Министерство образования и науки Российской Федерации

# ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Выпуск 49(68)**

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

**2017**

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta
Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura
(Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
Series: Civil Engineering and Architecture)

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград ВолгГАСУ

## С о д е р ж а н и е

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

***Есипов А. В., Сальный И. С., Воробьев Я. В.*** Расчет прочности нормальных сечений армированных деревянных балок 5

***Туманов С. Л., Фетисов Ю. М., Стефаненко И. В., Рисунов А. Р.*** О возможности применения криволинейного паспорта прочности горных пород при расчетах устойчивости бортов карьеров 16

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

***Друхольский В. К., Степанов К. В., Трандофиров А. А., Стефаненко И. В.*** Способы измерения тонкости помола цемента 21

***Михайлова Н. А., Стефаненко И. В.*** Множественные регрессионные модели прочности бетона на сжатие 30

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

***Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Иванов М. В.*** Математическое обеспечение работоспособного состояния машин и механизмов 43

***Матвеев Р. А., Клочков Д. П., Стефаненко И. В., Куранов Д. В.*** Современные способы операционного контроля качества строительно-монтажных работ 53

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

***Осипова Н. Н., Бычкова И. М., Поберий А. А.*** Влияние нестабильности температуры газообразной смеси пропан-бутана на устойчивую работу автономных систем газоснабжения с естественной регазификацией 69

***Цынаева А. А., Никитин М. Н., Кортяева Д. О.*** Исследование конвекции в помещении со сплит-системой 79

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

***Малахов Р. С., Алексиков С. В.*** Определение интенсивности движения городского транспорта методом краткосрочных наблюдений 92

***Углова Е. В., Тиратурян А. Н., Асланян Г. В., Голубев К. В.*** Диагностика состояния автомобильной дороги М-4 «Дон» на сетевом уровне 99

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

***Москвичева Е. В., Игнаткина Д. О., Москвичева А. В., Войтюк А. А., Геращенко А. А.*** Технология получения гранулированного сорбционно-фильтрующего композитного материала на основе отхода производства (на примере ООО «Империал Тобакко Волга» г. Волгограда) 110

***Фетисов Ю. М., Туманов С. Л., Фоменко Н. А.*** Изучение процесса аэрации водной массы падающими струями 122

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

***Доскина Э. П., Москвичева Е. В., Войтюк А. А., Игнаткина Д. О.*** Использование отработанного селективного сорбента для рекультивации нефтезагрязненных почв 134

***Дроботов В. И., Шагиева Е. В.*** Актуальность оптимизации жилой среды в неблагоприятных климатических условиях 144

***Иванова Н. В., Ганжа О. А.*** Ландшафтно-экологические особенности формирования комфортной среды умного города (на примере исторического строительства зеленого кольца Сталинграда — Волгограда) 153

***Корниенко С. В.*** Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства 167

***Коростелева Н. В.*** Факторы, влияющие на шумовой режим транспортных магистралей: степень негативного воздействия и способы его минимизации 178

***Гопинат Р., Баласубраманя Н.*** Историческая тенденция индексов качества атмосферного воздуха на основных обсерваториях крупных городов в Карнатаке, Индия 189

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

***Алаева С. Н., Соколов И. И., Колышев Ю. Б.*** Структурирование монастырских комплексов в Волгоградской области по территориальному зонированию 196

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

***Коростелева Н. В., Растяпина О. А.*** Планировка территории как фактор обеспечения эффективности ее использования 206

***Растяпина О. А.*** Анализ геологических факторов Волгограда для оценки градостроительной безопасности территории города 217

***Растяпина О. А., Бабенко К. В.*** Методы оценки зрительного восприятия городского пространства 228

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

***Киреева Т. В.*** Динамика архитектурно-пространственного развития французской бизнес-школы HEC (XIX—XXI вв.) 239

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

***Колышев Ю. Б., Соколов И. И., Колышева Д. О.*** Значение познания историко-культурного наследия родного края в художественной подготовке будущего архитектора 249

# Content

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

***Esipov A. V., Sal'nyi I. S., Vorob'ev Ya. V.*** Calculation of strength of normal sections of reinforced wooden beams 5
***Tumanov S. L., Fetisov Yu. M., Stefanenko I. V., Risunov A. R.*** Towards the possibility of using the curvilinear passport of rock strength when calculating stability of pit edges 16

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

***Drukhol'skii V. K., Stepanov K. V., Trandofirov A. A., Stefanenko I. V.*** Methods for measuring the fineness of cement grinding 21
***Mikhailova N. A., Stefanenko I. V.*** Multiple regression models of concrete compressive strength 30

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

***Burlachenko O. V., Lyashenko A. A., Ivanov M. V.*** Mathematical support of operating condition of machines and mechanisms 43
***Matveev R. A., Klochkov D. P., Stefanenko I. V., Kuranov D. V.*** Modern ways of operational control 53

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

***Osipova N. N., Bychkova I. M., Poberii A. A.*** Influence of temperature non-uniformity in gaseous propane-butane mixture on stable operation of autonomous gas supply systems with natural regasification 69
***Tsynaeva A. A., Nikitin M. N., Kortyaeva D. O.*** The study of convection in a room with an air conditioning system 79

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

***Malakhov R. S., Aleksikov S. V.*** Estimation of traffic volume by short-time observation 92
***Uglova E. V., Tiraturyan A. N., Aslanyan G. V., Golubev K. V.*** Diagnostics of the state of M-4 “Don” highway on network level 99

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

***Moskvicheva E. V., Ignatkina D. O., Moskvicheva A. V., Voityuk A. A., Gerashchenko A. A.*** The technology of producing granulated sorption-filtering composite material based on waste production (by the example of OOO “Imperial Tobakko Volga” Volgograd) 110
***Fetisov Yu. M., Tumanov S. L., Fomenko N. A.*** The study of the process of water aeration with falling water sheets 122

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

***Doskina E. P., Moskvicheva E. V., Voityuk A. A., Ignatkina D. O.*** The use of spent selective sorbent for recultivation of oil-contaminated soils 134
***Drobotov V. I., Shagieva E. V.*** Significance of optimization of the living environment in adverse climatic conditions 144
***Ivanova N. V., Ganzha O. A.*** Landscape and ecological features of the formation of comfortable environment of smart cities (by the example of the historical construction of a “green ring” of Stalingrad — Volgograd) 153
***Kornienko S. V.*** Energy efficiency, ecological safety, economic effectiveness — priority tasks of “green” construction 167
***Korosteleva N. V.*** Factors affecting the noise regime of highways: the degree of negative impact and ways to minimize it 178
***Gopinath R., Balasubramanya N.*** Historical trend of ambient air quality indices at key observatories for major cities in Karnataka, India 189

GENERAL ARCHITECTURE

***Alaeva S. N., Sokolov I. I., Kolyshev Yu. B.*** Structuring of monastic complexes in Volgograd oblast according to territorial zoning 196

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

***Korosteleva N. V., Rastyapina O. A.*** Planning of the territory as a factor to ensure the effectiveness of its use 206
***Rastyapina O. A.*** The analysis of the geological factors of Volgograd for the assessment of the town-planning safety 217
***Rastyapina O. A., Babenko K. V.*** Methods of estimation of the visual perception of the urban space 228

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

***Kireeva T. V.*** The dynamics of architectural and spatial development of the french business school HEC (XIX — XXI centuries) 239

ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

***Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I., Kolysheva D. O.*** Value of the knowledge of historical and cultural heritage of the native land in art training of a future architect 249

УДК 624.011.17

***А. В. Есипов, И. С. Сальный, Я. В. Воробьев***

***Тюменский индустриальный университет***

# РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ АРМИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК

Приведен метод расчета армированных деревянных изгибаемых элементов с расположением арматурных стержней в растянутой и сжатой зонах поперечного сечения. Инженерный метод расчета позволяет определить прочность нормальных сечений балок и оценить напряжения, возникающие в растянутой и сжатой арматуре. Сравниваются результаты расчетов армированной балки, полученные по предложенному методу и в результате численного моделирования в программном комплексе Ansys Workbench 17.1.

К л ю ч е в ы е  с л о в а: деревянная балка, арматура, армированная балка, расчет, Ansys.

## Предпосылки к расчету прочности армированных деревянных балок

Повышение несущей способности деревянных балок армированием — один из наиболее распространенных способов, применяемых при проектировании данных конструкций [1—5]. На сегодняшний день существует ряд методов расчета армированных балок (метод расчета по приведенному сечению [6], метод расчета по приведенному сечению с учетом податливости клеевого соединения и др. [6—9]). Эти методы, позволяющие адекватно рассчитать прочность по нормальным сечениям и жесткость балки, не дают возможность оценить эффективность более сложных схем армирования изгибаемого элемента:

применение арматуры из разных материалов (стальная, стеклопластиковая, углепластиковая и т. д.) и разных диаметров в пределах поперечного сечения одной балки;

применение арматуры разной жесткости для сжатого и растянутого сечений;

напряженное состояние и усилия в арматурных стержнях.

В этой связи в развитие метода расчета деревянной балки с армированием растянутой зоны [10] был разработан инженерный метод, позволяющий оценить прочность нормальных сечений армированной деревянной балки, определить напряженное состояние арматуры (различной жесткости и площади), расположенной в любом месте поперечного сечения. Основное отличие разработанного метода от существующих заключено в наглядном отображении напряжений, возникающих в арматуре, что, в свою очередь, позволяет оценить эффективность применения и использования определенного вида арматуры.

Метод расчета основывается на действующих строительных нормах расчета деревянных конструкций (СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции) и имеет следующие предпосылки:

1) модули упругости древесины на сжатие и растяжение равны, модули упругости арматуры зависят от материала и могут приниматься в пределах одной балки различными;

2) обеспечена совместная работа армирующих элементов и древесины за счет клеевого соединения, податливость соединения в расчете не учитывается, деформации арматуры и древесины в зоне контакта равны;

3) используется гипотеза плоских сечений — сечение плоское до деформации остается плоским после деформации;

4) волокна материалов балки не оказывают давления друг на друга и испытывают продольное сжатие и растяжение;

5) критерий расчета прочности нормального сечения — достижение расчетного сопротивления в сжатых либо растянутых волокнах балки в зависимости от насыщенности армирующими элементами.

**Алгоритм расчета нормальных сечений армированных деревянных балок**

Расчет прочности нормальных сечений деревянной балки с расположением армирующих элементов в сжатой и растянутой зонах предлагается выполнять в следующей последовательности:

Запишем уравнение равновесия внутренних усилий в поперечном сечении цельнодеревянной балки в проекциях на ось абсцисс согласно рис. 1:

$$R_s A_{st} + \sigma_{wt} \frac{h-x}{2} b - R_s A_{sc} - \sigma_{wc} \frac{x}{2} b = 0 . \quad (1)$$

1. Из условия (1) определим высоту сжатой зоны $x$ (положение нейтральной линии):

$$x = \frac{b\frac{h^2}{2} E_w + A_{st} a_t E_{st} + A_{sc}(h - a_c) E_{sc}}{bhE_w + E_{st} A_{st} + E_{sc} A_{sc}}, \quad (2)$$

где $E_w$ — модуль упругости древесины вдоль волокон, кг/см$^2$; $E_{sc}$, $E_{st}$ — модули упругости сжатой и растянутой арматуры, кг/см$^2$.

2. При $x < \frac{h}{2}$ (рис. 1, *а*) в предельном состоянии напряжения растяжения в древесине достигнут своего расчетного сопротивления $\sigma_{wt} = R_w$, в то время как напряжения сжатия в древесине $\sigma_{wc}$ будут меньше расчетного сопротивления $R_w$, поэтому выразим $\sigma_{wc}$ через $\sigma_{wt}$:

$$\frac{\sigma_{wt}}{h-x} = \frac{\sigma_{wc}}{x} \Rightarrow \sigma_{wc} = \sigma_{wt} \frac{x}{h-x} = R_w \frac{x}{h-x}. \quad (3)$$

Соответственно при $x > \frac{h}{2}$ (рис. 1, *б*) своего расчетного сопротивления достигнут напряжения сжатия $\sigma_{wc} = R_w$, в то время как напряжения растяжения $\sigma_{wt}$ в древесине будут меньше расчетного сопротивления $R_w$, поэтому выразим $\sigma_{wt}$ через $\sigma_{wc}$:

$$\frac{\sigma_{wc}}{x} = \frac{\sigma_{wt}}{h-x} \Rightarrow \sigma_{wt} = \sigma_{wc} \frac{(h-x)}{x} = R_w \frac{(h-x)}{x}. \quad (4)$$

3. Вместе с тем как сжатая, так и растянутая арматура в упругой стадии работы древесины предела текучести не достигнет. Найдем коэффициенты использования несущей способности сжатой и растянутой арматуры из условия равенства относительных деформаций в местах сопряжения арматуры с растянутыми и сжатыми волокнами древесины:

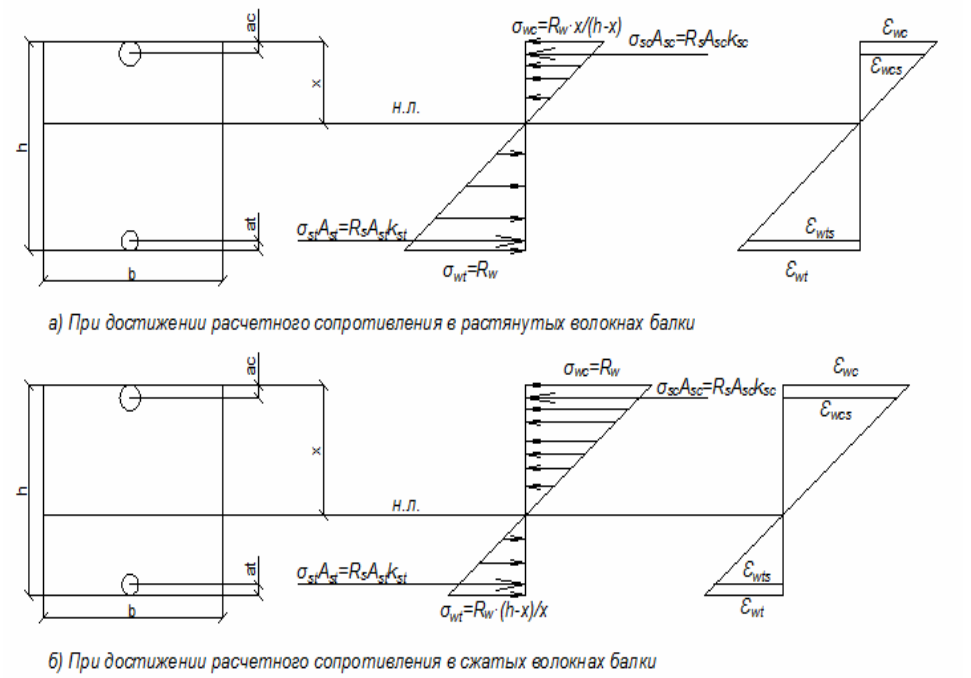



Рис. 1. Схема к расчету деревянной армированной балки: $h$ — высота балки, см; $b$ — ширина балки, см; $x$ — высота сжатой зоны, см; $a_t$ и $a_c$ — расстояния от центра арматуры до растянутой и сжатой зон балки соответственно, см; $\sigma_{st}$ и $\sigma_{sc}$ — напряжения в растянутой и сжатой арматуре соответственно, кг/см$^2$; $\sigma_{wt}$ и $\sigma_{wc}$ – напряжения в крайних растянутых и крайних сжатых волокнах древесины, кг/см$^2$; $R_s$ — расчетное сопротивление арматуры растяжению, кг/см$^2$; $R_w$ — расчетное сопротивление древесины изгибу, кг/см$^2$; $A_{st}$ и $A_{sc}$ — площадь поперечного сечения растянутой и сжатой арматуры, см$^2$; $\varepsilon_{wt}$ и $\varepsilon_{wc}$ — предельная относительная деформация древесины растянутой и сжатой зоны соответственно; $\varepsilon_{wts}$ и $\varepsilon_{wcs}$ — относительная деформация растянутой и сжатой арматуры соответственно

3.1. Для сжатой арматуры при совместной работе волокон древесины и арматуры в месте контакта $\varepsilon_{wcs} = \varepsilon_{wc}$ относительная деформация сжатой арматуры из закона Гука составит:

$$\varepsilon_{wcs} = \frac{R_{sc}}{E_{sc}}. \tag{5}$$

При $x < h/2$ получим:

$$\frac{\varepsilon_{wcs}}{x - a_c} = \frac{\varepsilon_{wt}}{h - x} \Rightarrow \varepsilon_{wcs} = \varepsilon_{wt}\frac{x - a_c}{h - x}; \tag{6}$$

$$\varepsilon_{wt} = \frac{R_w}{E_w}. \tag{7}$$

При $x > h/2$ получим:

$$\frac{\varepsilon_{wcs}}{x - a_c} = \frac{\varepsilon_{wc}}{x} \Rightarrow \varepsilon_{wcs} = \varepsilon_{wc}\frac{x - a_c}{x}; \tag{8}$$

$$\varepsilon_{wc} = \frac{R_w}{E_w}. \tag{9}$$

Коэффициент использования несущей способности сжатой арматуры при $x < h/2$ составит:

$$k_{sc} = \frac{\varepsilon_{wsc}}{\varepsilon_{sc,ult}} = \frac{\varepsilon_{wt}\dfrac{x-a_c}{h-x}}{\dfrac{R_{sc}}{E_{sc}}} = \frac{R_w E_{sc}(x-a_c)}{E_w R_{sc}(h-x)}, \tag{10}$$

где $\varepsilon_{sc,ult}$ — предельная относительная деформация сжатой арматуры.

Коэффициент использования несущей способности сжатой арматуры при $x > h/2$ составит:

$$k_{sc} = \frac{\varepsilon_{wsc}}{\varepsilon_{sc,ult}} = \frac{\varepsilon_{wc}\dfrac{x-a_c}{x}}{\dfrac{R_{sc}}{E_{sc}}} = \frac{R_w E_{sc}(x-a_c)}{E_w R_{sc} x}. \tag{11}$$

3.2. Для растянутой арматуры при совместной работе волокон древесины и арматуры в месте контакта $\varepsilon_{wts} = \varepsilon_{wt}$ относительная деформация растянутой арматуры из закона Гука составит:

$$\varepsilon_{wts} = \frac{R_{st}}{E_{st}}. \tag{12}$$

При $x < \dfrac{h}{2}$ получим:

$$\frac{\varepsilon_{wts}}{h-x-a_t} = \frac{\varepsilon_{wt}}{h-x} \Rightarrow \varepsilon_{wts} = \varepsilon_{wt}\frac{h-x-a_t}{h-x}. \tag{13}$$

При $x > \dfrac{h}{2}$ получим:

$$\frac{\varepsilon_{wts}}{h-x-a_t} = \frac{\varepsilon_{wc}}{x} \Rightarrow \varepsilon_{wts} = \varepsilon_{wc}\frac{h-x-a_t}{x}. \tag{14}$$

Коэффициент использования несущей способности растянутой арматуры при $x < h/2$ составит:

$$k_{st} = \frac{\varepsilon_{wst}}{\varepsilon_{st,ult}} = \frac{\varepsilon_{wt}\dfrac{h-x-a_t}{h-x}}{\dfrac{R_{st}}{E_{st}}} = \frac{R_w E_{st}(h-x-a_t)}{E_w R_{st}(h-x)}, \tag{15}$$

где $\varepsilon_{st,ult}$ — предельная относительная деформация растянутой арматуры.

Коэффициент использования несущей способности растянутой арматуры при $x > h/2$ составит:

$$k_{st} = \frac{\varepsilon_{wst}}{\varepsilon_{st,ult}} = \frac{\varepsilon_{wc}\dfrac{h-x-a_t}{x}}{\dfrac{R_s}{E_s}} = \frac{R_w E_{st}(h-x-a_t)}{E_w R_{st} x}. \quad (16)$$

4. Таким образом, продольные усилия в сжатом и растянутом стержнях арматуры определяем по формулам:

$$N_{sc} = R_s A_{sc} K_{sc}; \quad (17)$$

$$N_{st} = R_s A_{st} K_{st}. \quad (18)$$

5. Таким образом, несущая способность нормальных сечений армированной деревянной балки при изгибе складывается из изгибающих моментов, возникающих в древесине и элементах армирования, взятых относительно нейтральной линии.

5.1. Изгибающий момент от вклада сжатой арматуры в несущую способность армированной балки:

$$M_{sc} = R_{sc} A_{sc} K_{sc}(x - a_c). \quad (19)$$

5.2. Изгибающий момент от вклада растянутой арматуры в несущую способность армированной балки:

$$M_{st} = R_{st} A_{st} K_{st}(h - x - a_t). \quad (20)$$

5.3. Изгибающий момент от вклада древесины сжатой зоны в несущую способность армированной балки:

$$M_{wc} = \frac{1}{2} bx\sigma_{wc} \frac{2}{3} x = \frac{bx^2\sigma_{wc}}{3}. \quad (21)$$

5.4. Изгибающий момент от вклада древесины растянутой зоны в несущую способность армированной балки:

$$M_{wt} = \frac{1}{2} b(h-x)\sigma_{wt} \frac{2}{3}(h-x) = \frac{b(h-x^2)\sigma_{wt}}{3}. \quad (22)$$

5.5. Прочность армированной деревянной балки по нормальным напряжениям при изгибе имеет следующий вид:

$$M = M_{sc} + M_{st} + M_{wc} + M_{wt}; \quad (23)$$

$$M = R_{sc} A_{sc} K_{sc}(x - a_c) + R_{st} A_{st} K_{st}(h - x - a_t) + \\ + \frac{b(\sigma_{wc} x^2 + \sigma_{wt}(h - x^2))}{3} \quad (24)$$

**Расчет армированной деревянной балки в программе Ansys**

Для проверки разработанного метода расчета прочности нормальных сечений армированной деревянной балки было произведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) балки в программном комплексе Ansys WB 17.1.

Для расчетов была принята деревянная балка размерами 100×100×2400 мм из древесины сосны стандартной влажности. Согласно СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции» расчетное сопротивление деревянной конструкции изгибу составляет $R_W$ = 14 МПа, модуль упругости древесины вдоль волокон равен $E_w$ = 10 ГПа. По всей длине сжатой и растянутой зоны балки вклеены арматурные стержни А400 диаметром 10 и 8 мм соответственно. Согласно СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» расчетное сопротивление арматурных стержней сжатию и растяжению составляет $R_s$ = 350 МПа, модуль упругости стальных арматурных стержней класса А400 равен $E_s$ = 200 ГПа. Поперечное сечение армированной деревянной балки представлено на рис. 2.

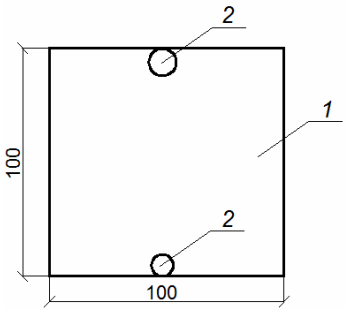



Рис. 2. Поперечное сечение армированной деревянной балки: *1* — деревянная балка; *2* — арматурные стержни

При расчете было принято допущение, что арматура полностью заполняет подготовленные в теле балки пазы прямоугольной формы. Площади поперечного сечения армирующих элементов в сжатой и растянутой зонах приняты эквивалентно арматуре А400 диаметром 10 и 8 мм. Результаты численного моделирования деревянной балки с двойным армированием представлены на рис. 3—7.

Максимальный прогиб деревянной балки с двойным армированием составил 16,81 мм в середине пролета (рис. 3).

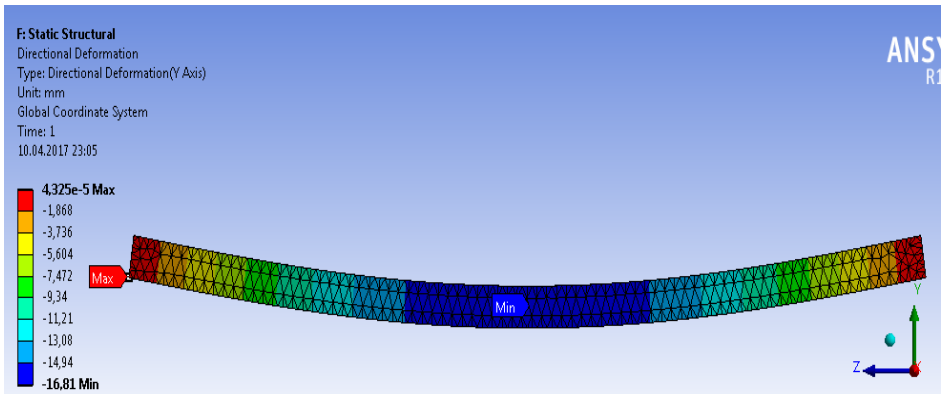



Рис. 3. Деформации армированной деревянной балки

На рис. 4 представлено распределение нормальных напряжений в поперечном сечении балки в середине пролета. Максимальные растягивающие напряжения в балке составляют 13,99 МПа, максимальные сжимающие напряжения в балке составляют 12,77 МПа.

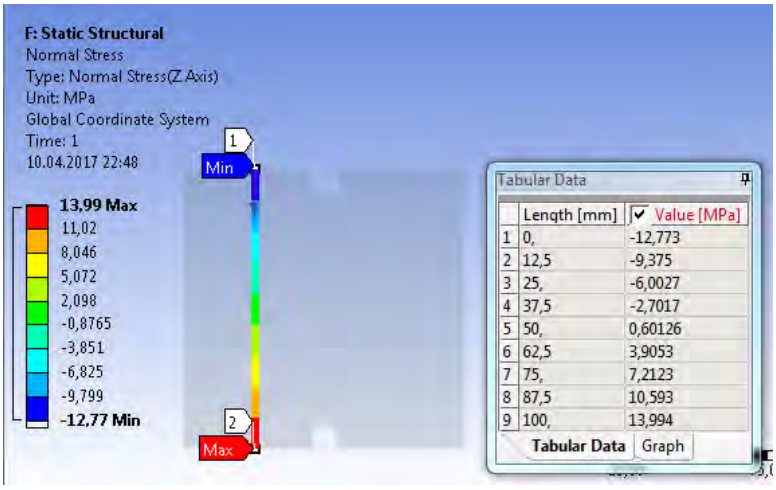



Рис. 4. Распределение нормальных напряжений в поперечном сечении балки в середине пролета

На рис. 5 и 6 представлены распределения нормальных напряжений в поперечных сечениях арматурных стержней в середине пролета. Среднее сжимающее напряжение в арматуре сжатой зоны балки составляет 223,61 МПа, среднее растягивающее напряжение в арматуре растянутой зоны балки составляет 254,37 МПа.

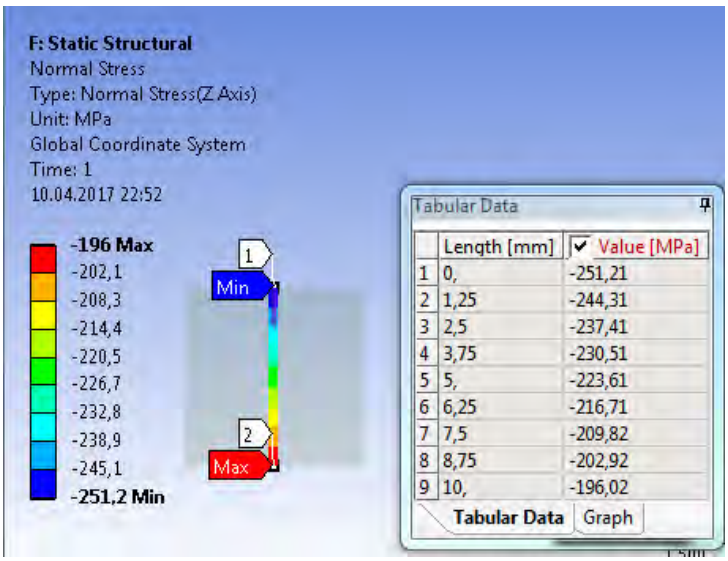



Рис. 5. Распределение нормальных напряжений в поперечном сечении арматуры сжатой зоны балки в середине пролета

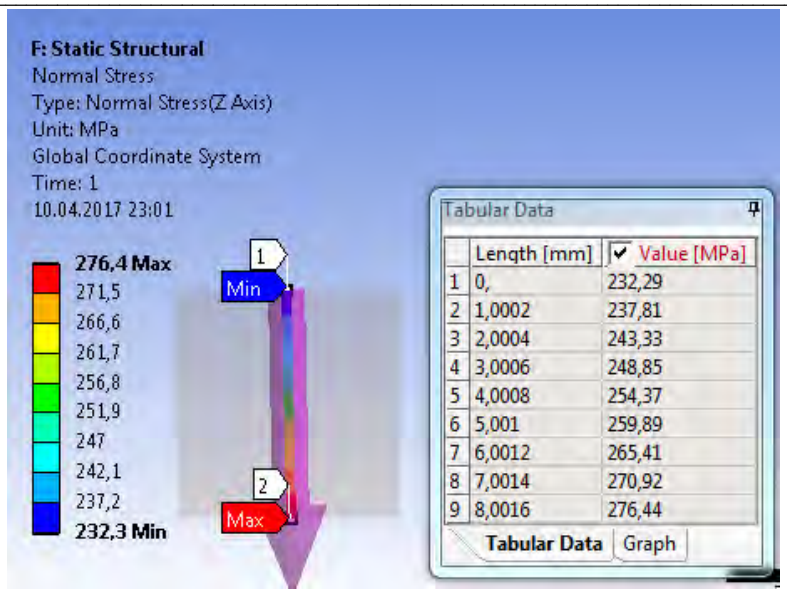



Рис. 6. Распределение нормальных напряжений в поперечном сечении арматуры растянутой зоны балки в середине пролета

На рис. 7 видно, что нейтральная (нулевая) линия располагается на расстоянии 47,79 мм, считая от сжатой кромки балки.

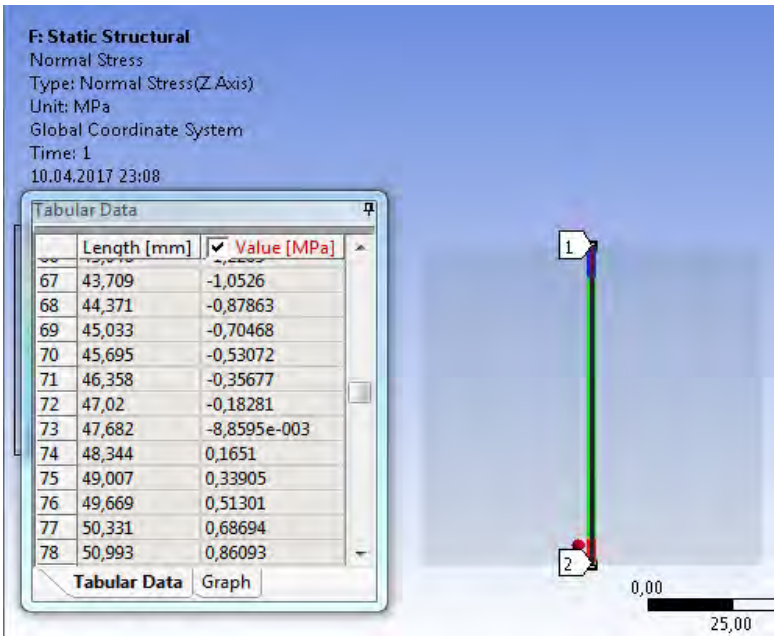



Рис. 7. Положение нейтральной линии в поперечном сечении балки

В табл. представлено сопоставление результатов, полученных согласно разработанному методу расчета армированной деревянной балки с двойным армированием и при численном моделировании в ПК Ansys WB 17.1.

*Результаты расчетов армированной деревянной балки*

| Расчетная характеристика | Инженерный расчет | Моделирование в ПК Ansys WB | Отклонение, % |
|---|---|---|---|
| Напряжения в крайних растянутых волокнах древесины, МПа | 14,00 | 13,99 | 0,07 |
| Напряжения в крайних сжатых волокнах древесины, МПа | 12,77 | 12,95 | 1,41 |
| Напряжения в растянутой арматуре, МПа | 258,44 | 254,37 | 1,60 |
| Напряжения в сжатой арматуре, МПа | 232,10 | 223,61 | 3,80 |
| Усилие в растянутой арматуре, кН | 12,98 | 12,78 | 1,56 |
| Усилие в сжатой арматуре, кН | 18,22 | 17,55 | 3,80 |
| Положение нейтральной (нулевой) линии, мм | 48,06 | 47,79 | 0,56 |
| Прогиб в середине пролета, мм | 18,84* | 16,81 | 12,08 |

**Заключение**

Разработанный инженерный метод расчета прочности нормальных сечений армированных деревянных балок с двойной арматурой имеет хорошую сходимость с результатами численного моделирования в ПК Ansys WB 17.1 (максимальное отклонение результатов составило 3,8 %).

Метод расчета позволяет оценивать не только несущую способность армированных деревянных балок по первой группе предельных состояний, но и определять распределение усилий в сжатой и растянутой арматуре с любыми жесткостными характеристиками материала, что делает возможным проектирование оптимального распределения арматуры в поперечном сечении деревянной балки.

Задачами дальнейших исследований является проведение лабораторных испытаний армированных деревянных балок с различными схемами продольного армирования с целью изучения НДС и характера разрушения конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Report of the First International Conference on Wood Fracture. Banff, Canada, 1978. Pp. 77—83.

2. *Zahn J. J.* Design of wood members under combined load // Journal of Structural Engineering. 1986. Vol. 112. No. 9. Pp. 2109—2126. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1986)112:9(2109)

3. *Rug W.* Hoherveredlung von holzkonstruktionen durch awendung neuer erkenntnisse der grundlagenforschung // Bauplanung Bautechnik. 1986. No. 2. Pp. 68—71.

4. *Riedlbauer X.* Die vorgespannte Holzkonstrutionen // Bauen mit Holz. 1982. No. 5. Pp. 272—183.

5. *Щуко В. Ю., Рощина С. И.* Клееные армированные деревянные конструкции. Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2007. 68 с.

6. *Репин В. А.* Деревянные балки с рациональным армированием: дис… канд. техн. наук. Владимир, 2000. 191 с.

* Прогиб балки определен по методу приведенного сечения согласно СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции».

7. *Щуко В. Ю.* Расчет армированных деревянных конструкций по предельным состояниям // Реферативная информация ЦИНИС. 1978. Сер. VIII. № 2.

8. *Климков С. В.* Прочность и деформативность деревянных балок с продольно-поперечным армированием: дис... канд. техн. наук. Владимир, 1991. 168 с.

9. *Robert J., Hoyle Jr.* Steel-Reinforced Wood Beet Design // Forest Products Journal. 1975. Vol. 25. No. 4. Pp. 34—42.

10. *Есипов А. В., Лыкова Я. В.* Инженерный метод расчета повышения несущей способности цельнодеревянных балок установкой стержневой арматуры в растянутой зоне // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2016. № 4(31). С. 61—65.

*© Есипов А. В., Сальный И. С., Воробьев Я. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Есипов А. В., Сальный И. С., Воробьев Я. В.* Расчет прочности нормальных сечений армированных деревянных балок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 5—15.

*Об авторах:*

**Есипов Андрей Владимирович** — канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, sibstroy.2012@yandex.ru

**Сальный Иван Сергеевич** — магистрант кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, salnyy2493@mail.ru

**Воробьев Ярослав Витальевич** — магистрант кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, vorobey1627@yandex.ru

***A. V. Esipov, I. S. Sal'nyi, Ya. V. Vorob'ev***

## CALCULATION OF STRENGTH OF NORMAL SECTIONS OF REINFORCED WOODEN BEAMS

The article provides the information about the engineering method of design of reinforced wooden bending elements with the arrangement of reinforcing bars in the stretched and compressed zones of the cross-section. This engineering method of calculation allows us to determine the strength of normal cross-sections of beams and estimate stresses in the stretched and compressed reinforced bars. The article also presents the comparison of the results of the proposed engineering method of calculation of reinforced beams with the results of numerical modeling of these beams in the Ansys Workbench 17.1 software complex.

K e y  w o r d s: wooden beam, armature, reinforced beam, calculation, Ansys.

REFERENSES

1. *Report of the First International Conference on Wood Fracture*. Banff, Canada, 1978. Pp. 77—83.

2. Zahn J. J. Design of wood members under combined load. *Journal of Structural Engineering*, 1986, 112(9), pp. 2109—2126. URL: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1986)112:9(2109)

3. Rug W. Hoherveredlung von holzkonstruktionen durch awendung neuer erkenntnisse der grundlagenforschung. *Bauplanung Bautechnik*, 1986, no. 2, pp. 68—71.

4. Riedlbauer X. Die vorgespannte Holzkonstrutionen. *Bauen mit Holz*, 1982, no. 5, pp. 272—183.

5. Shchuko V. Yu., Roshchina S. I. *Kleenye armirovannye derevyannye konstruktsii* [Laminated reinforced wooden structures]. Vladimir, Vladimir State University, 2007. 68 p.

6. Repin V. A. *Derevyannye balki s ratsional'nym armirovaniem*. Dis. kand. tekhn. nauk [Wooden beams with practical reinforcement. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Vladimir, 2000. 191 p.

7. Shchuko V. Yu. [Limit design of reinforced wooden structures]. *Referativnaya informatsiya TsINIS* [Abstract information of ARSRIC], 1978, issue VIII, no. 2.

8. Klimkov S. V. *Prochnost' i deformativnost' derevyannykh balok s prodol'no-poperechnym armirovaniem.* Dis... kand. tekhn. nauk [Strength and stress-strain properties of wooden beams with transversive-longitudial reinforcement. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Vladimir, 1991. 168 p.

9. Robert J., Hoyle Jr. Steel-Reinforced Wood Beet Design. *Forest Products Journal*, 1975, 25(4), pp. 34—42.

10. Esipov A. V., Lykova Y. V. [Engineering method of calculation of increase of bearing capacity of solid wood beams by mounting reinforcement bar in the tension zone]. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN* [Akademicheskij Vestnik URALNIIProekt RAASN], 2016, no. 4(31), pp. 61—65.

*For citation:*

Esipov A. V., Sal'nyi I. S., Vorob'ev Ya. V. [Calculation of strength of normal sections of reinforced wooden beams]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 5—15.

*About authors:*

**Esipov Andrei Vladimirovich** — Candidate of Engineering Science, Docent of Building Constructions Department, Industrial University of Tyume. 38, Volodarskogo St., Tyumen′, 625000, Russian Federation, sibstroy.2012@yandex.ru

**Sal'nyi Ivan Sergeevich** — Master's Degree student of Building Constructions Department, Industrial University of Tyume. 38, Volodarskogo St., Tyumen′, 625000, Russian Federation, salnyy2493@mail.ru

**Vorob'ev Yaroslav Vital'evich** — Master's Degree student of Building Constructions Department, Industrial University of Tyume. 38, Volodarskogo St., Tyumen′, 625000, Russian Federation, vorobey1627@yandex.ru

УДК 652.321

***С. Л. Туманов, Ю. М. Фетисов, И. В. Стефаненко, А. Р. Рисунов***

***Волгоградский государственный технический университет***

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ПАСПОРТА ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Показана возможность использования криволинейного паспорта прочности горных пород, который определяет более точные прочностные характеристики массива в зоне его растяжения, что важно при расчете устойчивости бортов карьеров.

Ключевые слова: горные породы, напряжения, образец, массив, области сжатия и растяжения, коэффициенты сцепления и угла внутреннего трения, прямолинейный и криволинейный паспорта прочности.

Наиболее полной графической характеристикой горных пород является паспорт прочности, который позволяет определить точки предельного состояния горного массива при различных соотношениях нормальных $\sigma$ и касательных $\tau$ напряжений. Обычно при расчетах устойчивости бортов карьеров используется прямолинейный паспорт прочности, который верно описывает поведение горных пород в области сжатия. Уравнение огибающей предельных кругов Мора в координатах нормальных и касательных напряжений может быть представлено в виде:

$$\tau = \sigma \mathrm{tg}\rho + c; \tag{1}$$

где $\mathrm{tg}\rho$ и $c$ — коэффициенты внутреннего трения и сцепления горных пород.

Однако существенным недостатком этого паспорта прочности является то, что он неправильно описывает поведение горных пород в зонах растяжения горного массива и вообще может применяться только в случаях, когда $\sigma > 0$, так как прямолинейная огибающая в области растяжений пересекает ось $\sigma$ под острым углом и не проходит через точку, соответствующую пределу прочности на растяжение $\sigma_p$, а значения коэффициента сцепления и угла внутреннего трения $\rho$ будут постоянными в любой точке массива. В то же время известно, что с изменением нормальных напряжений величины $c$ и $\rho$ будут переменными, поэтому в зонах, подверженных растяжению, нужно использовать криволинейный паспорт прочности. Так, профессором М. М. Протодъяконовым предложена следующая формула для описания паспорта прочности [1]:

$$\tau = \tau_{\max}\left[\frac{\left(\sigma+\sigma_p\right)^2}{\left(\sigma+\sigma_p\right)^2 + a^2}\right]^{\frac{3}{8}}; \tag{2}$$

где $\sigma_p$ — прочность пород при всестороннем растяжении; $\tau_{\max}$ — максимальное сопротивление срезу; $a$ — параметр формы кривой.

В работе [2] условие предельного равновесия представлено в виде уравнения гиперболической огибающей

$$|\tau| = \sqrt{(\sigma + \sigma_p) \cdot \left[ \mathrm{tg}^2\, \eta (\sigma + \sigma_p) + \sigma_p \right]}; \quad (3)$$

где $\mathrm{tg}\,\eta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_p}} - 3$; $\sigma_c$ — прочность пород при сжатии.

Анализ формул (2) и (3) показывает, что с изменением нормальных напряжений $\sigma$, $c$ и $\rho$ будут величинами переменными, что не учитывается прямолинейным паспортом прочности. Таким образом, одним из преимуществ криволинейного паспорта прочности является то, что его можно использовать в зонах, подверженных растяжению, путем спрямления криволинейной огибающей на отдельных участках. Исходя из этого, в настоящей работе изучена возможность применения криволинейного паспорта прочности горных пород при расчетах устойчивости бортов карьеров.

В качестве примера рассмотрены борта карьера Чимкентского цементного завода высотой $H$ = 265 м и углами наклона $\beta$ равными 30 и 60°. Физико-механические характеристики горных пород, слагающих борта карьера, определялись в ИГД им. Скочинского в лаборатории свойств горных пород и массива. В результате проведенных лабораторных исследований было получено, что прочность известняка при растяжении $\sigma_p$ = 8,53 МПа, при сжатии $\sigma_c$ = 112,8 МПа. Построение паспорта прочности горной породы проводилось по единому уравнению огибающих предельных кругов Мора (1). Далее необходимо перейти от свойств известняка в образце к свойствам в массиве.

При прямолинейном паспорте прочности горных пород это делается с помощью формул:

$$c = \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_p \sigma_c}; \quad (4)$$

$$\rho = \arcsin \frac{\sigma_c - \sigma_p}{\sigma_c + \sigma_p}; \quad (5)$$

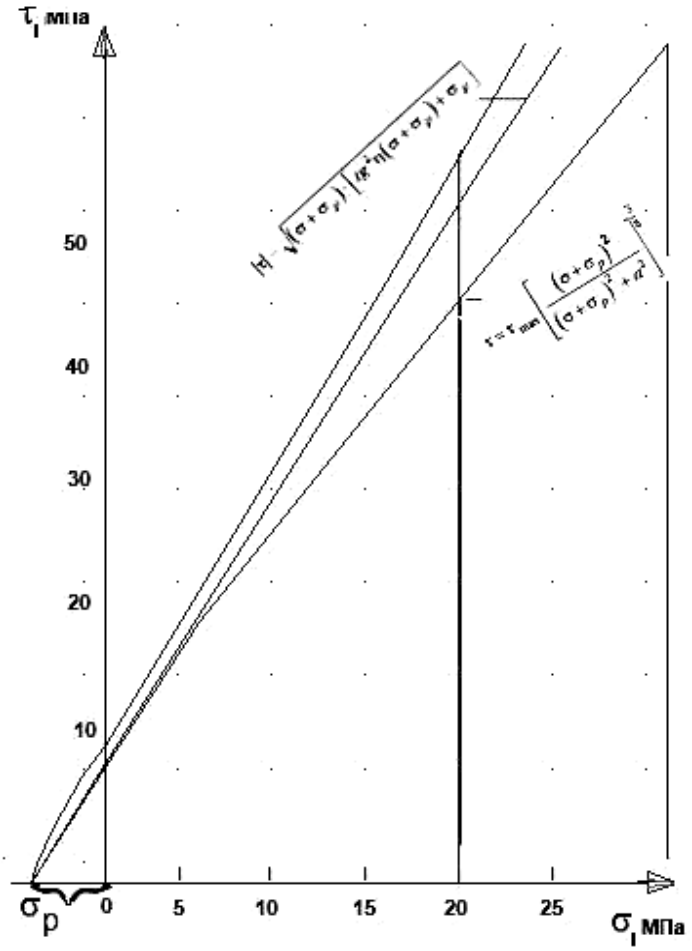
угол внутреннего трения $\rho$ принимается постоянным, а коэффициент сцепления в массиве $c_м$ рассчитывается по формуле:

$$c_м = \frac{c - k}{1 + a \ln(H\omega)} + k; \quad (6)$$

где $a$ и $k$ — коэффициенты, зависящие от свойств горных пород; $\omega$ — трещиноватость массива.

