воды, отобранной из реки Дон, реки Аксайки, реки Маныч, были определены высокие концентрации микроводорослей во всех пробах воды, в среднем — 70 000 кл/мл с преобладанием вида *Aphanizomenon flos-aqua*, кроме пробы воды из реки Маныч, где температура воды, мутность, фосфор, ХПК и концентрация микроводорослей были значительно ниже, чем во всех остальных пробах воды [3—7].

Такие свойства воды, как «запах» и «привкус», определяемые органолептическим путем, во многом зависят от индивидуальных особенностей каждого человека. Анализ воды показал наличие летучего органического вещества «геосмин», являющегося продуцентом ряда микроводорослей, в количестве, соответствующем нижнему пределу порога влияния на органолептический показатель «запах». При этом в отобранной пробе воды концентрация микроводорослей составляла 5160 кл/мл, из них концентрация микроводоросли *Aphanizomenon flos-aqua* составляла 800 кл/мл, лаборатория идентифицировала запах как «болотный» или «травянисто-гнилостный» интенсивностью 0/1 балл. Однако в течение августа — сентября 2013 г. концентрация микроводорослей вида *Oscillatoria agardhii* достигала 42 000 кл/мл, *Aphanizomenon flos-aqua* — 70 000 кл/мл, безусловно, в данный период концентрации продуктов их жизнедеятельности геосмина и МИБ были значительно выше.

Также планируется выполнять анализ донской и питьевой воды на наличие летучих органических веществ ежеквартально, так как, согласно литературным данным, продуцентами данных веществ могут являться не только микроводоросли, но и актиномицеты, активно развивающиеся при потеплении воды. По результатам наблюдений, в марте — апреле вода приобретала характерный «рыбный» запах, который, скорее всего, был связан именно с развитием актиномицетов, в связи с этим планируется первые пробы воды

направить для анализа на наличие летучих органических веществ в начале апреля или раньше в случае появления характерного запаха воды.

Сине-зеленые водоросли широко распространены в природе. Они встречаются в планктоне стоячих и медленно текущих вод, в прибрежном бентосе, как эпифиты и обрастания на различных твердых субстратах, в воде, в горячих источниках, на поверхности снега, в толще почвы (эдафон), в симбиозе с другими организмами. Особенно высокое их образование наблюдается в летние месяцы (июль — август) [9, 10].

Причиной массового развития сине-зеленых водорослей являются биогены (PO_4 , NO_3 , NH_4) антропогенного происхождения, поступающие как из точечных, так и неточечных источников, их появление ведет к быстрому и серьезному ухудшению качества воды за счет катастрофической вспышки численности водорослей, формирующих биотический фон водоема. Последнее обстоятельство особенно существенно, ибо сине-зеленые водоросли, так же, как жгутиковые, перидиниевые и др., в процессе жизнедеятельности выделяют биологически активные экзогенные метаболиты, в том числе и токсины, которые оказывают угнетающее действие на рыб, беспозвоночных, а также на другие виды водорослей.

Интенсивность продуцирования и выделения экзогенных метаболитов определяется многими факторами, в том числе видовой принадлежностью, временем года, температурой, величиной pH, плотностью популяций, особенностями физиологического состояния водорослей. Повышение токсичности водорослей и их метаболитов отмечено в период роста, деления и формирования спор.

В процессе жизнедеятельности сине-зеленые водоросли выделяют антиокислители, обеспечивая тем самым для себя оптимальные условия, а гибель этих водорослей ведет к накоплению в воде токсических продуктов. Влияние это на гидробионтов, на различных фазах развития сине-зеленых водорослей (донная, планктонная и нейстонная) — сложное и разнонаправленное, т. е. в одни периоды жизнедеятельности оно стимулирующее, а в другие — угнетающее [9]. Среди массово разрастающихся в водохранилищах и эвтрофных озерах сине-зеленых водорослей доминируют пять-шесть видов. Почти все они являются планктонными формами и в большинстве случаев проявляют токсические свойства. Токсические водоросли относятся к семействам *Microcystidaceae*, *Coelosphaeriaceae* (класс *Chroococceae*, порядок *Chroococcales*), *Nostocaceae*, *Anabaenaceae*, *Aphanizomenonaceae*, *Nodulariaceae*, *Rivulariaceae* (класс *Hormogoneae*, порядок *Nostocales*), *Oscillatoriaceae* (класс *Hormogoneae*, порядок *Oscillatoriales*) [8—10].

Действие сине-зеленых водорослей на животных при отравлении имеет сходный характер, несмотря на разные возбудители и таксономическое различие животных. Так, при действии водорослей *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Rivularia* и др. на желудочно-кишечный тракт крупного рогатого скота, лошадей, собак и птиц клиническими проявлениями были слабость, тошнота, рвота, вследствие сильного воспалительного процесса, кровоизлияний и омертвления слизистой. Действие этих же водорослей на нервно-мышечные ткани тех же животных проявлялось в виде частного или общего паралича, летаргии, пониженной температуры, бессознательного состояния и смерти, что являлось следствием закупорки мозговых и спинномозговых кро-

веносных сосудов и оболочек мозга. О действии на сердце известны данные только по трем видам: *Microcystis*, *Anabaena* и *Nodularia*. Симптомы отравления проявлялись в слабом и редком или наоборот усиленном пульсе, перикардиальных или эндокардиальных кровоизлияниях.

Человек менее чувствителен к действию токсичных сине-зеленых водорослей, кроме того, для отравления с летальным исходом человеку весом 70 кг необходимо выпить 2,5 литров воды, насыщенной водорослями. Действие водорослей на человека может быть и косвенным — через рыбу, животных и растения. При интоксикации водорослями выделяют желудочно-кишечное, дыхательное, кожное воздействие, которое выражается в виде конъюнктивитов и аллергии. Установлено, что сине-зеленые водоросли выделяют в окружающую среду фенолы, которые также вызывают поражения кожи [7—10].

Токсины сине-зеленых водорослей также воздействуют на разные группы гидробионтов: простейших, беспозвоночных и рыб. Например, известны случаи гибели при массовом развитии сине-зеленых водорослей таких рыб, как карпы, окуни и сомы. Токсичное действие водорослей проявляется в нарушении равновесия между деятельностью кроветворной и кроверазрушающей систем. Некоторые виды рыб способны аккумулировать токсины сине-зеленых водорослей. Что касается действия на беспозвоночных, то *Microcystis* очень токсичен для дафний, циклопов и коловраток. Более слабое действие оказывает *Aphanizomenon flos-aquae*. Известно, что пищевая ценность планктонных сине-зеленых водорослей невелика, и многие планктонные животные избегают заглатывать эти формы. Кроме того, при вспышках развития сине-зеленых водорослей некоторые представители зоопланктона уходят в другие слои воды. Но некоторые виды устойчивы к выделениям сине-зеленых водорослей (ракообразные *Eurycercus lamellatus*, *Lathonuracetrus*).

Согласно проведенному литературному обзору, методы борьбы с факторами, способствующими ухудшению органолептических свойств воды в результате активного развития отдельных видов микроводорослей и актиномицетов, могут быть условно разделены на 2 направления:

Методы предотвращения чрезмерного развития водорослей, к которым относятся: снижение антропогенной нагрузки на водоисточник, применение биологических методов очистки водоема. Существует целый ряд исследований по восстановлению естественного биоценоза водоемов с помощью заселения в водоем определенных видов микроводорослей — *Chlorella* различных штаммов, а также определенных сортов растительноядных рыб, например, таких как белый толстолобик. Рядом авторов, однако, ставится под сомнение эффективность данных методов борьбы с «цветением водоемов», вместе с тем в литературе приводятся также положительные опыты подобных исследований, в том числе биологическая реабилитация Пензенского водохранилища.

В связи с этим, нами более глубоко изучались методы борьбы с продуктами жизнедеятельности и разложения микроводорослей: окисление, коагуляция, аэрация, сорбция.

Необходимо отметить, что, согласно литературным данным, не один из изложенных выше видов борьбы не позволяет убрать запах полностью, однако эффективность методов различна.

Так, метод окисления вне зависимости от вида окислителя (озон, перекись водорода, хлор) способствует незначительному снижению запаха воды, его маскировке и изменению характера запаха. Проведенные нами исследования по выбору оптимальной дозы обеззараживающего реагента показали, что с увеличением дозы хлора запах донской воды трансформировался из «землисто-гнилостного» в «гнилостно-химический», причем при увеличении дозы обеззараживающего реагента интенсивность запаха увеличивалась и смещалась в сторону «химического». Обеззараживание воды свободным хлором, то есть без применения сульфата аммония, способствовало более эффективному снижению интенсивности запаха, однако при этом в воде образовывались высокотоксичные хлорорганические соединения, такие как хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан, концентрации которых жестко нормируются в питьевой в воде. Таким образом, путем проведения лабораторных исследований ежедневно подбирались оптимальные дозы хлорреагента и реагента для связывания хлора — сульфата аммония для минимизации запаха с условием недопущения образования хлорорганических соединений. В большей части опытов данное соотношение составляло на 1 единицу введенного аммиака 7 единиц хлора, данные дозы реагентов применялись на очистных сооружениях.

Второй способ борьбы с одорирующими веществами — коагуляция, также является малоэффективным, согласно литературным данным. Нами исследовались различные типы и марки реагентов путем проведения пробной коагуляции с помощью лабораторного флокулятора, существенного влияния на интенсивность и характер запаха реагенты не оказывали.

Согласно литературным данным, аэрация воды позволяет удалять запахи воды, обусловленные летучими органическими соединениями биологического происхождения. Для удаления запаха требуется высокая интенсивность и продолжительность аэрации, то есть требуется строительство дополнительных емкостей-аэротенков, размещение которых в условиях действующих сооружений невозможно, кроме того, применение данного метода значительно повысит энергозатраты. Однако нами были найдены некоторые способы решения:

1. Способ аэрации воды на скорых фильтрах в условиях действующих очистных сооружений. Конструкция скорых фильтров позволяла создать эффект естественной аэрации воды путем поддержания определенного уровня воды в фильтре, при этом обеспечивался более длительный контакт воды с воздухом, и часть летучих веществ извлекалась из воды. Применение данного метода позволяло снизить интенсивность запаха более чем на 1 балл.

2. Защита водозабора от сине-зеленых водорослей с использованием «ершей» в виде основы для закрепления микроорганизмов. Данная конструкция обеспечивает наибольшую поверхность для закрепления естественных биоценозов природной воды, что позволит эффективно улавливать и уничтожать сине-зеленые водоросли перед водозаборным узлом, снижая последующую нагрузку на очистные сооружения и тем самым избегая перехлорирования очищаемой воды. В качестве иммобилизованной биомассы применяется загрузка в виде брюхоногих моллюсков (улиток) рода *Aplexa* (*Aplexa* Нурпгорум), семейства *Physidae* — физы, которые встречаются в мелких, обычно пересыхающих болотцах, редко в крупных водоемах, на опаде и дет-

рите. Большинство их видов тяготеет к густым зарослям водных растений в стоячих и слаботекущих водоемах. Именно в зарослях они часто лидируют по биомассе в сообществе. Данный вид представляет интерес из-за наибольшей скорости размножения и питания. Поддержание определенной концентрации моллюсков на нитях позволяет привлекать молодь, тем самым отводя ее от места водозабора.

3. Согласно литературным данным, наиболее эффективным методом снижения интенсивности запаха воды, обусловленного продуктами жизнедеятельности и разложения микроводорослей, является сорбция. В условиях крупных очистных сооружений целесообразно применение порошкообразного активированного угля. Однако в каждом конкретном случае должна подбираться доза и марка сорбента, место его ввода для наибольшей эффективности снижения запаха. Таким образом, нами планируется исследование данного способа при появлении запаха воды, а также «Проектирование системы защиты от антропогенных загрязнений водоисточника реки Дон».

Таким образом, сине-зеленые водоросли и их токсины оказывают существенное влияние на гидробионты. Кроме того, они могут наносить вред здоровью животных и человека. Например, при интоксикации сине-зелеными водорослями питьевых водоемов и попадании этих вод в водозаборные станции есть риск возникновения эпидемических гастроэнтеритов, поэтому изучение явления токсичности водорослей имеет большое значение и является актуальной для науки и практики. Хотелось бы обратить внимание молодежи донской столицы на экологическое состояние водоемов и родников нашего региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кульский Л. А., Сиренко Л. А., Шкавро З. Н. Фитопланктон и вода. Киев : Наук. думка, 1986. 135 с.
2. Скрыбин А. Ю., Поповьян Г. В., Тронь И. А. Изменение качества воды реки Дон. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2016» : материалы IX Международной науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 300 с.
3. Скрыбин А. Ю., Поповьян Г. В., Тронь И. А. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей в реке Дон // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 4.
4. Лысов В. А., Скрыбин А. Ю., Поповьян Г. В. Микрофиты в системе подготовки донской воды // «Строительство-2009» : материалы юбилейной Международной науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону : Рост. гос. строит. ун-т, 2009. 334 с.
5. Хецуриани Е. Д., Хецуриани Т. Е. Применение химического способа при цветении водоемов // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук : Сб. науч. тр. по итогам Международной науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНИО ЭВЕНСИС. Тольятти, 2016. С. 13—15.
6. Оздоровление речных экосистем / Е. Д. Хецуриани и др. // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов : сб. ст. Международной науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 10 дек. 2016 г. / ФГБОУ ВО ПГУПС. СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. С. 202—204.
7. Хецуриани Е. Д. Методы предотвращения чрезмерного развития водорослей // Результаты исследований — 2016 : материалы II Национальной конф. профессорско-преподавательского состава и научных работников ЮРГПУ(НПИ), г. Новочеркасск, 25—26 мая 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М. И. Платова. Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2016. С. 152—153.
8. Хецуриани Е. Д., Хецуриани Т. Е. Мероприятия по борьбе с эвтрофикацией водоемов // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук : Сб. науч. тр. по ито-

гам Международной науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНИО ЭВЕНСИС. Тольятти, 2016. С. 11—13.

9. Горюнова С. В., Демина Н. С. Водоросли — продуценты токсических веществ. М. : Наука. 1974.

10. Определение токсинов сине-зеленых водорослей в воде и рыбе, диагностика отравления рыб в период интенсивного цветения воды / А. Я. Маляревская и др. Киев, 1986. 42 с.

© Хецуриани Е. Д., Колмакова Т. С., Акименко М. А., Хецуриани Т. Е., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Экологическая безопасность водной среды — залог здорового будущего / Е. Д. Хецуриани, Т. С. Колмакова, М. А. Акименко, Т. Е. Хецуриани // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 156—164.

Об авторах:

Хецуриани Елгуджа Демунович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132. goodga@mail.ru

Колмакова Татьяна Сергеевна — д-р биол. наук, доцент кафедры медицинской биологии и генетики, Ростовский государственный медицинский университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, 29

Акименко Марина Анатольевна — аспирант, ассистент кафедры медицинской биологии и генетики, Ростовский государственный медицинский университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, 29

Хецуриани Тирум Елгуджаевич — студент, Ростовский государственный медицинский университет. Ростов-на-Дону, 344022, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пер. Нахичеванский, 29

Elgudzha D. Khetsuriani^a, Tatyana S. Kolmakova^b, Marina A. Akimenko^b, Timur E. Khetsuriani^b

^aPlatov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

^bRostov State Medical University

ECOLOGICAL SAFETY OF WATER ENVIRONMENT — THE KEY TO A HEALTHY FUTURE

The article is part of the action “Water and health” of the project of the party “United Russia” “Healthy future”, which is aimed at environmental education of children, adolescents and young people, involvement of the younger generation in the solution of water problems. This article reviews the problem of toxicity of blue-green algae, their influence on animal and human organisms. The massive growth of makrofitov in water from surface water sources during periods of flowering of water creates significant difficulties in water treatment and has a significant effect on such standard indicators as “smell” and “taste”. In this article we would like to show the importance of water for human health, and in the future to conduct scientific experiments related to the chemical and physical properties of water.

Key words: nature management, blue-green algae, toxicity, video source pollution, organoleptic characteristics, healthy future.

For citation:

Khetsuriani E. D., Kolmakova T. S., Akimenko M. A., Khetsuriani T. E. [Ecological safety of water environment — the key to a healthy future]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 156—164.

About authors:

Elgudza D. Khetsuriani — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; goodga@mail.ru

Tatyana S. Kolmakova — Doctor of Biological Sciences, Docent of Medical Biology and Genetics Department, Rostov State Medical University. 29, Nakhichevanskii lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

Marina A. Akimenko — Postgraduate student, Assistant of Medical Biology and Genetics Department, Rostov State Medical University. 29, Nakhichevanskii lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

Timur E. Khetsuriani — Student, Rostov State Medical University. Rostov State Medical University. 29, Nakhichevanskii lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation

УДК 628.161:627.221.2(282.247.36)

Е. Д. Хецуриани

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им М. И. Платова

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Выполнен анализ качественных показателей воды р. Дон. Определены причины загрязнения водоемов и проблемы обеспечения безопасности здоровья населения. Цветение воды вызывает ряд нежелательных последствий и негативно отражается на животных водной экосистемы. Представлены результаты технологических испытаний опытно-производственной пилотной установки по очистке водоемов от сине-зеленых водорослей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: качественные показатели воды, загрязнение водоемов, экосистема, сине-зеленые водоросли, биологическое равновесие.

На водозаборных сооружениях в Ростовской области существует ряд трудностей, связанных с эксплуатацией, одна из которых — обильное цветение воды, в теплые периоды года вызванное цианобактериями. Это влечет за собой не только ухудшение качественных показателей воды, но и возможность засорения дальнейшей линии очистки воды и попадания цианобактерий в водопроводную сеть.

Цветение воды вызывает ряд нежелательных последствий и негативно отражается на животных водной экосистемы: летние ночные заморы рыб, массовая гибель бентосных, планктонных и нейстонных животных, а также водоплавающих птиц и млекопитающих. Цианобактерии в периоды массового развития образуют на водоеме поверхностную пленку, экранирующую проникновение солнечной радиации, и вызывают световое «голодание» эукариотических водорослей — конкурентов цианобактерий и основной пищи организмов зоопланктона и зообентоса¹ [1].

Цветение воды влечет за собой заболевания кожи у купальщиков, болезни органов пищеварения у скота после водопоя. Массовое развитие цианобактерий изменяет окраску воды и придает ей специфический вкус, уменьшает прозрачность воды, ухудшает ее органолептические показатели, приводит к дефициту растворенного в воде кислорода. Существуют различные способы очистки водоема от сине-зеленых водорослей, которые интенсивно размножаются в пруду при наличии многих факторов — температуры, света и избытка кислорода.

Избыток в водоеме органических веществ и питательных элементов приводит сначала к нарушению биологического равновесия и подавлению биологического самоочищения водоема, а затем к изменению типа экосистемы прудов, озер на эвтрофный, т. е. приводит к заболачиванию. Признаками ин-

¹ СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.

Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

тенсивного загрязнения являются: высокий уровень донного осадка, высокая мутность воды (особенно в теплый период), пленка на поверхности водного зеркала, неприятный запах, активное газообразование, периодические заморы, неконтролируемое размножение фитопланктона — сине-зеленые водоросли, тина, ряска. Вспышки размножения сине-зеленых водорослей («цветение» водоема) чередуются с заморами, т. к. разложение биомассы отмирающих сине-зеленых водорослей забирает из воды жизненно необходимый кислород и вырабатывает питательные элементы для нового массового «цветения» [2]. Разработан способ продувки кислорода сквозь толщу воды, зараженной ими.