При криволинейном паспорте прочности горных пород перейти от образца к массиву более трудно, так как $\rho$ и $c$ являются величинами переменными. Анализ формул (2, 3, 4) показывает, что их основой являются пределы прочности пород при сжатии и растяжении. То есть, зная, как изменяются эти величины при переходе от образца к массиву, можно построить не только

паспорт прочности образца, но и паспорт прочности массива. Для построения паспорта прочности массива был применен метод обратного расчета. В начале, зная в образце $\sigma_c$ и $\sigma_p$, находим по формулам (5) $\rho$ и $c$. Затем, оставляя угол внутреннего трения постоянным, по формуле (6) находим коэффициент сцепления в массиве $c_м$. И, зная $c_м$ и $\rho$ в массиве, мы находим из формул (5) $\sigma_c$ и $\sigma_p$ в массиве. В результате расчета было получено $\sigma_c$ = 6,38 МПа, $\sigma_p$ = 0,48 МПа. В заключении по формулам (1, 2, 3) строились паспорта прочности массива (рис. 1).




Паспорта прочности горных пород

Анализируя полученные паспорта прочности определяем, что если нормальные напряжения изменяются в пределах от 0 до 2,0 МПа, то получаем достаточно близкие результаты. Так, при угле наклона борта карьера $\beta = 60°$, когда в массиве приоткосной зоны отсутствуют растягивающие напряжения, получаем, что $c_м$ = 1,03 МПа и $\rho = 51°$, а при угле наклона $\beta = 30°$, когда в области перехода борта в подошву появляется зона растяжения, то путем

спрямления криволинейной огибающей получаем, что $c_м$ = 0,88 МПа и $\rho = 60°$. При увеличении нормальных напряжений более 2,0 МПа результаты будут иметь значительные отличия, что необходимо учитывать при расчете устойчивости бортов карьеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Литвинский Г. Г.* Обобщенный паспорт прочности горных пород // Научный вестник национальной академии Украины (НГАУ). Днепропетровск, 1999. С. 85—89.

2. *Ржевский В. В., Новик Г. Я.* Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 293 с.

*© Туманов С. Л., Фетисов Ю. М., Стефаненко И. В., Рисунов А. Р., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в апреле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

О возможности применения криволинейного паспорта прочности горных пород при расчетах устойчивости бортов карьеров / С. Л. Туманов, Ю. М. Фетисов, И. В. Стефаненко, А. Р. Рисунов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 16—20.

*Об авторах:*

**Туманов Сергей Леонидович** — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, tumserlen@yandex.ru

**Фетисов Юрий Михайлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, fetisow.yurij@yandex.ru

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

**Рисунов Андрей Романович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, andreyrisunov@mail.ru

***S. L. Tumanov, Yu. M. Fetisov, I. V. Stefanenko, A. R. Risunov***

## TOWARDS THE POSSIBILITY OF USING THE CURVILINEAR PASSPORT OF ROCK STRENGTH WHEN CALCULATING STABILITY OF PIT EDGES

The possibility of using the curvilinear passport of rock strength is shown. This passport defines more exact strength characteristics of the massif in the zone of its stretching, which is important when calculating the stability of pit edges.

K e y  w o r d s: rocks, tension, model, massif, zones of compression and stretching, coupling coefficients and internal friction angle, rectilinear and curvilinear passports of strength.

REFERENSES

1. Litvinskii G. G. [Generalized passport of rock strength]. *Nauchnyi vestnik natsional'noi akademii Ukrainy (NGAU)* [Scientific Bulletin of National Academy of Ukraine (NAU)]. Dnepropetrovsk, 1999, pp. 85—89.

2. Rzhevskii V. V., Novik G. Ya. *Osnovy fiziki gornykh porod* [Fundamentals of petrophysics]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 293 p.

*For citation:*

Tumanov S. L., Fetisov Yu. M., Stefanenko I. V., Risunov A. R. [Towards the possibility of using the curvilinear passport of rock strength when calculating stability of pit edges]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 16—20.

*About authors:*

**Tumanov Sergei Leonidovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, tumserlen@yandex.ru

**Fetisov Yurii Mikhailovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, fetisow.yurij@yandex.ru

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

**Risunov Andrei Romanovich** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, andreyrisunov@mail.ru

УДК 621.926:691.54

***В. К. Друхольский, К. В. Степанов, А. А. Трандофиров, И. В. Стефаненко***

***Волгоградский государственный технический университет***

# СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА

Описываются методы измерения тонкости помола цемента, в частности, рассмотрены стандарты ГОСТ, стандарты ASTM, стандарты EN. Приведены различные нестандартизированные способы измерения тонкости помола. Произведена оценка актуальности способов, сравнение способов. Описаны преимущества и недостатки описанных способов.

Ключевые слова: цемент, тонкость помола цемента, удельная поверхность частиц цемента, активация цемента, измерение тонкости помола цемента.

В настоящее время бетон является основным строительным материалом, широко применяющимся во многих странах мира. Технологии не стоят на месте, с каждым днем требования к качеству строительных материалов растут. Актуальной задачей является улучшение свойств бетона, а в частности повышение его прочности [1]. Одним из способов повышения прочности бетона является активация вяжущего вещества, т. е. цемента, которая может осуществляться различными способами. Под активацией подразумевается повышение удельной поверхности частиц цемента — суммарная внешняя поверхность частиц в одном грамме цемента (см$^2$/г) [2]. Активация чаще всего производится при помощи мельниц либо при обработке электрическим током, ультразвуком и рядом других способов. Использование тонкоизмельченного цемента в строительстве сопровождается меньшими затратами топлива в производстве цемента и бетона [3].

При активации цемента происходит измельчение его частиц [4—6]. Для оценки эффективности мельниц, а также оценки оптимальности технологического режима помола (управления такими факторами, как продолжительность помола, размер и количество мелящих тел и т. д.) применяются различные устройства и способы, позволяющие в большей или меньшей степени оценить размер частиц цемента.

Существует ряд методов определения тонкости помола цемента [7]. Некоторые методы устарели, но до сих пор применяются на производстве. В данной работе были рассмотрены стандартизированные и иные методы определения тонкости помола цемента, в том числе ряд зарубежных.

**Стандарты ГОСТ**

В России, а также в странах СНГ тонкость помола определяется согласно методам, описанным в ГОСТ 310.2—76.

В данном стандарте указано 2 метода:

1) определение тонкости помола цемента по остатку на сите;

2) определение тонкости помола цемента по удельной поверхности.

Согласно первому методу, отбирается проба цемента, которая подготавливается по ГОСТ 310.1—76. Далее эту пробу высушивают в сушильном шкафу при температуре 105…110 °С в течение 2 ч и охлаждают в эксикаторе.

Далее отвешивают с этой пробы 50 г цемента с точностью до 0,05 г и высыпают эту пробу на сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613—86. Сито устанавливают в прибор для механического просеивания, включают прибор. Также допускается просеивание вручную, т. е. без приборов механического или пневматического просеивания. Каждые 5—7 минут прибор останавливают, высыпают из него прошедший через сито цемент, прочищают сетку и продолжают просеивание. Просеивание заканчивают, если сквозь сито проходит не более 0,05 г цемента.

Тонкость помола цемента определяют как остаток на сите в процентах к первоначальной массе просеиваемой пробы с точностью до 0,1 %.

К недостатку ситового анализа можно отнести то, что данный метод позволяет определить лишь количество крупных частиц, оставшихся после помола, и не дает информации о фракционном составе цемента. Но тем не менее данный метод находит применение в настоящее время как способ контроля работы мельниц и выявления слишком грубого помола.

Второй метод — определение тонкости помола по удельной поверхности, как указано в ГОСТ 310.2—76, применяется факультативно, что по всей видимости означает, что этот метод является дополнительным и необязательным. Разъяснения касательно смысла термина «факультативно» в данном контексте не приводятся.

Для определения тонкости помола цемента по этому методу требуется прибор Ле-Шателье (рис. 1) и прибор для определения удельной поверхности методом воздухопроницаемости типа ПСХ.

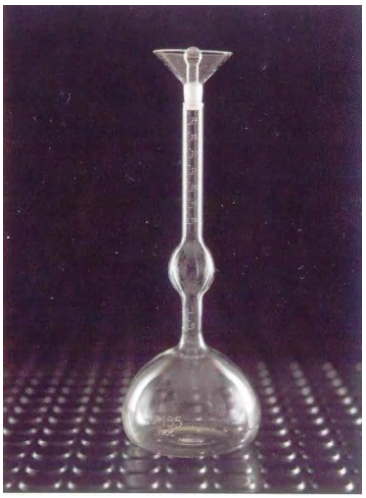


Рис. 1. Прибор Ле-Шателье

Прибор Ле-Шателье закрепляют в штативе и помещают в стеклянный сосуд с водой. Далее прибор наполняют обезвоженным керосином до нижней нулевой черты по нижнему мениску. Отбирают пробу цемента по ГОСТ 310.1—76, от нее отвешивают 65 г цемента с точностью до 0,01 г и высыпают в прибор ложечкой через воронку небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до одного из делений в пределах верхней градуированной части прибора.

Далее производят расчет плотности цемента как отношения массы навески цемента к объему жидкости, вытесненной цементом. Плотность испытуемого цемента вычисляют с точностью до 0,01 г/см$^3$ как среднее арифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см$^3$.

Также в данном ГОСТ указано, что допускается использование других методов определения плотности, обеспечивающих, в соответствии с действующими для них инструкциями, точность не менее ±0,01 г/см$^3$.

Удельную поверхность цемента определяют прибором типа ПСХ в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору. Для проведения расчетов используют величину плотности цемента, определенную выше.

**Стандарты ASTM**

ASTM (American Society for Testing and Materials) — Американское общество по испытанию материалов — было организовано в 1898 г. и является одной из крупнейших в мире организаций по разработке и развитию добровольно применяемых стандартов.

В данном обществе существует комитет C01, который занимается разработкой стандартов на цемент. Данный комитет разработал следующие стандарты, касающиеся определения тонкости помола цемента:

1. C115/C115M-10e1. Стандартная методика определения тонкости помола портландцемента с помощью турбидиметра (нефелометра).
2. C204-16. Стандартная методика определения тонкости помола гидравлического цемента по воздухопроницаемости.
3. C430-08(2015). Стандартная методика определения тонкости помола гидравлического цемента при помощи сита 45 мкм (№ 325).
4. C786 / C786M-10(2016). Стандартная методика определения тонкости помола гидравлического цемента при помощи сит 300 мкм (№ 50), 150 мкм (№ 100) и 75 мкм (№ 200) мокрыми способами.

Принцип действия турбидиметра Вагнера (рис. 2) основывается на законе Стокса о скорости осаждения шаровидных частиц, взвешенных в жидкости с известной вязкостью. Концентрация частиц в суспензии определяется по принципу отражения света. Интенсивность световых лучей, которые проходят через суспензию, определяется с помощью фотоэлемента.

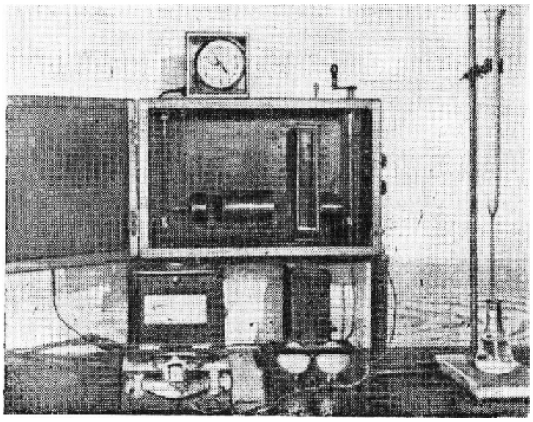


Рис. 2. Турбидиметр Вагнера

Однако этот метод предполагает некоторые допущения: осаждение зерен цемента происходит по закону Стокса и концентрация частиц на любом уровне во время осаждения пропорциональна степени замутненности и светопоглощению суспензии на этом уровне независимо от колебаний среднего размера частиц. Также одной из проблем, возникающей при использовании данного прибора, является калибровка. Калибровка заключается в том, чтобы установить такую интенсивность света при прохождении через светофильтр, которая была бы эквивалентна показаниям микроамперметра при прохождении света через чистый керосин — 100 микроампер. Существует несколько способов калибровки, но способ, рекомендованный самим ASTM, заключается в регулировании интенсивности света таким образом, чтобы получить на стандартном образце Национального бюро стандартов указанную величину удельной поверхности.

К списку недостатков следует отнести неблагоприятное влияние на работу турбидиметра изменений в продолжительности и скорости перемешивания, недостаточная дисперсность материала, способ встряхивания осадительного сосуда. К тому же важную роль играет цвет цемента, так как в зависимости от цвета материала изменяется количество поглощаемого света, что непременно сказывается на конечном результате.

Также существует турбидиметр Клейна (рис. 3), который основан на установленной пропорциональности между удельной поверхностью цемента и степенью замутненности суспензии цемента в касторовом масле. Степень замутненности определяется при помощи микроамперметра, который регистрирует уменьшение напряжения тока от фотоэлемента, когда на пути параллельных вертикальных световых лучей помещается слой суспензии определенной толщины. Таким образом, здесь требуется лишь одно показание прибора для определения удельной поверхности.

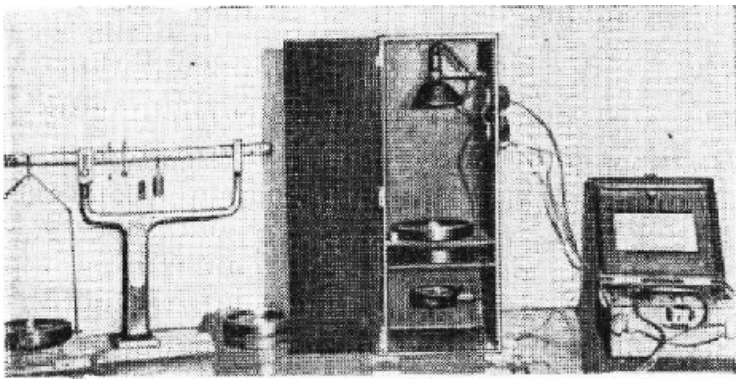


Рис. 3. Суспензионный турбидиметр Клейна

Так выглядели первые турбидиметры (см. рис. 1—3). Современные версии выглядят иначе (рис. 4). Они имеют более высокую точность измерений (погрешность около 2 %), хорошую воспроизводимость (около 1 %), отсутствуют проблемы, связанные с калибровкой, присутствующие в более старых версиях. Но большинство современных турбидиметров основаны на таком же принципе действия.

Тонкость помола также меряют методом воздухопроницаемости (ASTM C204-16). В основу этого метода легли работы Дарси и Козени, которые привели к выводу уравнения, характеризующего течение воды сквозь зернистый слой к поверхности частиц, образующих этот слой. Изучая различные газы и зернистые материалы, Кармен подтвердил выводы Козени и предложил выражать удельную поверхность на единицу объема материала в величинах проницаемости слоя. Ли и Нэрс пересмотрели уравнение Кармена и предложили относить удельную поверхность на единицу веса материала к скорости прохождения газа через плотный слой этого материала. Газ (обычно воздух) был использован как проницающий агент для портландцемента в связи с тем, что жидкости давали завышенные результаты. По-видимому, адсорбированные слои жидкости уменьшали эффективное сечение капиллярных каналов.

Рис. 4. Современный турбидиметр

На рис. 5 показан американский вариант прибора Ли — Нэрса, который был вскоре применен в ряде лабораторий цементных заводов США. Предназначенный для этой цели прибор под названием «измеритель воздухопроницаемости (пермеаметра)» состоит из патрона, в который помещается образец цемента, двух манометров и уравнительного бачка. Сосуд для образца объемом приблизительно 9,5 см$^3$ вмещает около 15 г цемента типа I, уплотненного до пористости около 50 %. Один из манометров измеряет падение воздушного давления в слое уплотненного цемента, а второй — в капиллярной трубке известного размера, последовательно соединенной с патроном для образца. Таким образом определяется скорость протекания воздуха сквозь слой цемента.

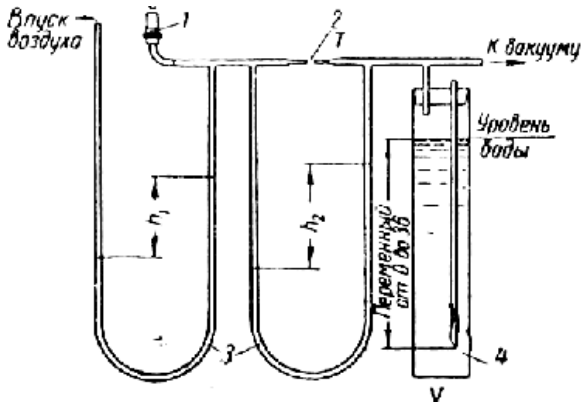



Рис. 5. Прибор Ли — Нэрса для определения воздухопроницаемости: *1* — патрон; *2* — длинная капиллярная трубка; *3* — керосиновые манометры; *4* — прибор для поддержания постоянного давления

Современная версия прибора ПСХ, который также основан на принципе воздухопроницаемости, показан на рис. 6. Измерения и расчеты данного

прибора автоматизированы. Прибор подключается к компьютеру и все измерения выводит в виде таблиц на монитор. Прибор автоматически производит настройку: калибрует кювету по высоте; проверяет герметичность; контролирует свою работоспособность по удельной поверхности встроенного контрольного эталона. Устанавливает число повторных измерений, производит измерения, подсчитывает их среднюю величину и погрешность. Отображает на дисплее измеряемые параметры: высоту слоя порошка, вязкость и температуру воздуха, установленное оператором число повторных измерений и др. Представляет, дополняет и корректирует таблицу плотностей исследуемых материалов, данные которой автоматически используются в расчетах.

Рис. 6. Прибор ПСХ-12

Третий и четвертые стандарты ASTM — определение удельной поверхности цемента при помощи сит — схожи с методикой по ГОСТ 310.2—76. Отличие между данными стандартами состоит лишь в размере сеток в этих ситах. В ГОСТ используются сита 55 мкм, в стандарте ASTM — сита 45 мкм. Также обществом ASTM разработан стандарт определения тонкости помола цемента при помощи сит 300 мкм (№ 50), 150 мкм (№ 100) и 75 мкм (№ 200) мокрыми способами.

**Стандарты EN**

Стандарты, издаваемые Европейским комитетом по стандартизации, имеют обозначение EN. Часто за основу этих стандартов принимают стандарты IEC (МЭК) или ISO (ИСО) без изменений или с незначительными изменениями. В этом случае используется двойное обозначение, например EN ISO.

Если речь идет о Европейском стандарте, страны-участники должны принять его в качестве национального стандарта, при желании перевести его, но без внесения изменений или отклонений от смысла, и присоединить аббревиатуру EN в национальном обозначении, например DIN EN. Таким образом, номер и техническое содержание стандарта остаются неизменными на всей территории Европы.

Касательно тонкости помола цемента Европейским комитетом по стандартизации был разработан стандарт EN 196-6-2010. В рамках данной статьи был рассмотрен стандарт СТБ ЕН 196-6-2010 Республики Беларусь. Аналогами данного стандарта являются в Великобритании BS EN 196-6-2010, в Германии — DIN EN 196-6-2010.

В данном стандарте описаны два метода по определению тонкости помола цемента:

1) методом просеивания;

2) методом воздухопроницаемости (метод Блейна).

Измерение тонкости помола по первому методу аналогично ситовому методу по ГОСТ и соответствующему методу по ASTM. Разницей является лишь сито 90 мкм.

Определение тонкости помола по второму методу от аналогичного метода по ASTM отличается устройством прибора (рис. 7), в данном случае тонкость помола измеряют методом Блейна.

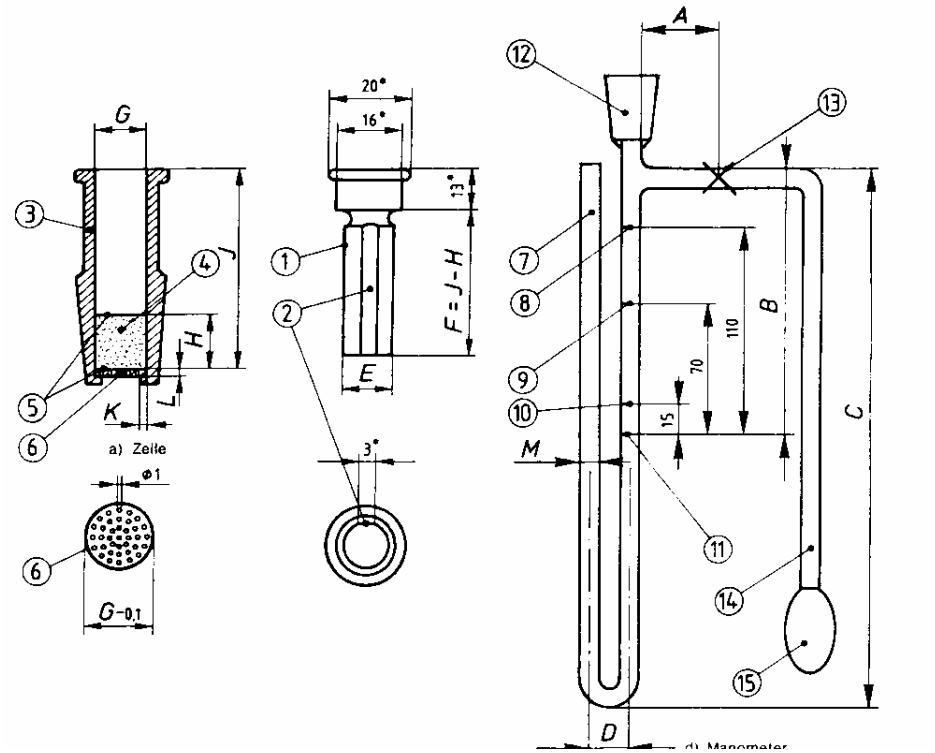



Рис. 7. Прибор для определения воздухопроницаемости по Блейну: *1* — колба; *2* — воздушный паз; *3* — ячейка; *4* — уплотненный слой цемента; *5* — пластина фильтровальной бумаги; *6* — перфорированная пластина; *7* — манометр; *8—11* — отметки; *12* — коническое соединение с ячейкой; *13* — запорный кран; *14* — резиновый шланг; *15* — резиновый баллон

**Основные выводы по работе**

Стандарт ГОСТ 310.2—76 следует актуализировать. Метод определения тонкости помола с помощью сит в достаточной мере соответствует зарубежным стандартам. Метод определения тонкости помола по удельной поверх-

ности следует перевести из статуса «факультативный» в статус одного из основных методов. При этом стоит ввести новые, более актуальные требования по точности приборов ПСХ. Также возможно добавление метода с использованием лазерного анализатора частиц и иных новейших методов анализа крупности частиц цемента.

*Сравнение стандартизированных методов измерения тонкости помола*

| Параметр сравнения | Стандарт | | |
|---|---|---|---|
| | ГОСТ 310.2-76 | ASTM | EN 196-6-2010 |
| Ситовой метод | Используются сита 55 мкм | Используются сита 45 мкм | Используются сита 90 мкм |
| Ситовой метод мокрым способом | — | Используются сита 300, 150, 75 мкм | — |
| Метод воздухопроницаемости | Прибор ПСХ | Прибор Блейна | Прибор Блейна |
| Прочие методы | — | Турбидиметр (нефелометр) | — |
| Год издания | 1976 | 2015-2016 | 2010 |
| Распространение | Россия, страны СНГ | США | Европейские страны |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кабанов В. Н., Соломатов В. И., Глаголева Л. М.* Высокопрочный бетон с активированным минеральным наполнителем // Бетон и железобетон. 1986. № 12. С. 37—40.

2. *Богачев Г. Г.* Влияние тонкости помола цемента бетонных обделок подземных сооружений на их надежность и прочностные характеристики // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. № 10. С. 15—19.

3. *Гусев Б. В., Ин Иен-Лян С., Кривобородов Ю. Р.* Активация твердения шлакопортландцемента // Технологии бетонов. 2012. № 7-8(72-73). С. 21—24.

4. *Дешко Ю. И.* Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1966. 272 с.

5. *Кузнецова М. М., Шевченко В. А.* Измельчение цементов специального назначения реализацией направленного удара в шаровой мельнице // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. № 1(5). С. 211—213.

6. *Котов С., Сивков С.* Современные высокоэффективные интенсификаторы помола цемента // Актуальные вопросы инновационной экономики. 2014. № 6. С. 36—43.

7. *Де Вердт К.* Способы определения тонкости помола и размалываемости // Цемент и его применение. 2010. № 5. С. 113—116.

*© Друхольский В. К., Степанов К. В., Трандофиров А. А., Стефаненко И. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Способы измерения тонкости помола цемента / В. К. Друхольский, К. В. Степанов, А. А. Трандофиров, И. В. Стефаненко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 21—29.

*Об авторах:*

**Друхольский Владислав Константинович** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, vladislove34@yandex.ru

**Степанов Константин Владимирович** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, stekos1402@rambler.ru

**Трандофиров Артем Артурович** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, art2503@mail.ru

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

***V. K. Drukhol'skii, K. V. Stepanov, A. A. Trandofirov, I. V. Stefanenko***

## METHODS FOR MEASURING THE FINENESS OF CEMENT GRINDING

The article describes methods for measuring the fineness of cement grinding. In particular, GOST standards, ASTM standards, EN standards are considered. Various non-standardized methods for measuring the fineness of grinding are presented. The assessment of the relevance of the methods and the comparison of these methods are carried out. The advantages and disadvantages of these methods are described.

K e y  w o r d s: cement, fineness of cement grinding, specific surface of cement particles, activation of cement, measurement of fineness of cement grinding.

REFERENSES

1. Kabanov V. N., Solomatov V. I., Glagoleva L. M. [High-strength concrete with activated mineral filler]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1986, no. 12, pp. 37—40.

2. Bogachev G. G. [Impact of cement fineness of concrete lining of underground structures on their reliability and strength characteristics]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)], 2005, no. 10, pp. 15—19.

3. Gusev B. V., In Yen-Liang S., Krivoborodov Yu. R. [Activation of hardening Portland cement]. *Tekhnologii betonov* [Concrete technologies], 2012, no. 7-8(72-73), pp. 21—24.

4. Deshko Yu. I. *Izmel'chenie materialov v tsementnoi promyshlennosti* [Grinding of materials in cement industry]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1966. 272 p.

5. Kuznetsova M. M., Shevchenko V. A. [Grinding of special cements by instantiation of a directed blow in a ball grinder]. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoi oborony i likvidatsii posledstvii chrezvychainykh situatsii* [Up-to-date technologies of ensuring civil defense and emergency mitigation], 2014, no. 1(5), pp. 211—213.

6. Kotov S., Sivkov S. [Modern highly effective intensifiers of cement grindin]. *Aktual'nye voprosy innovatsionnoi ekonomiki* [Central problems of innovation economics], 2014, no. 6, pp. 36—43.

7. De Weerdt K. [Methods to determine fineness and grindability]. *Tsement i ego primenenie* [Cement and its Applications], 2010, no. 5, pp. 113—116.

*For citation:*

Drukhol'skii V. K., Stepanov K. V., Trandofirov A. A., Stefanenko I. V. [Methods for measuring the fineness of cement grinding]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 21—29.

*About authors:*

**Drukhol'skii Vladislav Konstantinovich** — Masrer's Degree student of Construction Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, vladislove34@yandex.ru

**Stepanov Konstantin Vladimirovich** — Masrer's Degree student of Construction Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, stekos1402@rambler.ru

**Trandofirov Artem Arturovich** — Masrer's Degree student of Construction Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, art2503@mail.ru

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

УДК 510.6:691.327:539.4

***Н. А. Михайлова, И. В. Стефаненко***

***Волгоградский государственный технический университет***

# МНОЖЕСТВЕННЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ

Проанализированы существующие теории и математические модели прочности бетона, их достоинства и недостатки. На основании этого анализа автор предлагает множественные регрессионные модели прочности бетона на сжатие. В разработанных моделях помимо фактора времени и водоцементного отношения учитывается также влияние заполнителей и добавок. Проведен статистический анализ предложенных моделей на адекватность, получены оценки статистической значимости регрессионных коэффициентов и погрешности моделирования.

Ключевые слова: бетон, прочность на сжатие, водоцементное отношение, множественная регрессия, статистический анализ моделей.

Развитие экономики страны реализуется главным образом через наращивание строительной деятельности. В свою очередь, уровень и эффективность строительства напрямую связано с производством строительных материалов и зависит от их качества. Среди строительных материалов лидирующее место во всем мире занимает бетон.

В современных условиях строительные материалы и технологии должны соответствовать признакам пятого технологического уклада мирового экономического развития. Применительно к производству бетона этот уклад предполагает применение:

бетонов, которые служат в течение длительного времени и требуют минимальных затрат на ремонт в процессе эксплуатации;

бетонов с высоким потенциалом переработки как в подвижном, так и в затвердевшем состоянии;

бетонов, для производства которых широко используются местные материалы, отходы различных производств и требуется минимальная транспортировка составляющих.

Обеспечение долговечности бетона является серьезной проблемой во всем мире. Снижение долговечности происходит вследствие того, что через тело бетона переносятся агрессивные агенты, которые в свою очередь взаимодействуют с компонентами бетона, в частности, с продуктами гидратации цемента. Из-за температурных, усадочных или силовых воздействий происходит образование микротрещин. В процессе длительной эксплуатации бетонов происходит коррозия арматуры и электрохимические процессы, связанные с ней. Поэтому создание методов прогнозирования долговечности бетона возможно лишь при изучении и моделировании вышеуказанных явлений.

Бетон является конструкционным материалом и прочность на сжатие — его важнейшая характеристика. Прочность на сжатие важна не только для характеристики способности бетона воспринимать сжимающие усилия при работе конструкции, но она еще косвенно предопределяет и ряд других свойств: модуль упругости, деформации, сопротивление растяжению, износу и истиранию, сцепление с арматурой и т. д.

Прочность бетона определяется прочностью его составляющих, силами сцепления между ними и плотностью структуры. Помимо указанных основных факторов на прочность бетона влияют технологические способы уплотнения, условия твердения, его однородность, возраст, влажность и т. п. Закон прочности бетона гласит: рост прочности бетона прямо пропорционален логарифму времени твердения (закон роста прочности бетона во времени).

Поэтому прогнозирование прочности бетона и проектирование его состава являются двумя старейшими и взаимосвязанными между собой проблемами бетоноведения, которые не потеряли актуальности и в настоящее время.

Существуют феноменологические, статистические и структурные теории прочности бетона.

Феноменологические теории рассматривают бетон как однородное изотропное упругое тело. В феноменологических теориях главное внимание уделяется зависимости прочности от внешних нагрузок. Если известно поведение материала при простом растяжении, сжатии или сдвиге, то по законам феноменологических теорий можно судить о начале разрушения материала при сложном напряженном состоянии. Старейшей из классических феноменологических теорий прочности материалов является теория максимальных напряжений (теория Галилея и Ранкина), согласно которой критерием прочности является максимальное напряжение.

Второй теорией прочности является теория максимальных деформаций (теория Мариотта, Сен-Венана), в соответствии с которой текучесть материалов начинается, когда достигается максимальное относительное удлинение. Вторая теория основана на гипотезе, что причиной разрушения материала являются наибольшие линейные деформации в наиболее опасной точке.

Третья теория прочности — теория максимальных касательных напряжений (теория Кулона, Мора и др.), в соответствии с которой разрушение происходит при достижении предельных касательных напряжений либо наибольших нормальных растягивающих напряжений.

Феноменологические теории прочности не могут объяснить явления, обусловленные внутренними процессами, протекающими в бетоне (деформации усадки и набухания, контракция, экзотермия и др.), играющими большую роль в прочности и суммарных деформациях. Использование феноменологических теорий прочности возможно применительно к бетону лишь в отдельных случаях при определенных ограничительных условиях, например, при испытании бетонных образцов, когда их торцы смазаны парафином и на их поверхности практически не возникают силы трения, разрушение вызывается образованием трещин, параллельных сжимающему усилию. Это объясняется, согласно второй теории прочности, тем, что линейные деформации в направлении, перпендикулярном оси образца, достигают наибольших значений.

Развитие структурных теорий прочности бетона началось в конце XIX столетия. Эти теории предлагают определенные модели строения бетона.

Структурные теории рассматривают бетон как неоднородное гетерогенное тело. Впервые Р. Фере в [1], исходя из этого представления, предположил, что прочность бетона зависит от параметра, который пропорционален относительной плотности цементного камня:

$$f_б = k\left(\frac{V_ц}{V_ц + V_в + V_{вх}}\right)^2, \quad (1)$$

где $k$ — коэффициент, который зависит от режима твердения, его продолжительности и качества цемента; $V_ц$, $V_в$, $V_{вх}$ — объемы цемента, воды и воздуха соответственно.

Разделив числитель и знаменатель формулы (1) на $V_ц$, можно преобразовать формулу:

$$f_б = k\left(\frac{V_ц}{V_ц + V_в + V_{вх}}\right)^2 = k\frac{1}{\left(1 + \frac{V_в}{V_ц} + \frac{V_{вх}}{V_ц}\right)^2}. \quad (2)$$

Если допустить, что $V_{вх} = 0$, то формула (2) преобразуется к виду

$$f_б = k\frac{1}{\left(1 + \frac{V_в}{V_ц}\right)^2}, \quad (3)$$

где фигурирует параметр $\left(\frac{V_в}{V_ц}\right)$ — так называемое водоцементное отношение по объему.

Недостаток формулы (3) в том, что она не учитывает изменение структуры цементного камня по мере гидратации.

Т. Пауэрс предложил связать прочность цементного камня с долей цементного геля, который образуется в процессе гидратации в доступном пространстве. В предложенной им формуле имеет место быть степень гидратации цемента $\alpha$, т. е. часть цемента, прошедшая гидратацию. Эта величина прямо зависит от времени твердения материала [2]:

$$f_б = \frac{K_r V_{уц}\alpha}{V_{уц}\alpha + \frac{В}{Ц}} = \frac{0,647\alpha}{0,319\alpha + \frac{В}{Ц}}.$$

Здесь $K_r = 2,02 \div 2,2$ — коэффициент увеличения объема продуктов гидратации; $V_{уц}$ — удельный объем цемента ($V_{уц} = 1/\rho_ц = 0,319\,см^3/г$), Ц и В — массы цемента и воды. Критерию Пауэрса можно придать следующий вид, если учесть, что степень гидратации цемента $\alpha$ связана с активностью цемента:

$$f_б = \frac{K_1 R_ц}{K_2 R_ц + \frac{В}{Ц}},$$

где $K_1$ и $K_2$ — эмпирические коэффициенты.

В работе [3] был предложен критерий прочности бетона, близкий к критерию Пауэрса. В ней оценка прочности бетона зависела от объемной концентрации цемента в цементном тесте, а не от водоцементного отношения смеси.

Формула Фере сыграла большую роль в проектировании составов бетона с заданной прочностью. Важнейшим положением структурной теории бетона стал открытый Фере закон водоцементного отношения.

Исследования Фере продолжил Адамс. В 1918 г. он установил закон водоцементного отношения. Этот закон утверждает, что прочность бетона, приготовленного из одних и тех же исходных материалах, не зависит от состава бетона и определяется только водоцементным отношением.

Обработав результаты большого количества испытаний, он предложил эмпирическую формулу [4]:

$$f_б = \frac{K}{A^{1,5(\frac{В}{Ц})}},$$

где $K$ и $A$ — коэффициенты, которые определяются экспериментальным путем.

Уточняя для практических расчетов зависимость Д. Абрамса, Н. М. Беляев в конце 20-х годов XX века предложил формулу прочности бетона [5]:

$$f_б = \frac{R_ц}{A(В/Ц)^{1,5}}, \quad (4)$$

где $R_ц$ — активность цемента, характеризуемая его прочностью при сжатии в 28 суток нормального твердения; $A$ — постоянная, зависящая от вида заполнителей и принимающая значения, соответственно равные $A = 3,5...4$.

Примерно в это же время, когда Н. М. Беляев представил зависимость (4), швейцарский исследователь М. Боломей, взяв за основу формулу Фере, предложил формулу для расчета прочности бетона [6]:

$$f_б = KR_ц\left(\frac{Ц}{В} - b\right), \quad (5)$$

где $K$ — эмпирический коэффициент, который учитывает влияние заполнителей на прочность бетона; $R_ц$ — активность цемента, МПа; $b$ — значение цементно-водного отношения в пересечении функции с осью абсцисс. Как мы можем видеть, прочность бетона уже рассматривается как функция цементно-водного отношения, а не водоцементного.

Формула (4) Н. М. Беляева описывает гиперболический характер изменения прочности бетона с изменением В/Ц. Формула (5) М. Боломея отражает линейное изменение прочности с изменением Ц/В. На первый взгляд кажется, что они противоречат друг другу. Однако они близки между собой, так как гипербола $y = \frac{k}{x}$ в координатах $y$ и $\frac{1}{x}$ является прямой линией.

Ю. М. Баженов и Б. Г. Скрамтаев, обработав результаты объемных экспериментальных исследований, предложили зависимости для прочности бетона, которые показали линейный характер зависимости прочности бетона от

активности цемента ($R_ц$) и кусочно-линейный характер влияния Ц/В на прочность бетона [7—9]:

при $Ц/В \le 2,5$

$$f_б = AR_ц\left(\frac{Ц}{В} - 0,5\right),$$

при $Ц/В \le 2,5$

$$f_б = A_1R_ц\left(\frac{Ц}{В} + 0,5\right).$$

Здесь $A$ и $A_1$ — эмпирические коэффициенты, которые учитывают влияние заполнителей. $A$ и $A_1$ соответственно равны 0,65 и 0,43 — для высококачественных материалов, которые используются при изготовлении бетона; 0,6 и 0,4 — для материалов среднего качества; 0,55 и 0,37 — для материалов низкого качества.

Приведенные формулы справедливы для бетонов, уложенных вибрацией, из умеренно жестких и подвижных бетонных смесей, при коэффициенте уплотнения выше или равном 0,98.

В формуле Гершберга—Левина [10] учитывается также плотность цемента $\rho_ц$:

$$f_б = \left(1,72 \cdot R_ц + 84\right) \cdot \left(\frac{\frac{Ц}{В}}{\frac{Ц}{В} + \rho_ц} - 0,17\right).$$

В. Н. Шмигальский в [11] предложил в качестве одного из влияющих факторов на прочность бетона учитывать расход воды В:

$$f_б = R_ц \cdot \frac{0,6 - 0,0014 \cdot В}{\left(\frac{В}{Ц}\right)^{1,3}}.$$

В. П. Сизов в [12], совершенствуя формулы Ю. М. Баженова и Б. Г. Скрамтаева, представил свою формулу, которая учитывает множество влияющих факторов на прочность бетона:

$$f_б = K_1 \cdot K_2 \cdot R_ц \cdot \left(A + \sum \Delta A\right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{Ц}{В}} - 0,5\right).$$

Здесь $K_1$ — коэффициент, который характеризует минералогический состав цемента; $K_2$ — коэффициент, который учитывает уровень производства бетона; $A$ — коэффициент, зависящий от особенностей крупного и мелкого заполнителей; $\Sigma\Delta A$ — поправки к величине коэффициента $A$, зависящие от водоцементного соотношения прочностей каменной породы и бетона, крупности песка и щебня, густоты цемента, а также от удобоукладываемости бетонной смеси.

А. А. Васильев, используя метод ударного импульса для определения прочности бетона и метод pH-метрии, выявил зависимость водородного показателя водной вытяжки цементного камня pH и прочности бетона на сжатие длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций. Им выведены формулы для прогнозирования изменения $f_б$ по времени в зависимости от условий эксплуатации [13]:

для атмосферных условий

$$f_б = -57,792 + 8,01437 \cdot pH \text{, МПа;}$$

для условий помещений

$$f_б = -38,2727 + 6,31735 \cdot pH \text{, МПа.}$$

Под атмосферными условиями понимаются условия общественных, жилых зданий, сельскохозяйственных помещений и цехов.

Изменение прочности бетона во времени также зависит от вещественного и минералогического состава цемента, состава и структуры бетона, условий его твердения.

В работах [14, 15] авторами разработана модель прогнозирования прочности бетона на сжатие, которая учитывает соотношение воды и цемента, содержание воды, объем и максимальный размер крупного заполнителя, содержание воздуха.

В работах [16, 17] проведен математический анализ предложенных моделей с использованием статистических методов для прогнозирования прочности сжатия бетона. Разработаны модели нелинейной регрессии, которые включали в себя в качестве переменных соотношение вода—цемент, отношение крупных и мелких заполнителей к цементу.

Все рассмотренные выше модели прочности бетона на сжатие в качестве переменных не рассматривали время твердения.

Увеличение прочности бетона во времени обусловлено уменьшением его пористости, повышением степени гидратации цемента, а также прохождением ряда процессов, приводящих к увеличению сцепления частичек цемента между собой и с заполнителями бетона.

При благоприятных температурно-влажностных условиях увеличение прочности бетона происходит в течение многих лет. Интенсивность роста прочности бетона существенно различается для бетонов на цементах различных по химико-минералогическому составу групп. Наиболее интенсивное увеличение прочности после месячного возраста происходит у бетонов на белитовых портландцементах, значительно менее растет прочность у бетонов на алитовых цементах, и самый малый прирост прочности обнаруживается у бетонов на алюминатных цементах.

Для предварительного прогнозирования увеличение прочности бетона во времени может быть использована линейная зависимость между прочностью $f_б$ и логарифмом времени твердения $n$ при $n \geq 3$ суток при температуре $t$ = 15…20 °С:

$$f_б(n) = f_б(28) \cdot \frac{\lg n}{\lg 28}. \quad (6)$$

Характер этой зависимости приведен на рис. 1, где по оси абсцисс отложена продолжительность выдерживания в сутках, а по оси ординат — прочность бетона в процентах от величины $f_б(28)$.

Основываясь на формуле (6), А. В. Саталкин предложил ее изменить и учитывать два значения прочности бетона $R_{n1}$ и $R_{n2}$ в два момента времени твердения:

$$f_б(n) = f_б(n1) + \frac{\left(f_б(n2) - f_б(n1)\right)\cdot\left(\lg n - \lg n1\right)}{\left(\lg n2 - \lg n1\right)}.$$

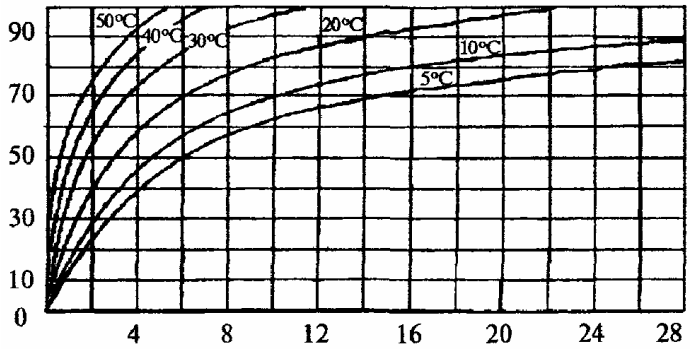



Рис. 1. Изменение прочности бетона во времени

В последней формуле косвенно учитывается влияние особенностей цемента и других факторов на скорость твердения бетона, также устраняется допущение, что прочность бетона в возрасте одних суток равна нулю (lgl = 0). Логарифмическая зависимость, представленная на рис. 1, для бетонов на современных цементах дает, как правило, заниженные показатели прочности для начальных сроков твердения (до 28 сут.) и завышенные для поздних сроков твердения.

В работе [18] авторы вывели оценочное уравнение прочности на сжатие. Оно учитывает активность летучей золы в качестве связующего вещества, ее содержание и удельную площадь поверхности, а также время.

Используя статистический анализ, в статье [19] была предложена регрессионная модель, которая учитывает возраст бетона и водоцементное отношение.

С учетом вышеизложенного можно утверждать, что прочность бетона, являясь интегральной характеристикой, определяется многими факторами, в частности водоцементным отношением В/Ц, активностью цемента, качеством заполнителей, степенью уплотнения бетонной смеси, условиями твердения (температура и влажность окружающей среды), возрастом и др.

Следовательно, теория прочности сегодня должна учитывать не только структуру материала, но и статистические закономерности. Разрушение бетона — это явление, которое зависит от многих факторов, поэтому конечный результат может изменяться в зависимости от сочетания различных дефектов структуры, погрешностей испытаний и других факторов, а определением вероятности возможных сочетаний занимается статистика. Поэтому поведение бетона при сжатии обуславливается как структурными, так и статистическими факторами.

Следовательно, прогнозирование силы сжатия бетона является сложной задачей, которую мы попытаемся решить на стыке двух теорий, а именно структурной и статистической, используя развитый аппарат математической статистики и установленные ранее структурные закономерности.

Для того, чтобы создать модель кинетики простого бетона, нужен набор данных: большое число бетонных смесей и измеренные силы сжатия бетона. Мы обратились к аналитическому порталу UCI — репозитария http://www.ics.uci.edu/, где в свободном доступе представлены многочисленные базы данных клиентов из различных научных областей. Был выбран файл с данными concrete.xls. Он содержит следующую информацию.

Прочность бетона на сжатие — очень нелинейная функция возраста и компонентов бетона. Эти компоненты включают цемент, шлак доменной печи, зольную пыль, воду, пластификатор, крупный заполнитель — щебень и мелкий заполнитель — песок (табл.).

*Информация о переменных, используемых в модели*

| Название | Тип данных | Единицы измерения | Описание переменных |
|---|---|---|---|
| Цемент | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Шлак доменной печи | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Зола | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Вода | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Пластификатор | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Щебень | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Песок | Числовой | Кг/ м$^3$ смеси | Входная переменная |
| Возраст бетона | Числовой | Дни | Входная переменная |
| Прочность бетона на сжатие | Числовой | МПа | Выходная переменная |

Число записей в файле 920. Из них были сформированы обучающая и контрольная выборки. Число смесей в обучающей выборке равно 700, а в контрольной выборке — 220.