Метод напорной флотации. Для эффективной борьбы с фитопланктоном внедряется в производство технология напорной флотации. В 2004 году данная технология была успешно апробирована в лабораторных условиях. Выяснилось, что только воздействие водовоздушной смеси удаляет более 50 % водорослей, а вместе с коагулянт — более 90 %. Под действием минеральных коагулянтов, применяющихся также для осветления и очистки воды, идущей в водопроводную сеть, водоросли необратимо слипаются в комки. Хорошо удаляется и запах, так как все загрязнения быстро собираются пузырьком-окислителем и уносятся вместе с образовавшейся пеной, не застаясь.

Найдены вирусы, для которых сине-зеленые водоросли являются «желанным блюдом». Перспективно и применение специальных всасывающих устройств, извлекающих водоросли из воды, после чего их используют как удобрения для полей или как промышленное сырье, потому что эти водоросли содержат до 50 % белка, большое количество витамина В и другие ценные компоненты [3].

Разработан метод борьбы с сине-зелеными водорослями путем использования их естественных врагов — высших водных растений. Установлено, что тростник, рогоз, камыш выделяют фитонциды, токсичные для этих водорослей. Особенно сильно угнетает их развитие роголистник погруженный.

Метод удаления сине-зеленых водорослей на фильтрах с плавающей загрузкой, установленных на водозаборных сооружениях, также показал большой процент удаления водорослей из воды [4, 5].

Нами был проведен ряд опытов по удалению сине-зеленых водорослей на фильтрах с ершовой загрузкой. Была изготовлена пилотная установка (рис. 1), моделирующая контактный фильтр.

Исследования проводились на цветущей донской воде (рис. 2), которую привозили с реки Дон и заполняли экспериментальный бассейн.

Пилотная установка представляет собой прозрачную колонку из органического стекла диаметром 110 мм и высотой 1,6 м. Колонка была загружена мягкими ершами и оборудована рядом подводящих и отводящих трубопроводов с запорно-регулирующей арматурой, обеспечивающих эксплуатационные параметры (производительность, дозирование раствора коагулянта, переключение режимов работы: рабочий, регенерационный и т. д.). Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.



Рис. 1. Пилотная установка



Рис. 2. Цветущая донская вода

Для получения сравнительной характеристики эффективности работы исследуемой технологии проводились опыты в два этапа: 1) фильтрация только на ершовой загрузке; 2) с добавлением коагулянта УНИКОСА, коагулянта КМП-30 и коагулянта Оксихлорид $Al(V)$.

Методика проведения эксперимента следующая:

Первый этап — воду с большим содержанием сине-зеленых водорослей (количество клеток микроводорослей по данным Ростовского водоканала составила до 80000 кл./мл) из бассейна 1 подавали фантовым насосом 5 на контактный фильтр 2 через регулятор расхода 9. Расход воды постоянный. Отбор профильтрованной воды осуществляли с патрубка, расположенного в верхней части экспериментальной конструкции 3. Пробы брали каждые 2 часа в течение суток как в дневное, так и в ночное время. По мере забывания фильтрующей загрузки, которую определяли по уменьшению расхода на выходе, производили регенерацию фильтра. Регенерацию осуществляли с подачей воздуха из компрессора 4, во время промывки насос 5 отключали.

На втором этапе в фильтрующую загрузку поочередно вводили коагулянт УНИКО-СА; КМП-30 и Оксихлорид $Al(V)$.

В процессе исследований дозы коагулянтов были приняты с учетом ранее проведенных исследований от 20 до 80 мг/л.

Для обработки показателей исследуемой воды использовали оттарированные инструменты: фотоэлектроколориметр (ФЭК), РН-метр, аппарат для определения солесодержания жидкости.

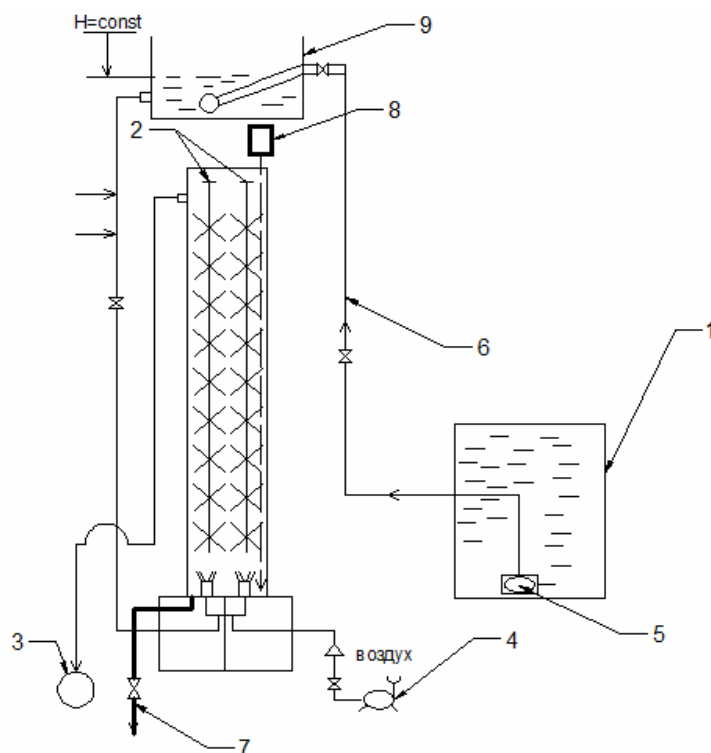


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 — экспериментальный бассейн; 2 — ершовая загрузка; 3 — место отбора проб профильтрованной воды; 4 — компрессор для регенерации фильтра; 5 — фонтанный насос; 6 — подача исходной цветущей воды; 7 — отвод воды после промывки фильтра; 8 — насос-дозатор раствора коагулянта; 9 — регулятор расхода для равномерной подачи воды.

После соответствующей статистической обработки и обобщений результаты исследований представлены ниже в виде графиков на рис. 4—7.

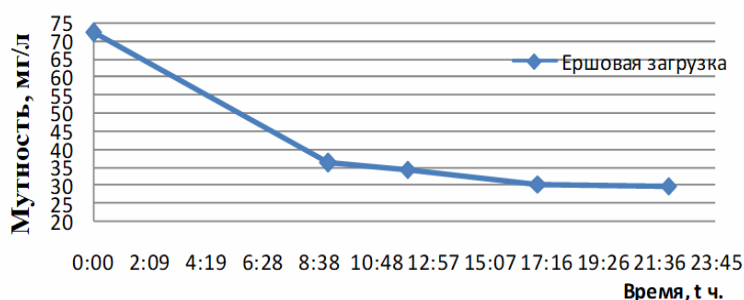


Рис. 4. Изменение мутности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой без коагуляций

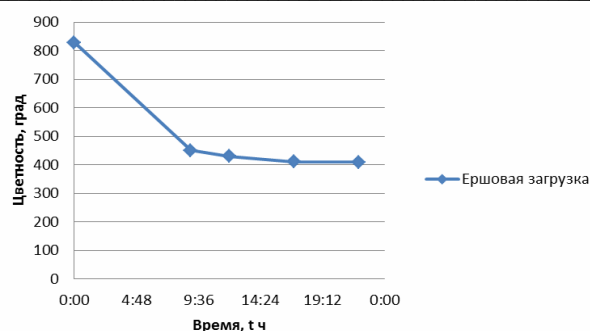


Рис. 5. Изменение цветности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой без коагуляций

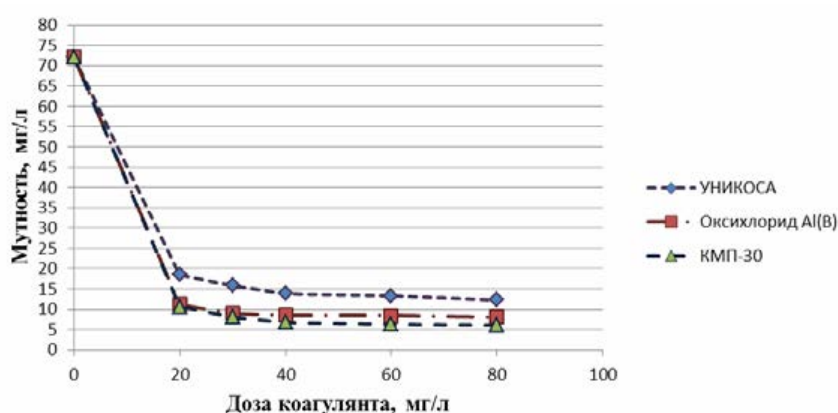


Рис. 6. Изменение мутности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой с использованием коагулянтов: 1 — фильтрация с коагулянтом УНИКОСА; 2 — фильтрация с коагулянтом КМП-30; 3 — фильтрация с коагулянтом Оксихлорид Al(V)

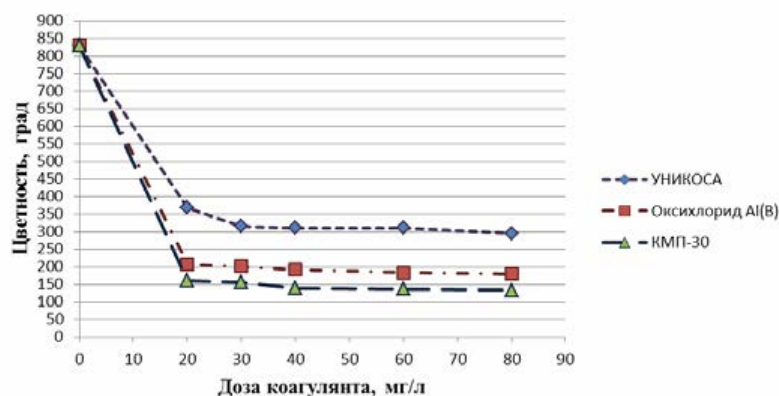


Рис. 7. Изменение цветности воды при ее фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой с использованием коагулянтов: 1 — фильтрация с коагулянтом УНИКОСА; 2 — фильтрация с коагулянтом КМП-30; 3 — фильтрация с коагулянтом оксихлорид Al(V)

Сравнительные результаты представлены в таблице.

Сравнительные результаты исследований по обработке донской цветущей воды контактной фильтрацией на ершовой загрузке (без отстаивания)

Показатели качества воды			Температура, °С	pH	Мутность, мг/л	Цветность, град	Солесодержание
Донская цветущая вода до обработки (07, 08, 09 месяц)			27	8,9	72,2	829	1072
Донская цветущая вода после очистки и обработки	Фильтрация на пилотной установке с ершовой загрузкой без коагулянта (без отстаивания)	9:00	25	8,01	36,1	450	1041
		12:00	26	7,93	34,3	430,1	1047
		17:00	28	7,89	30,3	410,2	1146
		22:00	27,5	8,1	29,8	409,3	1150
	Контактная коагуляция на ершовой загрузке (без отстаивания)	20	27,5	8,53	18,5	367,8	1173
		30	28	8,43	15,8	315,3	1203
		40	28,5	8,13	13,9	310,8	1315
		60	28	8,19	13,3	310,3	1353
	Контактная коагуляция на ершовой загрузке (без отстаивания)	80	27,5	8,03	12,3	295,3	1413
		20	27,5	8,7	11,2	207,2	1159
		30	28	8,39	9,03	201	1205
		40	27	8,13	8,57	191,7	1317
	Контактная коагуляция на ершовой загрузке (без отстаивания)	60	28,5	7,93	8,37	183,1	14,33
		80	27	7,97	8,13	179,3	1473
		20	27	7,93	10,6	160,6	1160
		30	27,5	7,98	8,12	155,4	1213
	Контактная коагуляция на ершовой загрузке (без отстаивания)	40	28	8,05	6,77	139,1	1315
		60	27,5	8,13	6,34	137,3	1410
		80	27	8	6,13	133,3	1413

Анализ результатов приведенных выше исследований позволяют сделать следующие выводы:

при коагуляционной обработке донской цветущей воды с использованием коагулянта КМП30 были отмечены более высокие контролируемые показатели качества воды, чем при коагуляции ее с использованием коагулянта УНИКО-СА и Оксихлорида Al(V) (см. табл.);

эффект снижения мутности донской цветущей воды в процессе ее коагуляции с использованием коагулянта КМП-30 составляет 85,3...91,5 % при дозе коагулянта — 20...80 мг/л;

эффект снижения цветности донской цветущей воды в процессе ее коагуляции с использованием коагулянта КМП-30 составляет 81,3...83,9 % при дозе коагулянта — 20...80 мг/л;

выяснилось, что использование только ершовой загрузки без коагулянтов удаляет более 50 % водорослей, а вместе с коагулянтом — более 90 %. Под действием минеральных коагулянтов, применяющихся также для осветления и очистки воды, идущей в водопроводную сеть, водоросли необратимо слипаются в комки и задерживаются на ершах. Хорошо удаляется и запах после регенераций, т. к. все загрязнения быстро собираются пузырьком-окислителем и убираются вместе с образовавшейся пеной, не застываясь;

применение в предлагаемой технологической схеме метода фильтраций на ершовой загрузке с использованием высокоэффективного коагулянта марки «КМП-30» позволяет исключить необходимость первичного обеззараживания воды хлором или же снизить расход хлора до минимума, что придаст режиму водообработки стабильность и значительно сократит стоимость очистки воды от сине-зеленых водорослей во время цветения водоемов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. De-eutrophication of northern rivers and lakes: experiences from ProAQUA — project / R. Niemela and others // Large Rivers. Vol., 2002. № 3. 435 p.
2. Горюнова С. В., Демина Н. С. Водоросли — продуценты токсических веществ. М. : Наука. 1974.
3. Методические рекомендации по определению токсинов сине-зеленых водорослей в воде и рыбе, диагностика отравления рыб в период интенсивного «цветения» воды / А. Я. Маляревская и др. // АН УССР, Ин-т гидробиологии. Киев, 1986. 42 с.
4. Журба М. Г. Пенополистирольные фильтры. М. : Стройиздат, 1992. 162 с.
5. Обнаружение токсинов цианопрокариот в планктоне Нижнего Дона методом масс-спектрометрии / Г. Г. Матишов и др. // Вестник ЮНЦ РАН. Т. 2. 2006. № 2.

© Хецуриани Е. Д., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Хецуриани Е. Д. Результаты экспериментальных исследований по обеспечению экологической безопасности систем водоснабжения промышленных и населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 165—172.

Об авторе:

Хецуриани Елгуджа Демурович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры водного хозяйства, инженерных сетей и защиты окружающей среды, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Российская Федерация, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132; goodga@mail.ru

Elgudzha D. Khetsuriani

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES ON ECOLOGICAL SAFETY OF WATER SUPPLY SYSTEMS AND INDUSTRIAL SETTLEMENTS

The analysis of qualitative indicators of water of the river was carried out. Don. The causes of water pollution and the problems of ensuring the safety of the population are determined. The flowering of water causes a number of undesirable consequences and negatively affects the animals of the aquatic ecosystem. The results of technological tests of a pilot-production pilot plant for cleaning water from blue-green algae are presented.

Key words: water quality indicators, water pollution, ecosystem, blue-green algae, pilot plant.

For citation:

Khetsuriani E. D. [The results of experimental studies on ecological safety of water supply systems and industrial 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], 2018, iss. 54(73), pp. 165—172.

About author:

Elgudzha D. Khetsuriani — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). 132, Prosveshcheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation; goodga@mail.ru

УДК 712.2 (470.45)

Н. В. Иванова, О. А. Ганжа, В. В. Прокопенко

Волгоградский государственный технический университет

**ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНОГО КАРКАСА
ГОРОДСКИХ ГИБРИДНЫХ ПРОСТРАНСТВ В ПРОЦЕССЕ РЕВИТАЛИЗАЦИИ
ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОГО ЛАНДШАФТА НАБЕРЕЖНОЙ ВОЛГОГРАДА**

Исследования охватывают методические основы формирования визуального каркаса города в концепции архитектуры и экологии гибридных пространств. В статье приводится анализ расположения в пространственной структуре береговой линии архитектурно-градостроительных объектов Волгограда и их влияние на образные характеристики участка. Предложен показатель визуального восприятия среды, оценивающий качественные характеристики застройки.

В работе используется многофакторный архитектурно-экологический анализ, соединяющий индуктивные практические и дедуктивные теоретические подходы, метод моделирования и экспериментального проектирования прибрежного участка Волгограда.

Методика формирования визуального каркаса, построенная на основе создания гибридных пространств, позволяет использовать полученные предложения в отечественном и зарубежном строительстве в сходных градостроительных условиях.

Анализ опыта формирования визуального каркаса позволил по-новому оценить проектирование гибридных пространств города.

К л ю ч е в ы е с л о в а: визуальный каркас, показатель визуальной среды, гибридная застройка.

Теория визуального формирования образа города получила широкое распространение во всем мире и активно обсуждалась в профессиональной сфере архитектуры и зодчества. С конца прошлого века в Москве, многих приречных населенных местах России были предложены и реализованы собственные стратегии развития визуальных представлений и панорам с реки. Повышение комфортности и совершенствование внешнего вида среды стало возможно с помощью гибридизации застройки, определяющей многослойностью, сменой масштабов, созданием пространства, связывающие его различные части по своему культурно-историческому или социальному контексту. Как отмечают специалисты, эволюция гибридных пространств в структуре прибрежных территорий в XXI в. происходит на основе расширения их функционального насыщения и вариативности функционального взаимодействия.

Актуальность проведенного исследования заключается в расширении архитектурно-экологических подходов к формированию визуального каркаса береговой зоны города на основании полученных результатов (показатель визуального восприятия прибрежной среды) и моделирования городской среды с гибридными территориями. Теоретической основой исследования являются следующие научные работы:

изучение восприятия архитектуры городского пространства (художественного образа, масштаба, в движении, по спланированному плану обзора архитектурного объекта) [1—3];

вопросы экологического восприятия объемно-пространственной композиции жилых зданий, промышленной застройки [4, 5] и направления визуальной экологии, определяющие влияние загрязнения атмосферного воздуха [6—8];

выявление роли и влияния цвета на восприятие облика зданий, колористика городской среды и поиски эталонного пространства [9, 10];

представления о пространственной ориентации в среде (ориентационный каркас) [11—14];

рассмотрены актуальные вопросы отечественного и зарубежного формирования общественных зданий, комплексов на набережных и процессы обустройства и реконструкции прибрежных территории (особенности функционирования, специфика архитектурной организации, условия взаимодействия водного ресурса и пространственной структуры здания, закономерности планировки прилегающей территории) [15—17];

вопросы гибридных построений объектов и пространств [18—21].

Теоретическая часть исследования заключается в разработке модели визуального каркаса, архитектурного и экологического подхода проектирования визуального каркаса, определении понятия комфортной визуальной среды прибрежной территории с гибридной застройкой.