В качестве базового программного средства для исследования различных моделей прочности бетона на сжатие были использованы повсеместно доступные электронные таблицы MS Excel, входящие в офисный пакет MS Office, его встроенные функции и установленные надстройки.

В качестве начальной модели Г. А. Бутенко в [20] предложила формулу, которая учитывает влияние щебня, песка и шлака на прочность бетона на сжатие:

$$f_б = a_0 + a_1 \frac{\text{цемент}}{\text{вода}} + a_2 \frac{\text{щебень}}{\text{цемент}} + a_3 \frac{\text{песок}}{\text{цемент}} + a_4 \frac{\text{шлак}}{\text{цемент}} + a_5 \lg(T)\,. \qquad (7)$$

Для известного набора из экспериментальных данных регрессионные коэффициенты рассчитываются методом наименьших квадратов (МНК). Дальнейший регрессионный анализ предусматривает статистический анализ полученной модели на адекватность и оценку статистической значимости регрессионных коэффициентов, а также оценку погрешности моделирования. В MS Excel имеется встроенная подпрограмма для этих целей, входящая в надстройку «Анализ данных» (рис. 2).

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ВЫВОД ИТОГОВ | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | *Регрессионная статистика* | | | | | | |
| 4 | Множественный R | 0.849511356 | | | | | |
| 5 | R-квадрат | **0.721669545** | **Адекватность модели** | | | | |
| 6 | Нормированный R-квадрат | 0.719664282 | | | | | |
| 7 | Стандартная ошибка | **8.862730605** | **Погрешность модели** | | | | |
| 8 | Наблюдения | 700 | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | Дисперсионный анализ | | | | | | |
| 11 | | *df* | *SS* | *MS* | *F* | *Значимость F* | |
| 12 | Регрессия | 5 | 141342.32 | 28268.464 | 359.8877914 | **5.4954E-190** | |
| 13 | Остаток | 694 | 54512.30768 | 78.54799377 | | **Адекватность модели** | |
| 14 | Итого | 699 | 195854.6277 | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | *Коэффициенты* | *Стандартная ошибка* | *t-статистика* | *P-Значение* | *Нижние 95%* | *Верхние 95%* |
| 17 | Y-пересечение, a0 | **-22.30575522** | 3.279068273 | -6.802467457 | 2.22259E-11 | -28.74383875 | -15.867672 |
| 18 | Ц/В,a1 | **18.06468458** | 0.974581991 | 18.53582845 | 1.2958E-62 | 16.15120193 | 19.9781672 |
| 19 | Щ/Ц,a2 | **1.285200922** | 0.73574617 | 1.746799337 | **0.081114502** | -0.159354331 | 2.72975617 |
| 20 | П/Ц,a3 | **-1.477139111** | 0.733778706 | -2.013058024 | 0.044494194 | -2.917831468 | -0.0364468 |
| 21 | Шл/Ц,a4 | **9.543755604** | 0.85966549 | 11.10170842 | 1.79227E-26 | 7.855898638 | 11.2316126 |
| 22 | LgT,a5 | **18.66505756** | 0.620968977 | 30.057955 | 9.2037E-128 | 17.44585448 | 19.8842606 |
| 23 | | | | | Статистическая | | |
| 24 | | | | | значимость | | |
| 25 | | | | | регрессионных | | |
| 26 | | | | | коэффициентов | | |

Рис. 2. Анализ модели (7)

Адекватность модели оценивалась по численным значениям коэффициента детерминированности *R*-квадрат (он должен быть близок к 1) и значимости *F*-критерия Фишера (она должна быть много меньше 0,05). Для значимости всех регрессионных коэффициентов их *P*-значения должны быть меньше 0,05. Это было достигнуто за исключением коэффициента $a_2$. Погрешность модели оценивалась по численному значению стандартной ошибки выходной переменной, оно должно быть, как можно меньше. Несмотря на то, что модель можно признать статистически удовлетворительной, была предпринята попытка ее улучшить.

В качестве уточненной модели была рассмотрена следующая формула:

$$f_б = a_0 + a_1 \frac{\text{цемент}}{\text{вода}} + a_2 \frac{\text{щебень}}{\text{цемент}} + a_3 \frac{\text{песок}}{\text{цемент}} + a_4 \frac{\text{шлак}}{\text{цемент}} + \\ + a_5 \frac{\text{зола}}{\text{цемент}} + a_6 \lg(T). \tag{8}$$

где учитывалось влияние зольной пыли. Далее был проведен анализ уточненной модели и получены результаты (рис. 3).

Сравнивая результаты исследований, можно отметить, что адекватность модели повысилась, а погрешность снизилась, но коэффициент $a_3$ больше 0,05.

Поэтому была рассмотрена еще одна модель, где помимо влияния зольной пыли учитывался пластификатор:

$$f_б = a_0 + a_1 \frac{\text{цемент}}{\text{вода}} + a_2 \frac{\text{щебень}}{\text{цемент}} + a_3 \frac{\text{песок}}{\text{цемент}} + a_4 \frac{\text{шлак}}{\text{цемент}} + \\ + a_5 \frac{\text{зола}}{\text{цемент}} + a_6 \frac{\text{пластификатор}}{\text{цемент}} + a_7 \lg(T). \tag{9}$$

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ВЫВОД ИТОГОВ | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | *Регрессионная статистика* | | | | | | |
| 4 | Множественный R | 0.87870251 | | | | | |
| 5 | R-квадрат | **0.772118101** | **Адекватность модели** | | | | |
| 6 | Нормированный R-квадрат | 0.770145097 | | | | | |
| 7 | Стандартная ошибка | **8.025188028** | **Погрешность модели** | | | | |
| 8 | Наблюдения | 700 | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | Дисперсионный анализ | | | | | | |
| 11 | | *df* | *SS* | *MS* | *F* | *Значимость F* | |
| 12 | Регрессия | 6 | 151222.9031 | 25203.81719 | 391.3414841 | **1.0109E-218** | |
| 13 | Остаток | 693 | 44631.72452 | 64.40364289 | | **Адекватность модели** | |
| 14 | Итого | 699 | 195854.6277 | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | *Коэффициенты* | *Стандартная ошибка* | *t-статистика* | *P-Значение* | *Нижние 95%* | *Верхние 95%* |
| 17 | Y-пересечение, a0 | -17.31154798 | 2.996443319 | -5.777365409 | 1.14643E-08 | -23.19474388 | -11.428352 |
| 18 | Ц/В,a1 | 17.82297842 | 0.882698126 | 20.19147644 | 1.18136E-71 | 16.08989508 | 19.5560618 |
| 19 | Щ/Ц,a2 | -1.76988335 | 0.710410395 | -2.491353397 | 0.012958567 | -3.16469816 | -0.3750685 |
| 20 | П/Ц,a3 | -0.889899962 | 0.666124779 | -1.335935833 | **0.182008784** | -2.197764703 | 0.41796478 |
| 21 | Шл/Ц,a4 | 15.53075133 | 0.916289135 | 16.94961856 | 3.59925E-54 | 13.73171564 | 17.329787 |
| 22 | З/Ц,a5 | 15.08459997 | 1.217861006 | 12.3861425 | 5.69715E-32 | 12.69346017 | 17.4757398 |
| 23 | LgT,a6 | 18.66950748 | 0.562286505 | 33.20283755 | 2.1466E-145 | 17.56551809 | 19.7734969 |
| 24 | | | | | Статистическая | | |
| 25 | | | | | значимость | | |
| 26 | | | | | регрессионных | | |
| 27 | | | | | коэффициентов | | |

Рис. 3. Анализ уточненной модели (8)

По анализу модели были получены результаты, приведенные на рис. 4. Адекватность модели улучшилась, погрешность еще более снизилась. Все регрессионные коэффициенты являются значимыми, так как их *P*-значения меньше 0,05.

Оценим предсказательные свойства полученной модели по контрольной выборке. Для этого рассчитаем $f_6$ для набора факторов контрольной выборки. Это выполняется с помощью встроенной в MS Excel функции ТЕНДЕНЦИЯ.

Вычислим стандартную ошибку контрольной выборки. Она равна 8,507. Это говорит о хороших предсказательных свойствах последней модели.

| | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ВЫВОД ИТОГОВ | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | *Регрессионная статистика* | | | | | |
| 4 | Множественный R | 0.882274886 | | | | |
| 5 | R-квадрат | **0.778408974** | **Адекватность модели** | | | |
| 6 | Нормированный R-квадрат | 0.776167447 | | | | |
| 7 | Стандартная ошибка | **7.919357623** | **Погрешность модели** | | | |
| 8 | Наблюдения | 700 | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | Дисперсионный анализ | | | | | |
| 11 | | *df* | *SS* | *MS* | *F* | *Значимость F* |
| 12 | Регрессия | 7 | 152454.9999 | 21779.28569 | 347.2671647 | **1.323E-221** |
| 13 | Остаток | 692 | 43399.62781 | 62.71622516 | | **Адекватность модели** |
| 14 | Итого | 699 | 195854.6277 | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | *Коэффициенты* | *Стандартная ошибка* | *t-статистика* | *P-Значение* | *Нижние 95%* |
| 17 | Y-пересечение, a0 | **-14.5025402** | 3.024081543 | -4.79568424 | 1.98617E-06 | -20.4400158 |
| 18 | Ц/В,a1 | **16.26862896** | 0.939000002 | 17.32548341 | 3.95794E-56 | 14.42499825 |
| 19 | Щ/Ц,a2 | **-1.567603551** | 0.702525921 | -2.231381797 | 0.025975388 | -2.946941527 |
| 20 | П/Ц,a3 | **-1.317074448** | 0.664368054 | -1.982446991 | 0.047824312 | -2.621493345 |
| 21 | Шл/Ц,a4 | **14.19825259** | 0.952873196 | 14.90046382 | 9.38617E-44 | 12.32738328 |
| 22 | З/Ц,a5 | **10.27648771** | 1.618973526 | 6.347532897 | 3.95756E-10 | 7.097798357 |
| 23 | Пл/Ц,a6 | **84.33682223** | 19.02763401 | 4.432333636 | 1.08369E-05 | 46.97800398 |
| 24 | LgT,a7 | **18.61103343** | 0.555028287 | 33.53168455 | 3.7773E-147 | 17.52129201 |
| 25 | | | | | Статистическая | |
| 26 | | | | | значимость | |
| 27 | | | | | регрессионных | |
| 28 | | | | | коэффициентов | |

Рис. 4. Анализ результирующей модели (9)

Таким образом, создание адекватной математической модели кинетики твердения бетона дает возможность достаточно надежно спрогнозировать прочность бетона на сжатие, используя различные комбинации бетонных смесей и результаты определенных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фере Р.* Технология строительных вяжущих материалов. СПб., 1902.

2. *Powers T., Brownyard T.* Studies of physical properties of hardened portland-cementpaste // Proc. Amer. Concrete Ins., 1947.

3. *Волженский А. В.* Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1973. 479 с.

4. *Abrams D. A.* Design of concrete mixtures // Bulleten 1: Structural Materials Research Laboratory. Chicago: Lewis Instityte, 1918.

5. *Беляев Н. М.* Метод подбора состава бетона. Опыты механической лаборатории ЛИИПСа по применению американского способа (по Абрамсу) дозировки бетона. Л., 1927. 48 с.

6. *Bolomey J.* Deformation elastigues, plastigues et de retrait de guelgues betons // Bulleten technique de la Suisse Romande. 1942. Ann. 68. No. 15. 80 p.

7. *Баженов Ю. М.* Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат, 1975. 272 с.

8. Получение бетона заданных свойств / Ю. М. Баженов, Г. И. Горчаков, Л. А. Алимов, В. В. Воронин. М.: Стройиздат, 1978. 53 с.

9. *Скрамтаев Б. Г.* Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат, 1966. 160 с.

10. *Гершберг О. А.* Уточнение формулы прочности тяжелого бетона на основе физической интерпретации закона водоцементного отношения // Бетон и железобетон. 1974. № 9. С. 5—7.

11. *Шмигальский В. Н.* Оптимизация составов цементобетонов. Кишинев: Штиинца, 1981. 124 с.

12. *Сизов В. П.* Проектирование составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1979. 144 с.

13. *Васильев А. А.* Оценка прочности бетона и ее прогнозирование для бетонных и железобетонных конструкций // Вестник Гомельского гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. 2005. Вып. 4(23). С. 3—9.

14. *Chidiac S. E., Moutassem F., Mahmoodzadeh F.* Compressive strength model for concrete // Magazine of Concrete Research. 2013. Vol. 65. No. 9. Pp. 557—572.

15. *Moutassem F., Chidiac S. E.* Assessment of concrete compressive strength prediction models // KSCE Journal Civil Engineering. 2016. Vol. 20. No. 1. Pp. 343—358.

16. *Chopra P., Sharma R. K., Kumar M.* Predicting compressive strength of concrete for varying workability using regression models // International Journal of Engineering & Applied Sciences. 2014. Vol. 6. No. 4. Pp. 10—22.

17. Predicting compressive strength of concrete / R. Aggarwal, M. Kumar, R. K. Sharma, M. K. Sharma // International Journal of Engineering & Applied Sciences. 2015. Vol. 13. No. 2. Pp. 171—185.

18. *Kwangryul H., Nodichi T., Tomosawa F.* Prediction model of compressive strength development of fly-ash concrete // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. Iss. 12. Pp. 2269—2276.

19. *Elaty M. A.* Compressive strength prediction of Portland cement concrete with age using a new model // HBRC Journal. 2014. Vol. 10. No. 2. Pp. 145—155.

20. *Бутенко Г. А.* Множественная нелинейная регрессионная модель прочности бетона на сжатие // XXI Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: тез. докл. Волгоград, 2016. С. 203—204.

*© Михайлова Н. А., Стефаненко И. В., 2017*

*Поступила в редакцию
в июне 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Михайлова Н. А., Стефаненко И. В.* Множественные регрессионные модели прочности бетона на сжатие // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 30—42.

*Об авторах:*

**Михайлова Наталия Анатольевна** — канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры математики и информационных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, michailova_natalia@rambler.ru

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

***N. A. Mikhailova, I. V. Stefanenko***

## MULTIPLE REGRESSION MODELS OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH

In the paper the existing theories and mathematical models of concrete strength, their advantages and disadvantages are analyzed. Based on it the author proposes multiple regression models of concrete compressive strength. In the developed models in addition to the time factor and the water-cement ratio the influence of aggregates and additives is taken into account as well.

Statistical analysis of the proposed models for adequacy is carried out, the assessment of the statistical significance of the regression coefficients and the modeling errors are obtained.

K e y  w o r d s: concrete, compressive strength, water-cement ratio, multiple regression, mode statistical analysis.

REFERENSES

1. Fere R. *Tekhnologiya stroitel'nykh vyazhushchikh materialov* [Construction binding materials engineering]. Saint Petersburg, 1902.

2. Powers T., Brownyard T. Studies of physical properties of hardened portland-cementpaste. *Proc. Amer. Concrete Ins*., 1947.

3. Volzhenskii A. V. *Mineral'nye vyazhushchie veshchestva* [Mineral binding materials. Moscow, Stroiizdat Publ., 1973. 479 p.

4. Abrams D. A. Design of concrete mixtures. *Bulleten 1: Structural Materials Research Laboratory*. Chicago, Lewis Instituyte, 1918.

5. Belyaev N. M. *Metod podbora sostava betona. Opyty mekhanicheskoi laboratorii LIIPSa po primeneniyu amerikanskogo sposoba (po Abramsu) dozirovki betona* [Trial-and-error method of concrete composition. Experiments of mechanical laboratory of PGUPS on application of the American way (Abrams' law) of concrete dosages]. Leningrad, 1927. 48 p.

6. Bolomey J. Deformation elastigues, plastigues et de retrait de guelgues betons. *Bulleten technique de la Suisse Romande*, 1942, ann. 68, no. 15. 80 p.

7. Bazhenov Yu. M. *Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnykh vidov* [Methods of composition analysis of concrete of different types]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1975. 272 p.

8. Bazhenov Yu. M., Gorchakov G. I., Alimov L. A., Voronin V. V. *Poluchenie betona zadannykh svoistv* [Tailor-made concrete production]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1978. 53 p.

9. Skramtaev B. G. *Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnykh vidov* [Methods of composition analysis of concrete of different types]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1966. 160 p.

10. Gershberg O. A. [Refinement of strength formula for heavy weight concrete on the basis of physical interpretation of Abrams' law]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1974, no. 9, pp. 5—7.

11. Shmigal'skii V. N. *Optimizatsiya sostavov tsementobetonov* [Optimization of cement concrete composition]. Chisinau, Shtiintsa Publ., 1981. 124 p.

12. Sizov V. P. *Proektirovanie sostavov tyazhelogo betona* [Design of heavy weight concrete composition]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1979. 144 p.

13. Vasil'ev A. A. [Assessment of concrete strength and its forecast for concrete and reinforced concrete structures]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Sukhogo* [Bulletin of Suchoi State Technical University of Gomel], 2005, no. 4(23), pp. 3—9.

14. Chidiac S. E., Moutassem F., Mahmoodzadeh F. Compressive strength model for concrete. *Magazine of Concrete Research*, 2013, 65(9), pp. 557—572.

15. Moutassem F., Chidiac S. E. Assessment of concrete compressive strength prediction models. *KSCE Journal Civil Engineering*, 2016, 20(1), pp. 343—358.

16. Chopra P., Sharma R. K., Kumar M. Predicting compressive strength of concrete for varying workability using regression models. *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 2014, 6(4), pp. 10—22.

17. Aggarwal R., Kumar M., Sharma R. K., Sharma M. K. Predicting compressive strength of concrete. *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 2015, 13(2), pp. 171—185.

18. Kwangryul H., Nodichi T., Tomosawa F. Prediction model of compressive strength development of fly-ash concrete. *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(12), pp. 2269—2276.

19. Elaty M. A. Compressive strength prediction of Portland cement concrete with age using a new model. *HBRC Journal*, 2014, 10(2), pp. 145—155.

20. Butenko G. A. [Multiple nonlinear regression model of concrete compression strength]. [21 Regional Conference of Young Researchers in Volgograd Oblast. Thesis reports]. Volgograd, 2016. Pp. 203—204.

*For citation:*

Mikhailova N. A., Stefanenko I. V. [Multiple regression models of concrete compressive strength]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 30—42.

*About authors:*

**Mikhailova Nataliya Anatol'evna** — Candidate of Physical and Mathematical Science, Docent of Mathematics and Information Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, michailova_natalia@rambler.ru

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

УДК 621.81

***О. В. Бурлаченко, А. А. Ляшенко, М. В. Иванов***

***Волгоградский государственный технический университет***

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Рассмотрена проблема технологического обеспечения работоспособности машин и механизмов. Проанализированы существующие методологии обеспечения работоспособности. Выявлена и обоснована необходимость усовершенствования существующих методологий путем внедрения в модель жизненного цикла фазы совершенствования механизма. На основе проведенного исследования разработана модель жизненного цикла машин, а также ее математическое и технико-аппаратное обеспечение.

Ключевые слова: износ, математическое моделирование, граф переходов, вероятность, оптимизация, жизненный цикл, работоспособность.

На сегодняшний день обеспечение максимально возможной работоспособности машин является первостепенной задачей при создании любой механической системы вне зависимости от ее сложности и назначения. Решение данной задачи заключается в выявлении факторов, которые имеют существенное воздействие на эксплуатационные свойства исследуемого механизма. Только управляя каждым из таких факторов, можно обеспечить работоспособность любой технической системы.

Учитывая тот факт, что около 80 % выходов из строя машин связано с износом их деталей [1], для обеспечения работоспособности всего механизма необходимо создать условия, позволяющие осуществлять бесперебойную работу каждой детали, особенно важно обращать внимание на самые нагруженные трибосопряжения.

По собранным данным из различных литературных источников [2—9] одним из активно развивающихся направлений повышения износостойкости являются всевозможные воздействия на поверхностный слой особо нагруженных деталей машин и механизмов. Различают достаточно большое количество способов воздействия, такие как: наплавка, магнитная обработка, механическое упрочнение, термический, электрофизический, комбинированный способы и др. Помимо этого, работы ведутся в области смазки и других перспективных методов повышения износостойкости. Применение каждого из них имеет определенное воздействие на триботехнические свойства, а соответственно и на конечную работоспособность всего механизма, поэтому требуется разработка общей методологии подбора наиболее эффективных способов и внедрение наиболее подходящего из них в зависимости от конкретного механизма, воздействий на него и среды, в которой он находится.

Вероятностный подход — это один из вариантов решения существующей проблемы. Он применяется для прогнозирования работоспособного состояния машины в определенный период времени. Реализуется данный способ путем построения модели жизненного цикла наиболее часто выходящего из строя сопряжения в виде графа переходов [10] из одной фазы (ситуации) в другую. Это позволяет представить любое трибосопряжение как изменяющую свое со-

стояние в процессе жизненного цикла стохастическую систему. Основываясь на работах Ю. М. Соломенцева, Ю. П. Сердобинцева и др. [10—20], возможно допустить, что любой механизм может являться адаптивной системой, т. е. приспосабливающийся к изменению нагрузки или изменившимся внешним воздействиям. Согласно данной методике, мы предложили способ наиболее эффективного технологического решения. Оптимизация в такой системе, в соответствии с полученными переменными, производится по критерию оптимизации. Именно благодаря точности выбора данного критерия, система будет иметь наиболее высокую эффективность. В связи с этим нами был предложен критерий выбора наиболее эффективного технологического решения, направленного на обеспечение работоспособности механизма:

$$K_{ij} = \min\left|\sum_{k=1}^{m} Z_{ijk} \cdot H_{ijk} \cdot P_{ijk}\right|, \qquad (1)$$

где $K_{ij}$ — приведенный критерий, оценивающий эффективность $j$-го уровня $i$-й технологии, примененной для обеспечения работоспособности; $k$ — номер фазы (ситуации), возникающей с вероятностью $P_{ijk}$, при этом вызывая затраты $Z_{ijk}$ и износ $H_{ijk}$.

Величина $Z_{ijk}$ представляет собой отношение затрат на реализацию машины или механизма к получаемому техническому эффекту.

Износ определяют двумя способами в зависимости от геометрических размеров детали, а также ее назначения и условий работы. Первый способ — это так называемый способ искусственных баз.

По этому способу на поверхности трения детали вырезают специальным прибором и инструментом маленькие лунки с заранее известными геометрическими характеристиками и отслеживают их изменение в зависимости от износа. Толщину изношенного слоя можно рассчитать по формуле [12]:

$$H_{ijk} = h_1 - h_2 = \frac{1}{8}(l_1^2 - l_2^2)\frac{1}{r}. \qquad (2)$$

Такой способ применяется для деталей и узлов, в которых возможно нанесение баз, без ухудшения эксплуатационных свойств наблюдаемого механизма, например на различных валах, поршнях и т. д. В остальных случаях возможно применение метода меченых атомов. В данном случае в поверхностный слой детали вводится радиоактивное вещество, а износ определяют благодаря измерительным датчикам, определяющим величину излучения, обнаруживая радиоактивные частицы в любой среде и измеряя их количество, высчитывают износ конкретной детали.

Оптимизация механизма как адаптивной системы по данному критерию, в сравнении с уже существующими, дает более полное описание картины его жизненного цикла, учитывает влияние фактического износа деталей, а также затраты и вероятности появления отказа в той или иной ситуации на эффективность применяемых технологий по обеспечению работоспособности.

Для определения вероятности пребывания трибосопряжения в той или иной фазе (ситуации) при заданном ресурсе была составлена матрица переходов с одного уровня на другой. Воспользовавшись моделью жизненного цикла в виде графа переходов (рис. 1) и полученной матрицей, получаем:

1. Вероятность пребывания детали или узла в фазе эксплуатации при отсутствии отказов:

$$P_{ij3,n} = \frac{\sum_{0}^{n} p'_{3,n}(3,n-1) + p'_{3,n}(5)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}, \quad (3)$$

где $T = 7$ — общее количество фаз (ситуации).

2. Проектирование:

$$P_{ij1} = \frac{p'_1(2) + p'_1(6) + p'_1(7)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}. \quad (4)$$

3. Производство и продвижение к потребителю:

$$P_{ij2} = \frac{p'_2(1)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}. \quad (5)$$

Отказ:

$$P_{ij4} = \frac{p'_4(3,n) + p'_4(1) + p'_4(2)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}. \quad (6)$$

4. Восстановление:

$$P_{ij5} = \frac{p'_5(3,n) + p'_5(4)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}. \quad (7)$$

5. Совершенствование:

$$P_{ij6} = \frac{p'_6(3,n) + p'_6(4)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}. \quad (8)$$

6. Утилизацию:

$$P_{ij7} = \frac{p'_7(6)}{1 + \sum_{k=0}^{T-1} p'_k(k-1)}. \quad (9)$$

При варьировании всех уровней управляемых факторов учитывали различные ограничения, возникающие в зависимости от фазы жизненного цикла, например, по режимам работы в фазе эксплуатации, механической и физико-технической обработке, в фазах совершенствования, восстановления и производства и т. д.

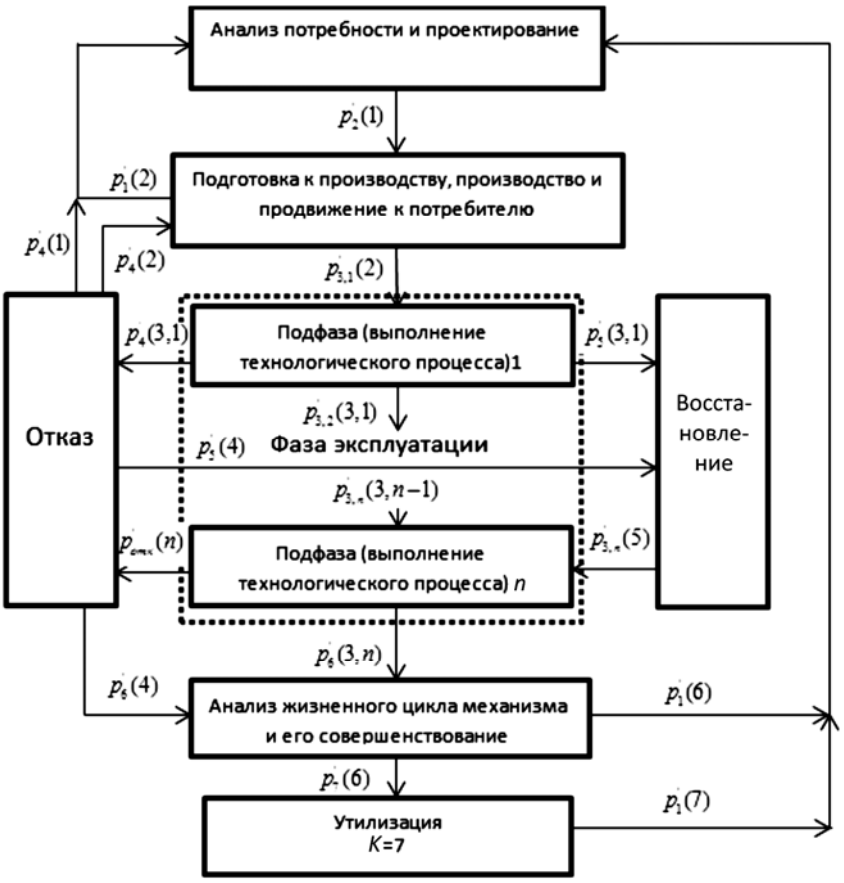



Рис. 1. Модель жизненного цикла машины с учетом фазы совершенствования в виде графа переходов

Так как на сегодняшний день создается множество механических систем, каждая из них имеет различные недостатки. Примером может служить недостаточно износостойкий поверхностный слой ответственного трибосопряжения, при выходе из строя которого невозможна дальнейшая полноценная работа всего механизма. При отказе такой машины в существующих моделях ее либо восстанавливали любым из известных способов, или же утилизировали как механизм с нецелесообразным ремонтом, а далее жизненный цикл повторялся. Изученные модели работ по данной теме [11—20] не принимали во внимание такой фактор, как совершенствование уже созданных систем, будь то лазерная обработка деталей для увеличения износостойкости поверхностного слоя нагруженных деталей, или же магнитная и другие обработки с той же целью — все эти способы прочно закрепляются в производстве машин и механизмов. И в данный момент, когда основная масса научных работ ведется над доработкой уже созданных механизмов, нельзя пренебрегать таким этапом жизненного цикла машины, как совершенствование. Основываясь на этом, нами была предложена модель, где данный фактор является следующим этапом жизненного цикла после отказа механизма. Это позволяет рассмотреть отказ не как переход от работоспособного состояния к утилизации, а как способ доработать

любую механическую систему и впоследствии обеспечить ее более высокую работоспособность, более высокие производственные показатели и в целом продлить срок существования любых машин путем всевозможных воздействий на выходящие из строя узлы.

В предложенной нами методологии за основу взята концепция многоконтурного управления эксплуатационными свойствами машин и механизмов, которая описывает каждый узел механизма на протяжении всего жизненного цикла. При этом разработанная методология позволяет реализовывать функции беспоисковой системы адаптивного оптимального обеспечения работоспособности. Другими словами, при помощи описанных вероятностных методов, уже в начальных фазах создания какого-либо механизма, предложенная методология позволяет выбрать оптимальное решение по обеспечению работоспособности, путем изменения триботехнических свойств в поверхностном слое его деталей. Однако в условиях бесконечного количества воздействий, меняющихся нагрузок, температурных режимов и т. д. на всем протяжении эксплуатации, при проектировании просто невозможно учесть все воздействующие факторы и их сочетания. Поэтому при прохождении машины или механизма по всем фазам жизненного цикла для решения поставленной задачи о последующем применении той или иной технологии повышения износостойкости поверхностей выходящих из строя трибосопряжений необходима информация обо всех воздействиях, которые испытывает данный механизм в конкретной среде. Информация, собранная при помощи установленных заранее автоматизированных датчиков, позволит корректировать принятые ранее технологические воздействия и осуществлять адаптивное управление. Применяемые датчики предлагается объединить в единую диагностическую систему с автоматическим сбором информации. Такой подход по отслеживанию фактического состояния деталей механизма позволит сократить число отказов и в последующем сохранить время, которое обычно тратится на восстановление машины после отказа.

В разработанной методологии структура информационного обеспечения выбора одного из альтернативных технологических воздействий и их параметров на выходящие из строя трибосопряжения соответствует алгоритму поэтапного обращения к ресурсам различных уровней в процессе обеспечения общей работоспособности всего механизма (рис. 2).

Данная блок-схема [19] позволяет оптимизированно принимать технологические решения при адаптивном управлении различных механизмов.

Для обеспечения выбора наиболее эффективного применения технологических воздействий на исследуемый механизм, все данные, которые получаются датчиками и другими устройствами отслеживания технического состояния механизма, записываются в базу данных. Она имеет иерархическую структуру, а в ее основе лежит характеристическое уравнение, описывающее все признаки и характеристики управляемой механической системы. Включает в себя значения параметров контактного взаимодействия, расчетные значения, значения, полученные с установленных автоматических датчиков, при этом в базу данных вносятся всевозможные ситуации под своим порядковым номером и допустимые значения требуемых эксплуатационных свойств для обеспечения работоспособности в соответствии со степенью ответственности каждого узла и его функциональным назначением.

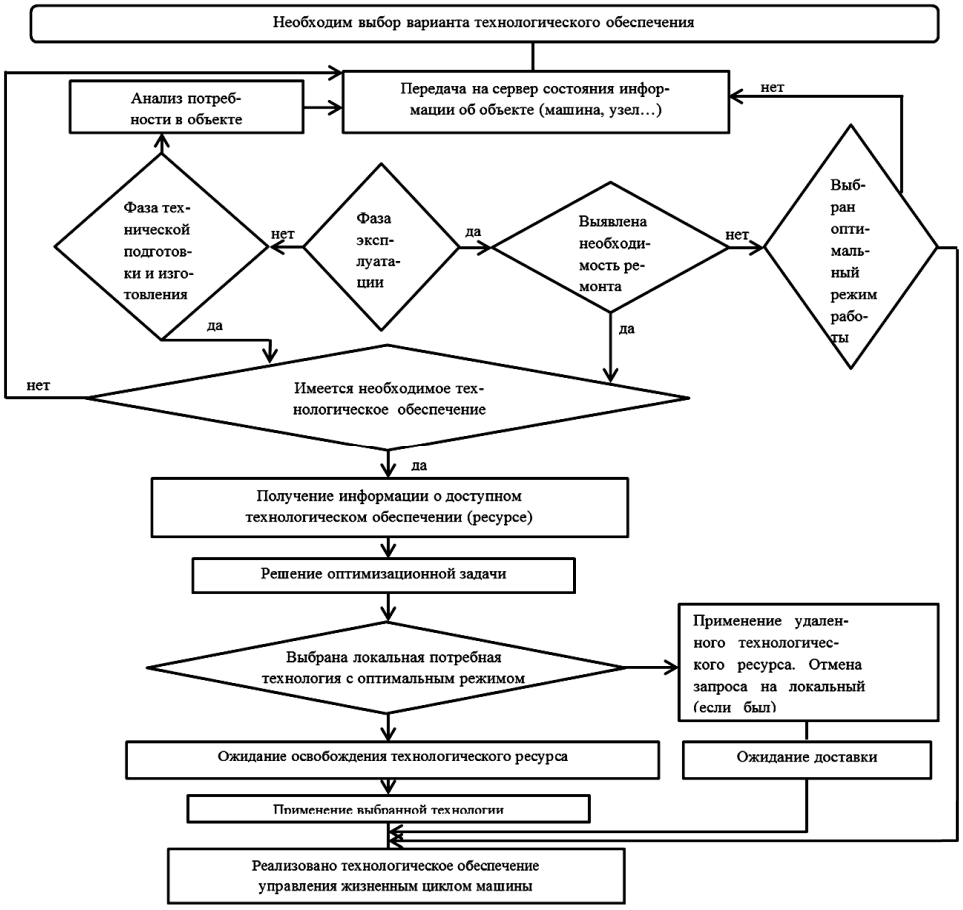



Рис. 2. Алгоритм технологического обеспечения управления жизненным циклом машины

Реализация системы по подбору эффективного технологического решения, а следовательно, и по обеспечению работоспособности механических систем осуществляется по предложенной нами схеме (рис. 3). Данная схема разработана на основании работы [20] и усовершенствована путем внесения новых составляющих применительно к обеспечению работоспособности машины, как системы, состоящей из множества узлов и сопряжений, которые с определенной вероятностью могут выйти из строя в тот или иной момент жизненного цикла машины. При этом после отказа производится совершенствование механизма при помощи применения одного из видов упрочняющей поверхностной обработки с учетом факторов, которые привели к отказу.

Предлагаемая схема состоит из технических средств, направленных на диагностику и контроль значений износа в сравнении со значениями из базы, а также выбор и реализацию определенной технологии для совершенствования вышедшего из строя трибосопряжения, в соответствии с полученными данными. Математическим обеспечением интеграции отдельных подсистем в единую иерархическую структуру управляющей системы является аппарат теории массового обслуживания.

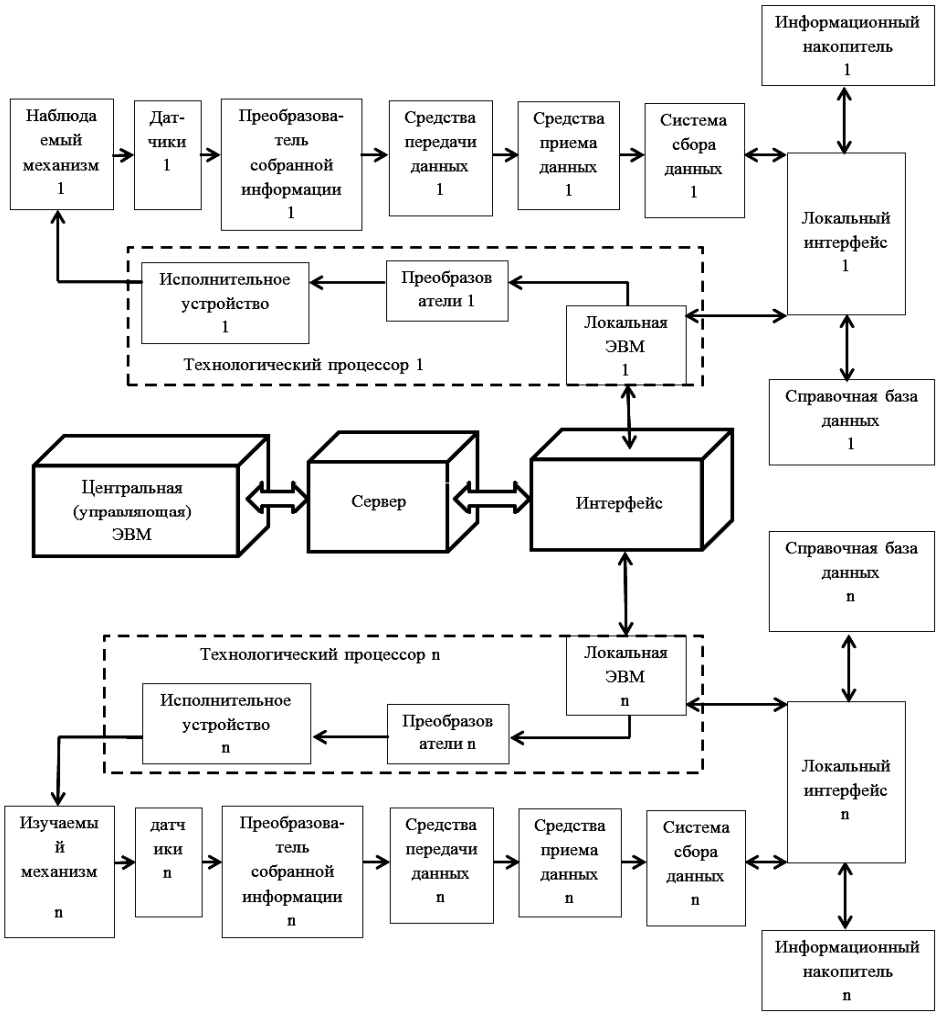



Рис. 3. Обобщенная структурная схема технико-аппаратного обеспечения работоспособности механических систем

Таким образом, нами разработана методология оценки вариантов и параметров технологического обеспечения, позволяющая принимать наиболее эффективное технологическое решение по критерию, включающему технические и экономические показатели. В основу предложенной методологии легла доработанная модель жизненного цикла механизма, в которую был включен процесс совершенствования и доработки выходящих из строя сопряжений и узлов.

В соответствии с предложенной моделью жизненного цикла машины как адаптивной системы, нами был выбран критерий оптимизации, включающий в себя факторы, наиболее широко охватывающие жизненный цикл любого механизма, а значит, более полно отражающий техническое состояние исследуемой системы и позволяющий принимать наиболее верные решения в дальнейшем. Предложенный нами критерий оптимизации включает в себя соотношение износа каждой детали, затраты на их создание, восстановление

и совершенствование, а также вероятность появления отказа в зависимости от фазы жизненного цикла, в которой находится рассматриваемый механизм.

Дополнительно нами был подобран алгоритм технологического обеспечения управления жизненным циклом машины и разработана структурная схема технико-аппаратного обеспечения работоспособности механических систем, в которых мы постарались полностью охватить процесс обеспечения работоспособности машин и механизмов.

Подобный подход, в отличие от существующих, позволяет применять наиболее эффективные методы совершенствования поверхностей трения различных трибосопряжений, для повышения работоспособности механической системы, основываясь на данных, полученных в процессе всего жизненного цикла исследуемого механизма. При этом, учитывая постоянный контроль технического состояния механизма, позволяет вести корректировку принятого ранее решения, в зависимости от изменяющихся условий работы и фактического состояния узлов и деталей машины.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Степаненко Е. А.* Математические методы оценивания надежности технических систем и техногенного риска. Ч. 1. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2010. 201 с.

2. *Kragelskii I. V.* Friction and Wear. London: Butterworths, 1965. 346 p.

3. *Korolev A. V., Korolev A. A.* Friction machine for accelerated wear tests of frictional rolling elements // Journal of Friction and Wear. 2017. No. 38. Pp. 77—81.

4. *Mellor B. G.* Surface Coatings for Protection Against Wear. Woodhead Publishing, 2006. 448 p.

5. Influence of phosphate and phosphonate ionic liquid structures on lubrication for different alloys (Mg, Al, Cu) / H. Yunyan, Q. Dan, Z. Songwei, F. Dapeng // Tribology International. 2017. Vol. 114. Pp. 469—477.

6. *Sugihara T., Enomoto T.* Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces // Precision Engineering. 2013. Vol. 37. Pp. 888—896.

7. *Burlachenko O. V., Ivanov M. V.* Increase of Durability Transmission Mechanism Based on the Laser Processing Improvement // Procedia Engineering. Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / ed. by A. A. Radionov. Elsevier Publishing, 2016. Pp. 464—467.

8. *Костецкий Б. И.* Трение, смазка и износ в машинах. Киев: Техника, 1970. 396 с.

9. *Степанова Т. Ю.* Технологии поверхностного упрочнения деталей машин. Иваново, 2009. 64 с.

10. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2002. 479 с.

11. *Бурлаченко О. В.* Технологическое обеспечение работоспособности машин. Волгоград, 2002. 196 с.

12. *Зазыкин А. В., Репин С. В., Чмиль В. П.* Расчетные модели обеспечения работоспособности и эффективности транспортно-технологических машин в эксплуатации. СПб.: Санкт-Петербургский гос. архит.-строит. ун-т; ЭБС АСВ, 2015. 96 с.

13. *Ковальчук Е. Р.* Основы автоматизации машиностроительного производства / под ред. Ю. М. Соломенцева. М.: Высшая школа, 2001. 311 с.

14. *Орлов Б. Н., Новиченко А. И., Орлов Н. Б.* Методология обоснования рационального технологического процесса восстановления работоспособности машин и оборудования // Природообустройство. 2015. № 4. С. 88—90.

15. *Проников А. С.* Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.

16. *Myshkin N., Goryacheva I.* Tribology: Trends in the half-century development // Journal of Friction and Wear. 2016. Vol. 37. Pp. 513—516.

17. Life Cycle Tribology / D. Dowson, M. Priest, G. Dalmaz, A. Lubrecht // Elsevier Science. 2005. Vol. 48. 900 p.

18. Modeling of abrasive wear by the meshless smoothed particle hydrodynamics method / P. Baranowski, K. Damaziak, J. Malachowski, V. Sergienko, S. Bukharov // Journal of Friction and Wear. 2016. Vol. 37. Pp. 94—99.

19. Сердобинцев Ю. П., Бурлаченко О. В. Обеспечение эффективности управления эксплуатационными свойствами трибосопряжений технологического оборудования в процессе жизненного цикла. Волгоград, 2005. 353 с.

20. Малоэтажное строительство в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России»: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области: материалы международной научно-практической конференции, 15—16 декабря 2009 г. Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. 484 с.

*© Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Иванов М. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в мае 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Иванов М. В.* Математическое обеспечение работоспособного состояния машин и механизмов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 43—52.

*Об авторах:*

**Бурлаченко Олег Васильевич** — д-р техн. наук, доцент, проректор по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, oburlachenko@yandex.ru

**Ляшенко Александр Александрович** — аспирант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, lyashenko2626@mail.ru

**Иванов Максим Витальевич** — аспирант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, clevermax18@mail.ru

***O. V. Burlachenko, A. A. Lyashenko, M. V. Ivanov***

## MATHEMATICAL SUPPORT OF OPERATING CONDITION OF MACHINES AND MECHANISMS

The article considers the problem of technological support of performance capacity of machines and mechanisms. The authors analyze existing methodologies of support of performance capacity, identify and substantiate the necessity to improve existing methodologies introducing the phase of improvement of mechanism into the life cycle model. On the basis of this study, the model of life cycle of machines and its mathematical, technical and hardware support are developed.

K e y  w o r d s: wear, mathematical modeling, transition graph, probability, optimization, life cycle, performance capacity.

REFERENSES

1. Stepanenko E. A. *Matematicheskie metody otsenivaniya nadezhnosti tekhnicheskikh sistem i tekhnogennogo riska. Ch. 1* [Mathematical methods of assessment of reliability of engineering systems and technology-related risk. Part 1]. Krasnodar, Kuban State University, 2010. 201 p.

2. Kragelskii *I. V. Friction and Wear*. London, Butterworths, 1965. 346 p.

3. Korolev A. V., Korolev A. A. Friction machine for accelerated wear tests of frictional rolling elements. *Journal of Friction and Wear*, 2017, no. 38, pp. 77—81.

4. Mellor B. G. *Surface Coatings for Protection Against Wear*. Woodhead Publishing, 2006. 448 p.

5. Yunyan H., Dan Q., Songwei Z., Dapeng F. Influence of phosphate and phosphonate ionic liquid structures on lubrication for different alloys (Mg, Al, Cu). *Tribology International*, 2017, vol. 114, pp. 469—477.

6. Sugihara T., Enomoto T. Crater and flank wear resistance of cutting tools having micro textured surfaces. *Precision Engineering*, 2013, vol. 37, pp. 888—896.

7. Burlachenko O. V., Ivanov M. V. Increase of Durability Transmission Mechanism Based on the Laser Processing Improvement. *Procedia Engineering. Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016).* Elsevier Publishing, 2016. Pp. 464—467.

8. Kostetskii B. *Trenie, smazka i iznos v mashinakh* [Friction, lubricant and depletion in machines]. Kiev, Tekhnika Publ., 1970. 396 p.

9. Stepanova T. Yu. *Tekhnologii poverkhnostnogo uprochneniya detalei mashin* [Technologies of surface strengthening of machine components]. Ivanovo, 2009. 64 p.

10. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika* [The theory of probability and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2002. 479 p.

11. Burlachenko O. V. *Tekhnologicheskoe obespechenie rabotosposobnosti mashin* [Engineering support of machine operational capability]. Volgograd, 2002. 196 p.

12. Zazykin A. V., Repin S. V., Chmil' V. P. *Raschetnye modeli obespecheniya rabotosposobnosti i effektivnosti transportno-tekhnologicheskikh mashin v ekspluatatsii* [Computing models of assurance of operational capability and efficiency of transport and technological machines in operation]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; EBS ASB, 2015. 96 p.

13. Koval'chuk E. R. [Fundamentals of automation of machinery production]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2001. 311 p.

14. Orlov B. N., Novichenko A. I., Orlov N. B. [Methodology of justification of practical technological process of maintenance of machines and equipment]. *Prirodoobustroistvo* [Environmental engineering], 2015, no. 4, pp. 88—90.

15. Pronikov A. S. *Nadezhnost' mashin* [Reliability of machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 592 p.

16. Myshkin N., Goryacheva I. Tribology: Trends in the half-century development. *Journal of Friction and Wear,* 2016, vol. 37, pp. 513—516.

17. Dowson D., Priest M., Dalmaz G., Lubrecht A. Life Cycle Tribology. *Elsevier Science,* 2005, vol. 48. 900 p.

18. Baranowski P., Damaziak K., Malachowski J., Sergienko V., Bukharov S. Modeling of abrasive wear by the meshless smoothed particle hydrodynamics method. *Journal of Friction and Wear,* 2016, vol. 37, pp. 94—99.

19. Serdobintsev Yu. P., Burlachenko O. V. *Obespechenie effektivnosti upravleniya ekspluatatsionnymi svoistvami tribosopryazhenii tekhnologicheskogo oborudovaniya v protsesse zhiznennogo tsikla* [Assurance of effective management of operational properties of tribocoupling of production equipment during lifecycle]. Volgograd, 2005. 353 p.

20. *Maloetazhnoe stroitel'stvo v ramkakh Natsional'nogo proekta «Dostupnoe i komfortnoe zhil'e grazhdanam Rossii»: tekhnologii i materialy, problemy i perspektivy razvitiya v Volgogradskoi oblasti* [Low-rise construction within the National project “Affordable and Comfortable Housing for Citizens of Russia”: technologies and materials, problems and prospects of development in Volgograd Oblast. Proc. of the Int. Scientific and Practical Conf., 15—16 December, 2009. Volgograd, VSUACE Publ., 2009. 484 p.

*For citation:*

Burlachenko O. V., Lyashenko A. A., Ivanov M. V. [Mathematical support of operating condition of machines and mechanisms]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 43—52.

*About authors:*

**Burlachenko Oleg Vasil'evich** — Doctor of Engineering Science, Docent, Vice-Rector for Scientific Work, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, oburlachenko@yandex.ru

**Lyashenko Aleksandr Aleksandrovich** — Postgraduate student of Construction Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, lyashenko2626@mail.ru

**Ivanov Maksim Vital'evich** — Postgraduate student of Construction Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, clevermax18@mail.ru

УДК 69.05: 624.01

***Р. А. Матвеев[а], Д. П. Клочков[а], И. В. Стефаненко[а], Д. В. Куранов[б]***

***[а]Волгоградский государственный технический университет***

***[б]ООО «Промтехмониторинг»***

# СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Приводится назначение и средства операционного контроля качества строительно-монтажных работ. Рассмотрены методы определения проектного положения строительных конструкций (балок, ферм, плит и т. д.), методы выполнения плановой и исполнительной съемки колонн и панелей, стереофотограмметрический метод наблюдения за деформациями зданий и сооружений. Обосновывается необходимость совершенствования метода определения высотных отметок строительных конструкций в условиях действующих промышленных предприятий (в связи с наличием производственного оборудования) при их реконструкции и новом строительстве.

Ключевые слова: реконструкция, проектное положение, плановая съемка, исполнительная съемка, колонны, панели, строительные конструкции.

Весь цикл строительного производства невозможен без оценки проектного положения как отдельных конструкций, так и всего сооружения в целом. При этом если при возведении новых зданий и сооружений доступ к строительным конструкциям является в известной степени свободным (кроме строительства в стесненных городских условиях), то в условиях действующих производств наличие большого количества технологического и иного оборудования создает значительности трудности при оценке проектных отметок и вертикальности строительных конструкций (реконструкция, техническое перевооружение и т. д.). Вследствие этого существующие методы контроля проектных отметок становятся малоэффективными.

Одной из самых важных процедур, выполняемых при возведении зданий и сооружений, является строительный контроль, проводимый в соответствии с Градостроительным кодексом РФ ст. 53 «Положение о проведении контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства», утвержденного Постановлением РФ от 21 июня 2010 г. № 468.

Строительный контроль, осуществляемый подрядчиком, включает проведение следующих контрольных мероприятий:

1) проверка качества строительных материалов, изделий, конструкций и оборудования, поставленных для строительства объекта капитального строительства (входной контроль);

2) проверка соблюдения установленных норм и правил складирования и хранения применяемой продукции;

3) проверка соблюдения последовательности и состава технологических операций при осуществлении строительства объекта капитального строительства;

4) совместно с заказчиком освидетельствование работ, скрываемых последующими работами (скрытые работы), и промежуточная приемка возве-

денных строительных конструкций, влияющих на безопасность объекта строительства, участков сетей инженерно-технического обеспечения;

5) приемка законченных видов (этапов) работ;

6) проверка совместно с заказчиком соответствия законченного строительством объекта требованиям проектной и подготовленной на ее основе рабочей документации.

Помимо строительного контроля, существуют следующие виды контроля: входной, операционный, инструментальный, авторский надзор и приемочный.

Контроль качества выполнения строительно-монтажных работ осуществляется: представителями органов государственного контроля и надзора (Государственного архитектурно-строительного надзора, Госгортехнадзора, Госэнергонадзора, Госсанэпиднадзора, Госпожнадзора и др.), представителями вышестоящих организаций заказчика и подрядчика, инспектирующими строительство, представителями проектных организаций (авторским надзором), комплексными комиссиями в составе представителей заказчика и подрядных организаций, представителями заказчика (техническим надзором за строительством), персоналом подрядных строительных организаций (инженерно-техническими работниками, непосредственно руководящими производством работ, бригадирами и звеньевыми, строительной лабораторией, геодезической службой), а также комиссиями внутреннего контроля, назначенными руководителем подрядной организации.

Определение проектных отметок строительных конструкций является обязательным условием выполнения работ. При определении проектных отметок строительных конструкций применяются плановая и высотная исполнительная съемка.

Одним из самых важных этапов операционного контроля является исполнительная съемка конструкций, позволяющая определять отклонения смещения строительных элементов от проектного положения. Обычно съемке подлежат наиболее ответственные, несущие конструкции здания после их окончательного закрепления. По результатам данного контроля выдается разрешение на выполнение строительно-монтажных работ на следующем этаже (ярусе, захватке и т. д.), с обязательным составлением чертежей поэтажных съемок, передаваемых в последующем заказчику.

В современном строительстве нашли широкое применение следующие способы определения проектного положения строительных конструкций:

1) лазерно-зеркальное устройство для дистанционных измерений;

2) определение расстояния между фермами в середине пролета;

3) определение расстояний между колоннами в пролете и в ряду;

4) определение смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн;

5) определение стрелы прогиба конструкций;

6) геодезическая выверка колонн по вертикали;

7) контроль соосности колонн зданий и сооружений [1].

При плановой исполнительной съемке определяют отклонения оси колонны от продольной и поперечной оси здания. Отклонения колонны определяют методом бокового нивелирования, сущность которого заключается в следующем.

От рисок закрепления продольных разбивочных осей $Б_1$ и $Б_2$ (рис. 1, *а*) перпендикулярно оси Б-Б откладывают равные отрезки длиной *а* и получают параллель продольной оси здания.

В одной из точек параллели устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение и наводят визирную ось на точку параллели.

При съемке рейку устанавливают горизонтально в нижнем и верхнем сечениях колонны, а в поле зрения трубы берут отсчеты *b* по вертикальной нити.

На рис.1, *б* видно, что отклонение $\Delta^{//}$ центра колонны *O* от разбивочной оси Б-Б в нижнем сечении по оси 1-1 равно:

$$\Delta'' = a - b_1'' - 0,5d \ , \qquad (1)$$

где $b_1^H$ — отсчет по рейке на оси 1-1 в нижнем сечении; *d* — толщина колонны.

Отклонение $\Delta^D$ вычисляют аналогично, но по отсчету $b_1^B$.

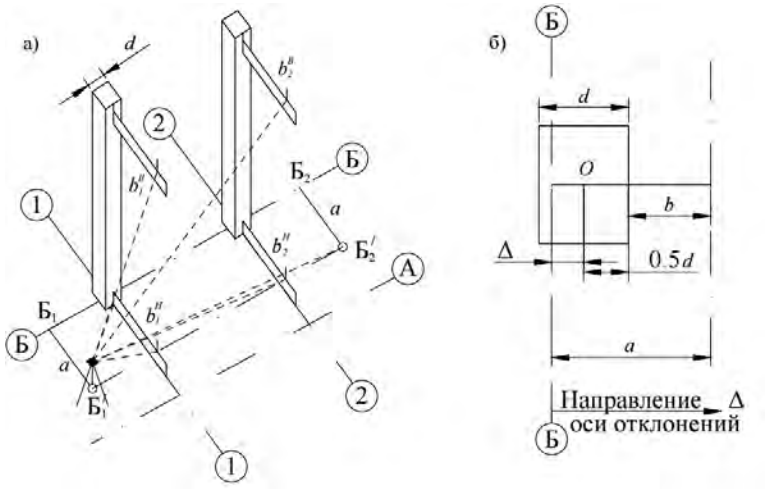



Рис 1. Плановая исполнительная съемка колонн: *а* — схема бокового нивелирования; *б* — исполнительный чертеж

Для контроля и повышения точности измерений толщину колонны измеряют по двум противоположным граням, а отсчеты по рейкам берут по черной и красной сторонам. При вычислении отклонений по красной стороне рейки необходимо учитывать разность нулей $P_0$. В этом случае формула для вычисления отклонений примет вид:

$$\Delta = a - b - 0,5d - P_0 \ . \qquad (2)$$

За окончательное решение принимают среднее арифметическое. Такие отклонения от продольной оси в нижнем и верхнем сечениях можно определить для всего ряда колонн. Аналогичным способом производят съемку вдоль поперечных осей и определяют отклонения колонн от этих осей.

Для контроля правильности выполнения съемки измеряют расстояния между колоннами и сравнивают их с аналогичными расстояниями по результатам съемки. Работу завершают составлением схемы исполнительной съемки, на которой показывают оси здания, колонны и их отклонения в верхнем и нижнем сечениях от продольных и поперечных осей.

При высотной исполнительной съемке определяют отклонения отметок опорных поверхностей колонны от проектного значения. Отметки опорных

поверхностей — верхней поверхности колонны или консоли — определяют геометрическим нивелированием.

На рис. 2 показана схема определения отметки верхней поверхности консоли. При этом заднюю рейку *3* устанавливают на строительный репер Рп1, а переднюю рейку *2* устанавливают с помощью кронштейна *1*, подвешивая нулевым делением (пяткой) вверх на консоль колонны. При обработке вычисляют горизонт прибора и отметку консоли

$$ГП = H_{Рп1},$$

где $H_{Рп1}$ — отметка строительного репера.

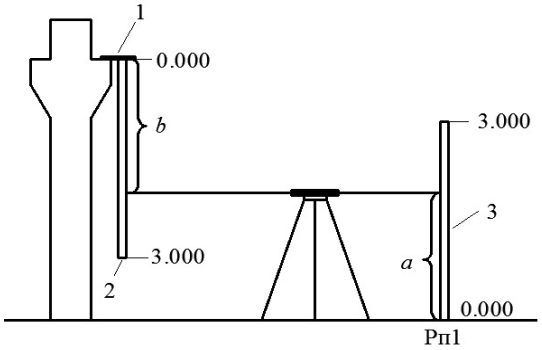



Рис. 2. Схема высотной исполнительной съемки колонн

При вычислении отметок по отсчетам красных сторон реек необходимо учитывать разность нулей рейки $Р_0$.

В этом случае

$$ГП_H = H_{Рп1} + a_К \text{ и } H_i = ГП_H + b_К - 2Р_0,$$

где $a_К$, $b_К$ — отсчеты по красным сторонам рейки.

Обычно съемку выполняют на одном участке монтажного горизонта при одной установке нивелира. Для контроля в начале и конце измерений берут отсчеты по рейкам, установленным на двух строительных реперах. Отклонения колонн по высоте вычисляют по формуле:

$$\Delta_i = H_i - H_П, \tag{3}$$

где $H_П$ — проектная отметка опорной поверхности колонн.

Результаты высотной съемки выписывают на схему исполнительной съемки. Обычно схемы плановой и высотной съемок совмещают на одном чертеже.

**Исполнительная съемка панелей здания**

При плановой исполнительной съемке определяют отклонение оси панели от продольной разбивочной оси Б-Б в нижнем сечении в двух точках по краям панели (рис. 3). Для этого металлической линейкой с миллиметровыми делениями измеряют толщину панели *d* и расстояния *b* от боковой поверхности панели до установочных рисок на перекрытиях, а отклонение вычисляют по формуле:

$$\Delta = a - b - 0,5d\ , \qquad (4)$$

где $a$ — известное расстояние от разбивочной оси до установочной риски.

Аналогичным образом определяют отклонения торцевых граней панели от поперечных осей. На рис. 3 показана схема определения отклонения $\Delta_2$ торцевой грани от оси 2-2. Положение верха панели характеризуют наклоном $\Delta_П$ его боковой поверхности. Для этого в середине панели (см. рис. 3) подвешивают отвес и с помощью линейки измеряют величину наклона.

При высотной исполнительной съемке геометрическим нивелированием определяют отметки определенных точек панели, сравнивают их с проектными отметками и вычисляют отклонения. По результатам составляют схему исполнительной съемки панелей.

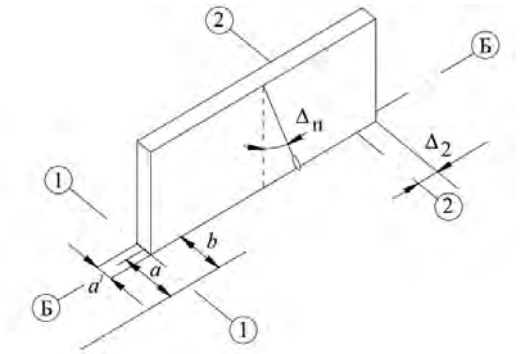



Рис. 3. Схема исполнительной съемки панели

Описанные выше способы контроля проектного положения строительных конструкций могут успешно применяться при «новом» строительстве зданий и сооружений. Это обусловлено наличием необходимого рабочего пространства для размещения геодезических и измерительных устройств и приборов.

**Определение стрелы прогиба конструкций**

Определение стрелы прогиба ферм, балок покрытия, подкрановых балок и др. может осуществляться: геометрическим нивелированием; способом тригонометрического нивелирования; угломерным, фотографическим и лучевым способами; механическим способом с помощью прогибомеров.

Способ геометрического нивелирования (рис. 4) заключается в том, что нивелирная рейка последовательно прикладывается вертикально к нижней полке фермы (балки покрытия) нулем вверх вплотную к одной колонне (точка 1), затем в промежуточных точках (2, 3, 4) и вплотную к другой колонне (точка 5), а также устанавливается на подкрановую балку у каждой колонны и между колоннами. С помощью нивелира по рейке производят отсчеты. По этим отсчетам вычисляют стрелы прогиба конструкций [2]. Пример вычисления стрелы $h$ прогиба правой половины фермы одного из литейных цехов ОАО НАЗ «Сокол» (см. рис. 4) в точке 2 относительно точек 1 и 3 приведен на рис. 5.

Здесь $O_1$, $O_2$, $O_3$ — отсчеты по рейке в нивелируемых точках, расстояние между которыми $l_1$ и $l_2$. По этим данным стрелу прогиба $h$ можно вычислить по (5), причем знак «плюс» у $h$ означает прогиб конструкции выпуклостью вниз, а знак «минус» — выпуклостью вверх:

$$h = \frac{l_1}{l_1 + l_2}(O_3 - O_5) + (O_5 - O_4). \quad (5)$$

По (5) можно вычислить стрелу прогиба между любыми пронивелированными точками конструкции. При равенстве длин $l_1$ и $l_2$ формула (5) упрощается и принимает вид:

$$h = \frac{1}{2}(O_3 + O_5) - O_4). \quad (6)$$

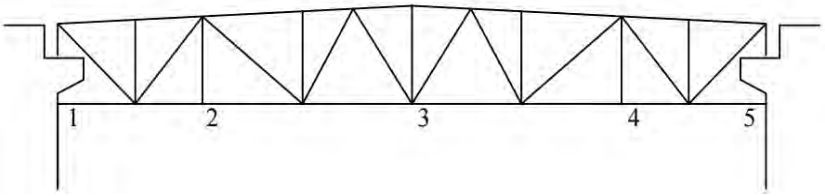



Рис. 4. Пример конфигурации фермы и нивелируемые точки

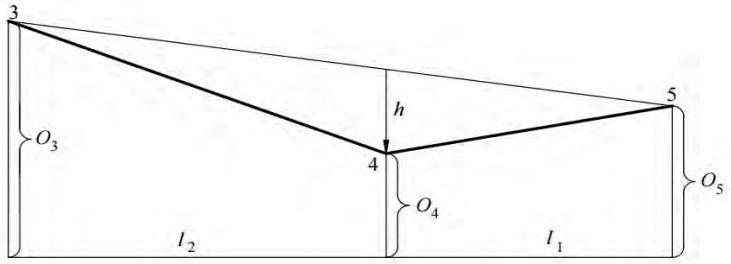



Рис. 5. Схема к определению стрелы прогиба конструкции

Способ тригонометрического нивелирования предусматривает измерения на нивелируемые точки угла наклона и наклонного расстояния. При использовании электронных или оптических теодолитов (типа Т2, Т5) основная трудность будет заключаться в измерении наклонных расстояний. В работе [3] предлагается закреплять над зрительной трубой теодолита лазерную рулетку, с помощью которой измерять искомые расстояния. При этом может быть три способами закрепления рулетки: ось лазерного пучка параллельна визирной оси зрительной трубы и отстоит от нее на расстоянии $q$ (рис. 6, *а*); рулетка может шарнирно вращаться на высоте $b$ над горизонтальной осью теодолита (рис. 6, *б*); рулетка может независимо наклоняться над мостиком колонки (рис. 6, *в*). Процесс измерений заключается в точном наведении лазерного пятна на обследуемые точки и фиксации каждый раз наклонного расстояния до них и отсчетов по вертикальному кругу теодолита. По результатам угловых $\upsilon$ и линейных $D$ измерений можно вычислить превышения $h$ нивелируемых точек над точкой стояния теодолита. Так, в первом случае (см. рис. 6, *а*) $h = D\sin\upsilon + q\cos\upsilon$, во втором случае (см. рис. 6, *б*) $h = D\sin\upsilon + b$, в третьем случае (см. рис. 6, *в*) $h = D\sin(\upsilon - \Delta\upsilon)$, где непараллельность визирной оси и лазерного пучка определяется выражением: $\sin\Delta\upsilon = b\cos\upsilon/D$. По разности полученных превышений определяют стрелы прогиба конструкции.

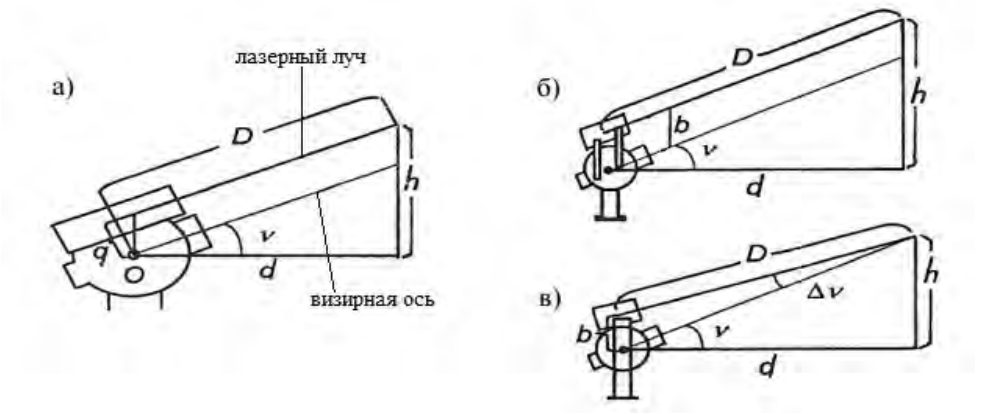



Рис. 6. Крепление дальномерной насадки к теодолиту

Аналогичным образом можно определить стрелы прогиба конструкции с помощью электронного тахеометра. Для этого прибор устанавливают в некоторой точке *T* и приводят его в рабочее положение (рис. 7). Наводят перекрестие сетки или лазерное пятно на точку *1* основания фермы и на первой странице режима [P1] нажимают клавишу [УСТ 0], а затем клавишу [РАССТ]. На экране отображаются: измеренное расстояние (*S*) и отсчеты по вертикальному кругу (*Z*) и горизонтальному кругу (ГУп), который будет равен 00°00'00". Нажимают клавишу [СТОП], а затем клавишу [*SDh*] и получают на экране (рис. 8) наклонное расстояние (*S*), горизонтальное проложение (*D*) и превышение (*h*).

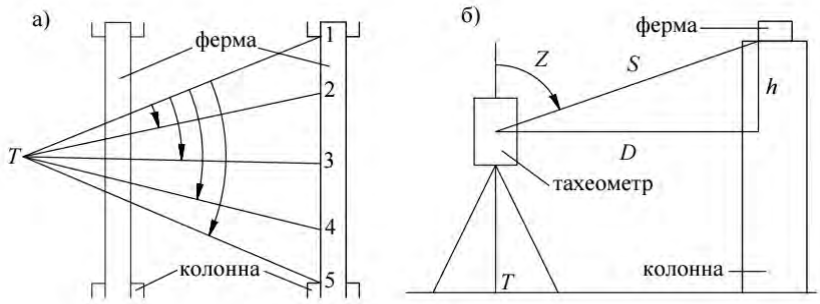



Рис. 7. Схема определения стрелы прогиба с помощью электронного тахеометра: *а* — вид сверху; *б* — вид сбоку

Затем визируют последовательно на точки 2, 3, …, нажимая каждый раз клавишу [РАССТ] и фиксируя отсчет (ГУп) по горизонтальному кругу, а затем клавиши [СТОП] и [*SDh*], получая на каждую наблюдаемую точку (*S*), (*D*) и (*h*). По разности полученных превышений вычисляют стрелы прогиба конструкции.

Другой способ использования электронного тахеометра предусматривает дискретное сканирование точек по вертикали. Для этого устанавливают на полу цеха тахеометр в произвольной точке *T*, расположенной под фермой (рис. 9). Наводят последовательно перекрестие сетки или лазерное пятно

прибора на низ левой колонны НЛ, точки 1, 2, 3,… и низ правой колонны НП, получая (по приведенной выше методике) на каждую наблюдаемую точку горизонтальное проложение ($D$) и превышение ($h$). По разности полученных превышений вычисляют стрелы прогиба фермы. А по разностям горизонтальных проложений от точки $T$ до верха $D_1$ и низа $D_{лн}$ левой колонны и до верха $D_5$ и низа $D_{пн}$ правой колонны вычисляют крен $К_л$ и $К_п$ каждой колонны:

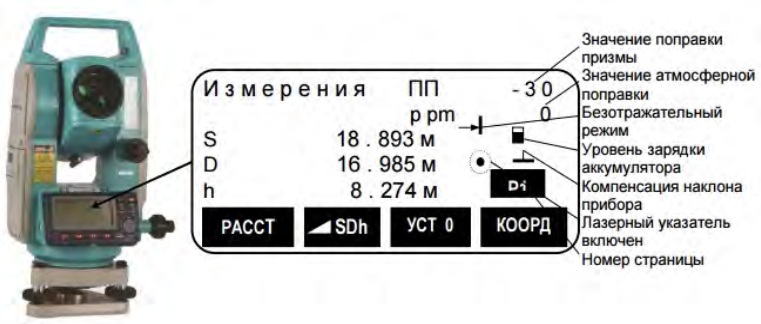



Рис. 8. Результаты тригонометрического нивелирования на экране дисплея тахеометра SET 530R/R3

$$\begin{aligned} К_Л &= (D_1 + Л_В) - (D_{ЛН} + Л_Н); \\ К_П &= (D_5 + П_В) - (D_{ПН} + П_Н), \end{aligned} \qquad (7)$$

где $Л_в$, $Л_н$, $П_в$, $П_н$ — ширина колонны поверху и понизу, а по знаку разности судят о крене колонны влево или вправо.

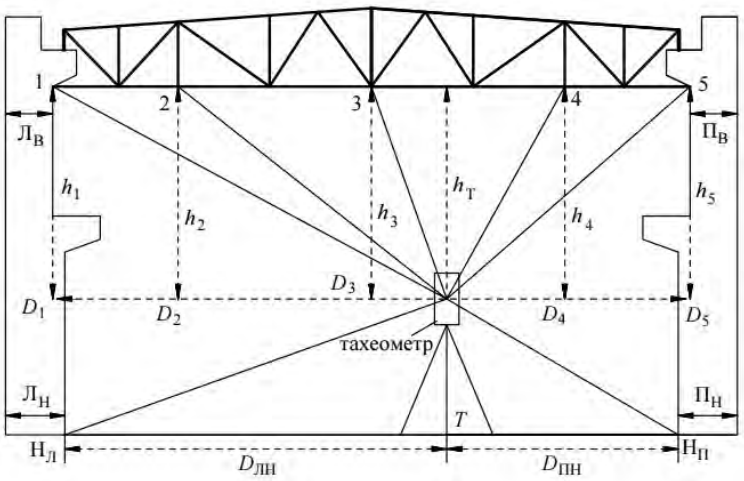



Рис. 9. Схема одновременного определения вертикальности колонн и стрелы прогиба фермы путем сканирования точек в вертикальной плоскости

Угломерный способ, описанный в работе [4] заключается в измерении теодолитом из некоторой точки $T$ горизонтальных углов $\beta_1$, $\beta_2$ и вертикальных углов $\upsilon_1$, $\upsilon_0$, $\upsilon_2$ на точки основания фермы или балки 1, 0, 2 (рис. 10). Искомую величину стрелы прогиба $h$ можно вычислить по формуле

$$h = \frac{\Delta v d}{\rho \cos^2 v}, \tag{8}$$

где $d$ — горизонтальное проложение расстояния $TO$; $\Delta\upsilon$ — параллактический угол, соответствующий стреле прогиба $h$, который находят из выражения:

$$\Delta v = [0,5(\mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}\, v_1}{\cos\beta_1} + \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg}\, v_2}{\cos\beta_2} - v_0]. \tag{9}$$

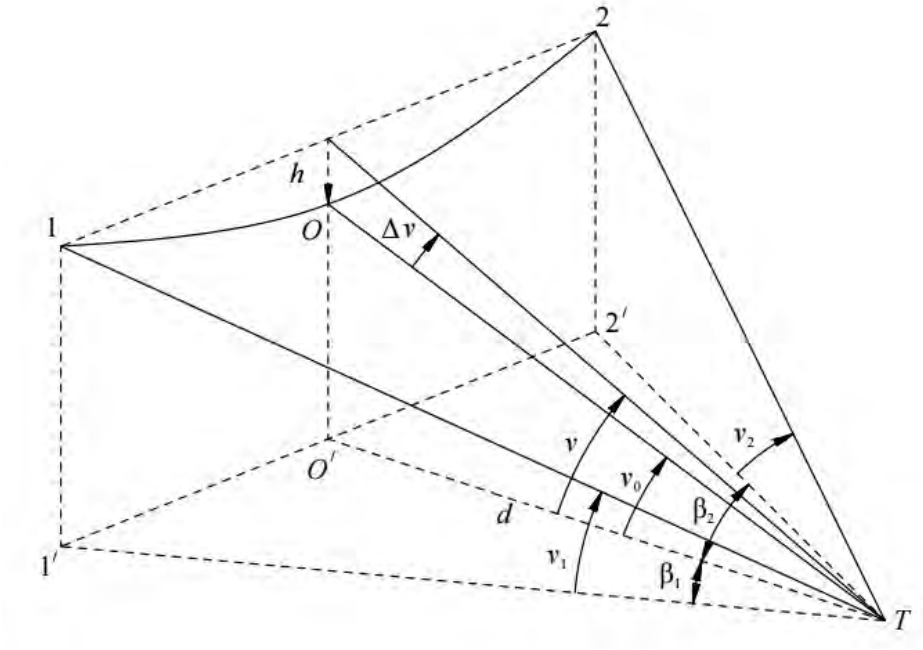



Рис. 10. Схема угломерного способа определения стрелы прогиба

Если на ферме (балке) укрепить вертикально линейку с миллиметровыми делениями так, чтобы нулевой штрих линейки был совмещен с точкой $O$, расположенной в центре балки, то достаточно измерить $\beta_1$, $\beta_2$ и $\upsilon_1$, $\upsilon_2$. Вычислив угол наклона $\upsilon$ по формуле:

$$\Delta v = 0,5(\mathrm{arctg}\frac{\mathrm{tg} v_1}{\cos\beta_1} + arctg\frac{\mathrm{tg} v_2}{\cos\beta_2}), \tag{10}$$

устанавливают на вертикальном круге теодолита отсчет, равный вычисленному углу, визируют на линейку и берут по ней отсчет, который будет соответствовать величине стрелы прогиба $h$. В этом случае отпадает необходимость в линейных измерениях и измерении угла наклона $\upsilon_0$. Точность рассмотренного способа в основном зависит от точности угловых измерений, в то время как линейные измерения можно выполнять с точностью 10 см.

Лучевой способ предусматривает задание створа вдоль нижнего пояса фермы с помощью лазерного пучка. Проще всего использовать для этой цели лазерную рулетку, закрепленную на колонне (рис. 11) и включенную на работу в непрерывном режиме, и нивелирную рейку.

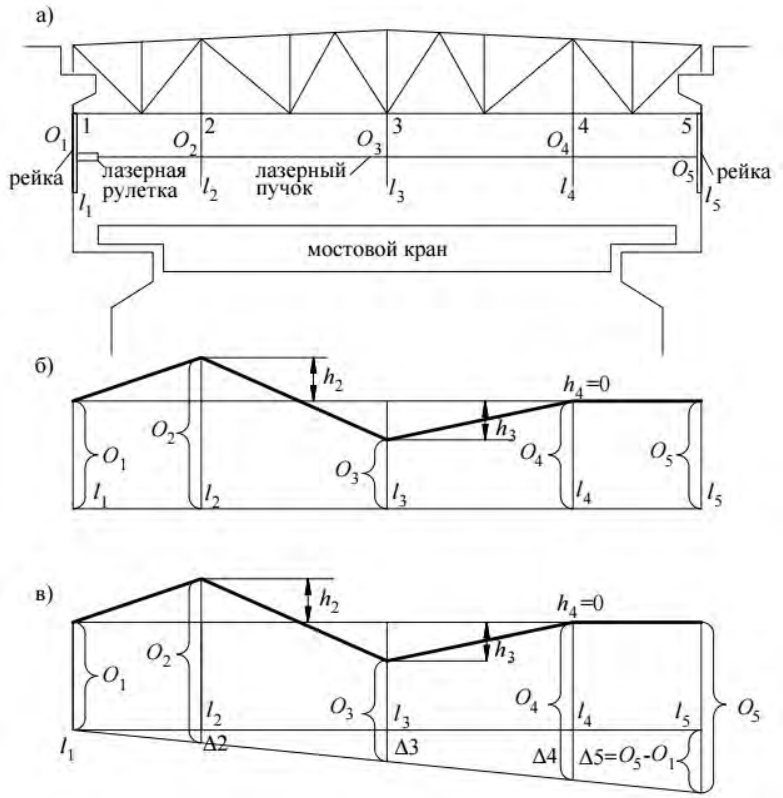



Рис. 11. Схема лучевого способа определения стрелы прогиба

Взяв отсчет $O_1$ по лазерному пятну на рейке, установленной нулем вверх, перемещают рейку в точку *5* и, наклоняя рулетку, добиваются совмещения лазерного пятна с отсчетом $O_5$, равным отсчету $O_1$, и фиксируют расстояние $l_5$ от рулетки до рейки. Теперь лазерный пучок будет параллелен линии 1-5.

Затем, прикладывая последовательно рейку к нижней полке фермы в точках 4, 3, 2, берут отсчеты по рейке $O_4$, $O_3$, $O_2$, фиксируя одновременно расстояния от рулетки до рейки $l_4$, $l_3$, $l_2$. По отсчетам $O_i$ можно вычислить стрелу прогиба $h_i$ для любой точки замера (рис. 11, *б*):

$$h_i = O_1 - O_i\,, \tag{11}$$

причем знак «плюс» у $h_i$ означает прогиб конструкции выпуклостью вниз, а знак «минус» — выпуклостью вверх. В данном случае расстояния $l_i$ не участвуют в вычислениях стрел прогиба. Они могут быть использованы, например, для построения профиля нижней полки фермы. Вообще говоря, лазерный пучок может располагаться произвольно относительно линии 1-5 (рис. 11, *в*). В этом случае в отсчеты по рейке $O_i$ следует ввести поправки $\Delta_i$:

$$\Delta_i = \frac{l_i}{l_n}\Delta_n\,, \tag{12}$$

где $\Delta n = O_1 - O_n$, а знак поправок соответствует знаку разности $(O_1 - O_n)$.

Тогда формула (11) примет вид:

$$h_i = O_1 - (O_i + \Delta_i)\,. \qquad (13)$$

**Определение горизонтальных смещений**

Крупные сооружения (особенно такие как дамбы, плотины) под воздействием односторонних нагрузок могут претерпевать горизонтальные смещения. Для определения этих смещений применяют в основном створный [5] и тригонометрический методы наблюдений. Из других методов можно отметить метод измерения горизонтальных углов на контролируемых пунктах; совместное измерение горизонтальных углов с конечных пунктов створа и таковых на контролируемых пунктах; метод полигонометрии; применение непрерывных GPS-наблюдений [6].

Краткие сведения о классических методах определения горизонтальных смещений с применением параллактического способа по 2-метровой базисной рейке, способа прямых и обратных угловых засечек, а также о различных методах с применением светодальномеров, лазеров, гироскопов и фотограмметрии можно прочесть в работе [7].

**Стереофотограмметрический метод наблюдения за деформациями зданий и сооружений**

Этот метод заключается в том, что наблюдаемый объект фотографируется с двух точек стояния (с некоторого базиса $B$), в результате чего получают пару перекрывающихся снимков. Базис фотосъемки следует располагать по возможности параллельно основной плоскости сооружения. Длину базиса выбирают равной 1/5…1/10 величины отстояния $Y$, что обычно составляет 3…5 и редко 10 м.

При съемке оптическая ось фотокамеры может устанавливаться в различное положение относительно горизонтальной плоскости и линии базиса. Различают следующие случаи фотосъемки:

1) нормальный (оси левой и правой фотокамер горизонтальны, перпендикулярны базису, а плоскость фотоснимков отвесна);

2) равномерно отклоненный (оси фотокамер отклонены влево или вправо на один и тот же угол);

3) конвергентный (оси фотокамер пересекаются под некоторым углом);

4) равномерно наклонный (оси фотокамер наклонены на один и тот же угол);

5) общий (положение оптических осей фотокамер произвольно).

Нормальный случай фотосъемки применяется наиболее часто. Фотосъемку длинных сооружений производят с нескольких расположенных в створе изолированных или связанных между собой базисов. В последнем случае при оптимальных параметрах фотосъемки может быть значительно сокращен объем работ, поскольку правый фотоснимок первой стереопары будет служить левым фотоснимком второй стереопары и т. д. (рис. 12).

На сооружении маркируют контрольные точки так, чтобы четыре из них располагались по углам стереопары, а пятая — посредине между нижними точками. За начало пространственной фотограмметрической системы координат принимают оптический центр $S_л$ объектива при положении фотокамеры на левой точке базиса. За ось $X$ принимают направление горизонтальной

проекции базиса, за ось $Y$ — направление оптической оси фотокамеры в левой точке $S_л$, а за ось $Z$ — вертикальную линию. В качестве пространственной геодезической системы координат может быть взята система координат сооружения (рис. 12, *а*).

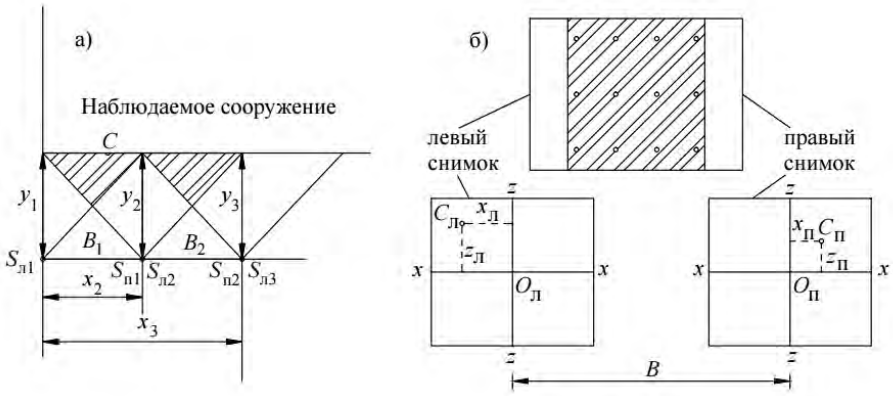



Рис. 12. Схема стереофотограмметрического метода съемки (*а*) и стереопара (*б*)

На стереокомпараторе измеряют координаты намеченной точки $C$ сооружения ($x_л$, $z_л$ — на левом снимке и $x_п$, $z_п$ — на правом снимке) и горизонтальный параллакс $p = x_л - x_п$. Зная фокусное расстояние $f$ фотокамеры и горизонтальное проложение базиса $B$, вычисляют пространственные координаты точки $C$ сооружения

$$Y = \frac{B}{p} f\ ,\ X = \frac{B}{p} x_Л\ ,\ Z = \frac{B}{p} z_Л\ . \tag{14}$$

Нулевой и последующие циклы наблюдений производят с одних и тех же базисов при строго одинаковом ориентировании фототеодолита. По снимкам нулевого и $i$-го циклов, полученным с одного и того же базиса, измерив координаты $x_0$, $z_0$ и $x_i$, $z_i$ точек сооружения, а также горизонтальные параллаксы $p_0$ и $p_i$, вычисляют деформации точек:

$$\begin{aligned} \Delta Y_i &= Y_i - Y_0 = Bf\left(\frac{1}{p_i} - \frac{1}{p_0}\right); \\ \Delta X_i &= X_i - X_0 = B\left(\frac{x_i}{p_i} - \frac{x_0}{p_0}\right); \\ \Delta Z_i &= Z_i - Z_0 = B\left(\frac{z_i}{p_i} - \frac{z_0}{p_0}\right). \end{aligned} \tag{15}$$

При условии строгого соблюдения единообразия установки фототеодолита на концах базиса можно определять величины смещений $\Delta Y_i$, $\Delta X_i$, $\Delta Z_i$, с точностью 2…3 мм. Этого можно достичь, сооружая на концах базиса бетонные столбы со специальными центрами, дающими возможность устанавливать камеру и визирную марку однообразно и с высокой степенью точности. При этом оптимальное соотношение между базисом фотографирования $B$ и отстоянием фотокамеры $Y$ от наблюдаемого объекта можно установить по формуле

$$B = Y^2 \frac{m_p}{m_Y f}, \tag{16}$$

где $m_p$ — погрешность определения горизонтального параллакса; $m_Y$ — погрешность в определении отстояния на местности.

В качестве примера применения фотограмметрии для наблюдения за деформациями строительных сооружений можно привести описанную в работе [8] методику и технику наземной стереосъемки, применяемой в Германии для наблюдений за деформациями сооружений под влиянием горных разработок. Показано, что при обычном методе съемки точность определения координат точек составляет 5 мм, а за счет применения уравнивания по связкам может быть доведена до 2 мм. Описан новый метод съемки зданий, при котором с произвольно выбранных точек, расположенных вокруг здания, производится серия снимков, образующих замкнутое кольцо. Методика съемки при этом упрощается, а ее точность существенно повышается. В другой работе [9] анализируются возможности применения фотограмметрии применительно к следующим случаям:

1) измерение прогиба стропильных ферм;

2) выявление деформаций путем обработки одиночных стереопар фотоснимков перекрытий длиной 15 и 24 м, полученных камерой UMK 10/1318 в масштабе 1:150 и 1:180, обработанных на стереоприборе А-8. Средние квадратические ошибки определений составили 3…4 мм;

3) определение вертикальных деформаций стропильных ферм крыши способом измерения параллаксов по одиночным фотоснимкам, полученным в разное время;

4) измерение «развития» трещин способом проективного преобразования одиночной линии;

5) определение изменений наклона одиночных опор (при обработке фотоснимков масштаба 1:300 средние квадратические ошибки составили 1…3 мм).

О примерах фотограмметрических определений с точностью 1…15 мм размеров, положения, перемещения и деформации различных инженерно-промышленных сооружений (радиотелевизионной мачты высотой 240 м, градирни гиперболоидной формы, подъемного крана, несущих стен зданий) можно прочесть в работе [10].

Интересным представляется способ графического представления изменений во времени планового положения башен, вышек, высотных зданий, плотин и геодезических пунктов, основанный на теории анаглифов, описанный в работе [11]. Изложена теория построения анаглифических фотоснимков. Приведен пример анаглифической картины, иллюстрирующей смещение точек высотного здания. В работе [12] приводятся результаты наблюдений за кренами и прогибами высотных сооружений башенного типа с использованием универсальной метрической камеры UMK 10/1318. Современные фотограмметрические измерительные системы, оборудованные малоформатными цифровыми фотокамерами и ПЗС-датчиками позволяют определять положения точек изображений объектов в малых пространствах с точностью на уровне 0,1 мм [13].

При техническом перевооружении, реконструкции, ремонте существующих зданий и сооружений возникает ряд сложностей, требующих дополни-

тельные мероприятия по оценке проектного положения несущих и ограждающий элементов (рис. 13). В настоящее время с целью определения прогибов строительных конструкций используется нивелир с геодезической рейкой. При этом в зданиях, где высоты проектных отметок стропильных конструкций превышают размеры геодезической рейки, используется теодолит. Однако в реальных условиях существующего предприятия это не всегда возможно, так как наличие технологического оборудования и недостаточная освещенность измеряемых конструкций (для точной визуальной фиксации контрольных точек) исключает возможность геодезического контроля теодолитом. Кроме того, использование одновременно теодолита и нивелира приводит к увеличению трудоемкости процесса геодезического контроля.

Рис. 13. Проведения геодезических обследований строительных конструкций

**Основные выводы**

Строительный контроль является неотъемлемой частью любого строительства: новое строительство, ремонт, техническое перевооружение, реконструкция, усиление, а в некоторых случаях и демонтаж.

Несмотря на активное развитие средств и инструментов по выверки проектного положения строительных конструкций в условиях действующих производств часто бывает невозможно провести полноценное обследование проектного положения конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новак В. Е.* Курс инженерной геодезии. М.: Недра, 1989. 432 с.

2. *Шеховцов Г. А.* Геодезические методы исследования пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений промышленного предприятия // Промышленная безопасность-2004: сб. статей. Н. Новгород: Нижегородский гос. архит.-строит. ун-т, 2004. С. 68—74.

3. *Визиров Ю. В.* Электронная съемка и обследование тоннеля // Геодезия и картография. 1999. № 10. С. 20—25.

4. *Соколов Ю. Г.* Измерение прогиба балок и ферм конструкций // Геодезия и фотограмметрия : межвуз. сб. Ростов н/Д: Рост. инж.-строит. ин-т, 1980. С. 124—128.

5. *Grabowski Ruszard J., Kobrun Andrzej L.* Fluchtlinienmethode zur Untersuchung horizontaler Verschiebungen von Tlsperren — praktische Beurteilung der Genauigket moglichkeiten // Vermessungsw. 1990. Vol. 115. No. 9. S. 372—378.

6. *Groten E., Mathes A., Uzel T.* Dam monitoring by continuous GPSobservations // Istanbul-94: Ist. Int. Symp. Deform. Turkey, Istanbul, Sept. 5—9, 1994: Abstr. Istanbul. 1994. No. 51.

7. *Meixner H.* Geodezujne pomiaru deformacji // Prz. gorn. 1980. Vol. 36. No. 11. S. 540—544, LXII, LXIII, LXIV, LXV.

8. *Schaefer W.* Photogrammetrische Beobachtung von Bauwerksverform ungen // Markscheidewesen. 1985. Vol. 92. No. 4. S. 148—151.

9. *Bujakiewicz A., Majde A., Przadka Z.* Photogrammetric measurement of deformations of the industrial halls // Int. Arch. Photogr. and Remote Sensing. Vol. 25. No. 15. Congr. Int. Soc. Photogramm. and Remote Sens., Rio de Janeiro, 1984. Pt. A 5. Commiss. 5. S. 1, s. A., 136—140.