Архитектурно-экологическое проектирование визуального облика городской застройки (архитектурное и градостроительное решение отдельных зданий и застройки в целом; городской дизайн и благоустройство) в работе задается показателем визуального восприятия прибрежной среды. Алгоритм определения последнего исходит из поэтапного выполнения основных задач (определение степени влияния объекта архитектуры на городскую среду и визуальный каркас застройки и определение влияния городской среды на горожанина выполняется с помощью комплекса методов) [17]. Авторами статьи было предложено расширение содержания методики (на примере «метода архитектурных разверток», направленного на работу с фронтальными плоскостями зданий). Метод дополнен позициями, касающимися мониторинга планировочных особенностей исторической и современной застройки. Так, глубокое проникновение в процесс восприятия динамики изменения архитектурной среды потребовало изучение архивных данных (фотографий, схем), начиная с момента формирования застройки береговой линии (в конце XIX — начале XX в.). Архитектурно-исторический анализ позволил графически представить первые очаги освоения (причалы, пристани, склады, жилые палатки) прибрежной зоны р. Волги, дальнейшее планировочное развитие объектов и их влияние на восприятие современных разверток застройки.

В исследовании разработан алгоритм задач, направленный на выполнение анализа визуальной среды прибрежных территорий, учитывающий выполнение следующих методов: метод экспертной оценки; психосемантический метод восприятия среды с точки зрения жизни горожанина; социологический опрос населения; метод структурно-информационного анализа; метод частотно-спектрального анализа; графоаналитический метод оценки агрессивности и гомогенности среды.

Порядок выполнения поставленных задач, позволяющих определить значение показателя визуального восприятия застройки прибрежного города, приведен на рис. 1.

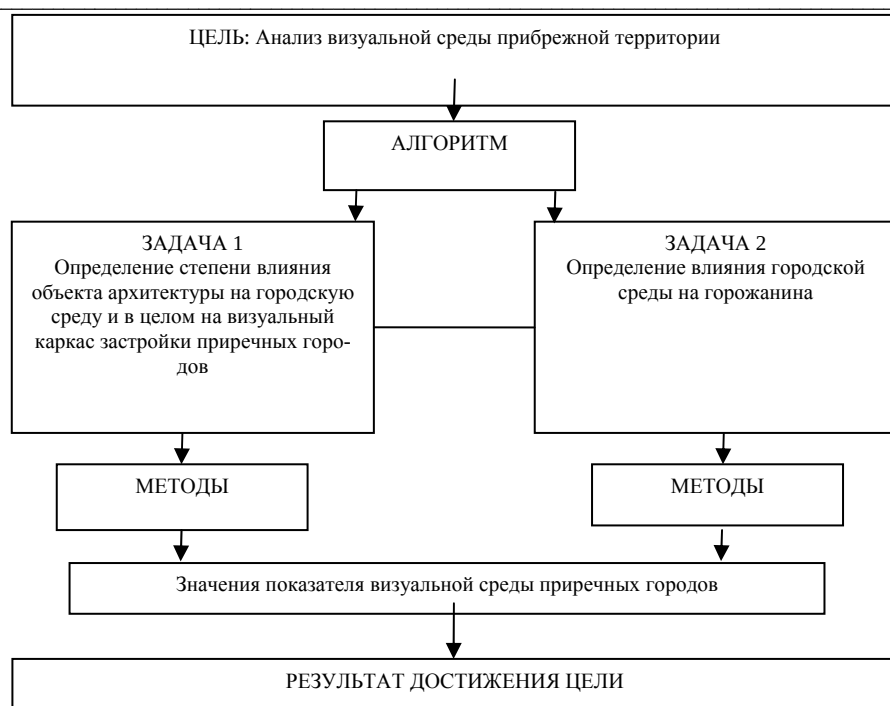


Рис. 1. Алгоритм определения значения показателя визуального восприятия среды приречных городов

Предлагаемая методика оценки заключается в определении показателя визуальной среды, которая складывается из определения значения эстетических коэффициентов и коэффициента агрессивности среды. Методологическая часть исследования построена на проведении социологического опроса населения, экспертной оценке застройки приречных городов и прямом эксперименте, который основан на анализе и расчете графического материала панорамы застройки береговой линии (рис. 2). После оценки агрессивности среды обрабатываются данные с использованием графоаналитического, графического, статистического, математического и других методов. Указанные критерии показателей исследования позволяют определить: степень влияния застройки на визуальный каркас облика приречного города (от 0 до 99 %); участки территории, где жители проживают в условиях благотворного влияния визуального каркаса, и площадки, не попадающие под положительное действие рассматриваемых объектов.



Рис. 2. Анализ панорамы приречного города

Исторически сложилось, что водотоки всегда являлись градообразующим природным компонентом, использовались как средство транспортной коммуникации. Городские территории, расположенные вблизи рек, образуют

приречные пространства, которые в разные исторические периоды имели разнообразную функциональность. Так, приречные территории во второй половине XIX — начале XX в. рассматривались в большинстве случаев как малопригодные для строительства из-за сезонной затопляемости, труднодоступности и являлись периферийными зонами города. В начале XXI в. происходит переосмысление требований к функциональности этих пространств, отмечена их ценность, возрастает социальная роль экологических и эстетических функций. Локальное строительство крупных жилых, деловых, общественно-рекреационных комплексов осуществляется в настоящее время на приречных территориях [22].

Ревитализацию прибрежных территорий, создание объемно-планировочных комплексов, системы общественных пространств, появление *гибридных пространств* необходимо рассматривать в аспекте их ландшафтно-экологической организации города. Создание новых набережных на месте постиндустриальных территорий широко применяется в теории и мировой практике архитектурной деятельности. Целью нашего исследования стала разработка методических основ организации гибридных пространств в процессе архитектурной ревитализации постиндустриального приречного ландшафта в концепции архитектурно-экологических подходов развития гибридных пространств городской среды.

Ревитализация (от лат. re-vita — возвращение к жизни), глагол *revitaliser* в переводе с французского означает восстанавливать, придавать здоровье, новую жизнь, оживлять, возрождать. Под *архитектурной ревитализацией* понимается процесс оживления, сопровождающийся концентрацией общественной функции, размещением значимых архитектурных объектов, формирующих образ города, что отражается на повышении качественных показателей городской среды [21]. В контексте *урбанистики* обозначает процесс воссоздания и оживления городского пространства. Основным принцип ревитализации заключается в раскрытии новых возможностей старых территорий и построек. В процессе ревитализации используется комплексный подход с целью сохранения самобытности, аутентичности, идентичности и исторических ресурсов городской среды. Концепция ревитализации городских пространств возникла в Англии в XIX в. как отклик на процессы индустриализации и урбанизации, проявления низкого качества санитарно-гигиенических условий в городах. Процесс ревитализации в середине XIX в. предполагал улучшение социально-экономической обстановки и жилищных условий в городе путем расселения трущоб и масштабного строительства новых жилых домов (например, в Лондоне во второй половине XIX в.). Облик города изменялся путем улучшения жилищных условий (в первую очередь для рабочих, число которых возрастало по мере индустриализации). Современное понимание ревитализации несколько изменилось: рассматривается преобразование объектов городского пространства, которые на современном этапе развития утратили свою первоначальную функцию в силу изменения потребностей общества, но при этом представляют историческую ценность. Одно из современных направлений — ревитализация недействующих промышленных комплексов, находящихся в границах города (например, переоборудование промышленных зданий под жилые помещения — лофты, музеи, бизнес-центры, учебные заведения).

Степень изменения городской среды в процессе ревитализации зависит от степени ценности историко-культурных объектов [4, 5]. Ревитализация городских пространств связана с проведением реконструкции объектов и появлением абсолютно новых объектов различного функционального назначения, которые изменяют визуальный облик города.

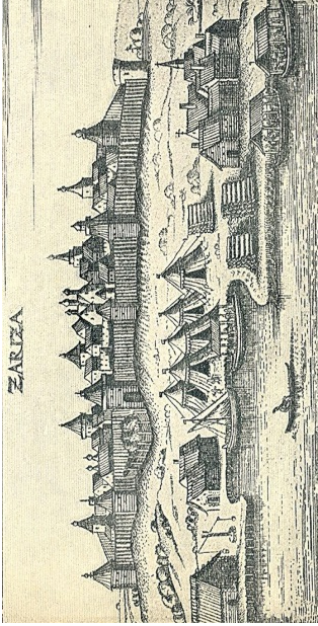
Во многих приречных российских городах реконструкция промышленных территорий является одним из главных направлений развития городских территорий. Недействующие промышленные предприятия располагаются вдоль береговой линии на сотнях гектаров, что позволяет функционально спланировать застройку (увеличить расстояние между жилыми домами, выделить пространства под парки, бульвары и рекреационные зоны, разместить все необходимые объекты инфраструктуры и обеспечить связи с водным объектом). Первоначально промышленные предприятия располагались на периферии городской застройки, в настоящее время они оказываются в непосредственной близости от центра. Изъятие территории позволяет планировать новое жилье там, где все свободные земельные участки застроены. Промышленные зоны также обеспечены хорошими подъездными путями к основным транспортным магистралям и причалами. Примером сложившихся предприятий стали заводы, исторически расположенные вдоль р. Волги (выход к воде для организации грузоперевозок, использование большого количества воды для технических нужд). Примером может служить реконструкция промышленных площадей в Лионе (Франция) на месте бывшего порта Рамбо площадью 6,3 га, на территории которого были размещены склады и погрузочные площадки. Процесс преобразования индустриального ландшафта в Турине (Италия) направлен на создание нового гармоничного ландшафта при сохранении старой структуры, символизирующего экологию природных и технологических систем.

Процесс ревитализации городских территорий также связан с появлением абсолютно новых объектов различного функционального назначения, которые изменяют визуальный облик города. Примером ревитализации приречной территории в аспекте своего исторического развития может служить прибрежная территория центральной части Волгограда.

История формирования берегового ландшафта Волги началась в XIX веке. Царицын располагался на пересечении торговых путей, и до революции порт занимал первое место в России по перевозкам (лес, уголь, рыба, металл, бахчевые культуры). Попытки благоустройства верхней террасы относятся к началу XX в. (облагорожены пологие откосы, высажены акации, построена деревянная лестница к пристаням, организовано место публичных прогулок у воды). Анализ исторических этапов развития прибрежной территории Царицына — Волгограда можно проследить в таблице.

В 1952 году завершена реконструкция, направленная на организацию в Центральном районе публичного пространства между городом и водой с приданием набережной парадного вида (автор — народный архитектор СССР В. Н. Симбирцев). Территория города стала представлять линейную структуру с главной планировочной осью — Волгой, вдоль которой параллельными полосами начала располагаться жилая застройка.

Исторические этапы развития прибрежной территории

Конец XVI в.	Царицын основан в 1589 г. как южный форпост, защищавший государство от набегов степняков.	
На рубеже XVIII—XIX вв.	В 1820 г. Александр I утвердил план переустройства Царицына, который упорядочил развитие города, расположенный от крепости предместьями. Величественный речной фасад города сформирован на высоком крутом берегу ансамблем церквей: Иоанно-Предтеченской (1664 г.), Свято-Троицкой (1720 г.), Успенской (1718 г.) и Николая Чудотворца. Над обрывом расположены многочисленные пристани и склады.	 Вид на правый берег Царицына (из архива сайта царицын.рф)

1917— 1940 гг.	Центральная набережная получила имя Степана Разина. После оползня 1913 года набережная оказалась почти полностью разрушенной. В 30-х годах проведена реконструкция территории по береговой линии (снесены пакгаузы, разрушены три собора, озеленены откосы, асфальтирован проезд вдоль участка), проведено благоустройство. На ее территории возникают ротонда, памятник летчику В. С. Хользунову, рестораны «Маяк» и «Метро».	Подземный ресторан «Метро» Набережная Сталинграда
1941— 1943 гг.	Во время Сталинградской битвы набережная имела важное стратегическое значение (на баржах привозили боеприпасы, эвакуировали раненых военных, жителей города, детей) и была сильно повреждена от бомбежек.	Набережная Сталинграда, 1943 г.

Начало
50-х годов

После Сталинградской битвы набережная в нынешнем виде заново отстроена. Архитектурный ансамбль центральной набережной спроектирован как парадный вход в город. Строительство осуществлено в 1952—1954 гг. На сталинградской набережной размещены уникальные архитектурные сооружения — парадная лестница, пропилеи и ротонда, восстановлен театр музыкальной комедии. Склон набережной покрыт газоном, на верхней террасе разбит парк Победы, в оформлении которого появились замечательные элементы паркового дизайна — гранитные вазы, фонари. Центральным элементом парка является гранитный фонтан «Дружба народов».



Строительство набережной в Волгограде, 1952 г.



Современный облик набережной Волгограда

В настоящее время протяженность Волгограда составляет более 90 км вдоль реки. Планировочная структура города ориентирована на линию природной оси, которая определяет развитие всей уличной сети по отношению к реке: направление главных продольных магистралей и формирование поперечных улиц — «выходов» на набережную, к реке [22]. Анализ городского плана показывает, что многие участки прибрежной территории заняты действующими промышленными производствами, застроены частными домовладениями, связаны с овражно-балочной сетью города, имеют крутой уклон. Историческое развитие города вдоль Волги сохранило чередование заводских территорий и жилых кварталов, имеющее различные функциональные зоны: жилую, озелененные территории, общественную, рекреационную, хозяйственную и промышленную. Поэтому важным стал выбор практических решений по ландшафтно-экологическому обустройству прибрежных территорий, который зависит от режима их использования. При этом независимо от состояния водного объекта и прилегающей к нему территории природно-территориального комплекса основным требованием к его реабилитации является выполнение следующих условий: максимальное сохранение эффекта биокоридора и поддержание экосистемы. Принципы функциональной организации прибрежной территории заключаются в следующем:

функциональное зонирование прибрежных территорий ведется с учетом их местоположения в структуре на основе предложенных моделей и при условии сохранения приоритета рекреационной функции, исходя из нагрузки и ценности прибрежного ландшафта;

характер размещения функций определяется удаленностью береговых территорий от линии пересечения водной поверхности с поверхностью суши;

зонирование прибрежных территорий зависит от характера акватории и пространственной взаимосвязи с городом и его окружением;

развитие береговых территорий основывается на принципах непрерывности, многоуровневости, равномерности распределения функций;

для прибрежных зон каждого типа (центральных, срединных, периферийных) устанавливается ориентировочный баланс территорий жилого, общественного и рекреационного назначения [10].

В последние десятилетия отмечается появление в современной городской среде гибридных пространств. Строительство сооружений «смешанного использования» стало мировым трендом за последние двадцать лет. Преимуществами таких «функциональных гибридов» можно назвать большое разнообразие типологии застройки, увеличение ее плотности, формирование более компактных городских морфотипов, создающих условия для развития пешеходного и велосипедного движения. Примерами городских «функциональных гибридов» являются торговые моллы, плазы, офисные парки, комплексы, объединяющие жилье и рабочие места, жилье и гостиничные апартаменты, жилье и коммерческие функции, офисы, объекты обслуживания и другие вариации. Скрещивание различных структур — природной (ландшафтной) и искусственной (урбанистических элементов) — привело к рождению нового направления в градостроительной практике — «ландшафтного урбанизма». Многочисленные гибридные пространства в контексте ландшафтного урбанизма возникли в различных городах — в Испании (зона Мадрид Рио, Мадрид), Китае (парк на прибрежной территории Шанхая), России (парк Зарядье, Москва).

Гибридизация пространственно-планировочной структуры постиндустриальных, нарушенных, деградирующих или неэффективно используемых территорий является в настоящее время одним из актуальных направлений в градостроительной регенерации городов. В связи с этим важность приобретает экологическая составляющая в развитии быстроразвивающихся новых форм пространств. Качество среды гибридных пространств несомненно должно определяться множеством показателей: удобством, многофункциональностью, эстетичностью, экологичностью — это характеризует ее как комфортную и доступную среду.

Так, визуальная экологическая составляющая комфортности городской прибрежной зоны Центрального района Волгограда основывается на следующих направлениях: панорама объектов с реки раскрывает образ города, формирует визуальный каркас застройки, которая включает основные ориентиры: монументальные ансамбли советской эпохи (памятник В. И. Ленину, Набережная и речной вокзал, здание музея Панорамы Сталинградской битвы, легендарная статуя Мать Родины); объекты промышленной архитектуры в северных районах Волгограда; высотные доминанты современных жилых комплексов и спортивные ансамбли. Анализ восприятия визуальной среды (эколого-эстетический анализ) указывает на недостаточность ориентиров и отсутствие гармоничного композиционного единства с природной средой (рельефом, озелененными пространствами) в визуальном каркасе. Проведенный архитектурно-экологический анализ позволил охарактеризовать строительство жилых домов по улице Чуйкова, как процесс, разрушающий масштабность среды исторической части города (здания построены без учета видеоэкологических характеристик), объекты вносят диссонанс в визуальный каркас береговой линии в Центральном районе [13].

Одной из задач методического подхода совершенствования визуального каркаса береговой территории является исследование возможностей проектирования гибридной застройки, т. е. интегрирование развивающейся прибрежной зоны в городскую жизнь и создание максимально возможного разнообразия городских активностей. Этот подход капитализирует участок, который сможет развиваться как самоценный фрагмент благоустроенного природного ландшафта реки.

Размещение в береговой зоне многофункциональных объектов общественного назначения, формирующих гибридные пространства, приобретает в Волгограде ряд особенностей в архитектурно-экологическом взаимодействии с водным ресурсом и условий проектирования визуального каркаса при освоении прибрежной линии. Так, наряду с системой основных ориентиров (высотных доминант, городских площадей, обращенных на реку), в визуальном каркасе Волгограда характеристиками идентификации и выразительности становятся новые планировочные узлы разного функционального назначения. Ими стали: узлы ландшафтно-градостроительного значения — Центральная лестница с пропилеями, прогулочными террасами, интерактивный парк-музей «Россия — моя история» и мост через Волгу; спортивного назначения — территории и сам архитектурный объем стадиона «Волгоград Арена». Эти городские гибридные пространства представляют собой быстро развивающиеся структурные элементы города, обладающие свойствами самоорганизации в градостроительном аспекте (социально-экономическом,

функционально-планировочном, рекреационном, ландшафтно-композиционном и экологическом).

Моделирование визуального каркаса участка береговой линии Волгограда выстраивается на основе проектируемых гибридных объектов и территорий, которыми стали: зоны и объекты контакта (социально индифферентная инфраструктура); диверсификация общественных функций; дифференциация контактов; непрерывность городских функций; экология (комфортность передвижения для пешеходов, интегрированная система озеленения и др.); ориентирование в гибридных пространствах [15].

Важным мероприятием для организации новой планировочной структуры набережных Волгограда явилось принятие решения о реконструкции прибрежной территории в Ворошиловском районе, выводе помещений промышленных производств за пределы городской черты и оздоровлении окружающей среды. Участок реконструкции располагается на территории бывшего грузового речного порта, где планируется создать административно-деловой район современного Волгограда. Основными задачами комплексного освоения и концепции развития территории стали: формирование нового образа набережной, который мог бы определить стратегию развития городской среды; выявление объемно-пространственных и архитектурно-планировочных решений, сочетающих высокую функциональность, экономическую и энергетическую эффективность; разработка основной транспортной магистрали вдоль реки как системы многофункциональных связей (трасса городского значения, променад, велодорожки, паркинги) [16].

Обустройство постиндустриальной территории бывшего грузового порта Волгограда сделает состояние окружающей среды лучше, будет способствовать уменьшению негативных антропогенных воздействий; активизирует функциональность урбанизированных пространств, обеспечит формирование эстетичного вида приречных территорий; реализация разработанной стратегии будет способствовать также повышению доступности территории для маломобильных групп населения.

Практическая значимость работы заключается в проведенном анализе визуального каркаса береговой линии Волгограда, выявлении художественно-эстетических недостатков фронтальных разверток застройки и, соответственно, планировочных недостатков территорий, лишенных экономических активностей, а также раскрытии потенциала береговых зон в структуре города.

Результатом внедрения стало составление алгоритма задач для определения значения показателя визуального восприятия среды приречных городов, расширения понятия и «метода архитектурных разверток» для совершенствования визуального каркаса застройки.

Результат экспериментального исследования проявляется в систематизации содержания гибридных пространств при интегрировании берегового пространства в жизнь Волгограда и проектировании разнообразия городских активностей многофункциональных объектов и вопросы эффективной организации прибрежных территорий для обеспечения высокого уровня жизненной активности горожан на набережной (устройство рекреационной и спортивной инфраструктуры).

Было проведено моделирование визуального каркаса с гибридной застройкой на примере Волгограда. В результате проектирования разработаны принципы формирования гармоничной городской среды территорий бывшего грузового порта для баланса различных функций пространства (деловой общественно-административный район, жилые зоны, обустроенная набережная и участки визуального и непосредственного контакта с рекой) [17]:

обеспечение связи прибрежных территорий с существующими крупными объектами природного комплекса города и проектирование единой системы устойчивого озеленения городских территорий;

деление прибрежной территории на участки с различным функциональным назначением с проектированием адаптивных зеленых насаждений и композиционных связей с акваторией;

восстановление зон открытого визуального доступа к воде;

использование возможностей рукотворного и естественного рельефа берегового ландшафта для формирования зон отдыха, устройства встроенных зданий [20, 22].

Проектом выполнены основные задачи: интегрировать выделенную для реконструкции территорию бывшего промышленного узла на р. Волге под развитие социально ориентированного ландшафта в городскую жизнь; создать максимально возможное разнообразие городских активностей на этой территории; проектированием обеспечить экологическую безопасность окружающей среды и водного пространства Волги.

Расширение практики использования результатов исследований опирается на разработанный показатель визуального восприятия среды, оценивающий качественные характеристики внешнего вида местности, возможного наличия диссонансного воздействия на среду градостроительных объектов и последующее восстановление гуманного масштаба среды.

Разработанная модель визуального каркаса с гибридной застройкой становится инструментом для оценки интеллектуальности визуальной среды, архитектурно-экологических инициатив и городских стратегий и экспериментального проектирования. Успешная реализация стратегии модели визуального каркаса с гибридной застройкой может осуществляться в разных градостроительных условиях, независимо от экономической, политической и географической ситуации в городе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солоненко М. А. Восприятие пространства и времени в современной архитектуре: междисциплинарный синтез эволюционных идей в эстетике // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2013. № 4(25). С. 15.
2. Данилова Э. В., Вальшин Р. М., Иванова М. М. Восприятие архитектуры городского пространства: опыт артикуляции и моделирования // *Innovative Project*. 2016. Т. 1. № 3(3). С. 52—55.
3. Андреев В. Н. Подходы к организации восприятия и прочтения художественного образа в архитектуре // *Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса*. 2013. № 1. С. 230—237.
4. Символика в архитектуре высотных зданий и экологическая основа восприятия небоскребов / В. В. Ауров и др. // *Материалы 10-й Международной науч.-практ. конф.* Т. 2. 2016. С. 1—8.
5. Скрипкина Ю. В. Архитектурно-художественные и экологические особенности промышленной застройки // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 5(68). С. 77—82.

6. Кузьмичев А. А., Азаров В. Н. Исследование влияния загрязнения атмосферного воздуха на внешний облик и восприятие строительных конструкций // Биосферная совместимость : человек, регион, технологии. 2016. № 1(13). С. 86—96.
7. Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии / В. В. Федоров и др. // Материалы 3-й Международной науч.-практ. конф. 2017. С. 341—345.
8. Воронцова О. Н. Визуальная экология. Психология восприятия архитектуры, дизайна и среды // Материалы Всероссийской науч.-метод. конф. 2017. С. 647—653.
9. Сидоренко М. Ю. Восприятие образа города через колористическое решение его среды // Материалы 66-й науч. конф. 2014. С. 248—251.
10. Ивановская Н. Е. Поиск эталонного пространства, психологические особенности восприятия архитектуры и дизайна, как художественной среды // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2017. № 13. С. 21—26.
11. Андреев В. Н. Подходы к организации восприятия и прочтения художественного образа в архитектуре // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2013. № 1. С. 230—237.
12. Сысоева В. В. Особенности зрительного восприятия нелинейной архитектуры // Проблемы современной науки и образования. 2013. № 4(18). С. 115—117.
13. Ivanova N. V. Methodical approaches in town-planning design of street circuits in the conditions of sustainable development of the city // Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Russian Federation, 10—13 April, 2017. Vol. 90. 6 p. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012130/pdf>
14. Истомин Б. С., Колесникова Т. Н., Купцова Е. В. Проблемы архитектуры экологически чистого жилища с позиций видеоэкологии // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 3(15). С. 74—81.
15. Ivanova N. V. Methodology of planning of landscape and ecological sustainability of natural components in the virtual model (on the example of Volgograd) // MATEC Web of Conf. International Science Conference SpbWOSCE-2017, St. Petersburg, Russian Federation, 20—22 December, 2017. Vol. 170. 10 p. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817004012>
16. Иванова Н. В., Сиренко Н. В. Социально-пространственная реконструкция ландшафта набережной реки Волги (на примере бывшего грузового порта г. Волгограда) // Великие реки 2017: труды науч. конгресса 19-го Междунар. науч.-пром. форума. Т. 1. 2017. С. 209—212.
17. Ivanova N. V. Architectural and ecological integration of postindustrial landscapes revitalization into socially oriented space of the embankment // MATEC Web Conf. International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry ESCI-2018, Vietnam, 2—5 March, 2018. Vol. 193. URL: <http://doi.org/10.1051/mateconf/201819301032>
18. Будникова А. Гибридность — проблема современного города или катализатор? URL: <https://archi.ru/press/russia/73304/gibridnost-problema-sovremennogo-goroda-ili-katalizator>
19. Krasilnikova E., Klimov D. Formation Principles of Hybrid Spaces in Terms of Urban Planning Regeneration of the City // Balkan Architectural Biennale. Conference proceedings «capitala». Belgrade : BAB, 2015. С. 21—40.
20. Ivanova N. V., Ganzha O. A. EMMFT 2017 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. 6 p.
21. Гуськова Е. В. Принципы архитектурной ревитализации приречных пространств: из опыта России и Франции : дис. ... канд. архитектуры. Нижний Новгород, 2010. 160 с.
22. Косицына Э. С., Птичникова Г. А., Иванова Н. В. Архитектурно-ландшафтные основы проектирования городов : учеб. пособ. 2-е изд., испр. и доп. Волгоград : ВолГАСУ, 2006. 144 с.

© Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Ганжа О. А., Прокопенко В. В. Ландшафтно-экологическая организация визуального каркаса городских гибридных пространств в процессе ревитализации постиндустриального ландшафта набережной Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 173—186.

Об авторах:

Иванова Нина Васильевна — канд. арх., профессор, профессор кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1. <https://orcid.org/0000-0002-2472-1705>, ivanovaninav@mail.ru

Ганжа Ольга Александровна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ganzha_olga@mail.ru

Прокопенко Вячеслав Валентинович — канд. техн. наук, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, v.v.p_24@mail.ru

Nina V. Ivanova, Ol'ga A. Ganzha, Vyacheslav V. Prokopenko

Volgograd State Technical University

LANDSCAPE-ECOLOGICAL ORGANIZATION OF THE VISUAL FRAME HYBRID URBAN SPACES IN THE PROCESS OF REVITALIZATION OF POST-INDUSTRIAL LANDSCAPE EMBANKMENT OF VOLGOGRAD

The research covers the methodological basis for the formation of the visual framework of the city in the concept of architecture and ecology of hybrid spaces. The article provides an analysis of the location in the spatial structure of the coastline of architectural and urban facilities of Volgograd and their impact on the imaginative characteristics of the site. The indicator of visual perception of the environment evaluating the qualitative characteristics of the building is proposed.

The paper uses multivariate architectural and environmental analysis that combines inductive practical and deductive theoretical approaches, the method of modeling and experimental design of the coastal area of Volgograd.

The methodology of formation of the visual framework, built on the basis of the creation of hybrid spaces, allows you to use the proposals in domestic and foreign construction in similar urban conditions.

The analysis of the experience of the visual frame formation allowed to evaluate the design of hybrid spaces of the city in a new way.

Key words: visual frame, visual environment indicator, hybrid building.

For citation:

Ivanova N. V., Ganzha O. A., Prokopenko V. V. [Landscape-ecological organization of the visual frame hybrid urban spaces in the process of revitalization of post-industrial landscape embankment of Volgograd]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 173—186.

About authors:

Nina V. Ivanova — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2472-1705>, ivanovaninav@mail.ru

Ol'ga A. Ganzha — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ganzha_olga@mail.ru

Vyacheslav V. Prokopenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, v.v.p_24@mail.ru

УДК 711.4:614.8:551

О. А. Растяпина

Волгоградский государственный технический университет

**АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ
НА ПРОЯВЛЕНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

В статье приведен анализ факторов природного и техногенного происхождения, которые активизируют неблагоприятные природные процессы. Проведено структурирование причин, оказывающих наиболее сильное влияние на активизацию неблагоприятных природных процессов и, как следствие, усложняющих условия эксплуатации городских территорий. Предложено составление комплексных карт неблагоприятных природных процессов, на основании которых возможно прогнозировать активизацию природного процесса под воздействием техногенных факторов.

Ключевые слова: неблагоприятные природные процессы, техногенные факторы урбанизированных территорий, влияние техногенных факторов на развитие неблагоприятных природных процессов.

В процессе роста городов требуется увеличение его площадей, возникает необходимость в освоении менее благоприятных территорий. В контексте данной статьи к подобным территориям относятся такие, на которых отмечена вероятность возникновения неблагоприятных природных процессов. Все эти процессы, как правило, протекают под воздействием природных и техногенных факторов. К природным факторам, оказывающим влияние на развитие неблагоприятных природных процессов, относятся гидрогеологические и метеорологические особенности территории. Как правило, под влиянием природных факторов и происходит развитие того или иного неблагоприятного природного процесса. Изменить совокупность природных характеристик, оказывающих влияние на территорию с точки зрения развития неблагоприятного процесса, не всегда экономически целесообразно. Можно минимизировать их влияние на территорию и возможность дальнейшей активизации путем применения специальных мероприятий по инженерной подготовке территории. Более опасны техногенные факторы, оказывающие «стимулирующее» воздействие на активизацию неблагоприятных природных процессов на урбанизированной территории.

В процессе развития урбанизированных территорий увеличивается техногенная нагрузка на территорию, что является основным признаком развития территории и оценки степени ее урбанизации. Проведение строительных работ, изменение уровня поверхности территории и проведение глубинных работ по выработке подземного пространства приводит к изменению уровня подземных вод. Вследствие этого происходит активизация неблагоприятных природных процессов, таких как оползни, карстовые процессы, суффозионные явления и другие.

В последние годы актуально строительство зданий на прибрежных территориях. Это связано, прежде всего, с эстетическими особенностями территории, возможностями формирования престижного жилья и, соответственно, экономи-

чески выгодного. Но освоение подобных территорий требует не только использования специальных конструктивных схем зданий и сооружений, но и проведения специальных мероприятий по инженерной подготовке зоны застройки и прилегающей территории. При нерациональной пригрузке склона сооружениями, зданиями, подрезке склона увеличивается вероятность активизации неблагоприятных природных процессов, таких как оползни и обвалы [1].

Ведение и внедрение в урбанизированной среде современных элементов жизнедеятельности способствует возникновению электромагнитных и геофизических полей, которые оказывают негативное воздействие на человека и активизируют неблагоприятные природные процессы, прежде всего геологические и гидрогеологические.

Формирование искусственных водохранилищ и проведение гидротехнических работ приводит к изменению уровня подземных вод и увеличению поверхностных вод, что способствует развитию и активизации оползневых процессов. Большинство современных оползневых процессов Волгоградской области носят именно техногенный характер, то есть являются следствием техногенных факторов, воздействующих на территорию. Техногенные факторы оказывают воздействие на изменение структуры грунтовых пород, слагающих основание зоны строительства [2]. С целью формирования благоприятных и безопасных условий обитания в урбанизированной среде как человека, так и самой окружающей среды необходимо стремиться к минимизации негативного воздействия от техногенных факторов на выявленные неблагоприятные природные процессы. Для этого необходимо первоначально выявить и определить вероятность развития неблагоприятного природного процесса на территории. В настоящее время исследования по выявлению неблагоприятных природных процессов, которые оказывают воздействие на условия освоения территории и ее дальнейшую эксплуатацию, проводятся частично и выборочно [3, 4, 5, 6]. Однако проведение мониторинга на территориях позволяет своевременно прогнозировать вероятность активизации неблагоприятного природного процесса под влиянием совокупности факторов природного и техногенного происхождения. Своевременная диагностика территории по проявлению и активизации неблагоприятного природного процесса позволит своевременно разрабатывать мероприятия, направленные на оптимизацию условий эксплуатации урбанизированных территорий [7]. Таким образом, на первоначальном этапе строительства мест поселений и в процессе урбанизации данных территорий необходимо составление схем или карт с указанием конкретных участков, на которых существует (выявлена) вероятность протекания какого-либо неблагоприятного природного процесса. К основным неблагоприятным процессам, протекающим на урбанизированных территориях, являющихся следствием совокупного воздействия природных и техногенных факторов, относятся: оползни, обвалы, суффозия, карст, морозное пучение, эрозия.

Оползни представляют собой движение грунтовых (земляных) масс в результате увеличения силы тяжести под собственным весом. Сползание земляных масс происходит при определенной зависимости от некоторых природных факторов, как правило, определяющих рельеф склона, геологическое строение пород, гидрогеологических и гидрологических факторов территории [8]. В качестве основных техногенных факторов следует отметить: изменение уровня под-

земных и поверхностных вод, изменение структурного залегания грунтовых масс. В процессе строительства и эксплуатации объектов урбанизированной среды из-за сложения территории Волгограда преимущественно глинистыми породами формируется верховодка, происходит увлажнение глин, в результате чего теряется их первоначальная связность. Наиболее подвержены оползневым процессам территории города Волгограда, относящиеся к прибрежной и склоновой части города, в Тракторозаводском, Краснооктябрьском, Центральном, Дзержинском (поселок Ангарский) районах города. На территории Волгоградской области отмечено 10 крупных оползневых массивов, в зоне действия которых находятся жилые дома и объекты экономики [9]. В зависимости от указанных факторов природного происхождения можно определить и рассчитать вероятность активизации оползневого процесса, определить степень устойчивости оползневого склона и прогнозировать дальнейшее развитие данного процесса под влиянием техногенных факторов. Минимизация факторов техногенного происхождения позволит «стабилизировать» (улучшить) состояние территории, подверженной оползневому процессу.

С оползневыми процессами по природе происхождения связаны обвалы. Обвалы представляют собой смещение грунтовых масс. Близким процессом к обвалу является процесс осыпания грунтовых масс. Оба процесса являются гравитационными и происходят в результате потери силы сцепления грунтовых масс. На активизацию данных процессов оказывают влияние геоморфологические, геологические и метеорологические факторы. В качестве техногенных факторов следует отметить нарушение равновесия склона в результате освоения территории и ведение хозяйственной деятельности человеком на склоновой территории. Изменение водосборных площадей, сброс хозяйственных вод приводит к нарушению естественных природных процессов, что провоцирует изменение геологических и гидрогеологических условий сложения склона, нарушаются естественные силы равновесия, и провоцируются процессы осыпания и обвала грунтовых пород.

Другим неблагоприятным природным процессом, характерным для урбанизированных территорий, является эрозионный процесс. Существующие природные факторы: геоморфологические, геологические и метеорологические особенности территории создают условия для возникновения эрозии. Неправильное ведение хозяйственной деятельности в пределах урбанизированной территории приводит к интенсификации протекания данного процесса. Порядка 25 % территорий Волгоградской области подвержены водной эрозии [10]. В результате действия эрозионных процессов увеличивается вероятность овражных процессов [11]. В пределах урбанизированных территорий наиболее вероятен технологический тип эрозии. Технологическая эрозия возникает при переработке глубинных грунтовых масс, например, при засыпке грунта слоем строительного мусора. В результате происходит изменение естественного сложения грунтовых масс, изменение уровня грунтовых вод, как следствие, изменяются источники выхода поверхностных вод. Вследствие чего грунтовые массы теряют свою устойчивость, и происходит изменение поверхностных слоев земли [12]. Для снижения последствий негативного воздействия эрозионных процессов следует учитывать действующие поверхностные воды (вероятность изменения их объемов), а также их взаимодействие с поверхностными слоями грунтовых масс [13].

Карст связан и возникает при условии формирования геологических и гидрогеологических факторов, представляет собой процесс растворения, как правило, солей в грунте под действием грунтовых вод. Данный процесс проявляется в виде провалов грунтовых масс на поверхности территории. Процесс связан с особенностями сложения геологического разреза территории. На относительно урбанизированных территориях в процессе ведения хозяйственной деятельности возникает вероятность изменения химического состава грунтовых вод, что может быть причиной их агрессивности относительно слагающих грунтов, как следствие, происходит процесс растворения и выноса грунтовыми водами на овражных территориях отдельных элементов грунтовых масс.

Суффозионный процесс представляет собой вынос более мелких частиц грунтовых масс, связан с геологическими и гидрогеологическими особенностями строения территории. В результате техногенной деятельности происходит изменение силы потока грунтовых вод, их физико-механических характеристик, нарушается естественное (природное) состояние гидрогеологических факторов территории [14]. Проведение подземных работ (рытье котлованов, выемок), то есть антропогенное изменение рельефа территории, приводит к нарушению естественного баланса структуры грунтовых пород, частицы грунта, подверженные размыву, могут быть вынесены при больших скоростях фильтрации воды и увеличении гидродинамического давления в породе.

Еще одним природным процессом, характерным для многих регионов, в том числе и для Волгоградской области, является морозное пучение грунтов. Данный процесс связан с особенностями геологического строения, залегания глин в зоне промерзания [15]. При строительстве зданий, как правило, всегда соблюдается глубина заложения фундамента, определенная ниже глубины промерзания, однако при строительстве дорожного полотна данные условия не выполняются, в связи с чем отмечена большая вероятность возникновения морозного пучения в зоне дорожного полотна [16, 17]. На активизацию данного процесса наибольшее влияние оказывает структура грунтовых масс, соотношение в них глинистых пород. Так, порядка 30-ти и более процентов содержания глин дают большую вероятность активизации процесса пучения при наличии воды и низкой температуры, в случае замерзания грунтов [18].