10. *Miller Z.* Zastosowanie fotogrametrii do celow inzynierskich // Prz. bud. 1987. Vol. 59. No. 5. S. 200—203, 231—232.

11. *Bruckner R., Mordek P., Lichtner W.* Graphiche Darstellung einer zweidimensionalen Leit reihe // Z. Vermessugsw. 1979. Vol. 104. No. 10. S. 442—447.

12. *Стебнев В. И.* Использование UMK 10/1318 для определения кренов и прогибов высотных сооружений башенного типа // Труды Казанской горной астрономической обсерватории. 1989. № 52. С. 133—139.

13. *Schwarz W.* Moderne Messverfahren in der Ingenieurgeodasie und ihr praktischer Einsatz // Flachenmanag und Bodenordn. 2002. Vol. 64. No. 2. S. 87—97.

*© Матвеев Р. А., Клочков Д. П., Стефаненко И. В., Куранов Д. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Современные способы операционного контроля качества строительно-монтажных работ / Р. А. Матвеев, Д. П. Клочков, И. В. Стефаненко, Д. В. Куранов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 53—68.

*Об авторах:*

**Матвеев Роман Алексеевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, gotkd@mail.ru

**Клочков Дмитрий Петрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, look_back_in@mail.ru

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

**Куранов Дмитрий Владимирович** — эксперт, ООО «Промтехмониторинг». Российская Федерация, 400050, г. Волгоград, ул. Днестровская, 2б, офис 2, diman408@mail.ru

***R. A. Matveev, D. P. Klochkov, I. V. Stefanenko, D. V. Kuranov***

## MODERN WAYS OF OPERATIONAL CONTROL

The article describes the purpose and means of operational control of the quality of construction and installation works. The authors consider the methods for the determination of design position of building structures (beams, trusses, plates, etc.), methods of performance of the planned and as-built survey of columns and panels, stereophotogrammetrical method of monitoring deformations of buildings and structures. The necessity to improve the method of determination of elevations of construction designs, in terms of existing industrial enterprises (in connection with production equipment) in their reconstruction and new construction is grounded.

K e y  w o r d s: reconstruction, project position, planned survey, as-built survey, columns, panels, building structures.

REFERENSES

1. Novak V. E. Course of engineering geodesy. Moscow, Nedra Publ., 1989. 432 p.

2. Shekhovtsov G. A. [Geodesic methods of research of spatial position of construction designs of buildings and structures of an enterprise]. *Industrial safety-2004*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2004. Pp. 68—74.

3. Vizirov Yu. V. [Electronic survey of a tunnel]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and mapping], 1999, no. 10, pp. 20—25.

4. Sokolov Yu. G. Measurement of deflection of beams and trusses of structures. *Geodeziya i fotogrammetriya : mezhvuz. sb.* [Geodesy and photogrammetry. Inter-university collection]. Rostov-on-Don, Don State Technical University, 1980. Pp. 124—128.

5. Grabowski Ruszard J., Kobrun Andrzej L. Fluchtlinienmethode zur Untersuchung horizontaler Verschiebungen von Tlsperren — praktische Beurteilung der Genauigket moglichkeiten. *Vermessungsw*, 1990, 115(9), s. 372—378.

6. Groten E., Mathes A., Uzel T. Dam monitoring by continuous GPSobservations. *Istanbul-94: Ist. Int. Symp. Deform*. Turkey, Istanbul, Sept. 5—9, 1994: Abstr. Istanbul. 1994. № 51.

7. Meixner H. Geodezujne pomiaru deformacji. *Prz. gorn*., 1980, 36(11), s. 540—544, LXII, LXIII, LXIV, LXV.

8. Schaefer W. Photogrammetrische Beobachtung von Bauwerksverform ungen. *Markscheidewesen*, 1985, 92(4), s. 148—151.

9. Bujakiewicz A., Majde A., Przadka Z. Photogrammetric measurement of deformations of the industrial halls. *Int. Arch. Photogr. and Remote Sensing*, 25(15). Congr. Int. Soc. Photogramm. and Remote Sens., Rio de Janeiro, 1984. Pt. A 5. Commiss. 5. S. 1, s. A., 136—140.

10. Miller Z. Zastosowanie fotogrametrii do celow inzynierskich. *Prz. bud*., 1987, 59(5), s. 200—203, 231—232.

11. Bruckner R., Mordek P., Lichtner W. Graphiche Darstellung einer zweidimensionalen Leit reihe. *Z. Vermessugsw*, 1979, 104(10), s. 442—447.

12. Stebnev V.I. Use of UMK 10/1318 for measurement of banking and deflection of high-rise tower-shaped structures. *Works of Kazan Mountain Top Astronomical Observatory*, 1989, no. 52, pp. 133—139

13. Schwarz W. Moderne Messverfahren in der Ingenieurgeodasie und ihr praktischer Einsatz. *Flachenmanag und Bodenordn*, 2002, 64(2), s. 87—97.

*For citation:*

Matveev R. A., Klochkov D. P., Stefanenko I. V., Kuranov D. V. [Modern ways of operational control]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 53—68.

*About authors:*

**Matveev Roman Alekseevich** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, gotkd@mail.ru

**Klochkov Dmitrii Petrovich** — Candidate of Engineering Science, Docent of Construction Technology Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, look_back_in@mail.rul

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

**Kuranov Dmitrii Vladimirovich** — expert, "Promtekhmonitoring" Ltd. 2b, Dnestrovskaya St., Volgograd, 400050, Russian Federation, diman408@mail.ru

УДК 621.6.05

***Н. Н. Осипова, И. М. Бычкова, А. А. Поберий***

***Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина***

# ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗООБРАЗНОЙ СМЕСИ ПРОПАН-БУТАНА НА УСТОЙЧИВУЮ РАБОТУ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ С ЕСТЕСТВЕННОЙ РЕГАЗИФИКАЦИЕЙ

Проведены исследования по определению возможности гидратообразования в системе автономного газоснабжения с естественной регазификацией газа при редуцировании газообразной смеси пропан-бутана. Установлено, что изменение температур под воздействием окружающей среды приводит процесс дросселирования к образованию гидратов в области отрицательных температур при переходе газообразной смеси в парожидкостное состояние. Предложены мероприятия по стабилизации температуры газообразной смеси для исключения образования гидратов в узле редуцирования.

Ключевые слова: сжиженный углеводородный газ, естественная регазификация, газообразная смесь пропан-бутана, теплообмен с окружающей средой, гидратообразование, редуцирование.

В настоящее время в широких масштабах проводится автономная газификация объектов, удаленных от основных магистралей природного газа. Преимущественно такая газификация проводится на основе сжиженного углеводородного газа [1—4]. В Российской Федерации с ее климатическими особенностями наибольшее распространение получили системы автономной газификации с применением подземных газгольдеров с естественной и искусственной регазификацией продукта [5—7].

Образовавшаяся в газгольдере газообразная смесь паров пропан-бутана высокого давления по системе трубопроводов подается в редуцирующий узел для снижения давления и последующей подаче потребителю. Однако вследствие охлаждения по пути следования в наземных участках системы и при дросселировании в узле редуцирования газовая смесь может образовывать ледяные пробки и кристаллогидраты в дросселирующем органе регулятора давления [8—12].

Исключение образования гидратов при дросселировании позволяет применить схемы с искусственной регазификацией продукта. Однако необходимость подвода дополнительного теплоносителя или устройства нагревательного элемента, значительно повышает стоимость достаточно дорогостоящих автономных систем газоснабжения [13, 14].

В системах с естественной регазификацией переход из жидкого состояния в газообразное осуществляется за счет постоянного притока тепла из окружающего грунтового массива (рис.).

Системы с естественной регазификацией наиболее предпочтительны, так как в составе отсутствуют устройства искусственной регазификации сжиженного углеводородного газа и связанные с ними мероприятия по устройству, монтажу, соблюдению техники безопасности, автоматическому регулированию и т. д.

Для организации устойчивой работы автономных систем снабжения сжиженным углеводородным газом с естественной регазификацией необходимо исследовать теплообменные процессы между паровой фазой в газголь-

дере и окружающей средой для формирования рекомендаций по безгидратному редуцированию газовой смеси паров пропан-бутана.

Как показывают проведенные исследования [15—20], газгольдер сжиженного газа участвует в теплообмене не только своей частью, контактирующей с жидким углеводородным газом, но и верхней частью, заполненной испарившимся газом.

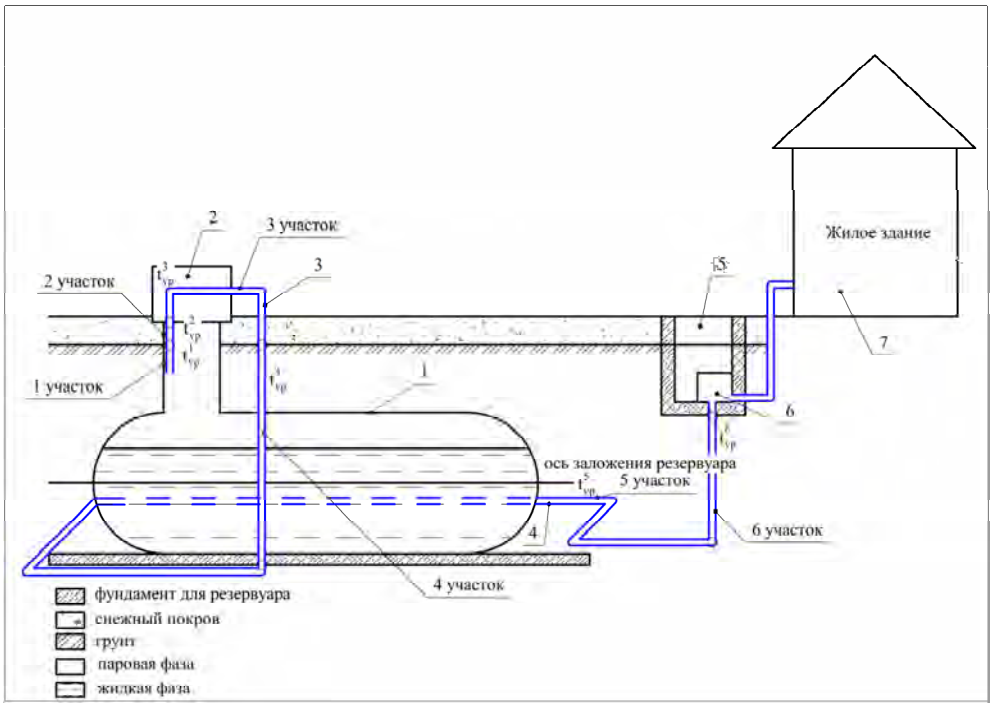



Схема системы автономного газоснабжения с естественной регазификацией: *1* — подземный газгольдер сжиженного углеводородного газа; *2* — кожух горловины газгольдера; *3* — трубопровод для перемещения газообразной смеси пропан-бутана; *4* — грунтовый теплообменник; *5* — вентилируемая подземная камера редуцирования газа; *6* — регулятор давления; *7* — газоснабжаемый объект

Полученный перегрев паровой фазы в пространстве между зеркалом испарения и горловиной сводится к минимуму вследствие теплообмена горловины газгольдера с окружающим грунтовым массивом, ее надземной частью, укрываемой кожухом горловины газгольдера и трубопровода паровой фазы с окружающей средой.

Снижение температуры газообразной смеси пропан-бутана неоднозначно сказывается на процесс дросселирования, приводя зачастую к образованию гидратов.

Для определения величины снижения температуры газообразной смеси пропан-бутана и возможности гидратообразования необходимо провести дополнительные исследования.

Весь путь газообразной смеси пропан-бутана от горловины газгольдера до узла редуцирования можно разбить на шесть характерных участков в соответствии с рис.:

подземный участок горловины газгольдера, сообщающегося с промерзшим грунтовым массивом (участок 1);

надземный участок горловины газгольдера, сообщающегося со снежным покровом (участок 2);

надземный трубопровод паровой фазы, сообщающийся с наружным воздухом (участок 3);

трубопровод паровой фазы, сообщающийся с промерзшим грунтовым массивом (участок 4);

горизонтальный трубопровод паровой фазы, служащий для перегрева паровой фазы (участок 5);

трубопровод паровой фазы на восходящем участке к узлу редуцирования (участок 6).

Рассмотрим теплообмен на каждом из представленных участков автономной системы газоснабжения.

Теплообмен подземной часть горловины газгольдера, в соответствии с основными положениями теплопередачи через металлическую стенку, может быть представлен выражением

$$Q_{un} = \frac{(t_{vp}^{1} - t_{gr})\pi h_{un}}{\frac{1}{d_{un}^{\text{int}}\alpha_{\text{int}}} + \frac{1}{2\lambda_{м}}\ln\frac{d_{un}^{ext}}{d_{un}^{\text{int}}} + \frac{1}{2\lambda_{wp}}\ln\frac{d_{wp}^{ext}}{d_{wp}^{\text{int}}} + \frac{1}{d_{un}^{ext}\alpha_{gr}^{ext}}}, \quad (1)$$

где $t_{gr}$ — температура грунта, °С; $t_{vp}^{1}$ — температура газообразной смеси пропан-бутана на входе в горловину, °С; $d_{un}^{\text{int}}$, $d_{un}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр горловины газгольдера соответственно, м; $d_{wp}^{\text{int}}$, $d_{wp}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр гидроизоляции соответственно, м; $\lambda_{м}$ — теплопроводность металла, Вт/м · К; $\lambda_{wp}$ — теплопроводность гидроизоляции газгольдера, Вт/м · К; $\alpha_{\text{int}}$ — коэффициент теплоотдачи от внутренней среды металлической стенке, Вт/м$^2$ · К; $\alpha_{gr}^{ext}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности гидроизоляции горловины грунтовому массиву, Вт/м$^2$ · К.

Теплообмен через надземную часть горловины газгольдера и крышку фланца определяется выражением

$$Q_{agn} = \pi(t_{vp}^{2} - t_{ext})\left[\frac{r_f^2}{R_f} + \frac{d_{agn}^{ext}h_{agn}}{R_{agn}}\right], \quad (2)$$

где $R_f = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_f}{\lambda_{м}} + \frac{1}{\alpha_{ext}}$ ; (3)

$$R_{agn} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_{м}}{\lambda_{м}} + \frac{\delta_{wp}}{\lambda_{wp}} + \frac{1}{\alpha_{ext}^{sn}}, \quad (4)$$

где $t_{ext}$ — температура наружного воздуха, °С; $t_{vp}^{2}$ — температура газообразной смеси пропан-бутана на входе в надземную часть горловины газгольдера, °С; $r_f$ — радиус крышки (фланца) головки газгольдера, м; $h_{agn}$ — высота на-

земной части горловины, м; $R_f$ — сопротивление теплопередаче фланца газгольдера, м$^2\cdot$К/Вт; $R_{agn}$ — сопротивление теплопередаче наземной части горловины газгольдера, м$^2\cdot$К/Вт; $\delta_м$ — толщина стенки горловины газгольдера, м; $\alpha_{ext}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности фланца газгольдера наружному воздуху, Вт/м$^2\cdot$К; $\alpha_{ext}^{sn}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности надземной части горловины газгольдера снежному покрову, Вт/м$^2\cdot$К.

Теплообмен трубопровода паровой фазы надземной части с окружающей средой:

$$Q_{pvp}^{agn}=\frac{(t_{vp}^{3}-t_{ext})\pi\ell_{pvp}^{ang}}{\dfrac{1}{\alpha_{\text{int}}d_{pvp}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{2\lambda_м}\ln\dfrac{d_{pvp}^{ext}}{d_{pvp}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{\alpha_{ext}d_{wppvp}^{ext}}},\qquad(5)$$

где $\ell_{pvp}^{ang}$ — длина трубопровода паровой фазы надземной части, м; $t_{vp}^{3}$ — температура паровой фазы на входе в надземный трубопровод паровой фазы, °С; $d_{pvp}^{\text{int}}$, $d_{pvp}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр трубопровода паровой фазы соответственно, м.

Теплообмен трубопровода паровой фазы с грунтовым массивом:

$$Q_{pvp}^{un}=\frac{(t_{vp}^{4}-t_{gr})\pi\ell_{pvp}^{un}}{\dfrac{1}{\alpha_{\text{int}}d_{pvp}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{2\lambda_м}\ln\dfrac{d_{pvp}^{ext}}{d_{pvp}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{2\lambda_{wp}}\ln\dfrac{d_{wppvp}^{ext}}{d_{wppvp}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{\alpha_{gr}^{ext}d_{wppvp}^{ext}}},\qquad(6)$$

где $\ell_{pvp}^{un}$ — длина трубопровода паровой фазы, м; $t_{pvp}^{4}$ — температура паровой фазы на входе в подземный трубопровод паровой фазы, °С; $d_{wppvp}^{ext}$, $d_{wppvp}^{\text{int}}$ — наружный и внутренний диаметр гидроизоляции трубопровода паровой фазы соответственно, м.

Теплообмен горизонтального трубопровода паровой фазы с окружающим грунтовым массивом

$$Q_{pvp}^{htex}=\frac{(t_{vp}^{5}-t_{gr})\pi\ell_{pvp}^{htex}}{\dfrac{1}{\alpha_{\text{int}}d_{htex}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{2\lambda_м}\ln\dfrac{d_{htex}^{ext}}{d_{htex}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{2\lambda_{wp}}\ln\dfrac{d_{wphtex}^{ext}}{d_{wphtex}^{\text{int}}}+\dfrac{1}{\alpha_{gr}^{ext}d_{wphtex}^{ext}}},\qquad(7)$$

где $\ell_{pvp}^{htex}$ — длина горизонтального участка трубопровода паровой фазы, м [21]; $t_{vp}^{5}$ — температура паровой фазы на входе в горизонтальный участок подземного трубопровода паровой фазы, °С; $d_{htex}^{\text{int}}$, $d_{htex}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр горизонтального трубопровода паровой фазы, соответственно, м; $d_{wphtex}^{\text{int}}$, $d_{wphtex}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр гидроизоляции горизонтального трубопровода паровой фазы соответственно, м.

Теплообмен восходящего участка трубопровода паровой фазы к узлу редуцирования с окружающим грунтовым массивом:

$$Q_{upvp} = \frac{(t_{vp}^{6} - t_{gr})\pi \ell_{upvp}}{\frac{1}{\alpha_{\text{int}} d_{upvp}^{\text{int}}} + \frac{1}{2\lambda_{м}} \ln \frac{d_{uppvp}^{ext}}{d_{uppvp}^{\text{int}}} + \frac{1}{2\lambda_{wp}} \ln \frac{d_{wpupvp}^{ext}}{d_{wpupvp}^{\text{int}}} + \frac{1}{\alpha_{gr}^{ext} d_{wpupvp}^{ext}}}, \quad (8)$$

где $\ell_{upvp}$ — длина трубопровода паровой фазы восходящего участка до узла редуцирования, м; $t_{vp}^{6}$ — температура паровой фазы на входе в восходящий участок подземного трубопровода паровой фазы, °С; $d_{upvp}^{\text{int}}$, $d_{upvp}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр восходящего трубопровода паровой фазы соответственно, м; $d_{wpupvp}^{\text{int}}$, $d_{wppvp}^{ext}$ — внутренний и наружный диаметр гидроизоляции восходящего трубопровода паровой фазы соответственно, м.

Выражения (1—8) формируют постановку задачи теплового взаимодействия элементов автономной системы газоснабжения с окружающей средой.

Задача решалась при следующих допущениях:

диаметр трубопровода паровой фазы на участках 4, 5, 6 одинаков, таким образом $d_{pvp}^{\text{int}} = d_{htex}^{\text{int}} = d_{upvp}^{\text{int}}$; $d_{pvp}^{ext} = d_{htex}^{ext} = d_{upvp}^{ext}$;

изменение температур в грунтовом массиве соответствует их естественному распределению.

Потери тепла элементов системы автономного газоснабжения определяют изменения температуры газообразной смеси пропан-бутана при перемещении от газгольдера до узла редуцирования. Определение изменения температур проводились пошаговым методом. Для каждого последующего участка принималась температура газообразной смеси пропан-бутана, равная температуре, формируемой в конце предыдущего участка, т. е. $t_{vp}^{1end} = t_{vp}^{2st}$; $t_{vp}^{2end} = t_{vp}^{3st}$ и т. д.

В качестве исходных данных приняты:

подземный газгольдер с толщиной стенки 8 мм и толщиной гидроизоляции 8 мм с диаметром горловины 0,5 м;

трубопровод паровой фазы диаметром 0,04 м и толщиной гидроизоляции 4 мм;

теплопроводность металлической стенки газгольдера и трубопровода паровой фазы —45 [19], Вт/мК;

коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности гидроизоляции горловины и трубопровода паровой фазы к грунтовому массиву принимался в соответствии с СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», Вт/м$^2$К;

температура грунта принимается по данным [22], °С;

температура наружного воздуха принимается по данным СП 131.13330.2012 «Строительная климатология, °С;

начальная температура газообразной смеси пропан-бутана над зеркалом испарения в газгольдере $t_{vp}^{1}$ принимается по результатам исследований [23].

Результаты расчетов представлены в табл.

*Изменение температуры газообразной смеси пропан-бутана в элементах системы газоснабжения*

| Элементы системы газоснабжения | Соотношение компонентов в газообразной смеси пропан/бутан, % | Значения температур в системе автономного газоснабжения от газгольдера до узла редуцирования в климатических зонах эксплуатации, °С | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | холодная | | умеренно холодная | |
| | | $t_{vp}^{1\text{-}6st}$ | $t_{vp}^{1\text{-}6end}$ | $t_{vp}^{1\text{-}6st}$ | $t_{vp}^{1\text{-}6end}$ |
| Подземный участок горловины газгольдера, сообщающегося с промерзшим грунтовым массивом (участок 1) | 90/10 | –8,06 | –11,32 | –1,35 | –5,27 |
| | 65/35 | –6,53 | –10,53 | 3,44 | –2,67 |
| | 20/80 | –5,99 | –10,26 | 5,56 | –1,55 |
| Надземный участок горловины газгольдера, сообщающегося со снежным покровом (участок 2) | 90/10 | –11,32 | –20,38 | –5,27 | –13,33 |
| | 65/35 | –10,53 | –19,8 | –2,67 | –11,39 |
| | 20/80 | –10,26 | –19,59 | –1,55 | –10,55 |
| надземный трубопровод паровой фазы, сообщающийся с наружным воздухом (участок 3) | 90/10 | –20,38 | –22,92 | –13,33 | –15,58 |
| | 65/35 | –19,8 | –22,39 | –11,39 | –13,83 |
| | 20/80 | –19,59 | –23,06 | –10,55 | –13,07 |
| Трубопровод паровой фазы, сообщающийся с промерзшим грунтовым массивом (участок 4) | 90/10 | –22,92 | –21,59 | –15,58 | –13,94 |
| | 65/35 | –22,39 | –20,24 | –13,83 | –12,41 |
| | 20/80 | –23,06 | –20,83 | –13,07 | –11,75 |
| Горизонтальный трубопровод паровой фазы, служащий для перегрева паровой фазы (участок 5) | 90/10 | –21,59 | –14,00 | –13,94 | –7,27 |
| | 65/35 | –20,24 | –13,12 | –12,41 | –6,27 |
| | 20/80 | –20,83 | –13,5 | –11,75 | –5,84 |
| Трубопровод паровой фазы на восходящем участке к узлу редуцирования (участок 6) | 90/10 | –14,00 | –14,15 | –7,27 | –7,47 |
| | 65/35 | –13,12 | –13,29 | –6,27 | –6,49 |
| | 20/80 | –13,5 | –13,66 | –5,84 | –6,07 |

Как показали результаты исследований, перемещение газообразной смеси от газгольдера до узла редуцирования связано со значительным изменением ее температуры. При неизменном составе газообразной смеси пропан-бутана изменение температуры приводит к переходу из состояния насыщенных перегретых паров на участке 1 к насыщенной парожидкостной смеси на участке 6. Дросселирование парожидкостной смеси пропан-бутана происходит с уменьшением влагосодержания. Так, например, при исходных данных дросселирования в холодной зоне при составе парожидкостной смеси (90 % пропана, 10 % бутана) и температуре в начале дросселирования –14,15 °С, содержание воды в паровой фазе составляет 0,025 % по массе [11]. Дросселирование в регуляторе давления приводит к снижению давления до 0,003 МПа и температуры до –42 °С. При этих условиях конечное содержание воды в паровой фазе составляет 0,0063 % по массе [11]. Уменьшение влагосодержания обуславливает выделение капель воды из парожидкостной смеси при дросселировании, которые при отрицательных температурах замерзают и вызывают нарушение газоснабжения потребителей.

В то же время дросселирование насыщенной перегретой паровой фазы указанного эффекта не демонстрирует. Так, например, при 0 °С газообразная смесь состава 90 % пропана и 10 % бутана с давлением 0,435 МПа, имеет начальное влагосодержание 0,0548 % по массе. При дросселировании газообразной смеси пропан-бутана для подачи в газоиспользующие приборы с давлением 0,003 МПа, происходит снижение температуры до –42 °С, при этом конечное влагосодержание газообразной смеси возрастает и составляет 0,26 % по массе [11]. Данное обстоятельство свидетельствует об увеличении влагоемкости газообразной смеси, что препятствует выпадению конденсата и образованию гидратов и ледяных пробок.

Таким образом, результаты исследований показывают, что для проведения процесса дросселирования, минуя образование гидратов, необходимо предусматривать мероприятия по поддержанию газообразной фазы пропан-бутана в перегретом виде без перехода смеси паров в парожидкостное состояние. Для чего в системах автономного газоснабжения с естественной регазификацией сжиженного углеводородного газа рекомендуется обеспечивать поддержание температуры в трубопроводе паровой фазы на уровне более высоких значений. В качестве рекомендаций предлагается предусматривать тепловую изоляцию участков 1, 2, 3, 6 для сохранения паровой фазы в перегретом состоянии перед подачей в регулятор давления на редуцирование.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ярыгин Ю. Н.* Автономная газификация: научное и проектное обеспечение // Газ России. 2010. № 3. С. 17—19.

2. BP Statistical Review of World Energy: statistical Review. June 2011. London: Beyond petroleum, 2011. 49 p.

3. *Спектор Н. Ю., Саркисов А. С.* Анализ газификации Российской Федерации // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2015. № 5. С. 25—29.

4. *Осипова Н. Н., Ряписова Ю. С., Бычкова И. М.* Перспективы расширения использования сжиженного углеводородного газа в Российской Федерации // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе: материалы III Международной научн.-практич. конф. Саратов: СГТУ, 2015. С. 207—211.

5. *Осипова Н. Н.* Системы автономного газоснабжения населенных пунктов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 22(41). С. 115—120.

6. *Курицын Б. Н., Кузнецов С. С.* Энергосберегающие системы резервуарного снабжения сжиженным газом // XXV междунар. науч. конф. ММТТ-25. Саратов: СГТУ, 2012. С. 112—115.

7. *Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Иванова Е. В.* Объективный выбор децентрализованного источника снабжения сжиженным газом // Строительный инжиниринг. 2006. № 9. С. 25—30.

8. *Giavarini C., Hester K.* Hydrates Seen as a Problem for the Oil and Gas Industry // Green Energy and Technology. 2011. Pp. 97—116.

9. *Varaminian F., Izadpanah A. A.* Modeling of methane and propane hydrate formation kinetics based on chemical affinity *// Scientia Iranica.* 2010. Vol. 17. No. 2. Pp. 158—167.

10. *Yuguang Ye, Changling Liu.* Natural Gas Hydrates: Experimental Techniques and Their Applications. London: Springer Science & Business Media, 2013. 404 p.

11. *Осипова Н. Н.* Исследование процесса гидратообразования при редуцировании влажного газа // Приволжский научный журнал. 2012. № 3(23). С. 112—117.

12. *Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Максимов С. А.* Разработка и обоснование технических решений по предупреждению гидратообразования в системах резервуарного снабжения сжиженным газом // Приволжский научный журнал. 2013. № 1(25). С. 73—79.

13. *Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Медведева О. Н.* Оптимизация поселковых систем снабжения сжиженным углеводородным газом на базе резервуарных установок с электрическим испарителем // Инженерные системы. АВОК — Северо-Запад. 2008. № 4. С. 54—58.

14. *Курицын Б. Н.* Системы снабжения сжиженным газом. Саратов: Изд-во СГУ, 1988. 156 с.

15. *Cristescu T., Avram L., Stoica M. E.* Possible thermal processes involved in the storage of liquefied petroleum gas // Termotehnica. 2013. No. 2. Pp. 63—66.

16. *Курицын Б. Н., Кузнецов С. С.* Исследование тепломассообмена в подземных резервуарах сжиженного газа // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. по материалам второй Всероссийской научно-практической конференции. Саратов: СГТУ. 2012. С. 213—215.

17. Моделирование теплообмена при хранении сжиженного газа в подземных резервуарных установках под воздействием естественных температур грунта и наружного воздуха / Б. Н. Курицын, Н. Н. Осипова, С. А. Максимов, А. А. Седаев // Научный журнал строительства и архитектуры. 2012. № 2. С. 35—45.

18. *Hunter B., Zhixiong G.* Numerical smearing, ray effect, and angular false scattering in radiation transfer computation // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 81. Pp. 63—74.

19. *Spinnler M., Winter E., Viscanta R.* Studies on high-temperature multilayer thermal insulations // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004. Vol. 47. No. 6-7. Pp. 1305—1312.

20. *Zainal Bin Zakaria, Azeman Mustafa, Hanapi Mat.* Heat and mass transfer studies in liquefied petroleum gas storage operations. Universiti Teknologi Malaysia. 2006. 749 p.

21. *Осипова Н. Н., Бычкова И. М., Свиридова К. С.* Обоснование применения грунтовых теплообменников для перегрева паровой фазы сжиженного углеводородного газа // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 2(61). С. 148—157.

22. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 33. СПб.: Гидрометеоиздат, 1989. 484 с.

24. Исследование теплообмена при хранении и регазификации сжиженного углеводородного газа в подземных резервуарных установках / Б. Н. Курицын, С. А. Максимов, Н. Н. Осипова, А. П. Усачев // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 3. С. 82—87.

*© Осипова Н. Н., Бычкова И. М., Поберий А. А., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в мае 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Осипова Н. Н., Бычкова И. М., Поберий А. А.* Влияние нестабильности температуры газообразной смеси пропан-бутана на устойчивую работу автономных систем газоснабжения с естественной регазификацией // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 69—78.

*Об авторах:*

**Осипова Наталия Николаевна** — д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. 410054, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, osnat75@mail.ru

**Бычкова Ирина Михайловна** — аспирант, ассистент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, bychkovaim@mail.ru

**Поберий Алексей Александрович** — магистрант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, poberiy94@mail.ru

***N. N. Osipova, I. M. Bychkova, A. A. Poberii***

## INFLUENCE OF TEMPERATURE NON-UNIFORMITY IN GASEOUS PROPANE-BUTANE MIXTURE ON STABLE OPERATION OF AUTONOMOUS GAS SUPPLY SYSTEMS WITH NATURAL REGASIFICATION

Studies have been carried out to determine the possibility of hydrate formation in an autonomous gas supply system with natural regasification of gas while reducing gaseous propane-butane mixture. It is established that the change in temperatures under the influence of the environment leads the process of throttling to the necessary formation of hydrates in the zone of subzero temperatures when gaseous mixture turns into vapour-liquid state. Measures for stabilizing the temperature of gaseous mixture are proposed to exclude the formation of hydrates in the reduction node.

K e y  w o r d s: liquefied hydrocarbon gas, natural regasification, gaseous propane-butane mixture, heat exchange with the environment, hydrate formation, reduction.

REFERENSES

1. Yarygin Yu. N. [Independent gasification: scientific and project support]. [Russian Gas], 2010, no. 3, pp. 17—19.

2. *BP Statistical Review of World Energy: statistical Review*. June 2011. London, Beyond petroleum, 2011. 49 p.

3. Spektor N. Yu., Sarkisov A. S. [Analysis of gasification in the Russian Federation]. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* [Problems of economics and management of oil and gas complex], 2015, no. 5, pp. 25—29.

4. Osipova N. N., Ryapisova Yu. S., Bychkova I. M. [Prospects of liquefied petroleum gas expansion in the Russian Federation]. [Resource-energy efficient technologies in the construction sector. Proc. of III Int. Sci. and Pract. Conf.]. Saratov, SSTU, 2015. Pp. 207—211.

5. Osipova N. N. [Systems of the autonomous supply of settlements]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2011, no. 22(41), pp. 115—120.

6. Kuritsyn B. N., Kuznetsov S. S. [Energy saving systems of reservoir supply of liquefied gas]. *XXV mezhdunar. nauch. konf. MMTT-25* [25 Int. Sci. Conf. MMTT-25]. Saratov, SSTU, 2012. Pp. 112—115.

7. Kuritsyn B. N., Osipova N. N., Ivanova E. V. [Impartial choice of decentralized source of supply of liquefied gas]. *Stroitel'nyi inzhiniring* [Construction engineering], 2006, no. 9, pp. 25—30.

8. Giavarini C., Hester K. Hydrates Seen as a Problem for the Oil and Gas Industry // *Green Energy and Technology*, 2011, pp. 97—116.

9. Varaminian F., Izadpanah A. A. Modeling of methane and propane hydrate formation kinetics based on chemical affinity. *Scientia Iranica*, 2010, 17(2), pp. 158—167.

10. Yuguang Ye, Changling Liu. *Natural Gas Hydrates: Experimental Techniques and Their Applications*. London, Springer Science & Business Media, 2013. 404 p.

11. Osipova N. N. [Investigation of the Process of Hydrate Formation in Wet Gas Reduction]. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal], 2012, no, 3(23), pp. 112—117.

12. Kuritsyn B. N., Osipova N. N., Maksimov S. A. [Development and Rationale of Technical Solutions for Prevention of Hydrates Formation in Liquefied Gas Reservoir Supply Systems]. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal], 2013, no, 1(25), pp. 73—79.

13. Kuritsyn B. N., Osipova N. N., Medvedeva O. N. [Optimization of community systems of supply of liquefied petroleum gas on the basis of reservoir installations with an electrical evaporator]. *Inzhenernye sistemy. AVOK — Severo-Zapad* [Engineering systems. AVOK — North-West], 2008, no. 4, pp. 54—58.

14. Kuritsyn B. N. *Sistemy snabzheniya szhizhennym gazom* [Systems of supply of liquefied gas]. Saratov, SSU Publishing house, 1988. 156 p.

15. Cristescu T., Avram L., Stoica M. E. Possible thermal processes involved in the storage of liquefied petroleum gas. *Termotehnica*, 2013, no. 2, pp. 63—66.

16. Kuritsyn B. N., Kuznetsov S. S. [Research of heat-mass exchange in underground reservoirs of liquefied gas]. *Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona. Sbornik nauchnykh trudov po materialam vtoroi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Resource-energy efficient technologies in the construction sector of the region. Coll. of scientific works on proc. of the second All-Russian Scientific and Practical Conf.]. Saratov, SSTU, 2012. Pp. 213—215.

17. Kuritsin B. N., Osipova N. N., Maksimov S. A., Sedaev A. A. [Modeling of Heat Exchange During Storage of Liquefied Gas Tank of Underground Facilities under the Influence of Natural Soil Temperature and Outdoor Air*]. Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury* [Russian Journal of Building Construction and Architecture], 2012, no. 2, pp. 35—45.

18. Hunter B., Zhixiong G. Numerical smearing, ray effect, and angular false scattering in radiation transfer computation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 81, pp. 63—74.

19. Spinnler M., Winter E., Viscanta R. Studies on high-temperature multilayer thermal insulations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, 47(6-7), pp. 1305—1312.

20. Zainal Bin Zakaria, Azeman Mustafa, Hanapi Mat. *Heat and mass transfer studies in liquefied petroleum gas storage operations.* Universiti Teknologi Malaysia. 2006. 749 p.

21. Osipova N. N., Bychkova I. M., Sviridova K. S. [Soil Rationale for Heat Exchangers in Vapor Phase Overheating in Liquefied Petroleum Gas]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building], 2017, no. 2(61), pp. 148—157.

22. *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 33* [Applied scientific reference book on climate in the USSR. Issue 33]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 484 p.

23. Kuritsyn B. N., Maksimov S. A., Osipova N. N., Usachev A. P. [Investigation of heat transfer in storage and regasification of liquefied petroleum gas in underground tank installations]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2011, no. 3, pp. 82—87.

*For citation:*

Osipova N. N., Bychkova I. M., Poberii A. A. [Influence of temperature non-uniformity in gaseous propane-butane mixture on stable operation of autonomous gas supply systems with natural regasification]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 69—78.

*About authors:*

**Osipova Nataliya Nikolaevna** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of Department of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation, osnat75@mail.ru

**Bychkova Irina Mikhailovna** — Postgraduate student, Assistant of Department of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation, bychkovaim@mail.ru

**Poberii Aleksei Aleksandrovich** – Master's Degree student of Department of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 77, Politechnicheskaya St, Saratov, 410054, Russian Federation, poberiy94@mail.ru

УДК 628.82+519.688

***А. А. Цынаева, М. Н. Никитин, Д. О. Кортяева***

***Самарский государственный технический университет***

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ СО СПЛИТ-СИСТЕМОЙ

Выполнено численное исследование температурного поля в замкнутом объеме с частично нагретой стенкой и охлаждающей струей. В качестве источника теплопоступлений были определены оконный проем и наружные ограждения. Проведена верификация используемых в численном исследовании моделей, методов и программных средств путем сравнения результатов численного и физического эксперимента. В результате численного моделирования исследована структура распространения охлажденной струи в замкнутом объеме. Выявлены зоны минимальных и максимальных температур, определено, что использование местной системы кондиционирования для помещения позволяет за достаточно небольшой промежуток времени (не более 1200 секунд) скомпенсировать теплопоступления и снизить температуру воздуха в помещении.

Ключевые слова: энергоэффективность, строительство, гражданское строительство, конвекция, теплопоступления, струи, температурное поле, теплообмен.

## Введение

В технике в качестве объема с частично нагретой стенкой и охлаждающей струей может рассматриваться помещение с местной системой кондиционирования. В жилых и общественных помещениях задача обеспечения комфортных условий решается за счет локальных сплит-систем. Эти системы позволяют контролировать температуру в помещении в динамическом режиме при заданных параметрах, они компактны и достаточно быстро охлаждают помещение. В настоящее время на рынке сбыта имеется достаточно большой выбор сплит-систем. Это позволяет потребителю подобрать такой вариант сплит-системы [1, 2, 3], который обеспечивает комфортное состояние в помещении, имеет современный дизайн и бесшумную работу в экономичном режиме [4]. Современные сплит-системы могут работать как в режиме охлаждения, так и в режиме подогрева, что является их преимуществом. Так сплит-система, работающая в режиме подогрева, действует в качестве теплового насоса. В данном случае [5] в качестве низко потенциального источника теплота используется окружающая среда. В таком режиме сплит-системы для весеннего и осеннего периодов года имеют меньшую инерционность, чем традиционные системы отопления, снабженные системами автоматизированного управления теплопотреблением [6]. Однако сплит-системы, кроме преимуществ, имеют ряд недостатков. К ним относятся: стоимость оборудования как при покупке, так и при эксплуатации; замена фреона в среднем от 1 раза в год; близкое расположение внутреннего блока к наружному, что не всегда удобно; подвижность пыли и сквозняки; трудности монтажа при работе сплит-системы на несколько помещений и ограничения температурного режима при эксплуатации; стационарная установка системы; необходимость привлечения специалистов при монтаже и профилактике сплит-систем [7]. Кроме того, для помещений детских поликлиник, стационаров при установке новых систем обеспечения микроклимата (на этапе реконструкции или ремонта) требуется заранее выявить возможные негативные воздействия, к ко-

торым может привести возникновение температурных перепадов или струйных течений воздуха. В этой связи следует детально изучить динамику распространения струи охлажденного воздуха в помещении, оборудованном сплит-системой.

Детальное изучение конвекции с помощью математического моделирования позволяет оптимизировать системы кондиционирования, что значительно сокращает время на их проектирование с учетом особенностей дизайна помещения. Это уменьшит затраты при монтаже, улучшит условия жизнедеятельности людей в проектируемом помещении в дальнейшем и положительно отразится на физическом состоянии человека [8]. На стадии разработки модели можно детально оценить все достоинства и недостатки проекта, что поможет усовершенствовать процесс охлаждения воздуха в помещении со сплит-системой [9, 10, 11], повысит энергоэффективность здания в целом, позволит минимизировать техногенное воздействие на окружающую среду. Однако использование программных продуктов на базе коммерческой лицензии сопряжено со значительными инвестициями, которые не могут себе позволить небольшие конструкторские бюро и научно-исследовательские группы. В этой связи хорошим решением является применение программных комплексов на базе свободной лицензии с открытым программным кодом (Salome, Code Saturne, Open Foam).

С помощью программных кодов на базе свободной лицензии моделирование доступно каждому и не требует специальных навыков программирования [12]. За счет этого можно рассмотреть множество вариантов моделей, компоновки местных систем кондиционирования и выбрать наиболее приемлемый для заказчика вариант [13]. Например, рассматривая функционирование местной системы кондиционирования, можно разработать такую систему и выбрать такие архитектурно-планировочные и дизайнерские решения, при которых минимизируется струйное движение воздуха в помещении, компенсируется наличие дополнительных источников теплоты, будет выявлено оптимальное расположение кондиционера в помещении с учетом угла наклона струи, интенсивности работы человека и его размещения в помещении [14].

Таким образом, изучение конвективного переноса теплоты в помещении в динамической постановке задачи позволяет усовершенствовать работу сплит-системы с учетом внешних условий. Это открывает возможности исключения различных недочетов эксплуатации, которые могли бы быть выявлены только после установки сплит-системы. В этой связи целью данного исследования является выявление температурных полей в замкнутых объемах при наличии теплопоступлений, теплопотерь и струйных течений. Это связано с необходимостью выявления комплексного влияния данных факторов на условия комфортности помещения.

В исследовании ставились следующие задачи: разработка математической модели; верификация численного метода, математической модели и использованных программных средств, численный эксперимент по исследованию комплексного влияния на температурное поле в замкнутом объеме теплопоступлений, струйных течений; анализ результатов численного эксперимента; проверка параметров микроклимата на их соответствие условиям комфортности. Задача решалась в динамической постановке с изменением параметров во времени.

**Современное состояние исследований**

Исследованию сплит-системы посвящена работа [15], в которой выполнено экспериментальное исследование настенного кондиционера Acson AWM07. Эксперимент заключался в измерении параметров (температура, давление) рабочих точек холодильного цикла, после которого были выявлены «слабые» места системы. При этом влияние работы сплит-системы на параметры микроклимата не рассматривалось. В работе [16] посредством эксергетического анализа [17] эффективности выполнено исследование работы местных систем кондиционирования воздуха с различными низкотемпературными теплоносителями. Однако применение эксергетического метода анализа не позволяет оценить работу таких систем в динамическом режиме. Сплит-система работает именно в динамическом режиме, поэтому наибольший интерес представляет ее исследование в динамической постановке. Снижение затрат энергии на эксплуатацию системы кондиционирования может осуществляться за счет использования теплоаккумуляционных свойств грунта [18]. Но применение таких систем ограничивается небольшими индивидуальными жилыми домами из-за необходимости сооружения грунтовых теплообменников с большой поверхностью теплообмена.

В работе [19] для отказа от использования диаграмм состояния воздуха при проектировании систем кондиционирования и для уточнения влияния перепадов давления атмосферного воздуха в горных районах на величину температуры мокрого термометра разработана методика расчета систем кондиционирования без использования номограмм. Но авторы работы [19] не рассматривали вопросы эксплуатации местных систем кондиционирования.

В работе [20] разработан стенд по исследованию внутренней аэродинамики наружного блока сплит-системы SHARP AE-X08BE-C, что позволило авторам работы [20] модернизировать конструкцию данного аппарата. Однако результаты исследования модели SHARP AE-X08BE-C могут только ограниченно использоваться для других сплит-систем. Работа [21] посвящена исследованию сплит-системы методом субъективных оценок. Но использование для оценки эффективности работы сплит-системы метода, основанного на индивидуальном восприятии температуры воздуха человеком без применения измерительно-приборной базы и математического аппарата обработки результатов, имеет существенные погрешности. Применение метода субъективных оценок может быть оправдано только в очень ограниченных областях, не связанных с модернизацией техники систем кондиционирования.

Таким образом, анализ научно-технической литературы показал, что исследование температурного поля в замкнутом объеме помещения с частично нагретой стенкой и охлаждающей струей является актуальной, практически значимой проблемой, в особенности в приложении к исследованию использования местных систем кондиционирования в медицинских и детских учреждениях.

**Методика**

В качестве объекта исследования, как замкнутого объема с частично нагретой стенкой и охлаждающей струей, было принято жилое помещение с габаритными размерами $A \times B \times H$ — 3,56×2,66×2,39 м и с окном $A_{ок} \times B_{ок}$ — 1,45×1,32 м (рис. 1).