Проведенный анализ природных процессов позволил установить основные группы природных факторов, которые оказывают влияние на зарождение неблагоприятных природных процессов [19]: геоморфологическое строение территории (наличие, величина и ориентация склона); геологический профиль территории (залегание водоупорных грунтовых пород, однородность профиля территории, дисперсность грунтовых пород в зоне строительства и прилегающей территории, устойчивость и величина силы сцепления грунтовых пород); гидрогеологические условия (состав, глубина залегания, гидродинамическое давление, физико-механический состав грунтовых вод, скорость фильтрации воды); гидрологические характеристики (наличие поверхностных водоемов естественного происхождения, уровень воды в водоеме) и метеорологические характеристики (температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, количество осадков) [20]. В качестве основных техногенных факторов, оказывающих влияние на активизацию неблагоприятных природных процессов, при этом являющихся следствием урбанизации

территории, следует отметить: пригрузка склона; изменение структуры сложения геологического профиля; изменение уровня и физико-механического состава грунтовых вод; изменение уровня, направления и глубины воды в существующих водоемах.

При своевременном мониторинге и выявлении неблагоприятного природного процесса с учетом отмеченных факторов природного и техногенного происхождения необходима разработка мероприятий, направленных на устранение неблагоприятного природного процесса. На этапе освоения территории, подверженной проявлению неблагоприятного природного процесса, должны быть разработаны мероприятия инженерной подготовки территории, направленные на «стабилизацию» территории и устранение негативного воздействия природного процесса на эксплуатируемую территорию. В процессе эксплуатации территории, учитывая существующие природные свойства территории и совокупность техногенных факторов, необходимо прогнозировать вероятность активизации или зарождение неблагоприятного природного процесса.

В качестве основного мероприятия, способного снизить активность большинства из указанных неблагоприятных природных процессов, является озеленение территории. Использование озеленения на прибрежных территориях позволит сформировать рекреационные зоны и улучшить эстетические свойства территории, стабилизировать состояние грунтов на присклоновых территориях, нормализовать состояние и количество подземных и поверхностных вод, стекающих по территории [21]. Основным моментом, требующим внимания, является подбор дендрологического состава озеленения в зависимости от природных особенностей и целей использования.

Большинство из описанных в статье процессов проявляются на поверхности территории. Учитывая признаки проявления того или иного природного процесса, можно с большей вероятностью своевременно определить его. Соответственно, учитывая информацию мониторинга за проявлением неблагоприятных природных процессов, анализируя данные предпроектного анализа, сопоставляя их с признаками проявления процесса, выявленными в результате эксплуатации территории, можно своевременно диагностировать неблагоприятные природные процессы. Своевременная диагностика и определение природного процесса позволят принимать необходимые меры по минимизации негативного воздействия на урбанизированную территорию.

С целью формирования благоприятного и безопасного урбанизированного пространства следует разрабатывать карты неблагоприятных природных процессов на территории конкретного поселения. Имеющиеся на сегодня карты геоэкологического районирования территорий, как правило, устарели, так как в них не учтены факторы техногенного воздействия на природные процессы, возникающие в процессе урбанизации. Данные карты должны быть основаны на проведенных результатах мониторинга за признаками проявления или предпосылками развития неблагоприятного природного процесса. В процессе эксплуатации территории в результате воздействия различных техногенных факторов, таких как изменение уровня грунтовых вод, изменение уровня и объема поверхностных вод, формирование электромагнитных полей на урбанизированной территории, возможно «стимулирование» развития неблагоприятного природного процесса. Для снижения вероятности проявления неблагоприятного природного процесса необходимо проведение де-

тального анализа факторов техногенного происхождения на территориях, подверженных проявлению данных процессов. Степень подверженности территории тому или иному процессу должна быть установлена по совокупности природных особенностей территории, которые лежат в основе того или иного неблагоприятного природного процесса. Для этого необходимо составление прогноза активизации природных процессов на основании прогнозных параметров, влияющих техногенных факторов. При проявлении признаков активизации неблагоприятных природных процессов требуется разработка комплекса мер, направленных на устранение влияющих техногенных факторов и снижение их негативного воздействия.

Таким образом, мониторинг за проведением строительных работ при освоении и в процессе эксплуатации территорий позволит систематизировать факторы, оказывающие влияние на проявление неблагоприятных природных процессов. Кроме того, на основании проведенного мониторинга необходимо составление комплексных карт неблагоприятных природных процессов с учетом имеющихся карт геоэкологического районирования. Автором статьи предлагается составление именно комплексной карты, так как на ее основании можно наиболее точно прогнозировать проявление различных неблагоприятных природных процессов с учетом возникающих в процессе урбанизации нагрузок на территорию. Помимо этого, природные процессы взаимосвязаны между собой, и одни являются следствием других, что подчеркнуто в данной статье. Составление комплексных карт позволит своевременно прогнозировать развитие неблагоприятных природных процессов с учетом вероятных техногенных нагрузок и разрабатывать комплекс мер, направленных на устранение последствий выявленных процессов. Предотвратить проявление неблагоприятного природного процесса экономически целесообразнее, нежели устранять последствия данного процесса с учетом нанесенного ущерба урбанизированной территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Environmental design guidelines for low crested coastal structures / H. F. Burcharth and others // *Environmental Design Guidelines for Low Crested Coastal Structures*. 2007. 448 p.
2. Брылев В. А., Корхунова Ю. А. Древние и современные оползни Нижнего Поволжья и факторы их образования // *Геоморфология*. 2010. № 4. С. 37—46.
3. Хрусталева Л. Н. Разработка научных основ прогнозирования геоэкологических последствий хозяйственного освоения территорий в северных регионах России // *Отчет о НИР/НИОКР*. 1994.
4. Родионов В. Н. Геомеханические и экологические проблемы использования подземных пространств // *Отчет о НИР/НИОКР*. 1998.
5. Максина А. Б., Соболев А. М. Система объективного мониторинга состояния недр ОАО «ГНЦ НИИАР» (мониторинг подземных и поверхностных вод) // *Стратегия устойчивого развития регионов России*. 2011. № 7. С. 136—139.
6. Тарбаев В. А., Долгирев А. В. Мониторинг земель, подверженных деградации, на территории Поволжья // *Нива Поволжья*. 2016. № 2(39). С. 61—68.
7. Voskoboynikova G., Khairtdinov M. Numerical modeling of posteriori algorithms for the geophysical monitoring // *Communications in computer and information science*. 2015. Pp. 190—200.
8. Динамика высокоэнергетических геофизических образований (фронты, оползни, сели, плотность течения) / Б. К. Ткаченко и др. // *Информационный бюллетень РФФИ*. 1998. № 6.
9. Зеркаль О. В. Влияние глобального изменения климата на активность опасных экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского региона // *ГеоРиск*. 2008. С. 16—22.

10. Дьяченко Н. П. Техноморфогенез и активизация водной эрозии на территории Волгоградской области // XV Пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. 2000. С. 88—89.
11. Зорина Е. Ф., Никольская И. И. Овраги — одно из звеньев единой эрозионной сети // Геоморфология. 2008. № 3. С. 23—28.
12. Influence factor analysis related to strength and anti-erosion stability of silt slope with microbial mortar protective covering / G. Shao and others // Nongye gongcheng xuebao. 2017. Vol. 33. № 11. Pp.133—139.
13. Shaller J. Geographic information systems and ecosystem models as tools for watershed management and ecological in high mountains areas: the example of ecosystem research in the Berchtesgaden, Germany // Mountain environments and geographic information systems. London : Taylor and Francis, 1994. Pp. 43—58.
14. Timofeev D. A. Gynecological geomorphology: objects, problems, methods // Second International Conference on geomorphology. Abstracts of posters and papers. Frankfurt. 1989. 295 p.
15. Johnson M. C. Frost heaving, soil type, and soil water tension: thesis Agriculture, soil science. 2004.
16. Буракевич А. А. Влияние различных факторов на морозное пучение // Дорожно-транспортный комплекс как основа рационального природопользования : материалы междунар. науч.-техн. конф. Омск, 2015. С. 164—167.
17. Кузнецова Т. В. Морозное пучение грунтов как природное явление // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. 2016. С. 193—196.
18. Baba H. U. Factors influencing frost heaving of soils // Tesis 0428-Geotechnology 1995. Environmental and dynamic geomorphology. Budapest, 1985. 220 p.
19. Kasiyanchuk D. V. Natural and technogenic components of factors of exogenous geological processes // Geoinformatics 2013 : XIIth International Conference on geoinformatics : theoretical and applied aspects, 2013.
20. Deshcherevskii A. V., Mukhin V. M., Sidorin A. Y. Account for atmospheric precipitation in the monitoring of natural processes // Doklady earth sciences. 2003. № 3. Pp.459—461.
21. Тарбаев В. А., Долгирев А. В. Мониторинг земель, подверженных деградации, на территории Поволжья // Нива Поволжья. 2016. № 2(39). С. 61—68.

© Растяпина О. А., 2018

Поступила в редакцию
в июне 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Растяпина О. А. Анализ природных и техногенных факторов, оказывающих влияние на проявление неблагоприятных природных процессов на урбанизированных территориях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 187—194.

Об авторе:

Растяпина Оксана Анатольевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, o_kast@list.ru

Oksana A. Rastyapina

Volgograd State Technical University

ANALYSIS OF NATURAL AND TECHNOGENIC FACTORS AFFECTING THE IMPACT ON THE MANIFESTATION OF ADVERSE NATURAL PROCESSES ON URBANIZED TERRITORIES

The article analyzes the factors of natural and man-made origin, which activates unfavorable natural processes. The structuring of the causes that have the strongest influence on the activation of adverse natural processes and, as a consequence, complicating the conditions of exploitation of urban

areas, has been carried out. The proposed mapping of complex maps of adverse natural processes, on the basis of which it is possible to predict the activation of the natural process under the influence of man-made factors.

Key words: adverse natural processes, man-made factors of urban areas, the influence of man-made factors on the development of adverse natural processes.

For citation:

Rastyapina O. A. [Analysis of natural and technogenic factors affecting the impact on the manifestation of adverse natural processes on urbanized territories]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 187—194.

About author:

Oksana A. Rastyapina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, o_kast@list.ru

УДК 69.331.438

В. А. Сенченко^а, С. Л. Пушенко^б, Е. В. Стасева^б

^а *Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком»*

^б *Донской государственный технический университет*

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА УЗЛОВЫХ ОПОРАХ ГУСТОНАСЕЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Основными проблемами в развитии энергетической отрасли России являются: увеличение спроса на электрическую энергию, большая протяженность и разветвленность распределительных сетей, износ мощностей, неравномерность загрузки фаз. Все это приводит к тому, что в густонаселенных районах в узловых местах пересечения воздушных линий связи и воздушных линий электропередач образуется целый клубок хаотично закрепленных линий. В результате — низкое качество передаваемой электрической энергии, рост трудоемкости обслуживания и ремонта, травматизм при работе на высоте. В целях повышения безопасности при эксплуатации, монтаже и обслуживании линий связи и электропередач в узловых местах пересечения предложена конструкция траверсы, которая может обеспечить большее количество точек крепления и разнесения линий связи и линий электропередач по разным плоскостям.

К л ю ч е в ы е с л о в а: опора воздушной линии связи, опора воздушной линии электропередач, траверса, безопасность работ на высоте.

Увеличение спроса на электрическую энергию является одной из основных тенденций развития энергетической отрасли, определяющих ход развития электросетевого комплекса России. Спрос на электрическую энергию в России значительно смещается между регионами и населенными пунктами. Наряду со снижением потребления электрической энергии в сельской местности многих регионов происходит его значительный рост в крупных городах. В свою очередь, внутри городов снижение электропотребления в промышленных зонах компенсируется его ростом в районах, где строятся объекты офисной и коммерческой недвижимости или жилье¹ [1].

Высокие показатели потерь электроэнергии в электрических сетях и большая степень износа последних — одни из наиболее актуальных проблем энергетики нашей страны. По данным «Стратегии развития электросетевого комплекса России», средний уровень потерь в отечественных сетях составляет 11 % от полезного отпуска энергии. Свою лепту в данный показатель вносят и коммерческие потери, связанные с хищением электроэнергии: по приблизительным оценкам специалистов ежегодно в России разворовывается до 10...12 млрд кВт·ч электроэнергии². Наиболее велики электрические потери в распределительных сетях в связи с их большой протяженностью и разветвленностью, неравномерностью загрузки фаз, низким напряжением передаваемой электрической энергии. Более того, половина распределительных сетей уже выработала свой нормативный срок, общий износ мощностей в сек-

¹ Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р (ред. от 29.11.2017) «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации».

² Там же.

торе оценивается в 70 % [2, 3]. Приведенные данные делают весьма актуальной замену голых проводов воздушных линий электропередач (ЛЭП) 0,4 кВ на самонесущие изолированные провода (СИП). Самонесущие изолированные провода — многожильный провод для воздушных линий электропередачи, содержащий изолированные жилы и несущий элемент, предназначенный для крепления или подвески провода³.

В связи с развитием услуг связи возрастает количество потребителей этих услуг. Практика показывает, что в условиях большого города прокладка кабелей связи в существующих канализационных сооружениях — дело сложное, а часто и невозможное из-за их перегруженности, высокой арендной платы, межведомственных неувязок и нежелания помогать конкурентам. Строительство же новых собственных канализационных сооружений трудоемко, дорого и не везде осуществимо из-за уже сложившейся плотной структуры строений и коммуникаций. Самый быстрый и экономически выгодный способ подключения абонента — прокладка воздушных линий связи. В плотной застройке городской черты, как правило, уже установлены опоры, по которым проложены воздушные линии электропередач. Экономически выгодный и самый быстрый способ подключить абонента — это проложить линию связи на общих опорах с воздушными линиями электропередачи [1, 3, 4].

Сочетание всех вышеуказанных условий и тенденций приводит к тому, что в густонаселенных районах и наиболее оживленных торговых местах на воздушных опорах в узловых местах пересечения воздушных линий связи и линий электропередач образуется целый клубок хаотично закрепленных линий связи и линий электропередач (рис. 1). Причем эта ситуация развивается не только в Российской Федерации, но и в ряде других стран мира (рис. 2) [1, 5].



Рис. 1. Внешний вид опоры линий электропередач в г. Нижнем Тагиле, 2016 год

³ ГОСТ Р 52373—2005. Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. М. : Стандартинформ, 2005. 20 с.

ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. М. : Изд-во стандартов, 2005. 19 с.

Целью проводимого исследования является повышение безопасности при эксплуатации, монтаже и обслуживании ВЛС и ВЛЭ в узловых местах пересечения с помощью изменения принципа крепления ВЛС и ВЛЭ к опоре, а именно при изменении конструкции траверсы, которая может обеспечить большее количество точек крепления и разнесения линий связи и линий электропередач по разным плоскостям.

Задачи для решения поставленных целей: критический анализ мероприятий организационного и технического характера по обеспечению безопасности работ при эксплуатации ВЛС и ВЛЭ и рассмотрение методов по решению выявленных проблем.



Рис. 2. Внешний вид опоры линий электропередач в г. Паттае (Тайланд), 2017 г.

В связи с увеличением потребления электроэнергии и услуг связи возрастает мощность и количество абонентов вышеуказанных услуг. В узловых местах пересечения на опорах возникают хаотично закрепленные к опоре клубки проводов линий связи и линий электропередач. С увеличением клубка проводов эксплуатация совместно подвешенных проводов становится небезопасной и возрастает трудоемкость обслуживания и ремонта линий связи и линий электропередач. Кроме того, ухудшается эстетический вид опоры. Техническое обслуживание и ремонт воздушных линий связи и воздушных линий электропередач — это обязательный процесс эксплуатации. Обслуживание воздушных линий связи и воздушных линий электропередач в большинстве случаев является работой на высоте, которая относится к наиболее травмоопасным видам деятельности со стабильно высокой долей тяжелого и смертельного травматизма⁴ [6].

Согласно требованиям по охране труда, при организации и проведении работ на высоте⁵ для обеспечения безопасности работ проводится ряд меро-

⁴ Причины травматизма и травмоопасные факторы. URL: http://ohrana-bgd.narod.ru/proizv_19.html

⁵ Приказ Минтруда России от 28.03.2014 № 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте». URL: <http://www.infocom.su>

приятый организационного и технического характера, выполнение которых должно минимизировать количество несчастных случаев, связанных с работами на высоте.

К техническим мероприятиям относится система обеспечения безопасности работ на высоте. Она состоит из [7]:

- а) анкерного устройства;
- б) привязи (страховочные, для удержания, для позиционирования, для положения сидя);
- в) соединительно-амортизирующей подсистемы (стропы, канаты, карабины, амортизаторы, средство защиты втягивающегося типа, средство защиты от падения ползункового типа на гибкой или на жесткой анкерной линии).

Анализируя состояние клубков проводов на опорах, мы приходим к выводу, что каким-либо образом застраховаться выше места проведения работ в данной ситуации просто невозможно.

Самый простой и безопасный способ обслуживания ВЛС и ВЛЭ производится с использованием автоподъемника, но в указанных условиях к верхней точке крепления проводов чисто с практической точки зрения сложно добраться. Требования к воздушным линиям электропередач напряжением до 1 кВ, а также требования к совместному подвесу линий связи и габаритам между проводами в Российской Федерации изложено в «Правилах устройства электроустановок» (ПУЭ) (Глава 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ) [3, 7].

Основные требования к совместному подвесу и габаритам между проводами ВЛ, ВЛИ, ВОЛС и линиями связи [4]:

При совместной подвеске на общих опорах воздушной линии электропередачи напряжением до 1 кВ с применением самонесущих изолированных проводов (далее ВЛИ) и ВЛ до 1 кВ расстояние по вертикали между ними на опоре и в пролете при температуре окружающего воздуха 15 °С без ветра должно быть не менее 0,4 м.

При совместной подвеске на общих опорах двух или более ВЛИ расстояние между жгутами СИП должно быть не менее 0,3 м.

Расстояние по вертикали от проводов ВЛИ до поверхности земли в населенной и ненаселенной местности до земли и проезжей части улиц должно быть не менее 5 м. Оно может быть уменьшено в труднодоступной местности до 2,5 м и в недоступной (склоны гор, скалы, утесы) — до 1 м.

При пересечении не проезжей части улиц ответвлениями от ВЛИ к вводам в здания расстояния от СИП до тротуаров пешеходных дорожек допускается уменьшить до 3,5 м.

Расстояние от СИП и изолированных проводов до поверхности земли на ответвлениях к вводу должно быть не менее 2,5 м.

Пересечение ВЛ (ВЛИ) до 1 кВ между собой рекомендуется выполнять на перекрестных опорах; допускается также их пересечение в пролете. Расстояние по вертикали между проводами пересекающихся ВЛ (ВЛИ) должно быть не менее 0,1 м на опоре и 1 м в пролете.

Пересечение проводов ВЛ с изолированными проводами ЛС и ЛПВ должно выполняться в пролете и на опоре [4].

При пересечении ВЛИ с неизолированными проводами ЛС и ЛПВ должны соблюдаться следующие требования:

1) пересечение ВЛИ с ЛС и ЛПВ может выполняться в пролете и на опоре;

2) опоры ВЛИ, ограничивающие пролет пересечения с ЛС магистральных и внутризоновых сетей связи и с соединительными линиями СТС, должны быть анкерного типа. При пересечении всех остальных ЛС и ЛПВ на ВЛИ допускается применение промежуточных опор, усиленных дополнительной приставкой или подкосом;

3) несущая жила СИП или жгута со всеми несущими проводниками на участке пересечения должна иметь коэффициент запаса прочности на растяжение при наибольших расчетных нагрузках не менее 2,5;

4) провода ВЛИ должны располагаться над проводами ЛС и ЛПВ. На опорах, ограничивающих пролет пересечения, несущие провода СИП должны закрепляться натяжными зажимами. Провода ВЛИ допускается располагать под проводами ЛПВ. При этом провода ЛПВ на опорах, ограничивающих пролет пересечения, должны иметь двойное крепление;

Расстояние по горизонтали между проводами ВЛИ и проводами ЛС и ЛПВ при параллельном прохождении или сближении должно быть не менее 1 м.

На общих опорах допускается совместная подвеска СИП ВЛИ с неизолированными или изолированными проводами ЛС и ЛПВ. При этом должны соблюдаться следующие условия [3, 4]:

1) номинальное напряжение ВЛИ должно быть не более 380 В;

2) номинальное напряжение ЛПВ должно быть не более 360 В;

3) номинальное напряжение ЛС, расчетное механическое напряжение в проводах ЛС, расстояния от нижних проводов ЛС и ЛПВ до земли, между цепями и их проводами должны соответствовать требованиям действующих правил Минсвязи России;

4) провода ВЛИ до 1 кВ должны располагаться над проводами ЛС и ЛПВ; при этом расстояние по вертикали от СИП до верхнего провода ЛС и ЛПВ независимо от их взаимного расположения должно быть не менее 0,5 м на опоре и в пролете. Провода ВЛИ и ЛС и ЛПВ рекомендуется располагать по разным сторонам опоры.

На опорах ВЛ (ВЛИ) допускается подвеска волоконно-оптических кабелей связи (ОК): неметаллических самонесущих (ОКСН); неметаллических, навиваемых на фазный провод или жгут СИП (ОКНН).

Расстояния между проводами ВЛ до 1 кВ и ОКСН на опоре и в пролете должны быть не менее 0,4 м. Угол пересечения ВЛ (ВЛЗ) выше 1 кВ между собой и с ВЛ (ВЛИ) до 1 кВ не нормируется.

На опорах допускается любое расположение изолированных и неизолированных проводов ВЛ независимо от района климатических условий. Нулевой провод ВЛ с неизолированными проводами, как правило, следует располагать ниже фазных проводов. Изолированные провода наружного освещения, прокладываемые на опорах ВЛИ, могут размещаться выше или ниже СИП, а также быть скрученными в жгут СИП. Неизолированные и изолированные провода наружного освещения, прокладываемые на опорах ВЛ, должны располагаться, как правило, над PEN (PE) проводником ВЛ [1, 4].

Расстояние по вертикали от проводов ВЛ до проводов или подвесных кабелей ЛС и ЛПВ в пролете пересечения при наибольшей стреле провеса провода ВЛ должно быть: от СИП и изолированных проводов — не менее 1 м; от неизолированных проводов — не менее 1,25 м.

Расстояние по вертикали от проводов ВЛ до 1 кВ до проводов или подвесных кабелей ЛС или ЛПВ при пересечении на общей опоре должно быть: между СИП и ЛС или ЛПВ — не менее 0,5 м; между неизолированным проводом ВЛ и ЛПВ — не менее 1,5 м.

Как мы видим, на законодательном уровне существует целый ряд технических требований для воздушных линий связи и воздушных линий электропередач, которые направлены на обеспечение безаварийной работы при передаче электроэнергии по ВЛЭ и передаче сигнала электросвязи по ВЛС. Кроме того, требования направлены на обеспечение электробезопасности работников во время проведения работ по монтажу, ремонту и техническому обслуживанию линий связи и линий электропередач.

Анализируя вышесказанное, приходим к выводу, что при монтаже, ремонте и техническом обслуживании опор с такими клубками проводов существует высокий риск поражения электрическим током и риск падения с высоты работников [6].

Монтаж ВЛЭ посредством провода СИП осуществляют с использованием линейной арматуры для СИП. На опорах ВЛС применяются различные схемы крепления СИП в зависимости от функционального назначения.

Технология крепления СИП к опорам уже отработана. В промышленном производстве выпускается линейная арматура для крепления СИП в достаточном количестве. Когда на опоре ВЛЭ или ВЛС крепится один, два или десять точек крепления, ничего страшного не происходит. Но количество точек крепления не может быть бесконечным, так как для крепления анкерного кронштейна требуется определенное место, и сама опора имеет конечные размеры. Зная высоту опоры, минимальное допустимое расстояние СИП от земли и ширину анкерных кронштейнов можно посчитать количество проводов на одну опору ВЛС. Однако монтажник может закрепить анкерный кронштейн не вплотную к другому, направления проводов могут отличаться от идеального сценария, да и доступность места крепления СИП для монтажника с каждым новым СИП уменьшается. Поэтому на узловых пересечениях возникают проблемы в местах крепления проводов СИП, приведенные на рис. 1 и 2 [8, 9].

На опоре в одной плоскости в теоретическом плане имеется возможность прикрепить 4 кронштейна в 4-х точках крепления. Но не всегда направления передачи кабеля совпадают с имеющимися направлениями. Количество точек крепления ограничивает малый периметр, поэтому если увеличить периметр места крепления, то увеличится количество точек крепления в одной плоскости.

С нашей точки зрения, путь решения данной проблемы — это траверса различной геометрической формы, которая увеличивает количество точек крепления в одной плоскости [9].

Технический результат изменения конструкции траверсы заключается в функциональном расширении ее использования за счет увеличения количества точек крепления на самой траверсе при изменении рамы траверсы — увеличении периметра рамы. Конструкция траверсы поясняется чертежом на рис. 3, где показан общий вид траверсы для крепления самонесущих изолированных проводов прикрепленной к опоре воздушной линии электропередач [10].

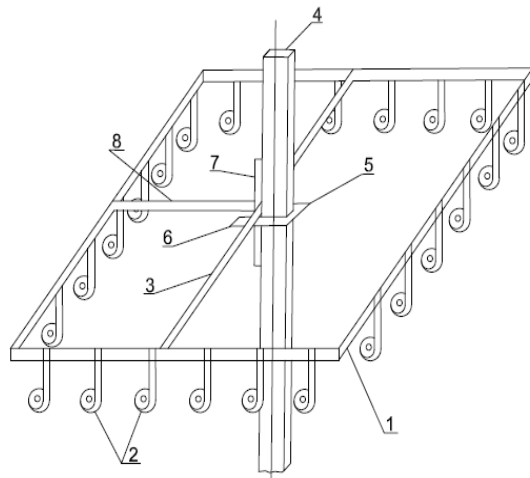


Рис. 3. Траверса для крепления самонесущих изолированных проводов к опоре воздушной линии электропередач

Траверса для крепления самонесущих изолированных проводов к опоре воздушной линии электропередач состоит из рамы 1 прямоугольной формы, выполненной из углового профиля, по периметру которой неподвижно закреплены анкерные кронштейны 2 для крепления арматуры СИП. Внутри рамы 1 посередине неподвижно закреплена перекладина 3, выполненная из углового профиля и предназначенная для крепления траверсы к опоре воздушной линии электропередач 4. Рама 1 крепится к опоре воздушной линии электропередач 4 хомутом 5 с помощью болтов 6. Посередине перекладины 3 перпендикулярно и неподвижно прикреплены направляющие 7, выполненные из углового профиля и предназначенные для устойчивости крепления траверсы к опоре воздушной линии электропередач 4. Перемычка 8 внутри рамы 1 выполнена из углового профиля и соединена неподвижно с конструкцией рамы 1 и перекладиной 3, выполняет функцию ребра жесткости конструкции.

Устройство работает следующим образом. Траверса для крепления самонесущих изолированных проводов устанавливается на вершине опоры воздушной линии электропередач 4. Крепление траверсы к опоре осуществляется хомутом 5 через перекладину 3. Хомут 5 закрепляется к перекладине 3 с помощью болтов 6. Рама 1 имеет в своем составе перекладину 3 и перемычку 8. К перекладине 3 перпендикулярно крепятся направляющие 7 по обе стороны опоры. Наличие этих металлических связей внутри рамы 3 и 8 обеспечивает жесткость всей конструкции рамы и устойчивость траверсы в горизонтальной плоскости. Наличие множества анкерных кронштейнов 2 на раме 1 позволяют данной траверсе крепить к ней множество СИП, что увеличивает пропускную способность СИП на одной опоре 4. Анкерные кронштейны 2 позволяют крепить все виды зажимов для СИП. Конструкция траверсы позволяет прокладывать через нее СИП в любом направлении (транзитном, угловом, перпендикулярном) [10].

В зависимости от места установки траверсы может иметь декоративный элемент, характерный для данного места. К примеру, в городе воинской славы это может быть пятиконечная звезда. В городе с преимущественным пре-

быванием мусульманского населения — полумесяц. И так далее. Таким образом, траверса может быть элементом, который внесет вклад в украшение этого общественного места.

Множество точек крепления СИП позволяет ставить данную траверсу в узловых местах пересечения и прохождения СИП. Конструкция траверсы упорядочивает в одной плоскости место крепления СИП к опоре 4, что обеспечивает доступ к техническому обслуживанию, ремонту опоры 4 и проходящих через нее СИП. Свободный доступ к каждому месту крепления СИП создает более безопасные условия труда при прокладке новых линий, ремонте и техническом обслуживании СИП. Применение данной траверсы в общественных местах создает более эстетичный вид крепления СИП [7, 10].

Таким образом, в рамках основных направлений профилактической работы по предупреждению производственного травматизма при выполнении работ по обслуживанию и ремонту воздушных линий связи и электропередач можно сделать следующие выводы:

1. Выявлена проблема в густонаселенных районах и наиболее оживленных торговых местах: на воздушных опорах в узловых местах пересечения воздушных линий связи и линий электропередач образуется целый клубок хаотично закрепленных линий связи и линий электропередач. С увеличением клубка проводов эксплуатация совместно подвешенных проводов становится небезопасной и возрастает трудоемкость обслуживания, ремонта линий связи и линий электропередач, а также ухудшается эстетичный вид опоры.

2. Критический анализ мероприятий организационного и технического характера по обеспечению безопасности работ при эксплуатации ВЛС и ВЛЭ и рассмотрение методов по решению выявленных проблем показал, что решение данной проблемы возможно при изменении геометрической конструкции траверсы, которая может обеспечить большее количество точек крепления и разнесения линий связи и линий электропередач по разным плоскостям. Причем геометрическая форма траверсы может иметь элементы дизайна, которые будут вписываться непосредственно в место установки и являться украшением этого места.

3. Для того чтобы внедрить данное решение, регулятор в лице государства и органов местного самоуправления должен принять соответствующий законодательный акт, способный навести технический порядок на узловых пересечениях ВЛС и ВЛЭ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хатунцева Е. А., Хатунцев А. Б. Анализ основных тенденций развития сетей связи на телекоммуникационном рынке России // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. Т. 10. Москва, 2016. № 7. С. 71—74.
2. Козлей С. В., Хацевский К. В. Проблемы эксплуатации кабельных линий 10/0,4 КВ // Актуальные вопросы энергетики : материалы Международной науч.-практ. конф. Омск, 2017. С. 56—60.
3. Попов Р. В. Вопросы проектирования волоконно-оптических сетей на базе существующих воздушных линий электропередач // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : сб. трудов VIII Международной науч.-техн. конф. Благовещенск, 2015. С. 469—471.
4. Моисеева В. Д. Применение СИП в сельских электрических сетях // Введение в энергетику : материалы I Всероссийской молодежной науч.-практ. конф. Кемерово, 2014. 56 с.
5. Khatuntseva E. A., Khatuntsev A. B. Analysis of major trends of communication networks development in Russia // T-Comm. Vol. 10. Russian Federation. 2016. № 7. Pp. 71—74.

6. Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Анализ и профилактика производственного травматизма при возведении высотных зданий и выполнении работ на высоте // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2016. № 44-2(63). С. 157—165.

7. Сенченко В. А. Безопасность на высоте: воздушные линии связи // Санэпидконтроль. Охрана труда. 2016. № 3. С. 37—42.

8. Каверзнева Т. Т., Сенченко В. А. Траверса опоры воздушной линии электропередач : пат. № 167281 Рос. Федерации ; заявл. 04.07.2016 ; опубл. 27.12.2016, Бюл. № 36.

9. Совершенствование технических средств безопасности при выполнении работ на высоте / В. А. Сенченко и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и арх. 2017. № 50(69). С. 98—106.

10. Стасева Е. В. Траверса для крепления самонесущих изолированных проводов к опоре воздушной линии электропередач : пат № 179913 Рос. Федерации.

© Сенченко В. А., Пушенко С. Л., Стасева Е. В., 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Сенченко В. А., Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Пути решения проблемных вопросов пересечения воздушных линий связи и воздушных линий электропередач на узловых опорах густонаселенных территорий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 195—204.

Об авторах:

Сенченко Владимир Александрович — ведущий специалист по охране труда, Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком». Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Гоголя, 6, vladimir.senchenko@rambler.ru

Пушенко Сергей Леонардович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности технологических процессов и производств, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, psi@rgsu.ru

Стасева Елена Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств, Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, elena_staseva@mail.ru

Vladimir A. Senchenko^a, Sergei L. Pushenko^b, Elena V. Staseva^b

^a *Volgograd branch of PAO Rostelekom*

^b *Don State Technical University*

PROBLEMS AND SOLUTIONS OF CROSSING OF AERIAL COMMUNICATION LINES AND OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES ON NODAL SUPPORT OF DENSELY POPULATED TERRITORIES

The main problems in development of power branch of Russia are: increase in demand for electric energy, big extent and branching of distributive networks, wear of capacities, unevenness of loading of phases. All this leads to the fact that in densely populated areas in nodal places of crossing of aerial communication lines and overhead power transmission lines the whole ball of chaotically fixed lines is formed. As a result poor quality of the transferred electric energy, growth of labor input of service and repair, traumatism during the work at height. For increase in safety at operation, installation and service of communication lines and electricity transmissions in nodal places of crossing the design traverses which can provide bigger quantity of points of fastening and a razneseniye of communication lines and power lines on the different planes is offered.

Key words: work at the height safety, the roof of the building, anchor device.

For citation:

Senchenko V. A., Pushenko S. L., Staseva E. V. [Problems and solutions of crossing of aerial communication lines and overhead power transmission lines on nodal support of densely populated territories]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 195—204.

About authors:

Vladimir A. Senchenko — Leading Expert in Labour Safety, Volgograd branch of PAO Rostelekom. 6, Gogolya St., Volgograd, 400131, Russian Federation, vladimir.senchenko@rambler.ru

Sergei L. Pushenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, psl@rgsu.ru

Elena V. Staseva — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, elena_staseva@mail.ru

УДК 721:502.12

О. Н. Клочкова, Е. А. Сухина, А. А. Селиванов

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ ПРИ СМЕНЕ ФУНКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОСТАНДАРТОВ

На конкретных примерах в статье описывается приспособление объектов промышленности под новую функцию, расположенных в черте г. Саратова.

Даются рекомендации для реконструируемых зданий с учетом требований международных систем экологической оценки.

Предложенные авторами мероприятия для экологической реконструкции объектов исторической застройки в данном случае не влияют на архитектурный облик сооружения, что очень важно для архитектурного наследия регионов.

Ключевые слова: экологический стандарт, «зеленые» здания, адаптация исторического здания, смена функции, экореабилитация.

Поиск резервов уплотнения общественно востребованных функций в границах исторической зоны урбанизированных территорий заставляет пристально взглянуть в исторические ансамбли и комплексы как гражданской, так и промышленной архитектуры для поиска решений их реновации. В настоящее время интенсификация использования земель в границах исторического центра городов достигала своего максимума. Остающиеся резервы — это перепрофилирование функций исторической промышленной архитектуры, которая располагается в престижных и активно посещаемых территориях города. Особое место среди репрезентативных земель города принадлежит прибрежной полосе, наиболее ценной в экологическом и эстетическом отношении территории. Именно здесь сосредоточены основные мукомольные комплексы г. Саратова.

Актуальность исследования. Приспособление объектов промышленности, располагаемых в черте города, является чрезвычайно актуальной задачей, которая решается по всему миру. В современном мире необходимость расположения промышленных территорий в черте города иссякла. Так как промышленность выносятся за пределы города, появляется необходимость использования пустующих территорий для городских нужд.

В соответствии с мировой практикой авторам представляется возможным включение исторических промышленных объектов в структуру современной урбанизированной среды города в качестве:

возрождения первоначальной функции и создания исторического производственного процесса (мукомолья) на основе возобновления технологии и музеефикации данной территории;

смены функции здания для придания ему иного статуса в том случае, когда здания имеют репрезентативный вид и преимущественно заброшены и пустуют.

Предположительно, из-за плохого состояния окружающей застройки следует говорить об охране только главного здания. Так как государственных средств на поддержание и перепрофилирование промышленных объектов не

достаточно, приходится изыскивать варианты приспособления при помощи инвесторов при условии сохранения главного объекта.

Представляются возможным несколько путей новой функции:

- 1) музеефикация по первоначальному назначению;
- 2) смена функции с выбором оптимального направления реновации с учетом возможностей приспособления.

Экологическая сертификация в процессе современной адаптации исторического здания имеет значение для создания комфортной среды обитания [1, 2], так как при сохранении исторического облика полностью меняется функциональная начинка здания.

Происходит наполнение его необходимой микроклиматической системой регуляции, которая дает «зеленую» улицу для адаптации исторического здания к современной среде, делая объект востребованным для арендаторов и покупателей на международном рынке недвижимости.

В России экологичные решения для зданий еще не получили широкого распространения, как в Европе. В нашей стране девелоперы, проектирующие объекты согласно международным стандартам экологичности, в большей степени преследуют рекламные цели. В развитых странах процент «зеленой» недвижимости составляет 25...30 % от общего объема рынка, а у нас лишь 8 % для Москвы и 5 % для Петербурга (по данным исследования JLL) [3].

Объектами исследования становятся: исторические ансамбли и комплексы гражданской и промышленной архитектуры; исторические здания, получившие международные экологические сертификаты.

Одна из главных **практических задач** научного исследования заключается в возможности вывести на новый уровень реконструируемые исторические здания Саратова, не отвечающие международным требованиям экологической безопасности. Необходимость изучения, реновации зданий исторической промышленности является тем самым ресурсом для развития городов, развития мышления жителей города, эстетического воспитания поколений.

К примеру, в европейском проекте комплексной ревитализации промышленной территории (доков) в Лондоне (р-н Доклендс) результатом работ явился развитый современный деловой район [4, 5]. Хорошим примером использования промышленных территорий являются доки Стэнли в Ливерпуле, в здании бывшего северного склада располагается отель высокого уровня, а его суровый внешний вид только добавляет изысканности, аутентичности и индивидуальности данному месту [6].

Район Castlefield также был подвергнут ребрендингу. Пассажирский терминал ливерпульской железной дороги превратили в музей науки и техники, мельничные и коммунально-складские сооружения были преобразованы в квартиры, магазины, кинозалы, кафе, бары [7].