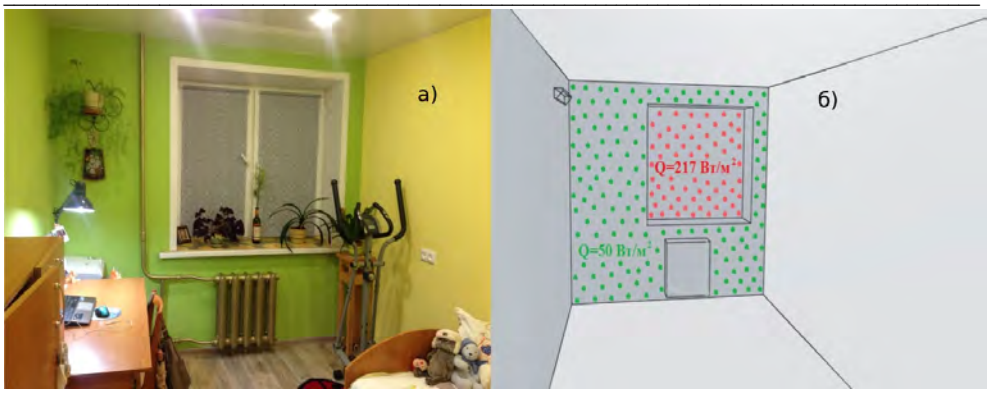



Рис. 1. Исследуемая комната: *а* — фото помещения; *б* — геометрия расчетной области

Модель объекта исследования была построена на базе облачного сервиса Onshape [22] за счет функции Extrude (выдавливание) выполнено окно, радиатор и внутренний блок сплит-системы. После построения геометрии расчетной области модель была экспортирована в формате step в программный комплекс Salome [23], используемый для создания расчетной сетки (рис. 2).

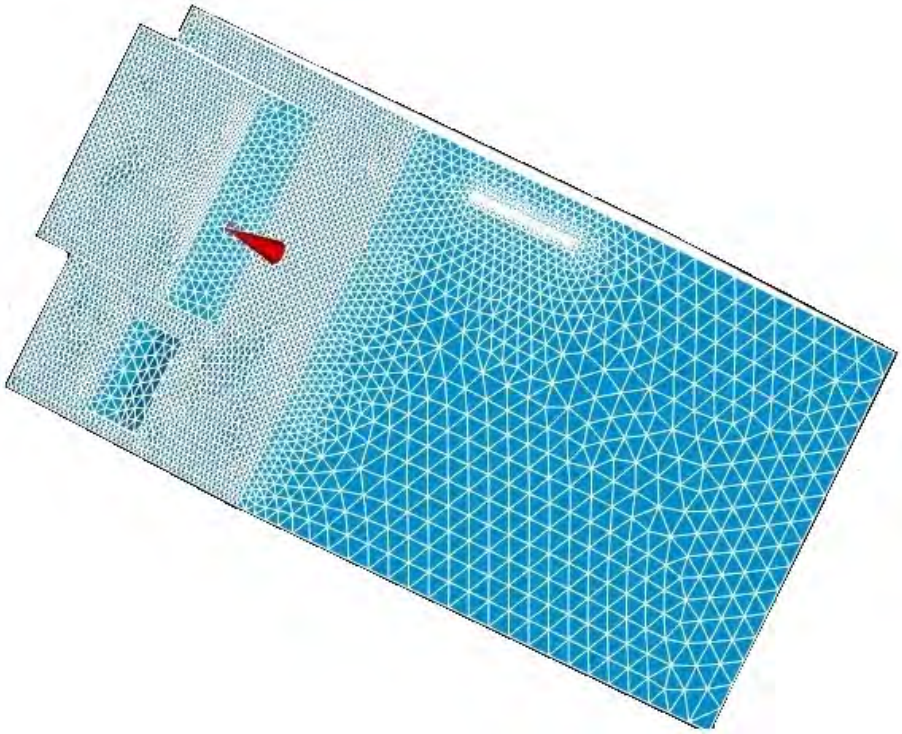


Рис. 2. Разбиение расчетной области на элементы

Расчетная область была разбита на 169 387 объемных элементов с уменьшением размеров разбиения вблизи наружной стены, окна и источника охлаждающей струи (сплит-системы). Максимальный размер ячейки для сеточной модели составлял 0,15 м, а минимальный — 0,0003 м.

Моделирование осуществлялось на базе уравнения неразрывности, уравнения Навье — Стокса [24], уравнения энергии по классическому подходу с использованием трансформированной k-ω SST модели турбулентности Ментера [25].

Уравнение энергии:

$$\rho\frac{de}{dt} = -\mathrm{div}\left(\underline{q''}\right) + q''' - P\mathrm{div}\left(\underline{u}\right) + q'''\mu\, S^2, \tag{1}$$

где $e$ — внутренняя энергия; $\underline{q''}$ — вектор потока теплоты, равный $\underline{q''} = -\lambda\underline{\nabla T}$ [15, 16]; $q'''$ — тепловая мощность внутренних источников теплоты; $S^2$ — диссипативная функция [24, 26]; $\lambda$ — коэффициент теплопроводности; $T$ — температура.

Уравнение Навье — Стокса:

$$\begin{cases} \dfrac{d\rho}{dt} + \mathrm{div}\left(\rho\underline{\bar{u}}\right) = \Gamma \\ \rho\dfrac{d\underline{\bar{u}}}{dt} + \underline{\underline{\nabla\bar{u}}}\cdot\left(\rho\underline{\bar{u}}\right) = -\underline{\nabla P} + \underline{\mathrm{div}}\left(\mu\left[\underline{\underline{\nabla\bar{u}}} + \underline{\underline{\nabla\bar{u}}}^T - \dfrac{2}{3}tr\left(\underline{\underline{\nabla\bar{u}}}\right)\underline{\underline{Id}}\right]\right) + \rho\underline{g} - \underline{\mathrm{div}}\left(\rho\underline{\underline{R}}\right) + \\ \qquad + \underline{ST}_{\underline{u}} - \underline{\underline{K}}\underline{u} + \Gamma\left(\underline{\bar{u}}^{in} - \underline{\bar{u}}\right) \end{cases}$$

где $\underline{u} = \underline{\bar{u}} + \underline{u'}$; $\rho$ — плотность; $\underline{u}$ — скорость; $\Gamma$ — член уравнения, соответствующий источнику массы; $\nabla$ — оператор Гамильтона; $\mu$ — коэффициент динамической вязкости; $P$ — давление; $tr\left(\underline{\underline{\nabla\bar{u}}}\right)$ — след тензора; $\underline{g} = 9.81$; $\underline{ST}_{\underline{u}}$, $\underline{\underline{K}}\underline{u}$ — явный и неявный источники, при этом $\underline{\underline{K}}$ симметричный положительный тензор; $\underline{\underline{R}} \equiv \underline{\overline{u'}} \otimes \underline{u'}$; $\mu = \mu_l + \mu_T$, $\mu_T$ — турбулентная вязкость; $\rho\underline{\underline{R}} = \frac{2}{3}\rho k\underline{\underline{1}} - 2\mu_T\underline{\underline{\bar{S}}}^D$ $k$ — кинетическая энергия турбулентных пульсаций, $k \equiv \frac{1}{2}tr\left(\underline{\underline{R}}\right)$.

Задача решалась в динамической постановке. Для расчета были приняты следующие начальные и граничные условия: внутренние перекрытия заданы адиабатными, а на наружной стене и на окне были приняты следующие величины теплопоступлений: 217 и 50 Вт/м$^2$ соответственно, температура внутреннего воздуха 20 °С, плотность 1,225 кг/м$^3$, вязкость 1,79·10$^{-5}$ Па·с, удельная теплоемкость 1006,43 Дж/кг·К, теплопроводность 0,0242 Вт/м·К, скорость воздуха из кондиционера 1,473 м/с. Передача теплоты радиацией внутри помещения при заданном уровне температур пренебрежимо мала. Но теплопоступления от солнечной радиации через оконный проем рассчитывались. Расчет велся в соответствии с методикой, представленной в нормативном документе (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003). Величина теплопоступлений определялась в соответствии с нормативной документацией ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» и [27, 28]. Чис-

ленный расчет теплообмена в помещении производился в программном комплексе Code Saturne [29].

Верификация численного метода, математической модели и использованных программных средств выполнена путем сравнения результатов экспериментального исследования свободной конвекции с частичным нагревом стенки, выполненных Г. В. Кузнецовым и др. [30] с расчетом авторов для условий [31]. В нашей работе при верификации метода численного исследования были рассмотрены несколько вариантов с разными начальными условиями, которые приведены в табл.

В работе [30] экспериментальный блок размерами $a \times b \times h$, равными 0,40×0,56×0,40 м, подогревался пластиной размерами 0,08×0,16×0,02, расположенной на нижней грани параллелепипеда, параллелепипед имел нетеплоизолированные стенки. В работе Г. В. Кузнецова были проведены эксперименты с различными значениями мощностей греющего элемента (18,2; 27,2; 417 Вт).

| Параметры | 1-й вариант | 2-й вариант | 3-й вариант | 4-й вариант [16] |
|---|---|---|---|---|
| Модель | k-omega SST | k-omega SST | k-epsilon | экспериментальные данные |
| Плотность рабочего тела ρ, кг/м$^3$ | 1,225 | 1,225 | 1,225 | 1,225 |
| μ, Па·с | $1{,}79 \cdot 10^{-5}$ | $1{,}79 \cdot 10^{-5}$ | $1{,}79 \cdot 10^{-5}$ | $1{,}79 \cdot 10^{-5}$ |
| с, Дж/(кг·к) | 1006,43 | 1006,43 | 1006,43 | 1006,43 |
| λ, Вт/м·к | 0,0242 | 0,0242 | 0,0242 | 0,0242 |
| Температура пластины, °С | $T(t) = 291{,}12 + 0{,}16t - 7{,}36 \cdot 10 - 5t^2$ | $T(t) = 291{,}12 + 0{,}16t - 7{,}36 \cdot 10 - 5t^2$ | $T(t) = 291{,}12 + 0{,}16t - 7{,}36 \cdot 10 - 5t^2$ | — |
| Стенки: Температура, °С | 18 | — | 18 | 18 |
| Коэффициент теплоотдачи, Вт/м$^2$·К | 5 | — | 5 | 5 |
| Удельный тепловой поток, Вт/м$^2$ | — | 7 | — | — |

Результаты численного исследования по верификации метода и программных средств приведены на рис. 3.

Общее время нагрева образца соответствовало условиям реализации эксперимента [30] и составило 1200 с. По полученным данным видно, что характер расчетных кривых совпадает с экспериментом [30], но наиболее качественные результаты показывает моделирование по варианту 1. Расхождение экспериментального и численного результата по 1-му варианту составило не более 1,3 %, по 2-му варианту не более 1,4 %, расхождение по 3-му варианту составило не более 1,7 %. Величина расхождения расчета и эксперимента не превышает погрешности эксперимента [30]. В связи с этим для моделирования с помощью программного кода Saturne теплового состояния помещения,

охлаждаемого сплит-системой, использовали условия моделирования по варианту 1. Применялась модель турбулентности k-omega SST с температурой стенки 18 °С и коэффициентом теплопередачи 5 Вт/м$^2$·К.

Для получения качественных результатов точность решателя была задана на уровне не выше $10^{-5}$ с количеством итераций, не превышающим 1000. Схема решателя для всех параметров (скорость, температура, k, omega): Upwind. Предельное значение релаксации было задано на уровне 0,8. Решение получено с шагом итераций равным 0,1 с. В результате проверки качества сетки дефектов не выявлено, т. е. обнаруженные дефекты сетки находятся в допустимых пределах (до 5 %): нарушение ортогональности — 0 ячеек 0 %; смещение центра — 0 ячеек 0 %; градиент наименьших квадратов — 0 ячеек 0 %; расхождение в соотношении объемов — 0 ячеек 0 %; ошибка ассоциативности — 0 ячеек 0 %.

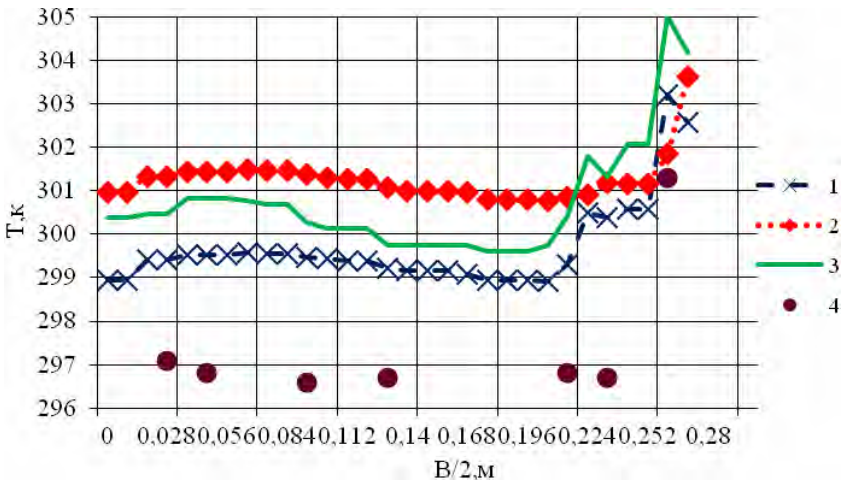



Рис. 3. Характер изменения температуры

**Результаты и обсуждение**

Результаты исследования температурного поля в объеме помещения с частично нагретой стенкой и охлаждающей струей представлены на рис. 4.

Из данных (см. рис. 4) видно, что холодная струя, поступающая от кондиционера под углом, опускается вниз до нижней границы объема помещения. Далее струя, нагревшись, поднимается вверх, прижимая теплые потоки воздуха, поступающие от окна к верхней границе расчетной области. На десятой секунде поток холодного воздуха более выявлен, по сравнению с 1200 сек., что говорит о постепенном охлаждении воздуха в помещении. В последний момент времени (1200 сек.) потоки теплого воздуха присутствуют в верхней зоне помещения. Но толщина слоя теплового воздуха значительно сокращается по сравнению с состоянием на 10 сек. Можно сделать вывод, что в целом рассматриваемый объем охлаждается, но полностью удалить теплые потоки при заданных условиях не представляется возможным из-за постоянного поступления теплоты через окно и от наружной стены.

На рис. 5 показана динамика изменения температуры воздуха в исследуемом объеме помещения.

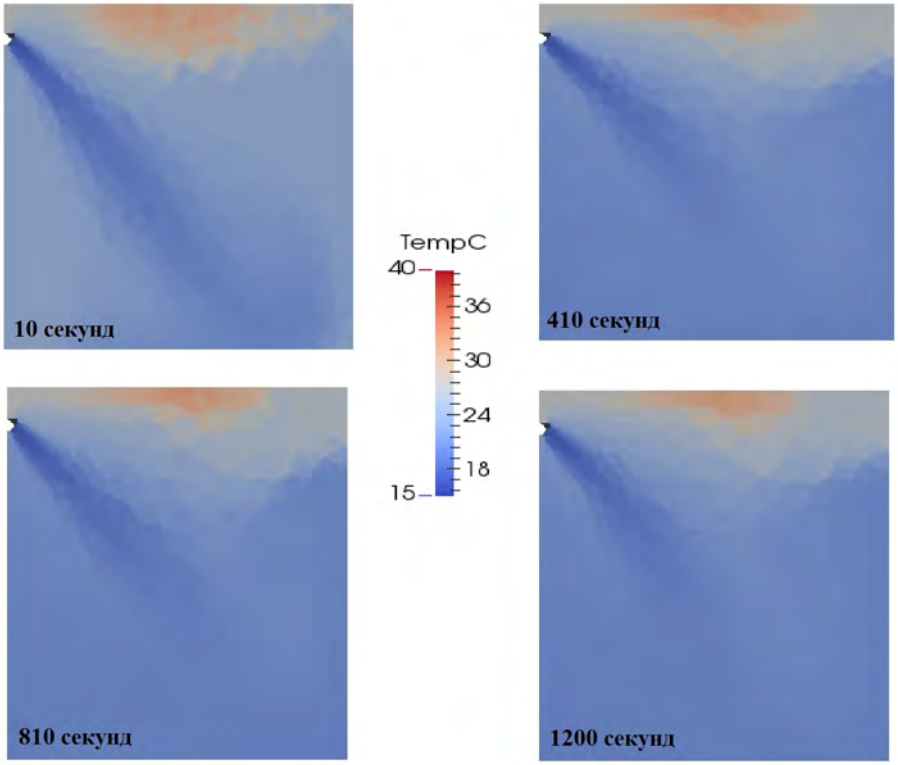



Рис. 4. Разрез комнаты по центру сплит-системы

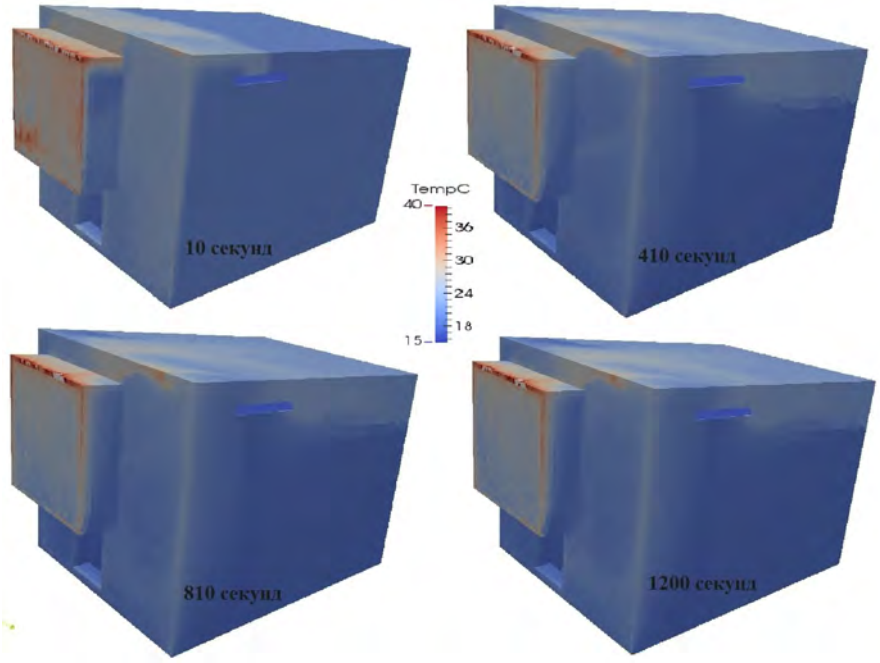



Рис. 5. Изменение температуры в помещении

Охлажденная струя воздуха препятствует проникновению теплоты, поступающей от окна и наружной стены. На 1200 секунде на наружной стене и на окне снизилась общая температура поверхности, что говорит о работе сплит-системы. В помещении на протяжении всего численного эксперимента сохраняется область достаточно высоких температур (40 °С), расположенная в верхней зоне вблизи оконного проема. Тем не менее температурное поле помещения выравнивается, компенсируются теплоизбытки, поступающие от источников теплоты (окно и наружная стена). В рабочей зоне помещения температура достигает 18 °С через 1200 с. В начале эксперимента явно выражен температурный перепад: холодная струя, теплый воздух в рабочей зоне и зона самого теплого воздуха вблизи потолка, которая составляет не более 18 % от высоты помещения. В средине эксперимента происходит постепенное выравнивание температур, холодная струя воздуха уже не ярко выражена и не достигает пола, а теплый воздух в верхней зоне все больше прижимается к потолку. Через 1200 с температура в рабочей зоне выровнялась, а процентное соотношение теплого воздуха по отношению к высоте помещения составляет не более 11 % (см. рис. 4). Проведенное исследование показало, что распространение охлаждающей струи под заданным углом ведет к направлению холодного потока воздуха к спальной зоне. В случае использования местных систем кондиционирования при реконструкции палат стационаров это может привести к возникновению перепадов температур в зоне расположения пациентов, что может потребовать корректировку угла наклона распространения струи в больничных палатах.

**Выводы**

В рамках выполненной работы проведены следующие численные расчеты и сделаны выводы:

1. Разработана математическая модель для исследования температурного поля помещения с учетом внешних факторов. Проведен численный эксперимент по исследованию комплексного влияния теплопоступлений, струйных течений на температурное поле в замкнутом объеме.

2. Решена задача верификации используемых моделей, методов и программных средств (Code Saturne), по результатам которой сделан вывод об адекватности результатов моделирования. Верификация выполнена сравнением результатов численного эксперимента авторов и физического эксперимента Г. В. Кузнецова и др. Отклонения результатов моделирования от экспериментальных находятся в пределах погрешности экспериментальных исследований.

3. Решена задача распределения температуры в объеме помещения с частично нагретой стенкой и охлаждающей струей.

4. Численное моделирование выполнено на базе RANS подкода с использованием k-wsst модели турбулентности с помощью программного кода Saturne.

5. Результаты численного исследования показали, что мощности сплит-системы достаточно для охлаждения воздуха в данном помещении, несмотря на локальный источник тепла в виде окна и наружной стены. В помещении минимальная температура составила 16 °С через 1200 с. Результаты показали, что самые низкие температуры в помещении на 1200 секунде были у подножья струи (15,99 °С), а самые высокие были в верхней части остекления (достигала 40 °С).

При этом исследования показали, что использование местных систем кондиционирования в палатах больничных стационаров может привести к значительному снижению температуры воздуха в зоне расположения пациентов, что может иметь негативные последствия.

По данным результатов можно сказать, что использование сплит-системы в летний период в жилых помещениях способствует поддержанию оптимальных параметров, микроклимата в помещении. При этом следует учитывать, что минимальная температура воздуха будет иметь место у подножья струи охлажденного воздуха от кондиционера. То есть, в этой зоне следует избегать компоновки спальных мест.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монозональные сплит-системы / А. А. Никитин, Т. В. Рябова, Ю. Н. Санкина, О. Чурашов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2015. № 3. С. 1—6.

2. Solar air conditioning in Europe — an overview / C. A. Balaras, G. Grossman, H. Henning, C. A. Ferreira, E. Podesser, L. Wang, E Wiemken // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007. No. 11(2). Pp. 299—314.

3. *Mossolly M., Ghali K., Ghaddar N.* Optimal control strategy for a multi-zone air conditioning system using a genetic algorithm // Energy. 2009. No. 34(1). Pp. 58—66.

4. *Кокорин О. Я., Балмазов М. В.* Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2010. № 4(100). С. 78—80.

5. *Tsynaeva A. A., Tsynaeva K. A.* The study of heat consumption systems of buildings with heat pump // Materials Science Forum. 2016. Pp. 297—302.

6. *Tsynaeva A. A., Nikitin M. N., Tsynaeva E. A.* The technology of automatic control of heat consumption in buildings // Procedia Engineering. 2016. No. 153. Pp. 785—790.

7. The effect of air-conditioning parameters and deposition dust on microbial growth in supply air ducts / A. Li, Z. Liu, X. Zhu, Y. Liu, Q. Wang // Energy and Buildings. 2010. No. 42(4). Pp. 449—454.

8. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health / B. F. Yu, Z. B. Hu, M. Liu, H. L. Yang, Q. X. Kong, Y. H. Liu // International Journal of Refrigeration. 2009. No. 32(1). Pp. 3—20.

9. Effect of urban neighborhoods on the performance of building cooling systems / S. Gracik, M. Heidarinejad, J. Liu, J. Srebric // Building and Environment. 2015. No. 90. Pp. 15—29.

10. *Ballarini I., Corrado V.* Analysis of the building energy balance to investigate the effect of thermal insulation in summer conditions // Energy and Buildings. 2012. No. 52. Pp. 168—180.

11. *Omer A. M.* Renewable building energy systems and passive human comfort solutions // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. No. 12(6). Pp. 1562—1587.

12. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs / D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, B. T. Griffith // Building and Environment. 2008. No. 43(4). Pp. 661—673.

13. CFD analysis of a heat transfer device integrated wind tower system for hot and dry climate / J. K. Calautit, B. R. Hughes, H. N. Chaudhry, S. A. Ghani // Applied Energy. 2013. No. 112. Pp. 576—591.

14. *Sookchaiya T., Monyakul V., Thepa S.* Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions // Energy and Buildings. 2010. No. 42(10). Pp. 1692—1702.

15. Исследование работы сплит-кондиционера в режиме охлаждения при различных температурах наружного воздуха / Е. Э. Баймачев, С. С. Макаров, О. В. Сухарева, С. И. Кузнецов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 11(94) С. 134—138.

16. Исследование энергоэффективности сплит-систем кондиционирования воздуха / В. С. Степанов, О. В. Сухарева, Е. Э. Баймачев, Д. С. Линкевич // Известия вузов. Строительство. 2015. № 2. С. 80—87.

17. *Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К.* Эксергетический анализ и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.

18. *Васильев Г. П., Горнов В. Ф., Юрченко И. А.* Способ использования теплоаккумуляционных свойств грунта: пат. № 2416760 Рос. Федерации. Заявл. 26.10.2009; опубл. 20.04.2011, Бюл. № 11.

19. Новые подходы к расчету параметров испарительного охлаждения в системах кондиционирования воздуха / Р. А. Захидов, А. И. Анарбаев, Х. С. Исаходжаев, Ф. Мухтаров // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2013. Т. 1. № 1. С. 115—118.

20. Экспериментальное исследование внутренней аэродинамики термостата для наружного блока сплит-системы SHARP AE-X08BE-C / А. В. Соломатенко, А. С. Кочетков, Ю. В. Кудров, Я. А. Сиротенко // Сервис в России и за рубежом. 2013. № 1. С. 97—109.

21. *Терещенко П. С., Назаренко В. И., Тихонова Н. А.* Гигиеническая оценка эффективности систем кондиционирования воздуха офисных помещений в теплый период года // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 4(56). URL: http://academygps.ucoz.ru/ttb/2014-4/2014-4.html

22. Onshape. URL: https://www.onshape.com/

23. Salome. URL: http://www.salome-platform.org/

24. Code Saturne 4.0.0 Theory Guide. URL: http://code-saturne.org/cms/sites/default/files/docs/4.0/theory.pdf

25. Turbulence Modeling Resource. URL: http://turbmodels.larc.nasa.gov/

26. *Ковальногов Н. Н.* Прикладная механика жидкости и газа. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 219 с.

27. Внутренние санитарно-технические устройства / В. Н. Богословский, А. И. Пирумов, В. Н. Посохин и др. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. М.: Стройиздат, 1992. 319 с.

28. *Сазонов Э. В.* Вентиляция общественных зданий. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1991. 188 с.

29. Code_Saturne. URL: http://code-saturne.org/cms/

30. *Кузнецов Г. В., Максимов В. И., Шеремет М. А.* Естественная конвекция в замкнутом параллелепипеде при наличии локального источника энергии // Прикладная механика и техническая физика. 2013. № 4. С. 86—95.

31. *Кортяева Д. О., Никитин М. Н.* Численное исследование естественной конвекции в замкнутом объеме // Градостроительство и архитектура. 2016. № 3(24). С. 146—150. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.24

*© Цынаева А. А., Никитин М. Н., Кортяева Д. О., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Цынаева А. А., Никитин М. Н., Кортяева Д. О.* Исследование конвекции в помещении со сплит-системой // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 79—91.

*Об авторах:*

**Цынаева Анна Александровна** — доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 194, sgasu@samgasu.ru

**Никитин Максим Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 194, sgasu@samgasu.ru

**Кортяева Дарья Олеговна** — магистрант, Самарский государственный технический университет. Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 194, sgasu@samgasu.ru

***A. A. Tsynaeva, M. N. Nikitin, D. O. Kortyaeva***

## THE STUDY OF CONVECTION IN A ROOM WITH AN AIR CONDITIONING SYSTEM

The numerical study of temperature distribution in enclosed volume with partially heated wall and cooling jet was conducted. The objective of this research was obtaining properties of temperature field in enclosed volume in presence of jet flow, heat losses and heat gains. The object of the research was a single room with air conditioning system. Building envelope and a window were defined as

heat sources. Implemented numerical models, methods and software were verified by the comparison of obtained simulation results with experimental data. The analysis of cooling jet distribution in enclosed volume was the major result of the presented study. Locations of zones with minimum and maximum temperatures were determined. Operating hours of air conditioning system required for heat gains compensation were defined.

K e y  w o r d s: energy efficiency, construction, civil engineering, convection, heat income, jets, temperature field, heat transfer.

REFERENSES

1. Nikitin A. A., Ryabova T. V., Sankina J. N., Churashov O. [Monozonal split air conditioners]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie»* [Scientific Journal of St Petersburg State University of Low Temperature and Food Technologies: Refrigeration and Air Conditioning], 2015, no. 3, pp. 1—6.

2. Balaras C. A., Grossman G., Henning H., Ferreira C. A., Podesser E., Wang L., Wiemken E. Solar air conditioning in Europe — an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, no. 11(2), pp. 299—314.

3. Mossolly M., Ghali K., Ghaddar N. Optimal control strategy for a multi-zone air conditioning system using a genetic algorithm. *Energy*, 2009, no. 34(1), pp. 58—66.

4. Kokorin O. Ya., Balmazov M. V. [Energy saving systems of air conditioning]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* [Plumbing, Heating and Air Conditioning], 2010, no. 4(100), pp. 78—80.

5. Tsynaeva A. A., Tsynaeva K. A. The study of heat consumption systems of buildings with heat pump. *Materials Science Forum*, 2016, pp. 297—302.

6. Tsynaeva A. A., Nikitin M. N., Tsynaeva E. A. The technology of automatic control of heat consumption in buildings. *Procedia Engineering*, 2016, no. 153, pp. 785—790.

7. Li A., Liu Z., Zhu X., Liu Y., Wang Q. The effect of air-conditioning parameters and deposition dust on microbial growth in supply air ducts. *Energy and Buildings*, 2010, no. 42(4), pp. 449—454.

8. Yu B. F., Hu Z. B., Liu M., Yang H. L., Kong Q. X., Liu Y. H. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. *International Journal of Refrigeration*, 2009, no. 32(1), pp. 3—20.

9. Gracik S., Heidarinejad M., Liu J., Srebric J. Effect of urban neighborhoods on the performance of building cooling systems. *Building and Environment*, 2015, no. 90, pp. 15—29.

10. Ballarini I., Corrado V. Analysis of the building energy balance to investigate the effect of thermal insulation in summer conditions. *Energy and Buildings*, 2012, no. 52, pp. 168—180.

11. Omer A. M. Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, no. 12(6), pp. 1562—1587.

12. Crawley D. B., Hand J. W., Kummert M., Griffith B. T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 2008, no. 43(4), pp. 661—673.

13. Calautit J. K., Hughes B. R., Chaudhry H. N., Ghani S. A. CFD analysis of a heat transfer device integrated wind tower system for hot and dry climate. *Applied Energy*, 2013, no. 112, pp. 576—591.

14. Sookchaiya T., Monyakul V., Thepa S. Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions. *Energy and Buildings*, 2010, no. 42(10), pp. 1692—1702.

15. Baimachev E., Makarov S., Sukhareva O., Kuznetsov S. [Study of split air conditioner operation in a cooling mode at different outside air temperatures]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2014, no. 11(94), pp. 134—138.

16. Stepanov V. S., Sukhareva O. V., Baymachev E. E., Linkevich D. S. [Research of energy efficiency split systems of air conditioning]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2015, no. 2, pp. 80—87.

17. Brodyanskii V. M., Fratsher V., Mikhalek K. *Eksergeticheskii analiz i ego prilozheniya* [Exergy analysis and its applications]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 288 p.

18. Vasil'ev G. P., Gornov V. F., Yurchenko I. A. *Sposob ispol'zovaniya teploakkumulyatsionnykh svoistv grunta. Patent № 2416760 Ros. Federatsii* [The way of use of heat-accumulative properties of soil. Pat. no. 2416760 Russian Federation].

19. Zakhidov R. A., Anarbaev A. I., Isakhodzhaev Kh. S., Mukhtarov F. [New approaches to the estimation of parameters of evaporative cooling in air conditioning systems]. *Energo- i resursosberezhenie v teploenergetike i sotsial'noi sfere. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov, uchenykh* [Energy and resource efficiency in heat-and-power engineering and social services. Proc. of the Int. Sci. and Tech. Conf. of Students, Postgraduates and Scientists], 2013, part 1, no. 1, pp. 115—118.

20. Solomatenko A. V., Kudrov Y. V., Sirotenko Y. A, Kochetkov A. S. [Experimental investigation of internal aerodynamics of thermostat for SHARP AE-X08BE-C split system outer block]. *Servis v Rossii i za rubezhom* [Services in Russia and abroad], 2013, no. 1, pp. 97—109.

21. Tereshhenko P. S., Nazarenko V. I., Tihonova N. A. [Hygienic assessment of the efficiency of the air conditioning systems of office premises during the warm period of the year]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti* [Technology of technosphere safety], 2014, no. 4(56). URL: http://academygps.ucoz.ru/ttb/2014-4/2014-4.html

22. *Onshape*. URL: https://www.onshape.com/

23. *Salome*. URL: http://www.salome-platform.org/

24. *Code Saturne 4.0.0 Theory* Guide. URL: http://code-saturne.org/cms/sites/default/files/docs/4.0/theory.pdf

25. *Turbulence Modeling Resource*. URL: http://turbmodels.larc.nasa.gov/

26. Koval'nogov N. N. *Prikladnaya mekhanika zhidkosti i gaza* [Applied fluid mechanics]. Ulyanovsk, USTU Publ., 2010. 219 p.

27. Bogoslovskii V. N., Pirumov A. I., Posokhin V. N. et al. *Internal sanitary-engineering installations. Part 3. Ventilation and air conditioning. Book 1*. [Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroistva. Ch. 3. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha. Kn. 1] Moscow, Stroiizdat Publ., 1992. 319 p.

28. Sazonov E. V. *Ventilyatsiya obshchestvennykh zdanii* [Ventilation system in public buildings]. Voronezh, Publishing House of Voronezh University, 1991. 188 p.

29. *Code_Saturne*. URL: http://code-saturne.org/cms/

30. Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., Sheremet M. A. Natural convection in a closed parallelepiped with a local energy source. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2013, 54(4), pp. 588—595.

31. Kortyaeva D. O., Nikitin M. N. [Numerical study of natural convection in enclosed volume]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture], 2016, no. 3(24), pp. 146—150. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.24

*For citation:*

Tsynaeva A. A., Nikitin M. N., Kortyaeva D. O. [The study of convection in a room with an air conditioning system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 79—91.

*About authors:*

**Tsynaeva Anna Aleksandrovna** — Docent, Docent of Heat and Ventilation Department, Samara State Technical University. 194, Molodogvardeiskaya St., Smara, 443100, Russian Federation, sgasu@samgasu.ru

**Nikitin Maksim Nikolaevich** — Candidate of Engineering Science, Docent of Heat and Ventilation Department, Samara State Technical University. 194, Molodogvardeiskaya St., Smara, 443100, Russian Federation, sgasu@samgasu.ru

**Kortyaeva Dar'ya Olegovna** — Master's Degree student, Samara State Technical University. 194, Molodogvardeiskaya St., Smara, 443100, Russian Federation, sgasu@samgasu.ru

УДК 656.13.021(470.45)

***Р. С. Малахов, С. В. Алексиков***

***Волгоградский государственный технический университет***

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ КРАТКОСРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Рассмотрен вопрос определения среднегодовой суточной интенсивности методом краткосрочных наблюдений. Установлены характерные колебания суточной интенсивности дорожного движения. Предложена формула пересчета часовой интенсивности в среднегодовую с применением переводных коэффициентов. Обоснованы периоды наблюдений, дающие наименьшую погрешность в определении среднегодовой интенсивности.

Ключевые слова: интенсивность движения, среднегодовая суточная интенсивность, городские дороги, УДС.

В настоящий момент крупные города Российской Федерации столкнулись с проблемой повышения пропускной способности улично-дорожной сети (УДС). Низкая скорость транспортных потоков влечет за собой повышенное загрязнение городской среды, увеличение времени маятниковой миграции населения, повышенную аварийности, затруднение быстрого доступа аварийных служб к месту происшествия. Разработка эффективных решений по организации дорожного движения, ремонту, реконструкции и строительству транспортных сооружений невозможна без знания фактической интенсивности движения, оценки пропускной способности улично-дорожной сети в час пик. Согласно Методическим рекомендациям по оценке пропускной способности автомобильных дорог (ОДМ 218.2.020-2012. Отраслевой дорожный методический документ) часовая пиковая интенсивность движения $N^{ч}_{пик}$ находится во взаимосвязи со среднегодовой суточной интенсивностью:

$$N^{ч}_{пик} = \frac{N_с}{16}, \qquad (1)$$

где $N_с$ — среднегодовая суточная интенсивность движения.

В условиях отсутствия автоматизированных средств учета транспортных потоков сохраняется целесообразность в определении интенсивности городского движения методом краткосрочных наблюдений.

Анализ отечественных и зарубежных исследований в области теории транспортных потоков [1, 2, 3] показал, что без учета закономерностей колебания суточной, недельной и сезонной интенсивности невозможно достоверно определить ее расчетное значение. На основании натурных наблюдений за движением транспорта по улично-дорожной сети г. Волгограда установлены закономерности суточного колебания интенсивности дорожного движения. Выделены 2 характерных типа изменения суточной интенсивности. К I типу отнесены участки УДС или городские магистрали, на которых колебания часовой интенсивности на перегонах или перекрестках обусловлены близостью к основным точкам тяготения транспорта или тех участков УДС, на которых сходятся основные направления внутригородских транспортных перемеще-

ний. На данных участках характер изменения интенсивности отличается от закономерностей, принятых в нормативной и методической литературе с бимодальным законом распределения [4]. Примером I типа служит ул. Рокоссовского на участке, примыкающем к ул. Невская. Ко II типу отнесены участки УДС, находящиеся на значительном удалении от основных центров тяготения или внутрирайонные (внутриквартальные) дороги, на которых сохраняется тенденция к бимодальному распределению. Примером II типа служит пр. Металлургов. Подобное разделение объясняется устоявшейся в Волгограде маятниковой миграцией населения.

В результате исследования установлено, что на перегонах или перекрестках, относящихся к I типу, наблюдается резкий рост интенсивности в период с 7.00 по 9.00, спад интенсивности движения не наблюдается до 18.00 час (рис. 1). Для II типа установлено, что пик интенсивности наблюдается в утренние часы с 8.00 по 10.00 в зависимости от удаления участка от центров тяготения.[1] Вечерний пик сглажен, растянут по времени. Наблюдается постепенный спад интенсивности в период с 13.00—16.00 (см. рис. 1). Пиковая интенсивность на участках II типа составляет 0,58…0,62 от среднесуточной интенсивности для магистральных дорог общегородского значения, 0,72…0,76 от среднесуточной интенсивности для дорог местного значения, 0,88…0,92 от среднесуточной интенсивности для улиц в жилой застройке.

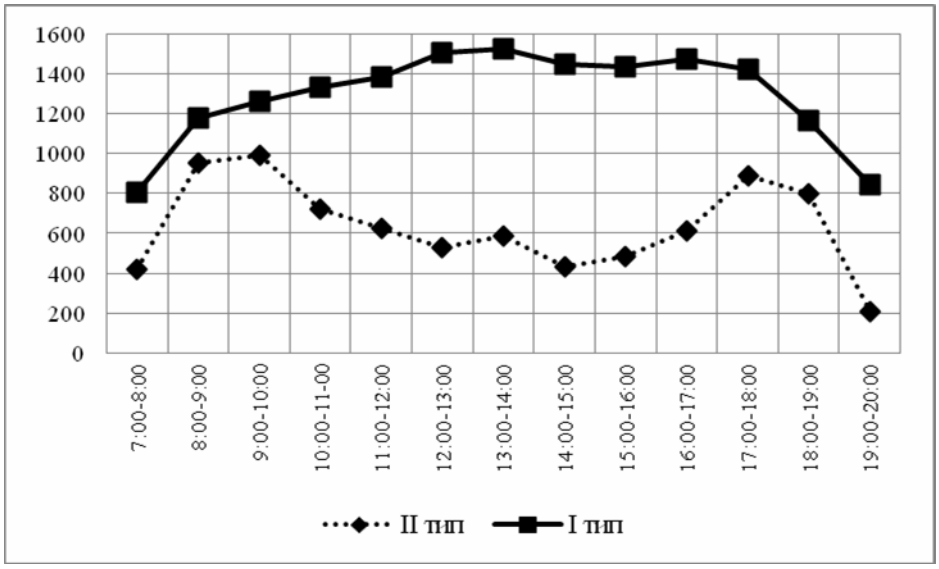



Рис. 1. Закономерность изменения часовой интенсивности на УДС Волгограда

Изменение суточной интенсивности на I типе перегонов в течение недели происходят плавно, без резких колебаний. Спад интенсивности наблюдается в течение субботы и воскресенья (рис. 2), незначительный подъем выявлен во вторник и четверг.

[1] Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. СП 42.13330.2011 : Свод правил / Минстрой РФ. М., 2011.

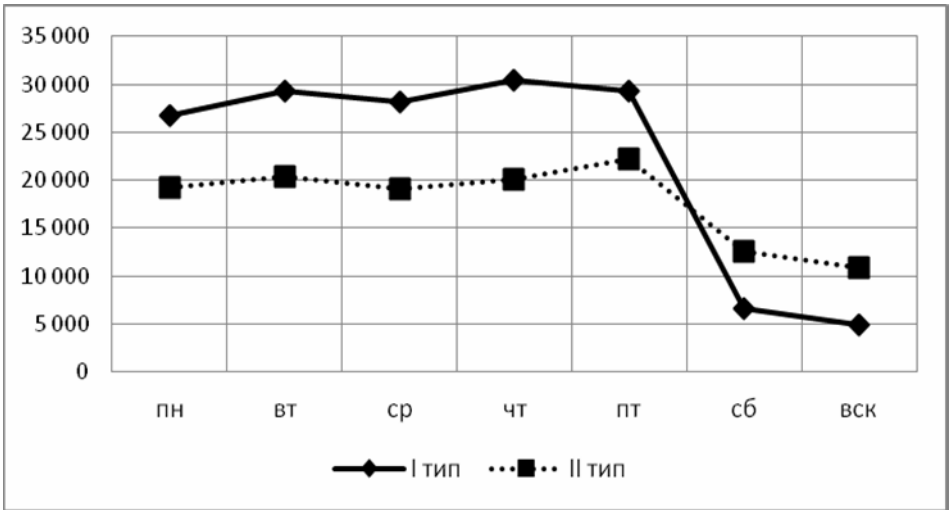



Рис. 2. Закономерности изменения суточной интенсивности движения в течение недели

Колебания среднесуточной интенсивности в течение недели для участков II типа схожи с колебанием интенсивности на перегонах и перекрестках, отнесенных к I типу. Спад интенсивности зафиксирован в субботу и воскресенье, максимальное значение — в пятницу.

Изменения интенсивности по двум типам в течение года более выражены в весенний и осенний период, когда наблюдается подъем, в зимний и в летний период — спад. Минимум наблюдается в августе и январе (рис. 3).

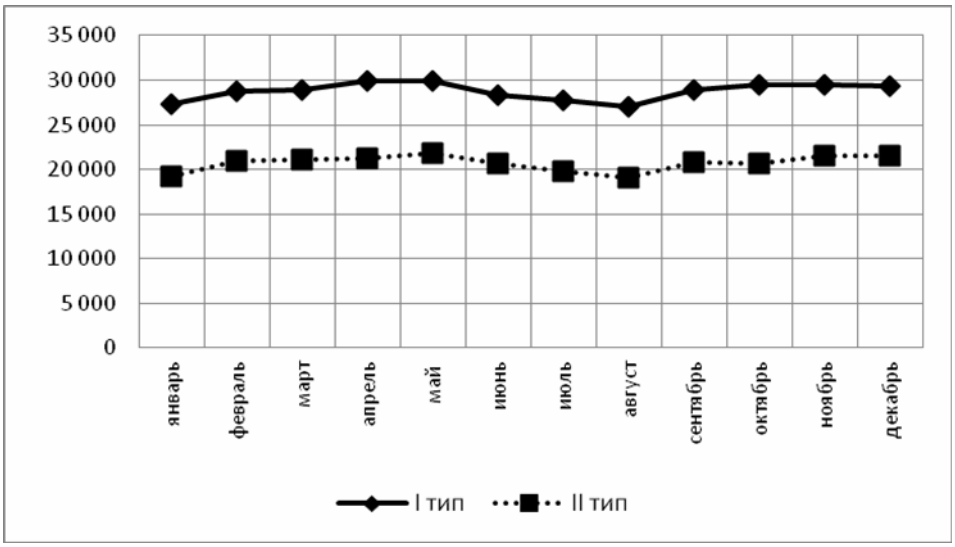



Рис. 3. Закономерности изменения суточной интенсивности движения в течение года

Для расчета среднегодовой суточной интенсивности на перегонах I типа предлагается формула:

$$N = \frac{N_{a-b} k_1}{k_2 k_3}, \qquad (2)$$

где $N_{a-b}$ — количество автомобилей, прошедших за интервал времени $a - b$; $k_1$ — коэффициент перехода от часовой интенсивности к среднесуточной; $k_2$ — коэффициент перехода от среднесуточной интенсивности к средненедельной; $k_3$ — коэффициент перехода от средненедельной интенсивности к среднегодовой.

При определении коэффициентов перехода использовались данные, полученные в результате обработки натурных наблюдений за интенсивностью дорожного движения на УДС Волгограда. Замеры проводились без учета грузоподъемности транспортного средства. Коэффициенты перехода от часовой интенсивности $k_1$ определены как отношение суточной интенсивности к часовой (табл. 1).

Коэффициенты перехода от среднесуточной интенсивности $k_2$ определены как отношение среднесуточной интенсивности к средненедельной (табл. 2).

Коэффициенты перехода от средненедельной интенсивности $k_3$ определены как отношение среднесуточной интенсивности к среднегодовой (табл. 3).