Не менее известный проект расположен в Великобритании на территории промышленного комплекса в городе Шеффилд графства Южный Йоркшир. Там был создан так называемый *Шеффилдский Квартал культурных индустрий*, где располагаются около 300 творческих компаний [8]. Один из наиболее интересных примеров ревитализации в Восточной Европе — бывшая мануфактурная фабрика *Manufatura* (г. Лодзь в Польше), которая стала крупнейшим торгово-развлекательным центром не только в Польше, но и во

всей Центральной Европе [8]. В Белграде (Сербия) недалеко от берега р. Сава историческое здание старой мельницы было перепрофилировано в отель и бизнес-центр «Old Mill» [9].

Отечественные архитекторы также вносят значительный вклад в поиск архитектурных решений включения промышленных территорий в структуру города. Примерами могут служить: реконструкция фабрики «Красный октябрь» [10], московский дизайн-завод «Флакон» [8], реконструкция пивоваренного завода «Бавария» и острова «Новая Голландия» в Санкт-Петербурге [11, 12], концепция реконструкции и реновации территории фабрики «Саратов мука» в Саратове [13].

В приведенном обзоре мирового опыта проектирования подтверждается отсутствие решения поставленной в научном исследовании задачи по ревитализации промышленных объектов под новую функцию с использованием мероприятий, рекомендованных строительными экологическими стандартами.

Авторами для обработки собранного материала используется *теоретический метод исследования* (метод познавательного действия, абстрагирование, обобщение) [14]: анализируются сертифицированные здания; объекты реконструкции за рубежом и в России; экологические архитектурно-планировочные и технологические мероприятия.

Стремительное развитие «зеленого» строительства и активная пропаганда экорешений во всех сферах жизни сегодня создают необходимость переориентирования устаревших методов проектирования и реконструкции, учитывая требования международных экологических стандартов [15]. В нашей стране наиболее часто используются два базовых экостандарта: британский — BREEAM и американский — LEED. Более 60-ти объектов недвижимости в России имеют сертификаты BREEAM и более 20-ти зданий — сертификаты LEED¹. В России разработаны национальные стандарты экологичности, но девелоперы и застройщики не спешат оценивать офисные и производственные объекты по российским системам.

В Санкт-Петербурге под руководством маститых архитекторов уже проводится экологическая сертификация объектов исторической застройки и приспособление зданий под новую функцию (рис. 1—3).

В сертифицированных исторических объектах показатели ежегодной экономии при эксплуатации составляют 40...50 % за счет использования новейших интеллектуальных решений. Особое значение для реконструируемых зданий имеет термореновация, позволяющая повысить теплотехническую, энергетическую и экологическую безопасность зданий [16].

В России сертифицирование исторических объектов по экостандартам отличает: использование новейших инженерно-технических решений для систем вентиляции, отопления, водоснабжения, канализации; улучшение внутреннего микроклимата помещений за счет естественного освещения, вентиляции, светлой внутренней отделки стен; использование преобразователей альтернативной энергии (солнечных батарей, ветрогенераторов) и пр.

¹ Данные взяты с сайта <http://www.rugbc.org/ru>.



Рис. 1. Офисный центр на Обводном, г. Санкт-Петербург, 2009 г., арх. мастерская Цицына совместно с «Бюро техники. Энергоэффективные решения» (золотой сертификат LEED)²



Рис. 2. Бизнес-центр премиум-класса «RENAISSANCEPLAZA» в стенах памятника архитектуры нач. XX в. — Русского торгово-промышленного банка, г. Санкт-Петербург, 2009 г. (серебряный сертификат LEED)

² Офисный центр на Обводном, г. Санкт-Петербург. URL: <http://www.arhmc.ru/projects/zelenoe-stroitelstvo/ofisnyj-centr-na-obvodnom-sankt-peterburg-7/>

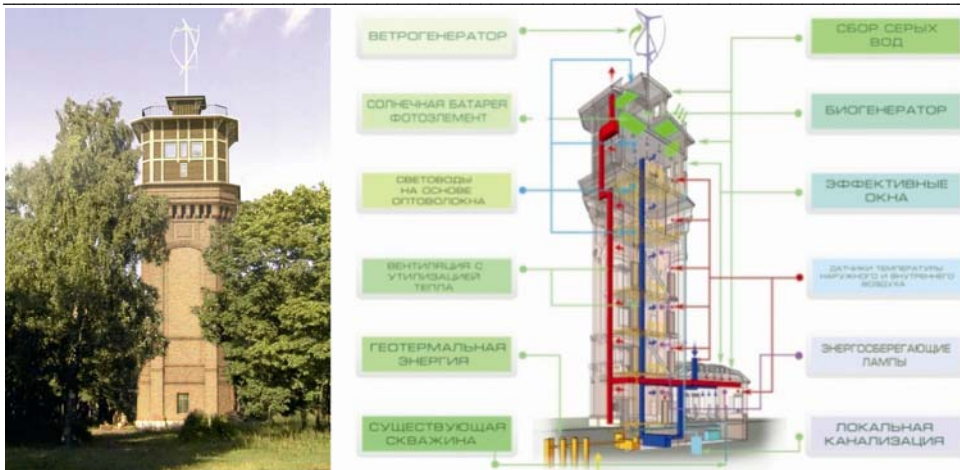


Рис. 3. Водонапорная башня «Зеленой волны», г. Санкт-Петербург, 2010 г., арх. мастерская Цицына (платиновый сертификат LEED)³

В качестве объектов для реновации было выбрано три территории в г. Саратове. Рассмотрим каждый из примеров в отдельности.

1. Реновация территории мельницы Н. В. Скворцова под арт-кластер «МУКА» (рис. 4).



Рис. 4. Реновация территории мельницы Н. В. Скворцова (1896) в г. Саратове под арт-кластер «МУКА» (работа студентов 4-го курса — П. Ю. Лавданского, А. В. Есипова; рук.: О. Н. Ключкова, А. А. Селиванов, 2017 г.)

Участок мельницы Скворцова располагается на окраине исторического полукольца города, в момент строительства эта территория была практически за городом. Рядом проходила железная дорога, которая и явилась «магнитом» для данного комплекса, так как являлась самой главной и удобной транспортной артерией конца XIX — начала XX в. Идея проекта — сформировать на территории крупный общественный центр, который явился бы якорем, территорией притяжения жителей района.

³ Водонапорная башня «Зеленой волны», г. Санкт-Петербург. URL: <http://www.arhmc.ru/projects/zelenoe-stroitelstvo/bashnya-zelenoj-volny-8/>

При формировании идеи авторы проекта руководствовались отечественным примером реновации территории дизайн-завода «Флакон» (Москва). В данной работе предлагается дополнить периметр квартала новыми зданиями, которые будут закрывать «дыры» и замыкать двор, делая его более уютным и камерным. Было предложено внутренний двор сделать «зеленым островком», который делится на две зоны: входная зона, встречающая нас с самого входа на территорию мукомольного комплекса, и камерная зона в глубине территории, которая огорожена со всех сторон зданиями.

Объемно-пространственное и планировочное решение мельницы позволяет удачно трансформировать первоначальную функцию в функцию художественных мастерских и выставочных пространств. Складские корпуса имеют вспомогательное назначение — предлагается отдать их под торговую и развлекательную функции (магазины, кинотеатры, концертные залы). Запроектирован большой спортивный блок для жителей района, образовательные учреждения (мастерские), ресторан.

2. Реконструкция трамвайного депо в г. Саратове под полифункциональный культурный центр (рис. 5).

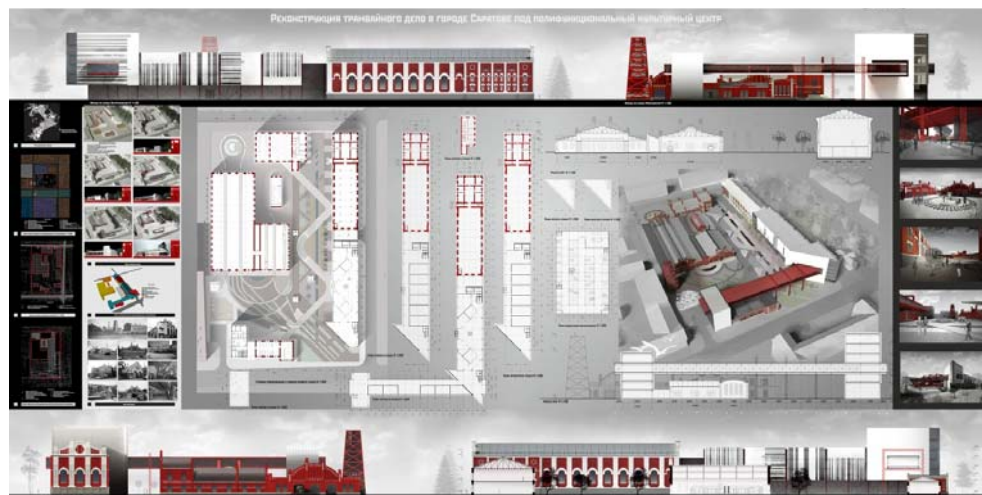


Рис. 5. Реконструкция трамвайного депо в г. Саратове под полифункциональный культурный центр (дипломный проект К. В. Бобровой; рук.: Л. Г. Тарасова, А. В. Шалагин, 2013 г.)

Территория реконструируемого объекта расположена в историческом ядре города, ограничена важнейшими магистралями городского значения — ул. Астраханской и ул. Московской. Статус ансамбля — памятник архитектуры регионального значения, включающий центральную электрическую станцию, депо трамвайных вагонов, мастерские и административный корпус. Архитектура корпусов воспринимается как ансамбль за счет перетекания ритмики, элементов декора от одного объекта к другому. Здания выполнены в «кирпичном стиле» ретроспективизма с элементами северного модерна.

Запроектированное функциональное наполнение территории — это преимущественно выставочные большепролетные пространства в блоке трамвайного депо и мастерских.

В электростанции предполагается образовательная функция с большим многофункциональным залом и выставочной площадкой. Административный корпус меняет свое назначение под кафе. Новые объекты по периметру квартала включают торговую функцию на первом и административно-деловую на верхних этажах.

Объемно-пространственное решение комплекса характеризуется противопоставлением старого и нового, контрастом прямого и острого угла. Идея появляется благодаря периметральной застройке кварталов, подчиняясь которой, добавляются новые объемы. Периметральная застройка средней этажности свойственна центральной части Саратова так же, как и акцентирование угла кварталов, выходящих на ключевые улицы города. Важную роль играют существующие диагонали трамвайных путей, задающие главный вход на территорию комплекса, и пешеходные связи.

3. Реновация винных складов в г. Саратове (рис. 6).

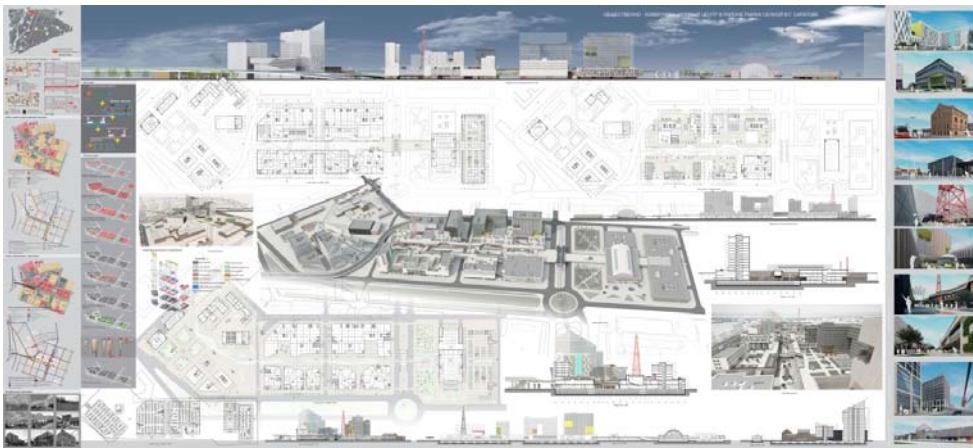


Рис. 6. Реновация винных складов в г. Саратове (дипломный проект А. А. Селиванова; рук.: О. Н.Клочкова, С. Ф. Дядченко, 2015 г.)

Хорошим примером сохранившегося исторического объекта являются казенные винные склады в Саратове, относящиеся скорее к нешироко развитой ветви промышленности губернии, в отличие от мукомольной и металлургической. Комплекс располагается на окраине исторического полукольца Саратова рядом с ключевым транспортным узлом города. На площади 22 тыс. м² в настоящий момент сохранилось основное здание винокуренного комплекса, складские помещения и жилой дом работников, остальные объекты не имеют отношения к первоначальному проекту.

Историческая архитектура комплекса репрезентативна и играет важную градостроительную роль. Запроектирована пешеходная улица, начинающаяся крупным рынком с остановкой трамвая и заканчивающаяся историческим блоком винных складов, являющегося «якорем», вокруг которого органично группируется пространство.

Пешеходная улица проходит внутри кварталов, позволяя «закрыться» от шумного транспорта вокруг, на ней запроектирована насыщенная общественная функция (кафе, магазины) и озеленение разных видов. Данная улица

становится дублером главной пешеходной артерии Саратова — проспекта Кирова. Вокруг нее выстраивается квинтэссенция функций: производственной, торговой, развлекательной, деловой, жилой, образовательной.

В ходе научного исследования обобщены и предложены экологические решения, не нарушающие исторического архитектурного облика рассматриваемых объектов при их экореконструкции.

При этом следует различать *архитектурно-планировочные и инженерно-технологические мероприятия* [17].

Архитектурно-планировочные экологические мероприятия. На прилегающей территории предусматривается: высаживание местных растений, требующих минимального полива; живые изгороди из растений, деревьев [18]; устройство георешеток, «биологической мостовой»; освоение подземного пространства (паркинг); наружное освещение здания белым светом; специальные гибридные фонари, освещающие строго очерченную территорию; отказ от огораживания участка — общедоступные первые этажи для граждан [19].

Для улучшения водоэффективности запроектировано: обводнение прилегающей территории, сбор дождевой воды на кровле здания и территории.

Для повышения энергосбережения предлагается: эффективное внутреннее утепление стен; исключение «мостиков тепла» (разработка конструктивных решений узлов сопряжений ограждающих конструкций, снижение сквозной воздухопроницаемости через швы кладки) [20]; энергоэффективные стеклопакеты; селективные покрытия на стеклах, предотвращающие отток тепла из помещений и их перегрев; светлая внутренняя отделка помещений; выбор материала с учетом угла отражения света от внутренних стен; учет цветопередачи света; сокращение числа помещений, требующих искусственного освещения днем; использование светопрозрачных солнечных батарей в окнах, навесах, козырьках.

Для улучшения микроклимата помещений предусматривается: естественная вентиляция и теплорегуляция; уменьшение площади нагревания крыши за счет материалов с низкой теплопроводностью и высокой отражающей способностью; контроль перегрева или переохлаждения воздуха в помещении (ограничение слепящего действия прямого солнечного света, блескости); организация свободного пространства, оптимизированного для офисов.

Правильное обращение с отходами включает: безотходный цикл функционирования здания; централизованный сбор мусора с разделением по типам; отправка мусора на дальнейшую переработку.

Инженерно-технологические экологические мероприятия. Энергосбережение достигается за счет экономичного освещения (индивидуальные энергосберегающие лампы, датчики движения); световодов на основе оптоволокну; электрооборудования с низким потреблением энергии; экологичного нагрева и охлаждения помещения (локального отвода тепла, спиральных компрессоров, горячего пара для горячего водоснабжения, аккумуляции холода ночью в виде водного льда); альтернативной энергии (солнечной; ветровой; поверхностных и более глубоких слоев грунта; окружающего воздуха и т. п.).

Снижение водопотребления идет за счет экономичного расхода воды (контроль напора воды, экономичный смыв); повторного использования «серой» воды для полива, технических нужд.

Улучшение микроклимата происходит за счет вентиляции с утилизацией тепла; комфортной системы кондиционирования (охлаждающие балки активного типа, высокоэффективные вентиляторы, ионизаторы, рекуператоры); датчиков температуры; локальной канализации (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

*Современные инженерные решения для улучшения микроклимата
и тепло-влажностного режима помещений реконструируемых зданий⁴*

№	Инженерные решения	Особенности	Разработчик	Пример использования
1	Система замкнутого воздушного отопления с переменным расходом воздуха	поддержание параметров внутреннего воздуха в экспозиционных помещениях, в зависимости от посетителей;	Предложение Г. Томсона из рук. «Музейный климат»	Залы музеев с ценной экспозицией
2	Система адаптивной вентиляции с рекуперацией теплоты	контроль качества воздуха; регулирование вентиляции по уровню потребности; поддержание заданного уровня CO ₂ и влажности; более 50 % экономии потребления энергии;	DCV, DXR (AERECO)	Здания и сооружения
3	Системы теплоснабжения	использование конденсационных котлов, солнечного теплоснабжения; применение вакуумных солнечных коллекторов; использование первой горелки с технологией «свободного пламени»; первого газового конденсационного котла с керамической горелкой и др.;	ELKO	Здания и сооружения
4	Система климатизации (кондиционеры, рекуператоры воздуха с промежуточным теплоносителем, вытяжные установки)	поддержание оптимальных параметров воздуха; автоматизация инженерных систем (датчики, регуляторы); оборудование вентиляционных установок виброизоляторами и шумоглушителями;	—	Театры, концертные залы
5	Система кондиционирования воздуха с аккумулятором холода	контроль пиковых нагрузок системы кондиционирования воздуха; снижение выделения CO ₂ ;	—	Торговые комплексы

⁴ Вентиляция, отопление, кондиционирование / АВОК. 2017. № 2. 88 с.
Вентиляция, отопление, кондиционирование / АВОК. 2018. № 1. 96 с.

В ходе экореконструкции существующих исторических зданий выделится намного меньше углекислого газа (сокращение выбросов CO₂ на 35 %), чем выделилось бы при сносе и постройке новых зданий, кроме того, экологическая модернизация позволит добиться экономии и по другим категориям: улучшение энергосбережения на 30 %, уменьшение водообеспечения на 30...50 %, что значительно снизит эксплуатационные расходы владельцев и арендаторов [21].

Для улучшения качества городского пространства экореконструкция должна распространяться не только на здания, но и на инженерные сооружения — дороги, тротуары, прогулочные дорожки, опоры освещения, шумозащитные стены.

Выводы:

1. Необходимо констатировать, что фактически вся историческая промышленная архитектура, основанная в конце XIX в. и занявшая свое определенное место в структуре городов Саратовской губернии, впоследствии была трансформирована в более современные виды промышленности, но не исчезла и не утратила своего градообразующего значения, как в планировочной системе города, так и в социально-экономическом аспекте.

Сохранение и активное использование историко-культурного наследия промышленной архитектуры городов Саратовской губернии является гуманитарным ресурсом будущего развития и способствует формированию культурно-символического кода города. Обеспечение сохранности объектов культурного наследия как необходимого импульса устойчивого развития осуществляется в интересах настоящего и будущего поколений РФ и является одной из приоритетных задач правительства.

2. При использовании экостандартов для реконструкции зданий в российских городах можно выделить как положительные, так и отрицательные особенности. *Положительные*: «зеленые» новшества делают памятник комфортным для работников, жителей, посетителей и привлекательным для арендаторов. *Отрицательные* особенности могут выражаться в типизации интеллектуально-технологических мероприятий для усовершенствования инженерных систем; использование на фасадах преобразователей альтернативной энергии способно нарушать изначальный архитектурный облик.