Таблица 1

*Коэффициенты перехода от часовой интенсивности*

| Время | Коэффициент | Время | Коэффициент |
|---|---|---|---|
| 7:00-8:00 | 33,863 | 14:00-15:00 | 18,756 |
| 8:00-9:00 | 23,094 | 15:00-16:00 | 18,978 |
| 9:00-10:00 | 21,554 | 16:00-17:00 | 18,431 |
| 10:00-11-00 | 20,389 | 17:00-18:00 | 19,132 |
| 11:00-12:00 | 19,665 | 18:00-19:00 | 23,292 |
| 12:00-13:00 | 18,057 | 19:00-20:00 | 32,140 |
| 13:00-14:00 | 17,867 | | |

Таблица 2

*Коэффициенты перехода от среднесуточной интенсивности*

| День недели | пн | вт | ср | чт | пт | сб | вск |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент | 1,16 | 1,25 | 1,21 | 1,29 | 1,25 | 0,45 | 0,39 |

Таблица 3

*Коэффициенты перехода от средненедельной интенсивности*

| Месяц | Коэффициент | Месяц | Коэффициент |
|---|---|---|---|
| январь | 0,983 | июль | 0,965 |
| февраль | 1,003 | август | 0,942 |
| март | 1,004 | сентябрь | 1,004 |
| апрель | 1,043 | октябрь | 1,024 |
| май | 1,039 | ноябрь | 1,026 |
| июнь | 0,986 | декабрь | 0,983 |

Достоверность предлагаемого метода зависит от стабильности транспортного потока в период краткосрочных наблюдений [5, 6]. Для обоснования периода наблюдения исследовано изменение коэффициента вариации интенсивности движения по часам суток и дням недели. Установлено, что минимальные коэффициенты вариации зафиксированы в утренние часы, в период с 8.00 по 10.00 в среду и четверг (рис. 4, 5). Указанные интервалы рекомендуются для проведения краткосрочных наблюдений за движением городского транспорта.

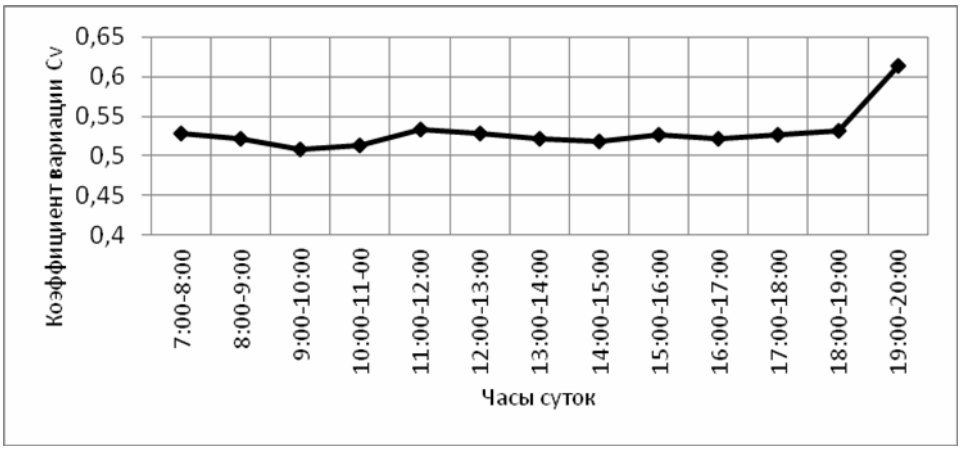



Рис. 4. Изменение коэффициента вариации часовой интенсивности за сутки

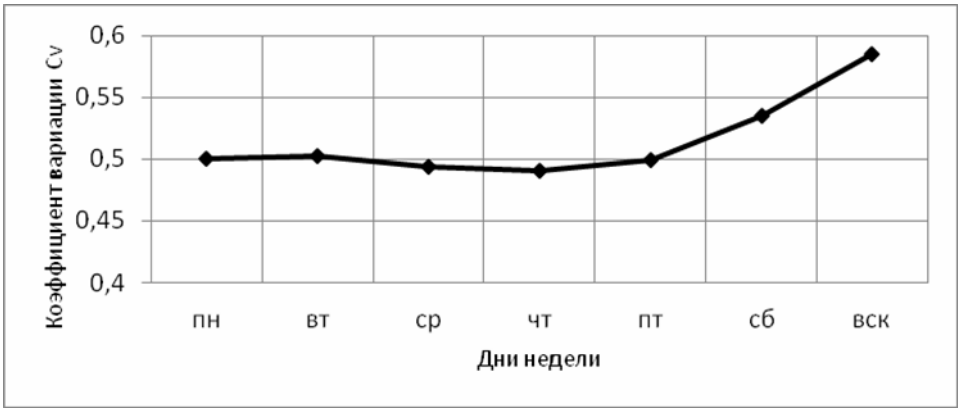



Рис. 5. Изменение коэффициента вариации суточной интенсивности в течение недели

Выполненные исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. На основе исследования закономерностей изменения интенсивности движения городского транспорта Волгограда обоснована целесообразность расчета среднегодовой интенсивности движения методом краткосрочных наблюдений. Определены два характерных типа колебания суточной интенсивности на УДС Волгограда. Проанализированы суточные (см. рис. 1), недельные (см. рис. 2) и месячные (см. рис. 3) закономерности изменения интенсивности движения.

2. Предложена формула пересчета часовой интенсивности дорожного движения в среднегодовую (2). Определены коэффициенты перехода от часовой интенсивности движения к среднегодовой (см. табл. 1—3). Обоснованы периоды наблюдений за интенсивностью движения (среда и четверг с 8.00 до 10.00 ч). Полученные данные служат основной для разработки рекомендаций по определению интенсивности движения на городских дорогах методом краткосрочных наблюдений, что позволит повысить точность оценки пропускной способности УДС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Accurate Speed and Density Measurement for Road Traffic in India / Rijurekha Sen, A. Cross, Aditya Vashistha, Venkata N. Padmanabhan, E. Cutrell, W. Thies // Proceedings of the 3rd Annual Symposium on Computing for Development. URL: https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/accurate-speed-and-density-measurement-for-road-traffic-in-india/

2. Real-time detection and tracking of vehicle base fronts for measuring traffic counts and speeds on highways / N. K. Kanhere, S. T. Birchfield, W. A. Sarasua, T. C. Whitney // Transport Research Record. 2007. No. 1993.

3. *Mallikarjuna C., Phanindra A., Rao K. R.* Traffic data collection under mixed traffic conditions using video image processing // Journal of Transportation Engineering. 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:4(174)

4. *Сильянов В. В.* Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.

5. *Теренецкий К. С., Шуляк В. Г.* Учет движения статическим методом // Автомобильные дороги и аэродромы. М., 1967.

6. *Толстиков Н. П., Ивасик В. Б.* Определение интенсивности движения статистическим методом // Автомобильные дороги. 1988. № 10. С. 8.

*© Малахов Р. С., Алексиков С. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в мае 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Малахов Р. С., Алексиков С. В.* Определение интенсивности движения городского транспорта методом краткосрочных наблюдений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 92—98.

*Об авторах:*

**Малахов Роман Сергеевич** — аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, roman-malahov@mail.ru

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

***R. S. Malakhov, S. V. Aleksikov***

## ESTIMATION OF TRAFFIC VOLUME BY SHORT-TIME OBSERVATION

In this article the authors consider the issue of estimation of the annual average daily traffic volume by short-term observation. Fluctuation specifics of daily traffic intensity are determined. Formula to translate the intensity from hourly into annual average one with the use of conversion coefficients is proposed. Time periods of maximum accuracy in estimation of annual average intensity are grounded.

K e y  w o r d s: traffic intensity, annual average daily traffic volume, urban roads, road network.

REFERENSES

1. Rijurekha Sen, Cross A., Aditya Vashistha, Venkata N. Padmanabhan, Cutrell E., Thies W. Accurate Speed and Density Measurement for Road Traffic in India. *Proc. of the 3rd Annual Symposium on Computing for Development.* URL: https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/accurate-speed-and-density-measurement-for-road-traffic-in-india/

2. Kanhere N. K., Birchfield S. T., Sarasua W. A., Whitney T. C. Real-time detection and tracking of vehicle base fronts for measuring traffic counts and speeds on highways. *Transport Research Record*, 2007, no. 1993.

3. Mallikarjuna C., Phanindra A., Rao K. R. Traffic data collection under mixed traffic conditions using video image processing. *Journal of Transportation Engineering*, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2009)135:4(174)

4. Sil'yanov V. V. *Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya* [The theory of traffic flow in road design and traffic engineering]. Moscow, Transport Publ., 1977. 303 p.

5. Terenetskii K. S., Shulyak V. G. [Traffic count by statistical method]. *Avtomobil'nye dorogi i aerodromy* [Highways and airdromes]. Moscow, 1967.

6. Tolstikov N. P., Ivasik V. B. [Estimates of traffic intensity by statistical method]. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways], 1988, no. 10, p. 8.

*For citation:*

Malakhov R. S., Aleksikov S. V. [Estimation of traffic volume by short-time observation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 92—98.

*About authors:*

**Malakhov Roman Sergeevich** — Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, roman-malahov@mail.ru

**Aleksikov Sergei Vasil'evich** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, AL34rus@mail.ru

УДК 625.73

***Е. В. Углова, А. Н. Тиратурян, Г. В. Асланян, К. В. Голубев***

***Донской государственный технический университет***

# ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-4 «ДОН» НА СЕТЕВОМ УРОВНЕ

Рассмотрены проблемы методики оценки состояния автомобильной дороги, описанной в действующем ОДН 218.0.006—2002. На основе исследований предлагается новый метод определения состояния дорожных конструкций и поясняется принцип производства измерений и оценки на примере автомобильной дороги М-4 «Дон».

Ключевые слова: диагностика на сетевом уровне, коэффициент обеспеченности, уровни сохранности, методы оценки.

Важнейшей задачей дорожной отрасли является не только строительство развитой сети автомобильных дорог, но и поддержание в соответствующем эксплуатационном состоянии уже существующих участков. В связи с постановлением Правительства РФ от 23.08.2007 № 539 «О нормативах денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения и правилах их расчета» возникла необходимость усовершенствования системы оценки эксплуатационных качеств дороги. Диагностика автомобильной дороги на сетевом уровне подразумевает оценку технического состояния дороги на основе комплекса показателей на всей ее протяженности, полученных на основе современных методов исследования дорожной конструкции.

Действующий нормативный документ ОДН 218.0.006—2002 подразумевает оценку результатов диагностики с использованием технико-эксплуатационных характеристик дороги. Эксплуатационный коэффициент обеспеченности расчетной скорости является основным параметром оценки эксплуатационного состояния дороги.[1] Он обуславливает качество объектов дорожной сферы. Для получения конечного значения коэффициента обеспеченности расчетной скорости, необходимо определить частные коэффициенты $K_{PC1}\ldots K_{PC10}$, которые обусловлены характеристиками элементов автомобильной дороги.

Действующий ОДН 218.0.006—2002 имеет ряд недостатков, в связи с чем данные, полученные по итогам испытаний, не полностью характеризуют состояние дорожной конструкции. Например:

1) величина прироста комплексного показателя эксплуатационного состояния дороги указывает на ухудшение ее состояния за обследуемый период, но не выявляет причину ухудшения;

2) так как в качестве значение итогового коэффициента принимается наименьшее из значений частных коэффициентов, изменение транспортно-эксплуатационных характеристик дороги после проведения ремонтных работ зачастую не влияют на итог;

3) в расчет частного коэффициента $K_{PC8}$, характеризующего состояние и прочность дорожной одежды, не входит значение коэффициента прочности [1].

[1] ОДН 218.0.006—2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Утверждено распоряжением Минтранса России № ИС-840-р от 03.10.2002 г.

При диагностике автомобильной дороги на сетевом уровне оценка производится на основе данных о продольной ровности, прочности и визуальной оценке автомобильной дороги.

Продольная ровность оценивается на основе международного индекса ровности IRI (International Roughness Index) с использованием данных, полученных с помощью профилометрического оборудования, смонтированного на передвижной диагностической лаборатории (рис. 1). Измерения проводятся с регламентированной скоростью 50 км/ч. Колебания колеса, связанные с неровностью дорожного покрытия, считываются датчиком, и впоследствии записывающим устройством строится график изменения продольной ровности измеряемого участка в м/км.

Рис. 1. Диагностическая лаборатория КП-514 СМП

Показатель продольной ровности покрытия нормируется СТО АВТОДОР 10.1 2013 «Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения» и не должен превышать значения, указанные в табл. 1 [2—6].

Таблица 1

*Допустимые значения индекса IRI*

| Категория дороги | Значения индекса IRI в год эксплуатации, м/км, не более | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | при приемке в эксплуатацию и 1-й год | 2-й год | 3-й год | 4-й год | 5-й год |
| I | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,6 |
| II | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,9 |

*Примечание к табл. 1.* При гарантийном сроке более 5 лет в последний месяц гарантийного года показатель продольной ровности (IRI) не должен превышать 2,6 м/км для I категории и 2,9 для II категории.

Прочностные характеристики определяются на основе данных передвижной лаборатории Primax-1500 FWD (рис. 2). Установка ударного нагружения позволяет регистрировать чашу прогиба дорожной одежды на расстоянии до 2,1 м и осуществлять измерения с имитацией нагрузки от 2 до

150 кН с временем воздействия 30 мс. После проведения измерений полученные значения фактического общего модуля упругости слоев дорожной конструкции используются для расчета коэффициента прочности [5—7].

Рис. 2. Установка динамического нагружения Primax-1500 FWD

Визуальная оценка покрытия производится диагностической лабораторией с установленным специальным оборудованием, которое представляет собой видеокомплекс на основе цифровых камер высокой четкости. Скорость комплекса при фотофиксации составляет 20…30 км/ч, а периодичность съемки может производиться как в автоматическом режиме, каждые 20 м, так и задаваться оператором. Для обработки данных существует специальное программное обеспечение (рис. 3), позволяющее по кадрам фотосъемки выполнять линейные измерения объектов на автомобильной дороге и регистрировать дефекты на покрытии. Оценка осуществляется на основе нормативных требований, приведенных в ГОСТ 32825—2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения геометрических размеров повреждений».

С 2015 по 2016 годы проводились работы по диагностике состояния автомобильной дороги М-4 «Дон» с использованием методики и оборудования, описанных выше. Общая протяженность участков, на которых проводились замеры, составила 515,55 км. Для упрощения работы с данными участки разделили на три группы (таб. 2), систематизированные по сроку эксплуатации и виду мероприятий, необходимых для приведения автомобильной дороги к нормативным требованиям. Также за прямое направление было принято направление на Новороссийск, а обратное на Москву.

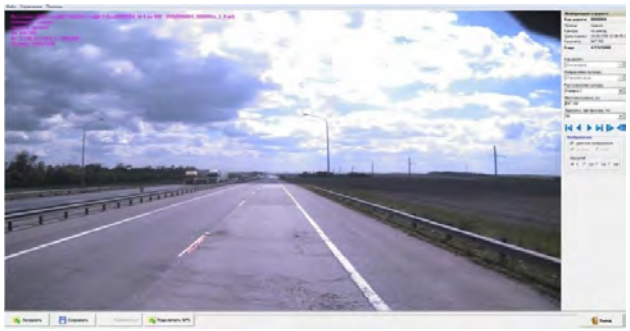


Рис. 3. Обработка фотоматериалов визуальной оценки

Таблица 2

*Распределение участков дороги М-4 «Дон» по группам*

| I группа | II группа | III группа |
|---|---|---|
| Мониторинг фактического остаточного ресурса и сопоставление с проектными значениями (участки со сроком службы менее 5 лет) | Мониторинг остаточного ресурса для обоснования стратегии ремонтных работ (участки со сроком службы от 5 до 10 лет) | Мониторинг остаточного ресурса для прогноза сроков проведения капитального ремонта и реконструкции (участки со сроком службы более 10 лет) |
| -км 414+700 – 464+300<br>-км 492+000 – 517+000<br>-км 591+000 – 633+000<br>-км 877+000 – 892+000<br>-км 892+000 – 907+000<br>-км 907+000 – 913+000<br>-км 1207+00 – 1240+000 | -км 20+160 – 48+000<br>-км 225+000 – 260+000<br>-км 287+200 – 296+500<br>-км 401+000 – 414+700<br>-км 1119+500 – 1134+500<br>-км 1134+500 – 1138+500 | -км 1341+000 – 1351+000<br>-км 1537+000 – 1542+000<br>-км 225+000 – 235+000 (а.н.)<br>-км 235+000 – 250+000 (а.н.)<br>-км 250+000 – 260+000 (а.н.)<br>-км 296+500 – 321+300 (а.н.)<br>-км 355+500 – 359+500 (а.н.)<br>-км 359+500 – 363+800 (а.н.)<br>-км 363+800 – 375+700 (а.н.)<br>-км 375+700 – 384+300 (а.н.)<br>-км 384+300 – 391+300 (а.н.)<br>-км 391+300 – 401+000 (а.н.)<br>-км 401+000 – 414+700 (а.н.)<br>-км 414+700 – 428+000 (а.н.)<br>-км 428+000 – 438+000 (а.н.)<br>-км 438+000 – 463+850 (а.н.) |
| Итого : 185,6 км | Итого : 146,8 км | Итого : 183,15 км |

При оценке использовалась информация, полученная при учете движения транспортных средств на участках, проектные данные о конструкции дорожных одежд и материалы предыдущих исследований, содержащиеся в автоматизированных базах дорожных данных.

При проведении измерений на каждом участке работы проводились в прямом и обратном направлении. Для визуальной оценки фотоматериал, полученный при помощи диагностической лаборатории, обрабатывается оператором и заполнятся ведомость, в которой дефекты привязываются к участкам малой протяженности. На основе вида дефектов и их развитости участкам присваивался средний балл (табл. 3), рис. 4.

После проведения измерений, данные обрабатываются в виде графика ломаной кривой, на котором отмечаются три порога (рис. 5). Пороги соответствуют предельным значениям изменения рельефа: *1* — удовлетворительно (3,2 м/км); *2* — хорошо (2,9 м/км); *3* — отлично (2,6 м/км).

Оценка прочности производилась с использованием установки ударного нагружения FWD и включала в себя регистрацию чаш упругих прогибов на поверхности дорожной конструкции, с последующим расчетом фактических значений общего модуля упругости дорожной конструкции. Полученные значения сопоставлялись с минимально требуемым значением общего модуля упругости дорожной одежды, рассчитанным исходя из фактической интенсивности на обследуемом участке (рис. 6) [6—8].

Таблица 3

*Ведомость результатов визуальной оценки на км 287+200 - 296+500*

| Участок | | Прямое направление | | Обратное направление | |
|---|---|---|---|---|---|
| Начало, км | Конец, км | Вид дефекта | Сред. балл | Вид дефекта | Сред. балл |
| 287+200 | 288 | Поперечные раскрывшиеся редкие трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10…20 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Залитые продольные и поперечные трещины; поперечные раскрывшиеся редкие трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10…20 мм; неровности ямочного ремонта | 3,5 |
| 288 | 289 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10…20 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Залитые продольные и поперечные трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4,0 |
| 289 | 290 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10…20 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4,0 |
| 290 | 291 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм | 4,5 | Колейность до 10 мм | 5,0 |
| 291 | 292 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10…20 мм | 4 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта; карты заделанных выбоин | 4,0 |
| 292 | 293 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; колейность до 10 мм | 4,5 |
| 293 | 294 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4,0 |
| 294 | 295 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм; неровности ямочного ремонта | 4,0 |
| 295 | 296+50 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10…20 мм; неровности ямочного ремонта | 4 | Поперечные раскрывшиеся одиночные трещины; продольные раскрывшиеся трещины; колейность до 10 мм | 4,5 |

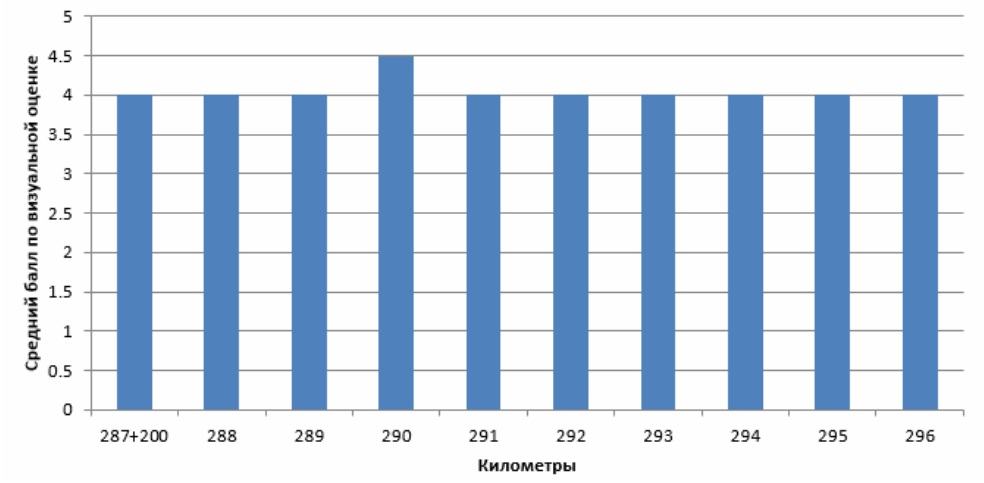



Рис. 4. Средний балл по визуальной оценке (прямое направление)

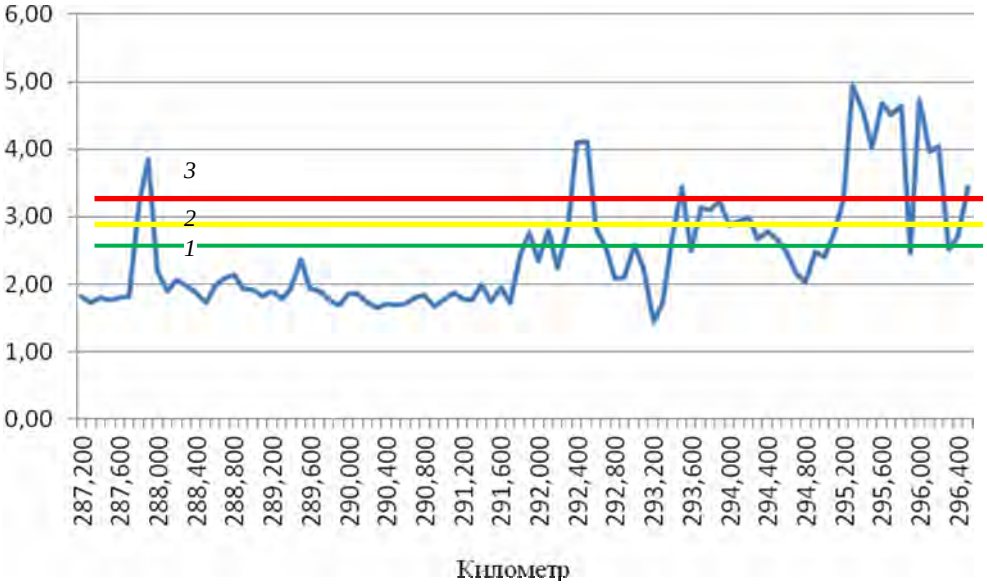



Рис. 5. Продольная ровность покрытия нежесткой дорожной одежды, замеренная на участке км 287+200 – 296+500 по внешней полосе движения в прямом направлении: *1* — удовлетворительно (3,2 м/км); *2* — хорошо (2,9м/км); *3* — отлично (2,6 м/км)

Оценка прочности дорожной конструкции производится по показателю коэффициента прочности. Коэффициент прочности получают путем деления общего модуля упругости на минимально требуемый при существующей интенсивности. Принято считать, что коэффициент прочности равный 1,30 соответствует 100 % остаточного ресурса, аналогично $K_{пр}$ = 1,21 соответствует 50 % и $K_{пр}$ = 1,00 соответствует 0 % (рис. 7).

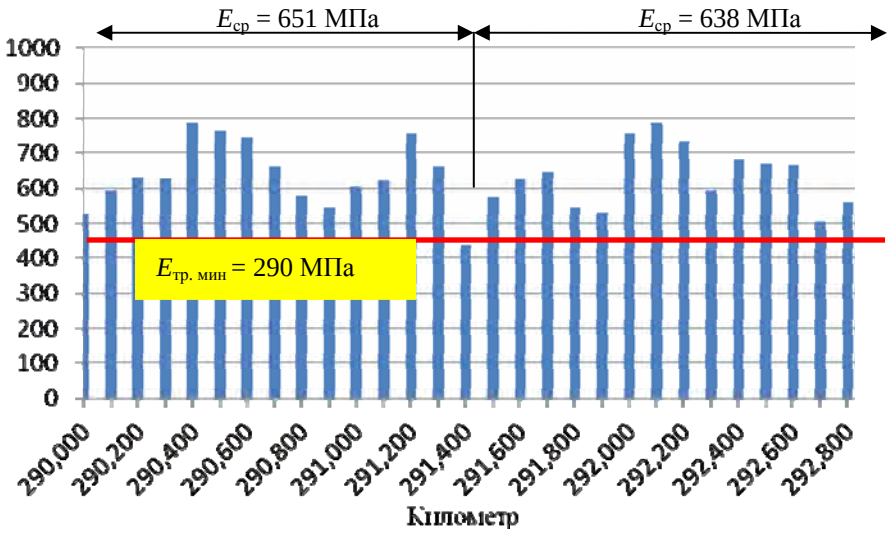
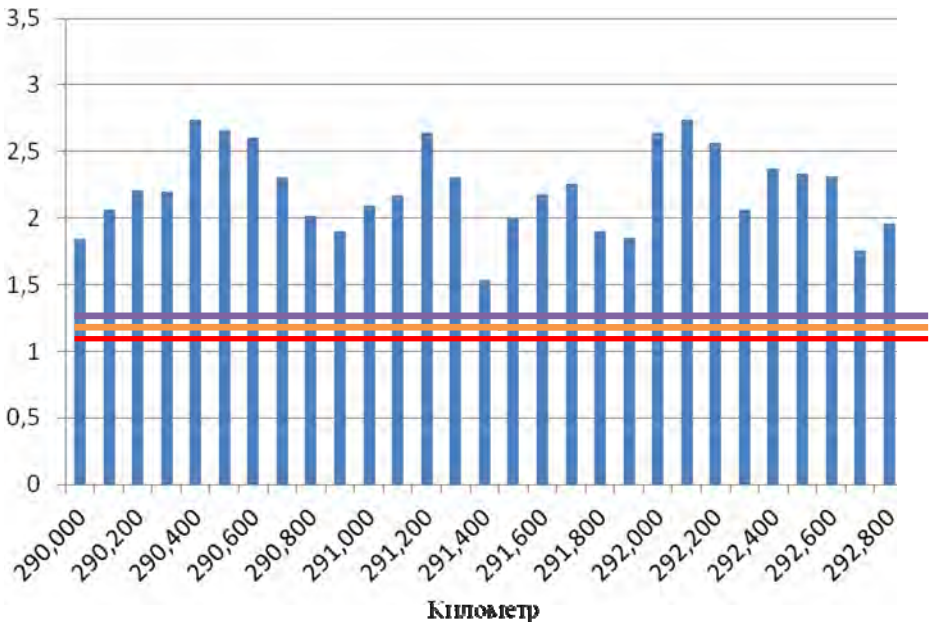



Рис. 6. Результаты регистрации фактического общего модуля упругости дорожной конструкции с использованием установки FWD




| | | |
|---|---|---|
| $K_{пр}$=1,30 (Ост. ресурс – 100 %) | $K_{пр}$=1,21 (Ост. Ресурс – 50 %) | $K_{пр}$=1,0 (Ост. ресурс – 0 %) |

Рис. 7. Коэффициент прочности нежесткой дорожной конструкции на участке автомобильной дороги км 287+200 – 296+500 по полосе 1 в прямом направлении.

На основе полученных данных об интегральном показателе продольной ровности IRI, визуальной оценке $Б_{ср}$ и фактической прочности дорожной одежды выделяются три уровня сохранности (табл. 4).

Таблица 4

*Уровни сохранности дорожной конструкции*

| Балльная оценка визуального состояния дорожного покрытия | Коэффициент прочности дорожной одежды | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Равен или свыше 1,25 | 1,12…1,25 | 1,0…1,12 | Менее 1,0 |
| 4,5…5,0 | Норматив. | Норматив. | Удовлетв. | Неудовлетв. |
| 4,0…4,5 | Норматив. | Удовлетв. | Удовлетв. | Неудовлетв. |
| 3,5…4,0 | Удовлетв. | Удовлетв. | Удовлетв. | Неудовлетв. |
| Менее 3,5 | Неудовлетв. | Неудовлетв. | Неудовлетв. | Неудовлетв. |

Каждый уровень соответствует следующим характеристикам:

1. Нормативный — технико-эксплуатационные показатели соответствуют допустимым значениям, участок с данной дорожной конструкцией не требует проведения ремонтных работ.

2. Удовлетворительный — имеется объективная причина снижения уровня ниже нормативного до проведения следующего обследования, в связи с чем требуется проведение дополнительного обследования для выявления причин появления дефектов и расчета остаточного ресурса дорожной конструкции согласно СТО АВТОДОР 2.4—2013.

3. Неудовлетворительный — технико-эксплуатационные показатели ниже допустимых значений, и состояние дорожной конструкции требует назначения ремонтных работ.

По результатам проведенных исследований для каждой группы участков автомобильной дороги М4 «Дон» было рассчитано процентное соотношение уровней сохранности дорожной конструкции.

Для I группы (участки со сроком службы менее 5 лет):

Нормативный 93,6 %;

Удовлетворительный 6 %;

Неудовлетворительный 0,4 %.

Для II группы (участки со сроком службы менее 5—10 лет):

Нормативный 49,6 %;

Удовлетворительный 17,3 %;

Неудовлетворительный 33,1 %.

Для III группы (участки со сроком службы более 10 лет):

Нормативный 25 %;

Удовлетворительный 12,6 %;

Неудовлетворительный 62,4 %.

Основным достоинством предлагаемого подхода является возможность оптимизации ежегодных бюджетных затрат на обеспечение сохранности сети автомобильных дорог исходя из их реального состояния и современного уровня транспортной нагрузки. В то же время его развитие в части совершенствования методов прогнозирования эксплуатационного состояния дорожных конструкций позволит создать эффективный инструмент управления состоянием дорожных одежд.

**Выводы и заключения**

В ходе исследования было выявлено, что действующий ОДН 218.0.006—2002 имеет ряд недостатков, связанных с получением и обработкой данных. Оценка состояния автомобильной дороги на основе существующей методики зачастую не дает объективной информации для принятия решений, и назначенный на ее основе вид ремонта не всегда приводит к ожидаемому результату.

Предложенный метод диагностики на сетевом уровне имеет следующие отличия:

для получения данных используется новейшее оборудование;

используется меньшее количество данных;

простота обработки информации;

оценка напрямую зависит от прочности дорожной конструкции и состояния покрытия.

С использованием предлагаемого метода была получена информация о том, что 56,1 % автомобильной дороги М-4 «Дон» не требует проведения никаких работ, для 17,2 % необходим сбор дополнительных данных и на 26,7 % необходимо назначить ремонтные работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Углова Е. В., Тиратурян А. Н., Шамраев Л. Г.* Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 38—51. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7

2. *Живописцев И. Ф.* Основные положения межгосударственного стандарта ГОСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Требование к эксплуатационному состоянию» // Техническое регулирование в дорожном хозяйстве. М., 2014.

3. Совершенствование структуры отраслевой диагностики федеральных автомобильных дорог / С. П. Аржанухина, А. В. Кочетков, А. С. Козин, Д. А. Стрижевский // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). URL: http://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-strukturyotraslevoy-diagnostiki-federalnyh-avtomobilnyh-dorog

4. *Васильев А. П.* Ремонт и содержание автомобильных дорог. Справочная энциклопедия дорожника. Т. II. М., 2004.

5. *Горский М. Ю.* Основные положения новых межгосударственных стандартов на измерение параметров покрытия // Техническое регулирование в дорожном хозяйстве. М., 2013.

6. *Леонович С. В., Богданович С. В., Нестерович И. В.* Диагностика автомобильных дорог. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. 350 с.

7. *Emmanuel O., Dennis B.* EME2 Fatigue and rutting strain analysis of flexible pavement // African Journal of Environmental Science and Technology. 25 November, 2009. Vol. 3(12). Pp. 412—421.

8. *Ferne B., Nesnas K. A.* Theoretical evaluation of the use of the Falling Weight Deflectometer to predict stiffness // Transport Research Foundation, February 2006.

*© Углова Е. В., Тиратурян А. Н., Асланян Г. В., Голубев К. В., 2017*

*Поступила в редакцию
в апреле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Диагностика состояния автомобильной дороги М-4 «Дон» на сетевом уровне / Е. В. Углова, А. Н. Тиратурян, Г. В. Асланян, К. В. Голубев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 99—109.

*Об авторах:*

**Углова Евгения Владимировна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автомобильных дорог, Донской государственный технический университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, Uglova.ev@yandex.ru

**Тиратурян Артем Николаевич** — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автомобильных дорог, Донской государственный технический университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, tiraturjan@list.ru

**Асланян Григорий Владимирович** — студент, Донской государственный технический университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, grigorij-aslanian@ya.ru

**Голубев Кирилл Викторович** — студент, Донской государственный технический университет (ДГТУ). 344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 155, kirill.golybev.1995@yandex.ru

***E. V. Uglova, A. N. Tiraturyan, G. V. Aslanyan, K. V. Golubev***

## DIAGNOSTICS OF THE STATE OF M-4 “Don” HIGHWAY ON NETWORK LEVEL

The article describes the methodology for assessing the state of the highway described in the existing ODN 218.0.006-2002. Based on the research we propose a new method for determining the condition of road structures, and explain the methodology of measurement and assessment by the example of M-4 «Don» highway.

K e y  w o r d s: diagnostics on the network level, security factor, safety levels, methods of assessment.

REFERENSES

1. Uglova E. V., Tiraturyan A. N., Shamraev L. G. [Modern approach to the evaluation of transport operating characteristics of roads of the state-owned company “Russian Highways”]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog* [CAD & GIS for roads], 2016, no. 1(6), pp. 38—51. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7

2. Zhivopistsev I. F. [Heads of the interstate standard GOST “Public Roads. The Requirement for Operational Status”]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v dorozhnom khozyaistve* [Technical regulation in road facilities]. Moscow, 2014.

3. Arzhanukhina S. P., Kochetkov A. V., Kozin A. S., Strizhevskii D. A. [Perfection structure branch diagnostics federal highways]. *Naukovedenie* [Naukovedenie], 2012, no. 4 (13). URL: http://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-struktury-otraslevoy-diagnostiki-federalnyh-avtomobilnyh-dorog

4. Vasil'ev A. P. *Remont i soderzhanie avtomobil'nykh dorog. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. T. 2* [Road repair and maintenance. Road worker’s reference encyclopedia. Part 2]. Moscow, 2004.

5. Gorskii M. Yu. [Heads of new interstate standards on engineering measurement of road surface]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v dorozhnom khozyaistve* [Technical regulation in road facilities], Moscow, 2013.

6. Leonovich S. V., Bogdanovich S. V., Nesterovich I. V. *Diagnostika avtomobil'nykh dorog* [Diagnostics of highways]. Minsk, Novoe Znanie Publ., Moscow, INFRA-M Publ., 2011. 350 p.

7. Emmanuel O., Dennis B. EME2 Fatigue and rutting strain analysis of flexible pavement. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 25 November, 2009, vol. 3(12), pp. 412—421.

8. Ferne B., Nesnas K. A. Theoretical evaluation of the use of the Falling Weight Deflectometer to predict stiffness. *Transport Research Foundation*, February 2006.

*For citation:*

Uglova E. V., Tiraturyan A. N., Aslanyan G. V., Golubev K. V. [Diagnostics of the state of M-4 “Don” highway on network level]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 99—109.

*About authors:*

**Uglova Evgeniya Vladimirovna** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Highways Department, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, Uglova.ev@yandex.ru

**Tiraturyan Artem Nikolaevich** — Candidate of Engineering Science, Senior Lecturer of Highways Department, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, tiraturjan@list.ru

**Aslanyan Grigorii Vladimirovich** — student, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, grigorij-aslanian@ya.ru

**Golubev Kirill Viktorovich** — student, Don State Technical University. 155, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, kirill.golybev.1995@yandex.ru

УДК 658.567.1

***Е. В. Москвичева[а], Д. О. Игнаткина[а], А. В. Москвичева[а], А. А. Войтюк[б], А. А. Геращенко[а]***

***[а] Волгоградский государственный технический университет***
***[б] ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»***

# ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО СОРБЦИОННО-ФИЛЬТРУЮЩЕГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ООО «ИМПЕРИАЛ ТОБАККО ВОЛГА» Г. ВОЛГОГРАДА)

Загрязнение промышленными сточными водами — самый очевидный и видимый ущерб, наносимый промышленными предприятиями гидросфере, в том числе источникам питьевой воды. Другой проблемой, требующей научного подхода в решении, является утилизация твердых отходов производства в качестве вторичных сырьевых ресурсов. Излагается технология получения нового гранулированного сорбционно-фильтрующего материала, применение которого позволит повысить экологическую безопасность предприятий за счет внедрения технологий переработки природного сырья и вторичных продуктов производства, а также современных методов очистки сточных вод.

Изучен и представлен подробный химический состав основного сорбирующего наполнителя — табачной пыли и природного связующего компонента бентонитовой глины, используемых для получения гранулированного композитного сорбента (ГКС). Подробно описаны основные этапы технологии получения ГКС. Представлены результаты исследования морфологической структуры поверхности ГКС. Приведены основные физико-химические характеристики полученного ГКС. Проведены исследования по выявлению остаточного содержания загрязнений в фильтрате с применением ГКС на примере реальных сточных вод. Данную фильтрующую загрузку можно применять для доочистки стоков на предприятиях для получения оборотной воды.

Ключевые слова: промышленные сточные воды, оборотные системы водоснабжения промышленных предприятий, сорбционная очистка, сорбционно-фильтрующий материал, табачная пыль, бентонитовая глина, химическая активация, термическая обработка.

На сегодняшний день государственная политика большинства стран мира направлена на рациональное использование возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, так как в связи с интенсивным развитием промышленности происходит загрязнение воды, атмосферного воздуха и плодородной почвы поллютантами органической и неорганической природы. Для реализации такого подхода в области промышленного природопользования необходимо предусматривать внедрение ресурсосберегающих, экологически безопасных и малоотходных технологий во всех сферах хозяйственной деятельности.

Загрязнение сточными водами — это, пожалуй, самый очевидный и видимый ущерб, наносимый промышленными предприятиями гидросфере, в том числе источникам питьевой воды. Установлено, что сбрасываемые промышленные сточные воды (СВ) требуют разбавления до норм предельно допустимых концентраций в объеме 1/3 всего мирового запаса пресной воды [1]. Другой особенностью промышленных предприятий является то, что зачастую СВ, образующиеся в технологическом процессе, многокомпонентные и содержат загрязнители различной природы — нефтепродукты, красители, фенолы, жиры, поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы. Обез-

вреживание таких сточных вод сопряжено необходимостью разработки новых технологий очистки или интенсификации работы существующих очистных сооружений [2, 3]. Последняя может быть обеспечена как путем совершенствования существующих конструкций, дополнительным включением в схему очистки новых эффективных узлов, так и использованием новых материалов и реагентов, позволяющих достигать требуемую степень очистки.

Второй, не менее важной и актуальной проблемой, требующей научного подхода в решении, является утилизация твердых отходов производства в качестве вторичных сырьевых ресурсов. Так переработка отходов производства продукции из сырья растительного происхождения особенно актуальна из-за значительного количества их образования и наличия в них ценных компонентов, которые могут быть выделены и использованы.

Авторами статьи предлагается решить обозначенные выше проблемы загрязнения окружающей среды путем повышения экологической безопасности предприятий на основе внедрения малоотходных технологий переработки природного сырья и вторичных продуктов производства, а также использования современных методов очистки СВ.

Одним из перспективных направлений в области удаления техногенных загрязнителей из водных сред является метод сорбционной очистки. При выборе сорбционных материалов для очистки производственных сточных вод, помимо высокой эффективности, предъявляются дополнительные требования, связанные со стоимостью, доступностью, возможностью применения вторичных материальных ресурсов и экологической безопасностью утилизации отработанных сорбентов. Для очистки СВ от тяжелых металлов применяют ионообменные материалы природного происхождения, например, силикагели, алюмосиликаты, цеолиты, некоторые глинистые минералы [4, 5]. Удаление органических поллютантов (нефтепродуктов, красителей, фенолов, жиров, поверхностно-активных веществ) осуществляется в основном с помощью активированных углей [6, 7].

В последнее время широкое распространение получили сорбенты на основе отходов растительного происхождения (древесных опилок, скорлупы орехов, шелухи злаковых культур, отходов переработки трав, опавшей листвы, соломы, камышовой сечки, соцветий тростника), которые при химическом и термическом модифицировании приобретают специфические сорбционные свойства к определенному спектру загрязняющих веществ [8, 9]. Однако зачастую ни один из видов перечисленных сорбентов не способен одновременно очищать воду как от органических, так и неорганических загрязнений. Поэтому перспективным направлением является разработка способа получения композитных сорбционно-фильтрующих материалов, сочетающих в себе одновременно свойства как углеродных, так и минеральных сорбентов, что позволяет решать проблемы очистки промышленных сточных вод и значительно удешевлять стоимость конечного продукта.

В настоящее время углеродоминеральные гранулированные сорбенты получают искусственным смешиванием компонентов, формованием полученной массы, сушкой, последовательной термической и химической обработкой.

Авторами статьи предложен способ получения ГКС на основе отхода растительного происхождения и минерального сырья Волгоградской области.

Для изготовления ГКС в качестве основного сорбирующего наполнителя использован многотоннажный отход производства пищевой промышленности — табачная пыль (ТП), которая образуется в процессе изготовления табачно-махорочных изделий на предприятии ООО «Империал Тобакко Волга» г. Волгограда. Основным компонетом ТП является целлюлоза — природный полимер, элементарные звенья которого — $C_6H_{10}O_5$ — соединяются в длинные линейные макромолекулы с помощью глюкозитной связи или кислородного мостика -О-. Характерной особенностью целлюлозы является наличие в каждом элементарном звене трех гидроксильных групп — ОН -. Функциональная гидроксильная группа способна взаимодействовать с ионами тяжелых металлов, удерживая их в порах и на поверхности сорбента, также на стенках микропор способны сорбироваться макромолекулы растворенных органических соединений [10]. На основании заключений о компонентном составе и классе опасности, выполненных ООО «Центр экологического контроля» Волгоградской области и ФГУ «ЦЛАТИ по ЮФО» — филиал «ЦЛАТИ по Волгоградской области», в табл. 1 представлен химический состав ТП.

Таблица 1

*Химический состав ТП*

| Наименование компонента | Содержание, % |
|---|---|
| Кальций | 0,3113 |
| Никель | 0,0002 |
| Кадмий | 0,0001 |
| Свинец | 0,0001 |
| Железо | 1,9658 |
| Хром | 0,0004 |
| Калий | 2,2887 |
| Влага | 1,0000 |
| Азот | 1,8800 |
| Никотин | 0,5000 |
| Углеводы | 0,7000 |
| Белки | 0,4000 |
| Органические кислоты | 0,1000 |
| Липиды | 0,1000 |
| Целлюлоза | 90,7534 |

Исходным компонентом, используемым в качестве природного связующего при получении ГКС, является суспензия бентонитовой глины (СБГ) с содержанием монтмориллонита 35…55 % на водной основе. Известно, что бентонитовая глина (БГ) обладает рядом специфических свойств, обусловленных входящим в ее состав монтмориллонитом: хорошей пластичностью и набухаемостью, гидрофильностью, высокой ионообменной емкостью и сорбционной способностью, щелочностью, обусловленной структурой кристаллической решетки монтмориллонита, большой удельной поверхностью и электрокинетическим потенциалом [11, 12]. Монтмориллонит, входящий в состав БГ, в основном представлен слоистыми силикатами структурного типа 2:1 с разбухающей кристаллической решеткой. Кристаллическая решетка

монтмориллонита состоит из трех слоев — двух кремнекислородных и одного гидроксильного. Отдельные пакеты этой глины соприкасаются плоскостями с одинаковыми атомами, между ними возникает непрочная ковалентная связь, так в тетраэдрическом слое $Si^{4+}$ может замещаться на $Al^{3+}$ до 15 %, возможно замещение кремния фосфором, а в октаэдрической сетке алюминий замещается магнием, железом, цинком, никелем, литием и т. д. При этом понижается положительный заряд решетки, вследствие чего возникает избыток отрицательных зарядов. Отрицательный заряд может уравновешиваться обменными катионами металлов, которые легко попадают в межпакетное пространство, что обуславливает значительную емкость катионного обмена (до 1,5 ммоль·экв/1 г). В межпакетное пространство также могут проникать ионы натрия, кальция и магния. Высокая связующая способность БГ, включающей монтмориллонит объясняется тем, что при ее увлажнении молекулы воды легко проникают в межпакетный зазор, увеличивая его до $20 \cdot 10^7$ мм и более [13, 14].

Одним из преимуществ сорбентов на основе БГ является возможность повышения сорбционных характеристик за счет известных способов физического (обработка инфракрасным, ультрафиолетовым излучением и др.) и химического (кислотная, щелочная обработка и др.) модифицирования. Указанные способы позволяют увеличить сорбционные характеристики в десятки раз [15, 16].

Для приготовления СБГ использовалась БГ Волгоградской области на основе Долговского проявления (Нехаевский район), находящегося в 4 км восточнее х. Нижнедолговский. Состав анализируемого материала определяли согласно ГОСТ 28177—89 «Глины формовочные бентонитовые» и ГОСТ 21216.0—93 «Сырье глинистое. Методы анализа». Химический состав БГ представлен в табл. 2.