3. Выделены следующие преимущества экореконструкции исторических объектов для города Саратова. *Архитектурные*: улучшение качества существующих строений (натуральные отделочные материалы, вертикальное озеленение, пассивные методы энергосбережения); озеленение территории, ландшафтный дизайн. *Социальные*: повышение экологичности городского пространства; безбарьерная и безопасная среда для МГН и велосипедистов. *Экономические*: памятнику истории дается «новая жизнь»; снижение эксплуатационных издержек, что актуально в силу сложившейся нестабильной экономической ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Малоян Г. А.* Основы градостроительства: учебное пособие. М. : Ассоциации строительных вузов, 2004. 120 с.
2. *Бродач М., Имз Г.* Рынок зеленого строительства в России. URL: <http://www.rugbc.org/ru/resources/articles/rynok-zelenogo-stroitelstva-v-rossii>

3. *Модель Н.* Бизнес в экостиле // Деловой Петербург, 2017. URL: http://www.dp.ru/a/2017/11/21/Biznes_v_jekostile
4. *Смолицкая Т. А.* Реновация культурного ландшафта на рубеже XX и XXI веков // Academia. Архитектура и строительство. 2007. Вып. 1. С. 42—46.
5. *Черкасов Г. Н.* Лондон, Гамбург. Неиспользованные возможности архитектуры // Academia. Архитектура и строительство. 2013. Вып. 3. С. 27—40.
6. *Ерышова Е. А.* Современная практика реконструкции и устойчивого развития культурных ландшафтов прибрежных городов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного Федерального университета. 2016. Вып. 2(27). С. 67—78.
7. *Дудникова К. А.* Предпосылки и целесообразность использования бывших производственных зданий // Architecture and modern information technologies. 2017. Вып. 2(39). С. 114—125.
8. *Баклыкова В. О.* Ревитализация — форма преобразования промышленных объектов // Сборник трудов конференции. VII международный молодежный форум «Образование, Наука, Производство». Белгород, 2015. С. 1825—1829.
9. *Любича Т.* Реконструкция и реновация старой мельницы в г. Белград (Сербия) // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. Вып. 10-4 (41). С. 106—107.
10. *Савкин К. М.* «Красный октябрь»: возвращение островитян // Архитектура и строительство Москвы. 2006. Вып. 6. С. 20—29.
11. *Кушнарева А. Р.* Реконструкция промышленной архитектуры Санкт-Петербурга начала XX века на примере территории пивоваренного завода «Бавария»: потенциал неиспользуемой территории и подходы к адаптации // Architecture and modern information technologies. 2016. Вып. 3(36). С. 14.
12. *Махова Т. Д., Возняк Е. Р.* Методы организации (использование комплексного подхода) современного общественного пространства на примере реконструкции острова Новая Голландия в Санкт-Петербурге // Успехи современной науки. 2017. Вып. 2. Том 5. С. 125—129.
13. *Павликова А.* Архитектурная и градостроительная концепция реконструкции и реновации территории фабрики «Саратов мука». 2015. URL: <https://archi.ru/projects/russia/8453/arkhitekturnaya-i-gradostroitel'naya-koncepciya-rekonstrukcii-i-renovacii-territorii-fabriki-saratov-muka>
14. *Павловская Т. А.* Методология научных исследований. СПб. : НИУ ИТМО, 2012. 98 с.
15. *Downton P. F.* Ecopolis: Architecture and cities for a changing climate. Australia : Springer, 2009. 616 p.
16. *Корниенко С. В.* Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 173—174.
17. *Сухина Е. А.* Экологические нормативы в архитектурно-градостроительном проектировании: монография. Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2017. 172 с.
18. *Перени И.* Город, человек, окружающая среда. Проблемы рекреации в градостроительстве : пер. с венг. Будапешт: Акад. наук Венгрии, 1981. 187 с.
19. *Рыбчинский В.* Городской конструктор: Идеи и города / 2-е изд. М. : StrelkaPress, 2015. 232 с.
20. *Linz B.* Eco-Houses. Ökohäuser. Maisons Ecologiques. Königswinter : Ullmann Publishing, 2009. 288 p.
21. *Ecological urbanis* / Edited by M. Mostafave, G. Doherty. Horward University Graduate School for Design. Karlsruhe : Lars Müller Publishers, 2010. 656 p.

© Ключкова О. Н., Сухина Е. А., Селиванов А. А., 2018

Поступила в редакцию
в июне 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Ключкова О. Н., Сухина Е. А., Селиванов А. А. Реконструкция исторических зданий при смене функции с использованием экостандартов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 205—216.

Об авторах:

Клочкова Ольга Николаевна — канд. архит., доцент кафедры архитектуры, Саратовский государственный технический университет им Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; klochkovasaratov@mail.ru

Сухинина Елена Александровна — канд. архит., доцент кафедры архитектуры, Саратовский государственный технический университет им Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; arx-art-lena@yandex.ru

Селиванов Алексей Александрович — ассистент кафедры архитектуры, Саратовский государственный технический университет им Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; s_arch@inbox.ru

Olga N. Klochkova, Elena A. Sukhinina, Alexey A. Selivanov

Yurii Gagarin State Technical University of Saratov

RECONSTRUCTION OF HISTORICAL BUILDINGS AT THE FOLLOWING OF FUNCTION WITH THE USE OF ECOSTANDARDS

The adaptation of industrial facilities to a new function located in Saratov described in the article. Recommendations for reconstructed buildings in Russian cities in accordance with the requirements of international environmental standards developed by the authors. The proposed measures for the ecological reconstruction of historical buildings do not affect the architectural appearance of the structure. This is very important for the architectural heritage of the regions.

Key words: ecological standard, “green” buildings, adaptation of the historic building, change of function, eco rehabilitation.

For citation:

Klochkova O. N., Sukhinina E. A., Selivanov A. A. [Reconstruction of historical buildings at the following of function with the use of ecostandards]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 205—216.

About authors:

Olga N. Klochkova — Candidate of architecture, Docent of Architecture Department, Yurii Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politekhnikeskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation; klochkovasaratov@mail.ru

Elena A. Sukhinina — Candidate of architecture, Docent of Architecture Department, Yurii Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politekhnikeskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation; arx-art-lena@yandex.ru

Alexey A. Selivanov — Assistant of Architecture Department, Yurii Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politekhnikeskaya St., Saratov, 410054, Russian Federation; s_arch@inbox.ru

УДК 69.003.13:004.94

О. В. Бурлаченко, К. А. Елфимов, Д. В. Бунин

Волгоградский государственный технический университет

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В КОНЦЕПЦИИ BIM

В статье раскрыто понятие BIM-технологий, их основные преимущества, опыт применения. Описаны виды возможных вариантов программного обеспечения и определены задачи, для решения которых данные продукты созданы. Предложена структура информационного обеспечения принятия решений по управлению жизненным циклом строительных объектов.

Ключевые слова: информационное моделирование в строительстве, BIM-технологии, жизненный цикл, эксплуатационные свойства объекта, иерархическая структура базы данных.

Современный подход к строительству включает в себя совокупность разных факторов, влияющих на развитие данной отрасли, такие как архитектурно-строительные требования, климатические и экологические условия, экономические возможности, социальные потребности граждан, а также стремление исследователей и практиков к усовершенствованию системы осуществления процесса проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Инновационным инструментом для удовлетворения данных потребностей являются BIM-технологии. BIM (Building information modeling или Building information model) — информационная модель или информационное моделирование здания. В связи с этим перед строительными организациями, выполняющими разные функции при строительстве объекта (застройщик, проектировщик, подрядчик, эксплуатационник) стоит задача не только внедрения информационных технологий моделирования, но и перестройки существующих процессов управления в организации. Инструментарием для принятия оптимальных решений по управлению жизненным циклом строительного объекта должно стать информационное обеспечение процесса управления на основе построения иерархической структуры базы данных.

Главной задачей применения BIM-технологий является повышение эффективности управления жизненным циклом строительного объекта на всем его протяжении. В статье В. П. Куприяновского, С. А. Синягова, Д. Е. Намиот, П. М. Бубнова, Ю. В. Куприяновской [1] говорится о том, что важны не сами BIM-технологии, а результаты их применения в развитии городской инфраструктуры в целом. Рассмотрение в концепции BIM строительного объекта в терминах жизненного цикла позволяет увязать его проектирование, строительство, эксплуатацию и утилизацию в единый технологический процесс, а экстраполяция методологии управления жизненным циклом отдельного здания на городскую инфраструктуру в целом позволит создать аппарат принятия наиболее эффективных решений в управлении городской средой [2, 3].

Информационное моделирование сооружений (BIM) — процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий надежную основу для всех решений на протяжении жизненного цикла

объекта. Эта информация доступна всем подразделениям (пользователям), которые участвуют в процессе строительства и эксплуатации объекта. Использование BIM-технологий предполагает комплексный подход на всех этапах строительного процесса (жизненного цикла строительного объекта), на каждом из которых имеются свои преимущества¹.

Рассматривая возможности применения BIM-технологий организациями, участвующими в едином технологическом процессе управления жизненным циклом строительного объекта, можно выделить следующие:

- создание виртуальной модели здания;
- задание индивидуальных параметров объекта;
- получение качественной проектной документации;
- быстрое выявление и исправление ошибок и неточностей изменением параметров;
- экспериментальное обследование модели при тех или иных условиях;
- управление и контроль возведения объекта на всех этапах строительства;
- непрерывный контроль эксплуатации объекта с его исходной проектной документацией;
- пользование информационной моделью разными подрядными организациями (для создания водопроводных систем, вентиляционных систем, расчетно-экономические изыскания и др.);
- выполнение ремонтных и реконструкционных работ в соответствии с требованиями эксплуатации данного объекта;
- обеспечение требуемых эксплуатационных свойств объекта на всех этапах жизненного цикла.

Для реализации BIM-моделирования существует множество программных продуктов, таких как Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla Structures, Tekla BIMSight, Navisworks, MagiCAD, AutoCAD Civil 3D, Allplan, Renga Architecture и т. д. [4]. Для эффективного применения данных программных продуктов необходима разработка структуры информационного обеспечения, которая позволит реализовать программы на принятии оптимальных управленческих решений.

На сегодняшний день в России уже существуют объекты, реализованные с применением BIM-технологий. Одними из наиболее известных являются олимпийские объекты Сочи-2014 и стадионы чемпионата мира по футболу 2018, при возведении которых возникла необходимость внесения изменений в решения, принятые на этапе проектирования. Так, при разработке информационных моделей объектов Сочи-2014 на основе двухмерных чертежей было выявлено множество неточностей уже на этапе строительства, что повлекло за собой дополнительные финансовые и временные издержки. Похожая ситуация сложилась и при проектировании стадионов чемпионата мира по футболу 2018: на начальной стадии не была организована совместная работа по использованию данных технологий всеми участниками процессов, в связи с чем возникли временные издержки по постоянной актуализации ин-

¹ Основные принципы внедрения BIM. URL: <http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/Implementing%20a%20BIM%20Business%20Transformation-ru.pdf>

формации между различными разделами проектной документации, обмену необходимыми заданиями и общей координации работ [5].

Проблема выбора оптимального технологического решения при управлении жизненным циклом строительного объекта предполагает создание средств формального описания всех свойств, состояний объекта управления и возможных вариантов технологического обеспечения управления объектом. Для корректного выбора наиболее эффективного решения необходима полная и выраженная в удобной форме информация. Иными словами, требуется корректное построение базы данных, необходимых и достаточных для решения задачи выбора.

Авторами статьи предложена структура базы данных, соответствующая алгоритму поэтапного обращения к ресурсам соответствующего уровня при решении мультипроцессором задачи выбора. В связи с этим база данных имеет иерархическую структуру и может быть представлена в виде дерева графа (рис. 1).

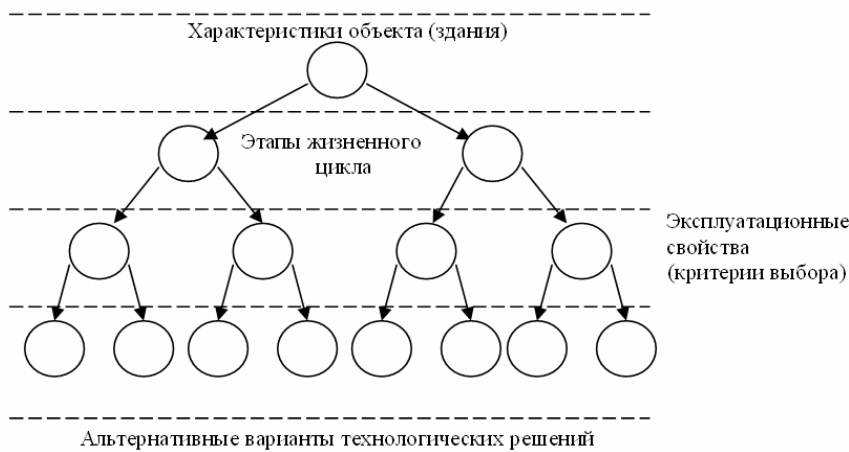


Рис. 1. Общее представление структуры базы данных

В основу построения базы данных положен морфологический классификатор, описывающий все возможные варианты сочетаний имеющихся проектных, конструкторских, технологических решений, состояний объекта, определяющих эксплуатационных свойств, условий эксплуатации. Создание морфологического классификатора возможно с применением набора характеристических функций, описывающего все признаки и характеристики объекта управления на различных уровнях структуры базы данных и имеющего вид:

$$F_{\zeta}^O = F_{\zeta}^O \begin{pmatrix} \langle F_{n1}^{Sp,\phi}; F_{n2}^{Sp,\phi}; \dots; F_{nn}^{Sp,\phi} \rangle; \\ \langle F_K^{Z1}; F_K^{Z2}; \dots; F_K^{Zz} \rangle; \\ \langle F_{m1}^{Ww}; F_{m2}^{Ww}; \dots; F_{mm}^{Ww} \rangle; \\ \langle F_{T1}^{Pj}; F_{T2}^{Pj}; \dots; F_{Ti}^{Pj} \rangle \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $O = \langle S, Z, W, p \rangle$ — дискретные значения или интервалы значений признаков соответствующего уровня; $\zeta = \langle n, k, m, T \rangle$ — признаки классификации

данных; $S_{s,пр,ф}$ — фактические условия эксплуатации (например, значения нагрузок, испытываемых конструкциями) по показаниям средств технического контроля и диагностики, $S_{сп}$ соответствуют расчетным значениям параметров, полученным на этапе проектирования; Z_z — номер этапа жизненного цикла (ситуации), в котором находится объект; W_w — допустимые значения требуемых эксплуатационных свойств, определяемые техническими условиями, функциональным назначением и степенью ответственности объекта; P_j — режимы (уровни) T_i -го варианта технологического обеспечения.

Для выбора эффективных решений была разработана модель жизненного цикла строительного объекта в виде графа переходов, представляющего собой конечную регулярную цепь Маркова. Аналитическое решение данной модели осуществляли применением уравнений Колмогорова, неизвестными величинами которых принимали вероятности пребывания строительного объекта в соответствующих модели жизненного цикла состояниях (строительство, эксплуатация, капитальный ремонт и т. д.). Предложен критерий для выбора наиболее эффективных решений, позволяющий, с одной стороны, увязать управление объектом в единый технологический процесс для всех этапов жизненного цикла, с другой — учитывать технико-экономическую эффективность и экологичность принимаемых решений:

$$K_{ij} = \min \left| \sum_{k=1}^m Z'_{ijk} \cdot \lambda_{ijk} \cdot P_{ijk} \right|, \quad (2)$$

где K_{ij} — приведенный критерий, оценивающий эффективность j -го уровня (параметров) i -го решения, k — номер фазы (ситуации), возникающей с вероятностью P_{ijk} и вызывающей затраты Z'_{ijk} . $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — коэффициенты, выражающие количественную оценку интенсивности техногенного воздействия на человека и окружающую среду при производстве, эксплуатации и утилизации изделия, подвергнутого обработке по рассматриваемой технологии, принимаемые по уровню концентрации вредных веществ, шумового воздействия возможности использования отходов при утилизации и т. д.

Применение такого информационного обеспечения в качестве аппарата BIM-технологий позволяет выбирать наиболее эффективное технологическое решение как на этапе проектирования здания в качестве объекта управления, так и корректировать принятые решения в течение всего жизненного цикла в зависимости от фактического состояния объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куприяновский В. П., Синягов С. А., Намиот Д. Е. Новая пятилетка BIM-инфраструктура и умные города // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Vol. 4. № 8.
2. Волков А. А. Комплексный мониторинг как средство поддержки процессов оперативного управления строительным объектом // Матер. междунар. науч.-практич. конф. «Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений». Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). 2001. Ч. II. С. 50—53.
3. Калашников С. Ю., Калашникова Ю. С. Особенности идентификации понятия «качество жизни» жителями линейных градостроительных образований // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 1. С. 3—7.
4. Лустина О. В., Бикбаева Н. А., Купечков А. М. Использование BIM-технологий в современном строительстве // Молодой ученый. 2016. № 15(119). С. 187—190.

5. Шахрамьян А. М., Яременко А. В., Блохин Ю. М. Опыт применения технологий информационного моделирования зданий при строительстве олимпийских объектов Сочи-2014 и стадионов чемпионата мира по футболу 2018 // Строительство: наука и образование. 2016. № 2. URL: <http://nso-journal.ru>.

© Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В. 2018

Поступила в редакцию
в сентябре 2018 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В. Информационное обеспечение управления жизненным циклом строительных объектов в концепции BIM // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 217—221.

Об авторах:

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, зав. кафедрой технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru

Елфимов Константин Андреевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru

Бунин Дмитрий Викторович — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru

Oleg V. Burlachenko, Konstantin A. Elfimov, Dmitrii V. Bunin

Volgograd State Technical University

INFORMATION SUPPORT OF LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION PROJECTS IN CONCEPTION OF BIM

The article describes the concept of BIM-technologies, their main advantages, experience. The types of possible software variants are described and the tasks for which these products are created are defined. The structure of information support of decision-making on management of a life cycle of construction objects is offered.

Key words: information modeling in construction, BIM-technologies, life cycle, operational properties of the object, hierarchical structure of the database.

For citation:

Burlachenko O. V., Elfimov K. A., Bunin D. V. [Information support of life cycle management of construction projects in conception of BIM]. *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], 2018, iss. 54(73), pp. 217—221.

About authors:

Oleg V. Burlachenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Director for Scientific Work, the Head of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oburlachenko@yandex.ru

Konstantin A. Elfimov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oburlachenko@yandex.ru

Dmitrii V. Bunin — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oburlachenko@yandex.ru

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 заверяется 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. А-215а. (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: mariapes@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,

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-65 к отв. секретарю редсовета С. А. Калиновскому (каб. А-215а)

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»

обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.

Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.

*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286** от
17.11.06, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: <http://vgasu.ru/publishing/journals/>

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2018. Вып. 54(73)**

Редактор *Н. В. Юдина*

Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*

Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Котляр*

Подписано в печать 28.12.2018. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная

Гарнитура Times New Roman. Цена свободная

Уч.-изд. л. 10,0. Усл. печ. л. 19,6. Тираж 500 экз. Заказ № 221

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1