Таблица 2

*Химический состав БГ*

| Наименование компонента | Содержание, % |
|---|---|
| Оксид кремния | 49,58 |
| Оксид алюминия | 18,55 |
| Оксид железа | 5,75 |
| Оксид магния | 4,89 |
| Оксид кальция | 2,24 |
| Оксид титана | 0,558 |
| Оксид калия | 0,952 |
| Оксид натрия | 3,159 |
| Оксид хрома | 0,041 |
| ППП (потери при прокаливании) | 14,28 |

Для определения минералогического состава использован рентгенофазовый метод анализа. Длина волны рентгеновского излучения находилась в диапазоне 0,5…2 А, что по порядку величины сравнимо с расстояниями между атомами кристаллической решетки [17, 18]. Расшифровку рентгеновских дифрактограмм производили по рентгеновской картотеке. При анализе мине-

ральных препаратов использовали данный определитель [19]. Для определения содержания различных минералов в экспериментальном образце использовали полуколичественный метод определения минералогического состава согласно методике [20, 21]. Результаты проведения рентгенофазоваго анализа образца БГ Волгоградской области на основе Долговского проявления (Нехаевский район) представлены на рис. 1.

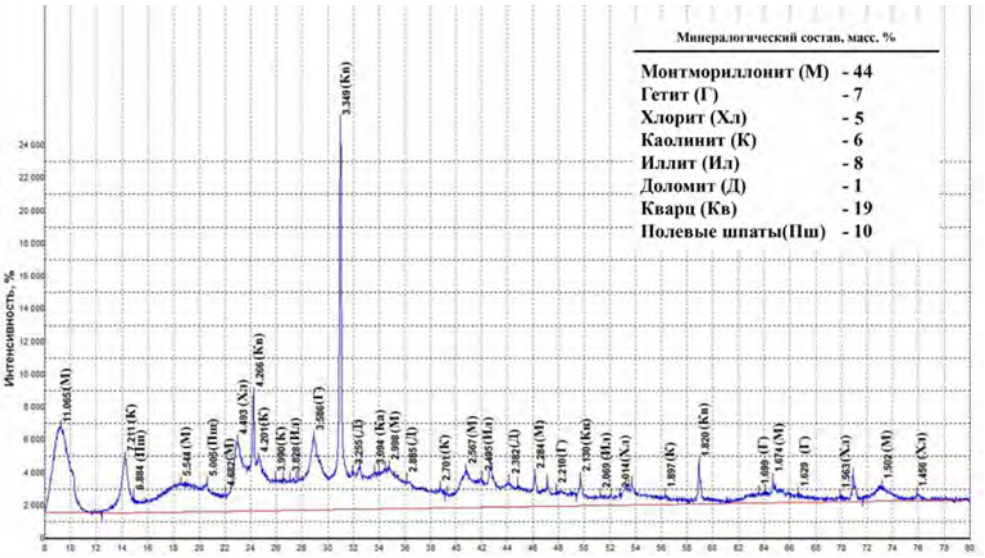



Рис. 1. Рентгенофазовая порошковая дифрактограмма образца БГ Волгоградской области на основе Долговского проявления (Нехаевский район)

Таким образом, оба вида ресурсов, предлагаемых для изготовления ГКС, возобновляемые и имеют большую сырьевую базу, достаточную для промышленного производства сорбентов на их основе.

Способ получения гранулированного сорбента заключается в том, что исходное сырье при массовом соотношении, мас. %, равном: ТП : СБГ = 60 : 40, смешивали до образования пластичной массы влажностью не более 48 %, сформировавшуюся пластичную массу гранулировали продавливаем через фильеры заданного размера и получали гранулы диаметром от 1…3 мм и длиной от 4…7 мм, затем сушили при комнатной температуре в течение 24 ч. Полученный сорбент подвергали кислотной активации 15 %-м раствором серной кислоты в течение 50 мин, после чего осуществляли термическую обработку прокаливанием при температуре 400…650 °С в течение 240 мин. ГКС доводили до готовности путем остывания до температуры окружающей среды, затем осуществляли промывку водой и последующую сушку в естественных условиях до остаточной влажности 2…3 %.

Основные сорбционные свойства полученного ГКС определяют по теплофизическим параметрам процессов активации раствором модификатором и карбонизации (кислотная и температурная обработки, время пребывания активируемого материала в кислоте и печи) полученных гранул из отхода растительного происхождения — ТП экранированной СБГ с содержанием монтмориллонита 35…55 % на водной основе. Характерной особенностью про-

мышленных адсорбентов является то, что они обладают большим объемом микропор, на стенках которых сорбируется основное количество поглощаемого вещества, поэтому именно микропоры играют важную роль в адсорбции растворенных веществ [22, 23].

Установлено, что в процессе кислотной и термической обработки происходит карбонизация ТП с последующим обогащением глины углеродом и другими продуктами пиролиза, а также частичная шамотизация глины и преобразование монтмориллонита в метамонтмориллонит в виде дегидроксилированного остатка монтмориллонита. На первом этапе после химической активации полученных гранул серной кислотой и последующей термической обработки при температуре 100…110 °С происходит дегидратация и неполная дегидроксилизация монтмориллонита и иллита, разложение целлюлозы, содержащейся в ТП, вследствие чего происходит выделение углекислого газа, органических смол и водяного пара. На втором этапе через час при температуре 750 °С происходит выгорание органических веществ, содержащихся в исходных компонентах, выделение горючих веществ ($CH_4$, CO, $H_2$), коксообразование, дегидроксилизация слоистых силикатов, образование микромезопористой структуры сорбента. Если процесс проводить ниже 750 °С, то наблюдается лишь частичное выгорание углерода, а при нагреве свыше 750 °С начинается процесс разрушения пористой структуры сорбента, в результате чего он теряет свою прочность и адсорбционную активность.

Минералы, входящие в состав БГ, с содержанием монтмориллонита 35…55 % покрывают частицы карбанизированной ТП, вследствие чего происходит обогащение поверхности кристаллической решетки монтмориллонита углеродом, что приводит к образованию материала с графитоподобной неупорядоченной структурой с повышенной пористостью. При этом сам процесс карбонизации осуществляется при температуре, равной 100…110 °С, в течение 1 ч с последующей термообработкой при температуре, равной 750 °С, в течение 2 ч. Предлагаемый режим карбонизации позволяет обеспечить структуру сорбента с повышенным содержанием пор, а следовательно, повысить сорбционные свойства сорбента.

После окончания процесса карбонизации полученный сорбент охлаждают, осуществляют промывку водой и последующую сушку в естественных условиях до остаточной влажности 2…3 %.

Готовый ГКС представляет собой механически твердые гранулы темно-коричневого цвета (рис. 2). Исследование морфологии поверхности ГКС проводили по микрофотографиям, полученным на сканирующем электронном микроскопе JEOL JCM 6000 (рис. 3).

Величина удельной поверхности образцов определена с помощью анализатора удельной площади поверхности TriStar II 3020 методом низкотемпературной адсорбции азота. Количество абсорбированного азота, приходящееся на 1 г твердого тела, зависит от равновесного давления $P$, температуры $T$, а также от природы газа и твердого тела.

Измерение площади поверхности твердых материалов осуществляли по методу Брюнера — Эммета — Теллера (Brunauer — Emmett — Teller) или BET [24].

Для определения насыпной плотности использовался метод по ASTM D 2854-70 «Стандартный метод контроля кажущейся плотности активных углей». Определение насыпной плотности осуществляли в градуированном ци-

линдре на вибрирующей вертикальной стойке, частота колебаний 250±15 движений/мин, амплитуда 3 мм. В цилиндр помещали 200 см$^3$ сорбента, избегая попадания воздуха. Выровняли вершину слоя, легко постукивая по стенке цилиндра. Зафиксировали цилиндр на аппарате и произвели 1250 циклов. Считали объем ($V$) и повторяли процедуру до тех пор, пока разница между двумя испытаниями не оказалась менее 2 см$^3$. Взвешивание содержимого цилиндра производили с точностью до 0,1 г.

Основные технические характеристики полученного ГКС представлены в табл. 3.

Рис. 2. ГКС на основе ТП и СБГ Волгоградской области

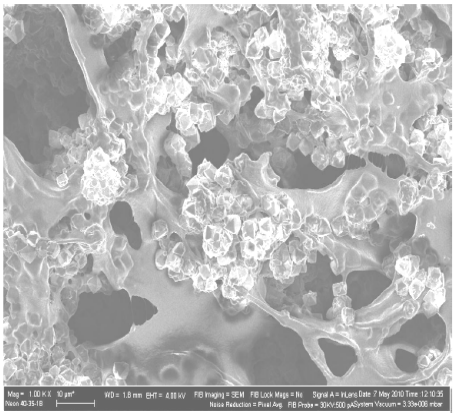


Рис. 3. Микрофотография поперечного среза ГКС (увеличение в 1000 раз)

Таблица 3

*Основные технические характеристики ГКС*

| | | |
|---|---|---|
| Соотношение исходных компонентов ТП : СБГ, % | | 60 : 40 |
| Концентрация серной кислоты ($H_2SO_4$), % | | 15 |
| Длительность кислотной обработки, мин | | 50 |
| Температура прокаливания, °С | | 400…650 |
| Длительность термообработки, мин | | 240 |
| Содержание влаги не более, масс. % | | 2…3 |
| Суммарный объем пор, см$^3$/г | | 0,8…1,8 |
| Удельный объем пор, см$^3$/г | | 0,20…0,35 |
| Удельная поверхность по БЭТ (азот), м$^2$/г | | 70…125 |
| Средний размер пор, Å | | 155…185 |
| Насыпная плотность, г/см$^3$ | | 0,7…1,25 |
| Размер гранул, мм | диаметр $d$ | 1…3 |
| | длина $l$ | 4…7 |

Как видно из табл. 3, полученный сорбент обладает достаточно развитой структурой микро- и мезопор, что эффективно сказывается на адсорбции из водных растворов органических и неорганических компонентов.

Для подтверждения эффективности доочистки сточных вод табачной фабрики, прошедших предварительную механическую очистку и электрохи-

мическую обработку (плотность тока — 2 А/дм$^2$; время обработки 15 мин; pH — 5…5,5; температура воды — 20…22 °С; материал электродов — нержавеющая сталь) с использованием ГКС, проводили исследования по выявлению остаточного содержания загрязнений в фильтрате. С этой целью сточные воды количеством 8 л с реакцией среды pH 5,3 пропускали нисходящим потоком через фильтровальную колонку с загрузкой ГКС объемом 100 см$^3$ со скоростью 5 л/час·дм$^3$. При этом очищаемые сточные воды до фильтрования содержали следующие виды загрязнений (по концентрации): взвешенные вещества — 58,7 мг/л, нефтепродукты — 5,2 мг/л, фенол — 41,2 мг/л, жиры — 7,51 мг/л, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) — 18,4 мг/л, в коллоидно-растворенной форме соли тяжелых металлов Zn — 0,5 мг/л, Cu — 1,4 мг/л, растворы солей в ионной форме $Fe_{общ.}$ — 3,1 мг/л, Cu — 4,3 мг/л.

Данные по эффективности очистки сточных вод с применением ГКС представлены в табл. 4.

Таблица 4

*Эффективность очистки сточной воды*

| Показатели | | Эффективность очистки, % |
|---|---|---|
| Взвешенные вещества | | 99 |
| Нефтепродукты | | 99 |
| Фенол | | 98 |
| Жиры | | 87 |
| СПАВ | | 99 |
| Катионы в коллоидно-растворимой форме | $Zn^{2+}$ | 83 |
| | $Cu^{2+}$ | 90 |
| Катионы в ионной форме | $Fe_{общ.}$ | 92 |
| | $Cu^{2+}$ | 94 |

Таким образом, предлагаемый способ позволяет создать качественно новый гранулированный сорбционно-фильтрующий композитный материал, который эффективно сорбирует как органические, так и неорганические поллютанты из водных сред за счет оптимального качественного и количественного подбора исходных компонентов. Особенностью способа получения является использование в качестве исходного сырья отходов производства и природных материалов, что позволяет значительно снизить его стоимость (себестоимость сорбента составляет 40 руб./кг в ценах 2016 г.)

Кроме того, применение полученного ГКС предполагает реализацию малоотходной технологии очистки СВ, что в целом позволяет решить сразу несколько экологических задач на одном промышленном предприятии: первая — очистка производственных сточных вод до допустимых значений концентраций загрязняющих веществ, позволяющих не только сбрасывать очищенную воду в канализационную сеть города, но и использовать ее повторно в технологическом процессе; вторая — снижение объема многотоннажного отхода ТП за счет использования в качестве вторичного сырья для получения сорбента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Смирнов А. Д.* Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.

2. Способ повышения надежности функционирования систем водного хозяйства / Ю. И. Олянский, А. А. Болеев, А. А. Сахарова, Д. О. Игнаткина, П. Ф. Юрин, А. А. Войтюк // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). Ст. 39. URL: http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&coverno=96

3. *Sobgaida N. A., Ol'shanskaya L. N., Nikitina I. V.* Fiber and carbon materials for removing oil products from effluent // Chemical and Petroleum Engineering. 2008. Vol. 44. Pp. 41—44.

4. Переработка отходов производства во вторичное сырье как одно из условий обеспечения промышленной безопасности на предприятии / Е. В. Москвичева, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, Д. О. Игнаткина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 204—211.

5. *Curds C. R., Hawkes H. A.* Ecological Aspects of Used-water Treatment. London: Academic Press, 1975. 237 p.

6. *Lykins B. W., Clark R. M., Adams J. Q.* Granular activated carbon for co-trolling THM's // Jbid. 1988.Vol. 80. No. 5. Pp. 85—92.

7. Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина, Т. А. Кузьмина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 34(53). С. 114—120.

8. *Игнаткина Д. О., Войтюк А. А., Ибрагимова З. К.* Очистка сточных вод пищевой промышленности композитными фильтрами на основе отходов производства // XIX региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, Волгоград, 11—14 ноября 2014 г. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. С. 11—13.

9. Сорбционно-фильтрующий материал для очистки сточных вод: Патент РФ № 2411059 от 10.02 2011 / Н. А. Собгайда, Л. Н. Ольшанская, Т. В. Никитина, М. А. Колесникова.

10. *Собгайда Н. А., Макарова Ю. А.* Влияние природы связующего материала на сорбционные свойства сорбентов, изготовленных из отходов агропромышленного комплекса // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 1(52). С. 116—122.

11. *Kittrick J. A.* Montmorillonite equilibria and the weathering environment // Soil Science Society of America Proceedings. 1971. No. 35. Pp. 815—820.

12. *Котельников Д. Д., Конюхов А. И.* Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.

13. *Rolfe B. N., Miller R. F., Mcqueen I. S.* Dispersion characteristics of montmorillonite, kaolinite and hike clays in waters of varying quality, and their control with phosphate dispersants // Geological Survey Professional Paper 334-G. 1960. 48 p.

14. *Wai K. N., Banker G. S.* Some physicochemical properties of the montmorillonites // J. Pharm. 1966. Sci. 55(11). Pp. 1215—1220.

15. *Баталова Ш. Б.* Физико-химические основы получения и применения катализаторов и адсорбентов из бентонитов. Алма-Ата: Наука, 1986. 168 с.

16. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical soil / J. Croker, R. Ross, C. Hartmann, S. Bhuthorndharaj // Plant and Soil. 2004. Vol. 267. No. 2. Pp. 155—163.

17. *Тузиков Ф. В.* Малоугловая рентгеновская дифрактометрия. Новосибирск: Институт катализа СО РАН, 2009. 35 с.

18. *Зевин Л. С., Хейкер Д. М.* Рентгеновские методы исследования строительных материалов. М.: Стройиздат, 1965. 363 с.

19. *Блохин М. А., Швейцер И. Г.* Рентгеноспектральный справочник. М.: Наука, 1982. 376 с.

20. *Дулов Е. Н., Ивойлов Н. Г.* Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. Казань: КГУ, 2008. 51 с.

21. *Филиппова Н. А.* Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. М.: Химия, 1975. 280 с.

22. *Кинле Х., Бадер Э.* Активные угли и их промышленное применение. Л.: Химия, 1984. 215 с.

23. *Zamond T. G., Fruce C. R.* Size of carbon black micropores deduced from nitrogen and dye adsorption // J. Coll and Jntert. Sci. 1969. Vol. 131. No. 1. Pp. 104—109.

24. *Киселев А. В.* Методы исследования структуры высокодисперсных и пористых тел. М., 1953. 86 с.

*© Москвичева Е. В., Игнаткина Д. О., Москвичева А. В., Войтюк А. А., Геращенко А. А., 2017*

*Поступила в редакцию
в мае 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Технология получения гранулированного сорбционно-фильтрующего композитного материала на основе отхода производства (на примере ООО «Империал Тобакко Волга» г. Волгограда) / Е. В. Москвичева, Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, А. А. Войтюк, А. А. Геращенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 110—121.

*Об авторах:*

**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

**Игнаткина Дарья Олеговна** — аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

**Москвичева Анастасия Владимировна** — канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

**Войтюк Александр Андреевич** — ведущий специалист отдела развития и содержания железнодорожного транспорта дирекции по логистике, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий». Российская Федерация, 404354, Волгоградская обл., Котельниковский р-н, г. Котельниково, ул. Ленина, 7, voytyuk.1987@list.ru

**Геращенко 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

***E. V. Moskvicheva, D. O. Ignatkina, A. V. Moskvicheva, A. A. Voityuk, A. A. Gerashchenko***

## THE TECHNOLOGY OF PRODUCING GRANULATED SORPTION- FILTERING COMPOSITE MATERIAL BASED ON WASTE PRODUCTION (BY THE EXAMPLE OF OOO “IMPERIAL TOBAKKO VOLGA” VOLGOGRAD)

Sewage pollution is the most obvious and visible damage caused by industrial enterprises of the hydrosphere, including drinking water sources. Another problem requiring a scientific approach to the solution is the disposal of solid waste as secondary raw materials. The article describes the technology of obtaining a new granulated sorption — filtering material, the use of which will allow to increase the ecological security of enterprises through the introduction of technologies of processing of natural raw materials and secondary products, as well as modern methods of SW purification.

The authors research and present the detailed chemical composition of the primary sorbent filler — tobacco dust and natural binder component of bentonite clay that are used to produce granulated composite sorbent (GCS). The article describes in detail the main stages of GCS technology. The results of the study of morphological structure of GCS surface are presented, as well as the main physical and chemical characteristics of the obtained GCS. The research in order to identify the residual contaminants in filtered materials with the use of GCS in real wastewater is conducted. This filter loading can be used for tertiary treatment of sewage in enterprises to receive recycling water.

K e y  w o r d s: industrial wastewater, recycling water supply of industrial enterprises, sorption treatment, sorption-filtering material, tobacco dust, bentonite clay, chemical activation, thermal treatment.

REFERENSES

1. Smirnov A. D. *Sorbtsionnaya ochistka vody* [Sorption water purification]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982. 168 p.

2. Olyanskiy Yu. I., Boleyev A. A., Sakharova A. A., Ignatkina D. O., Yurin P. F., Voytyuk A. A. [The way to increase reliability of water carriage system functioning]. *Internet-Vestnik*

*VolgGASU* [Internet-Vestnik VolgGASU], 2013, no. 2(27), paper 39. URL: http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&coverno=96

3. Sobgaida N. A., Ol'shanskaya L. N., Nikitina I. V. Fiber and carbon materials for removing oil products from effluent. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2008, vol. 44. pp. 41—44.

4. Moskvicheva E. V., Sidyakin P. A., Shchitov D. V., Ignatkina D. O. [Recycling of production waste into secondary raw materials as one of the conditions to ensure industrial safety at enterprise]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], no. 37(56), pp. 204—211.

5. Curds C. R., Hawkes H. A. *Ecological Aspects of Used-water Treatment*. London, Academic Press, 1975. 237 p.

6. Lykins B. W., Clark R. M., Adams J. Q. Granular activated carbon for co-trolling THM's. *Jbid*., 1988, 80(5), pp. 85—92.

7. Moskvicheva E. V., Sakharova A. A., Gonchar Yu. N., Ignatkina D. O., Kuzmina T. A. [Wastewater treatment by mixed reagent derived from petroleum wastes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2013, no. 34(53), pp. 114—120.

8. Ignatkina D. O., Voityuk A. A., Ibragimova Z. K. [Treatment of sewage of food processing industry by composite filters based on production wastes]. *19 regional'naya konferentsiya molodykh issledovatelei Volgogradskoi oblasti, Volgograd, 11—14 noyabrya 2014 g.* [19 Regional Conference of Young Researchers of Volgograd Oblast, Volgograd, 11—14 November, 2014] Volgograd, VSCUACE, 2015. Pp. 11—13.

9. Sobgaida N. A., Ol'shanskaya L. N., Nikitina T. V., Kolesnikova M. A. *Sorbtsionno-fil'truyushchii material dlya ochistki stochnykh vod. Patent RF № 2411059 ot 10.02 2011* [Sorption filtering material for sewage treatment. Patent of the Russian Federation no. 2411059 dated 10 February, 2011].

10. Sobgaida N. A., Makarova J. A. [The influence of binding material nature on the properties of sorbents made of waste agriculture]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik Saratov State Technical University], 2011, no. 1(52), pp. 41—45.

11. Kittrick J. A. Montmorillonite equilibria and the weathering environment. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1971, no. 35, pp. 815—820.

12. Kotel'nikov D. D., Konyukhov A. I. *Glinistye mineraly osadochnykh porod* [Clay minerals of sedimentary rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 247 p.

13. Rolfe B. N., Miller R. F., Mcqueen I. S. Dispersion characteristics of montmorillonite, kaolinite and hike clays in waters of varying quality, and their control with phosphate dispersants. *Geological Survey Professional Paper 334-G*. 1960. 48 p.

14. Wai K. N., Banker G. S. Some physicochemical properties of the montmorillonites. *J. Pharm*., 1966, 55(11), pp. 1215—1220.

15. Batalova Sh. B. *Fiziko-khimicheskie osnovy polucheniya i primeneniya katalizatorov i adsorbentov iz bentonitov* [Physical and chemical principles of manufacture and use of catalysts and adsorbents made of bentonites]. Alma-Ata, Nauka Publ., 1986. 168 p.

16. Croker J., Ross R., Hartmann C., Bhuthorndharaj S. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical soil. *Plant and Soil*, 2004, 267(2), pp. 155—163.

17. Tuzikov F. V. *Malouglovaya rentgenovskaya difraktometriya* [Small-angle x-ray diffractometry]. Novosibirsk, Institute of Catalysis Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 35 p.

18. Zevin L. S., Heyker D. M. *Rentgenovskie metody issledovaniya stroitel'nykh materialov* [X-ray methods of analysis of construction materials]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1965. 363 p.

19. Blochin M.A., Schweitzer I. G. *Rentgenospektral'nyi spravochnik* [X-ray spectral reference book]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 376 p.

20. Dulov E. N., Ivoilov N. G. *Rentgenospektral'nyi fluorestsentnyi analiz* [X-ray spectral fluorescent analysis]. Kazan, KSU, 2008. 51 p.

21. Filippova N.A. *Fazovyi analiz rud i produktov ikh pererabotki* [Phase-shift analysis of ores and their derived products]. Moscow, Khimiya Publ., 1975. 280 p.

22. Kinle H., Bader E. *Aktivnye ugli i ikh promyshlennoe primenenie* [Active coal and its industrial application]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984. 215 p.

23. Zamond T. G., Fruce C. R. Size of carbon black micropores deduced from nitrogen and dye adsorption. *J. Coll and Jntert. Sci.*, 1969, 131(1), pp. 104—109.

24. Kiselev A. V. *Metody issledovaniya struktury vysokodispersnykh i poristykh tel* [Methods of analysis of the structure of finely-dispersed and porous solids]. Moscow, 1953. 86 p.

*For citation:*

Moskvicheva E. V., Ignatkina D. O., Moskvicheva A. V., Voityuk A. A., Gerashchenko A. A. [The technology of producing granulated sorption-filtering composite material based on waste production (by the example of OOO "Imperial Tobakko Volga" Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 110—121.

*About authors:*

**Moskvicheva Elena Viktorovna** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

**Ignatkina Dar'ya Olegovna** — Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

**Moskvicheva Anastasia Vladimirovna** — Candidate of Engineering Science, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

**Voityuk Aleksandr Andreevich** — Leading Specialist of Development and Maintenance of Rail Transport in the Logistics Directorate Department, «EuroChem-Volgakaliy.». 7, Lenin str., Kotelnikovo, Kotelnikovsky R-n, Volgograd region, 404354, Russian Federation, voytyuk.1987@list.ru

**Gerashchenko Alla Anatol'evna** — Candidate of Engineering Science, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

УДК 532.5

***Ю. М. Фетисов, С. Л. Туманов, Н. А. Фоменко***

***Волгоградский государственный технический университет***

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АЭРАЦИИ ВОДНОЙ МАССЫ ПАДАЮЩИМИ СТРУЯМИ

Приводятся результаты исследования воздухововлекающей способности струи при ее взаимодействии с поверхностью покоящейся жидкости как способа улучшения кислородного баланса естественных водоемов. Изучение механизма захвата воздуха привело к установлению параметров, определяющих процесс. Многочисленные экспериментальные данные позволили определить степень влияния каждого параметра и получить соотношение для расчета производительности струи по воздуху в широком диапазоне их изменения.

Ключевые слова: аэрация, струя, насадок, воздухововлечение, волнообразные возмущения, скорость истечения.

Аэрация воды струями, падающими на ее поверхность, является перспективным способом активизации процессов биологической очистки сточных вод, улучшения кислородного баланса естественных водоемов и повышения их самоочищающей способности. Одновременно способ струйной аэрации позволяет осуществлять очистку воды от некоторых видов загрязняющих веществ (органических примесей, нефтепродуктов) методом флотации. Целесообразность и эффективность этого способа подтверждаются результатами исследований, проведенными в нашей стране и за рубежом [1].

Поскольку интенсивность массообмена между водой и подаваемым в нее воздухом зависит от поверхности контакта фаз [2], целью исследования являлось установление количества захваченного воздуха в широком диапазоне изменения определяющих параметров. В статье сообщаются опытные результаты по определению воздухововлекающей способности струи при ее взаимодействии с поверхностью покоящейся жидкости.

Анализ опубликованных работ, собственные наблюдения, проведенные с помощью высокоскоростной киносъемки, показали, что основной причиной захвата воздуха является наличие на поверхности струи волнообразных возмущений, развивающихся по ее длине. При взаимодействии этих возмущений с поверхностью покоящейся жидкости образуется каверна (полость), которая затем захлопывается под действием сил поверхностного натяжения и гидростатического давления [3]. Защемленный таким образом атмосферный воздух увлекается падающей струей в толщу водной массы в виде факела мелких пузырьков (рис. 1).

Понимание механизма процесса захвата воздуха падающей струей дает возможность установить параметры, определяющие процесс воздухововлечения. Прежде всего, скорость струи $U$ при выходе из насадка, которая определяет размеры начальных возмущений. Развитие возмущений происходит по длине струи $L$. Вполне естественно, что явление захвата воздуха будет определяться физическими свойствами жидкости и окружающей струи.

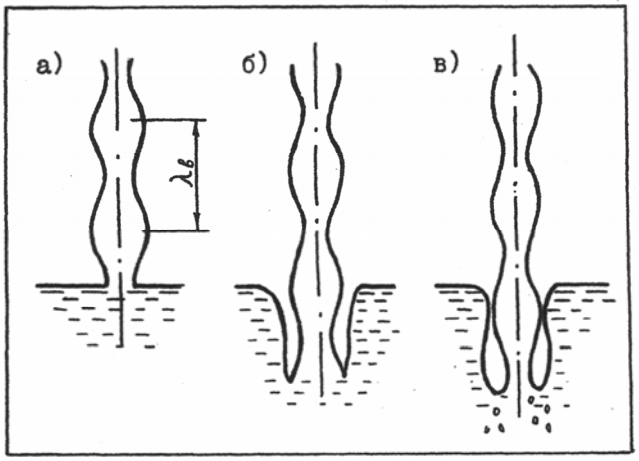



Рис. 1. Схема вовлечения воздуха

Тогда интересующая нас функциональная зависимость для количества вовлекаемого воздуха $Q_а$ (м$^3$/с) может быть представлена в виде:

$$Q_а = f\,(U, d, L, \mu, \rho, \sigma, g, \alpha), \tag{1}$$

где $d$ — диаметр струи; $\mu$ — динамическая вязкость жидкости; $\rho$ — плотность жидкости; $\sigma$ — поверхностное натяжение; $g$ — ускорение силы тяжести; $\alpha$ — угол падения струи.

Метод анализа размерностей позволяет представить выражение (1) в безразмерном виде:

$$\frac{Q_a}{Q} = F\left(\frac{L}{d}, \mathrm{Re}, We, Fr, \cos\alpha\right), \tag{2}$$

где $Q$ — расход жидкости в струе; $\mathrm{Re} = \dfrac{\rho U d}{\mu}$ — число Рейнольдса; $We = \dfrac{\rho U^2 d}{\sigma}$ — число Вебера; $Fr = \dfrac{U^2}{gd}$ — число Фруда.

Физический смысл безразмерных параметров, входящих в уравнение (2), вполне ясен. Воздухововлекающая способность струи зависит, как уже указывалось, от степени ее возмущенности, которая определяется силами инерции, вязкости, поверхностью натяжения. Развитие возмущений происходит по длине струи, поэтому относительная длина ее является важным параметром (рис. 2). Угол падения струи изменяет площадь контакта струи в точке взаимодействия, что также влияет на величину расхода вовлекаемого воздуха. Кроме того, физический смысл безразмерных комплексов облегчает организацию эксперимента.

Метод анализа размерностей позволяет существенно уменьшить число переменных, получить некоторое представление о характере взаимодействия между ними, но не дает возможности определить вид функции, связывающей безразмерные комбинации. Поэтому разумно представить функцию (2) в виде степенного ряда и рассмотреть только первый его член. В результате получим:

$$\frac{Q_a}{Q} = C\,\mathrm{Re}^x\,We^y\,Fr^z\left(\frac{L}{d}\right)^m \cos^n\alpha, \qquad (3)$$

где $C$ — коэффициент; $x$, $y$, $z$, $m$, $n$ — показатели степени при безразмерных комплексах.

Коэффициент и показатели степени предполагается определить экспериментальным путем. Исследования выполнялись на лабораторном стенде, конструкция и параметры которого подробно описаны в работе [4]. Струи формировались латунными «гладкими» насадками с отношением длины насадка к диаметру $\frac{L_H}{d} \geq 50$.

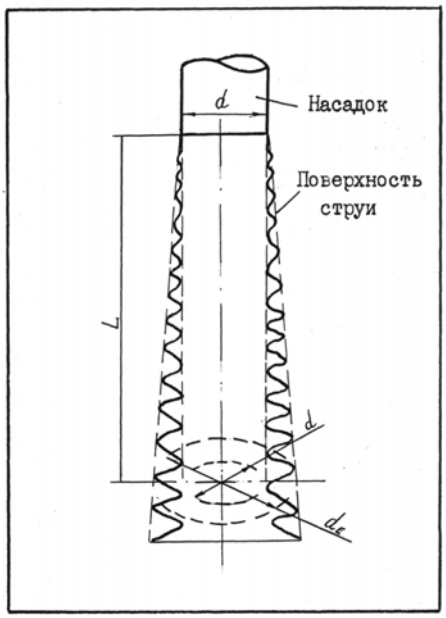



Рис. 2. Схема возмущенной поверхности струи

На графике (рис. 3) в безразмерных координатах представлены результаты замеров расхода вовлеченного воздуха при изменении скорости истечения струи от 2 до 15 м/с для четырех значений диаметров насадков. Испытания выполнены для наклонных струй (α = 60°) при значении $\frac{L}{d} = 30$. Выбор координат продиктован соображениями анализа размерностей.

Опытные точки для всех диаметров насадков с некоторым разбросом группируются вокруг кривой, имеющей форму параболы с показателем степени 0,55. Разброс естественен и вполне допустим, если иметь ввиду сложность измерения потока вовлеченного воздуха, и вполне соответствует точности измерений $\pm 5\,\%$. Для сравнения на график нанесены опытные значения разных авторов [5, 6], которые проводили опыты в сравнимых условиях, подтверждающие наши замеры.

Некоторое несовпадение объясняется отличающимися условиями проведения эксперимента и методикой измерений.

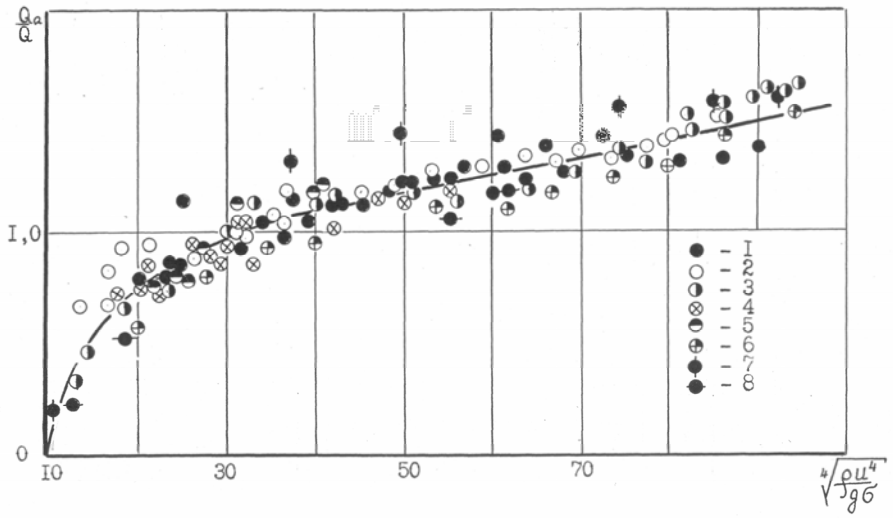



Рис. 3. Влияние скорости и диаметра струи на относительный расход вовлеченного воздуха: *1—5* — данные автора; *6* — Ван де Занде [4]; *7* — М. Кумагаи [3]; *8* — Т. Ягасаки [2]

*1.* $d$ = 1,8 мм $L/d$ = 30 $\alpha = 60°$

*2.* $d$ = 3 мм $L/d$ = 30 $\alpha = 60°$

*3.* $d$ = 5 мм $L/d$ = 30 $\alpha = 60°$

*4.* $d$ = 9 мм $L/d$ = 30 $\alpha = 60°$

*5.* $d$ = 46 мм $L/d$ = 10 $\alpha = 60°$

*6.* $d$ = 4,9 мм $L/d$ = 20 $\alpha = 60°$ [5]

*7.* $d$ = 2 мм $L/d$ = 30 $\alpha = 60°$ [6]

*8.* $d$ = 5,7 мм $L/d$ = 35 $\alpha = 90°$

Проведенные экспериментальные исследования не обнаруживают изменения интенсивности захвата воздуха в указанном диапазоне изменения скоростей, как это отмечается в работе [5]. Так Van de Sande [5] считает, что снижение интенсивности захвата воздуха при скоростях от 6 до 10 объясняется нерегулярностью процесса воздухововлечения, но причина этой нерегулярности не указывается.

Сам Van de Sande [5] подчеркивал, что причиной захвата воздуха струями являются возмущения их поверхности, растущие по мере увеличения скорости. Наши исследования поведения струей для данных условий [4] управляются законами, которые имеют непрерывный характер.

Если считать [5], что объем вовлекаемого струей воздуха пропорционально значению кинетической энергии струи

$$Э_к = \frac{1}{2}\rho\frac{\pi d^2}{4}U^3,$$

то ее изменение также носит непрерывный характер. Качественное состояние струй при $L/d$ = 30 в пределах изменения скоростей (см. рис. 3) также не меняется.

Таким образом, видимых причин для изменения интенсивности процесса воздухововлечения нет, что подтверждается в работе Т. Ягасаки.

Опытные данные указывают на отсутствие влияния диаметра струи на относительный расход вовлеченного воздуха, хотя диаметр струи в эксперименте изменялся в 5 раз. Слабое влияние диаметра струи отличается в исследованиях других авторов [7].

Представляется правильным рассматривать влияние скорости истечения и диаметра струи в комплексе. В рамках наших представлений о механизме воздухововлечения решающую роль в процессе играют возмущения поверхности струи (рис. 2). Действительно, начальные возмущения, величина которых определяется интенсивностью и масштабом турбулентности в насадке, зависящей от скорости и геометрических размеров, в конечном итоге будут определять значение площади струи в точке взаимодействия (рис. 2).

Влияние длины струи представлено графиком (рис. 4) в координатах $\frac{Q_a}{Q} = f\left(\frac{L}{d}\right)$. Кривые, построенные по опытным точкам, показывают плавное увеличение объема захваченного воздуха. При этом отмечаем, что изменение качественного состояния струи от компактной к раздробленной не оказывает заметного влияния на процесс воздухововлечения, что также согласуется с данными других авторов [6, 8].

Увеличение объема вовлеченного воздуха с ростом длины струи связывается с развитием возмущений на ее поверхности. Рост возмущений приводит к увеличению площади взаимодействия струи в точке падения (см. рис. 2).

Для результатов измерений, представленных графиком (см. рис. 4), степень влияния безразмерной длины струи равна 0,66, т. е.

$$\frac{Q_a}{Q} \sim f\left(\frac{L}{d}\right)^{0,66}. \qquad (4)$$

Полученная степень влияния длины струи согласуется с данными экспериментов [6, 8, 9]. Таким образом, можно считать, что проведенные опытные исследования влияния длины струи на количество вовлеченного воздуха вполне корректны, дают удовлетворительное качественное и количественное совпадение с результатами исследований разных авторов, раскрывают физическую суть явления захвата воздуха падающими струями.

В рамках сложившихся представлений о механизме влияния таких параметров струи на процесс воздухововлечения, как ее скорость истечения, диаметр и длина, можно утверждать, что рост вязкости должен увеличивать количество вовлеченного воздуха. В самом деле, возрастание вязкости приводит к увеличению коэффициента гидравлического трения $\lambda$ насадка, связанного с динамической скоростью. Динамическая скорость в турбулентном потоке определяется размерами турбулентных пульсаций скорости. Тогда увеличение вязкости вызовет усиление интенсивности турбулентности и появление на поверхности струи сильных деформаций при прочих равных условиях. Развитие поверхностных возмущений способствует увеличению площади контакта струи с поверхностью жидкости и, как следствие, приведет к росту объема вовлекаемого воздуха.

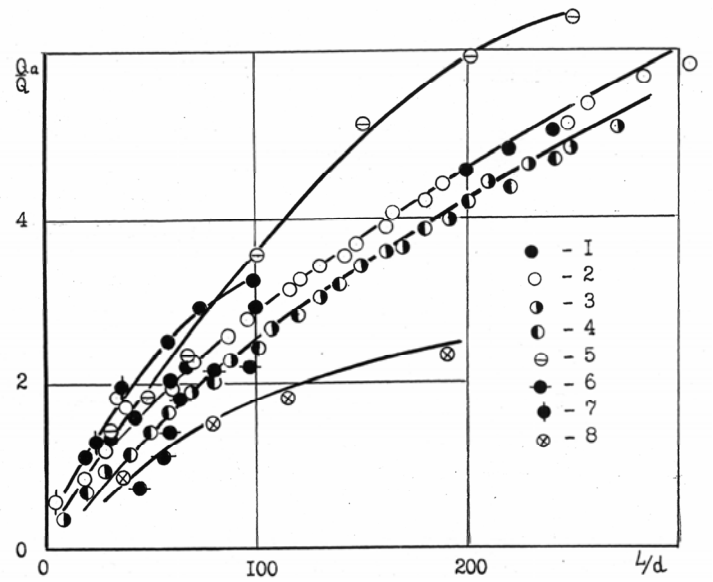



Рис. 4. Влияние длины струи на расход вовлеченного воздуха
*1.* $d$ = 1,8 мм $U$ = 10 м/с, $\alpha = 60°$
*2.* $d$ = 3 мм $U$ = 10 м/с, $\alpha = 60°$
*3.* $d$ = 5 мм $U$ = 8,8 м/с, $\alpha = 60°$
*4.* $d$ = 9 мм $U$ = 8,8 м/с, $\alpha = 60°$
*5.* $d$ = 2 мм $U$ = 8 м/с, $\alpha = 60°$ [6]
*6.* $d$ = 2,85 мм $U$ = 3 м/с, $\alpha = 60°$ [5]
*7.* $d$ = 2,54 мм $U$ = 10,7 м/с, $\alpha = 60°$ [5]
*8.* $d$ = 14 мм $U$ = 4,7 м/с, $\alpha = 90°$ [7]

Результаты измерений представлены на графике (рис. 5) в виде зависимости относительного расхода вовлеченного воздуха от скорости струи. Опыты проводились на водных растворах глицерина, кинетическая вязкость которых составляла $\nu$ = 0,06 см$^2$/с и $\nu$ = 0,14 см$^2$/с. Экспериментальные данные (см. рис. 5) обнаруживают значительный разброс точек, который объясняется трудностями улавливания вовлеченного воздуха особенно при работе на растворе вязкостью $\nu$ = 0,14 см$^2$/с. В этом случае взаимодействие в точке падения струи отличалось высокой интенсивностью, жидкость буквально кипела, а всплытие пузырьков было замедленным. Опытные данные (см. рис. 5) показывают увеличение относительного объема вовлеченного воздуха с ростом вязкости раствора от 0,011 см$^2$/с до $\nu$ = 0,14 см$^2$/с. В представленном на графике (см. рис. 5) диапазоне изменения скоростей степень влияния вязкости на относительный расход вовлеченного воздуха составляет $\frac{Q_a}{Q} \sim \nu^{0,25}$, что близко к значению Van de Sande [5], у которого этот показатель равен 0,33.

Весьма важным является обстоятельство, что на рис. 5 серия опытов на водном растворе глицерина вязкостью $\nu$ = 0,14 см$^2$/с относится к ламинарному режиму истечения струи из насадка диаметром $d$ = 3,0 мм. Это свидетельствует о том, что характер и механизм захвата воздуха ламинарной и турбулентной струей мало отличаются. Это также вписывается в схему принятой

нами модели процесса вовлечения воздуха струями жидкости, решающую роль в которой отводится возмущениям струи. Отмечается аналогия в поведении как ламинарных, так и турбулентных струй в отношении распада, происходящего в результате развития возмущений струи [4]. При этом степень влияния вязкости на развитие возмущений струи совпадает с ее влиянием на воздухововлекающую способность.

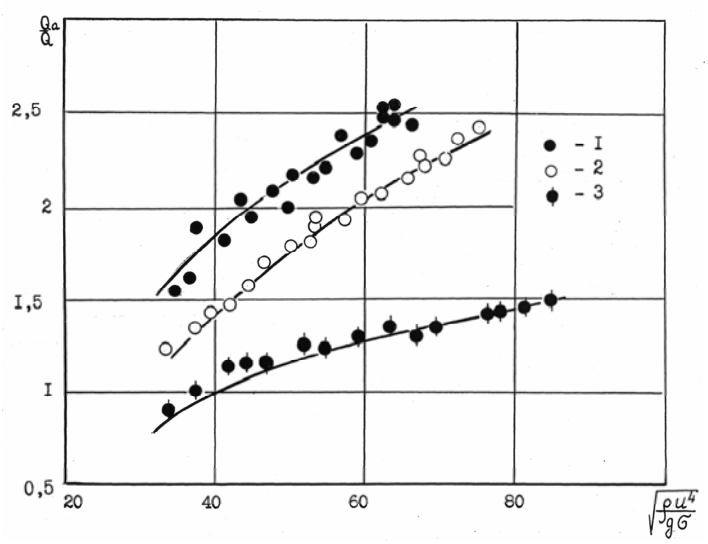



Рис. 5. Влияние вязкости на относительный расход вовлекаемого воздуха
*1.* $d$ = 3 мм $\alpha = 60°$ $\nu$ = 0,14 см$^2$/с,
*2.* $d$ = 3 мм $\alpha = 60°$ $\nu$ = 0,06 см$^2$/с,
*3.* $d$ = 3 мм $\alpha = 60°$ $\nu$ = 0,01 см$^2$/с.

Весьма важным является обстоятельство, что на рис. 5 серия опытов на водном растворе глицерина вязкостью $\nu$ = 0,14 см$^2$/с относится к ламинарному режиму истечения струи из насадка диаметром $d$ = 3,0 мм. Это свидетельствует о том, что характер и механизм захвата воздуха ламинарной и турбулентной струей мало отличаются. Это также вписывается в схему принятой нами модели процесса вовлечения воздуха струями жидкости, решающую роль в которой отводится возмущениям струи. Отмечается аналогия в поведении как ламинарных, так и турбулентных струй в отношении распада, происходящего в результате развития возмущений струи [10]. При этом степень влияния вязкости на развитие возмущений струи совпадает с ее влиянием на воздухововлекающую способность.

Экспериментально влияние вязкости проверялось только в работе J. Siborowski [5]. Его более чем скромный эксперимент показал увеличение объема захваченного воздуха пропорционально вязкости в степени 0,3, что почти совпадает с нашим значением.

С точки зрения представлений о механизме процесса воздухововлечения следует рассматривать влияние поверхностного натяжения жидкости. Изучение поведения струй жидкости показывает, что силы поверхностного натяжения способствуют развитию возмущений на поверхности, а значит, увеличивают размеры площади взаимодействия струи в точке падения. Тогда сни-

жение поверхностного натяжения жидкости должно приводить к уменьшению интенсивности захвата воздуха.

К сожалению, осуществить экспериментальную проверку влияния поверхностного натяжения не удалось. При работе с растворами ПАВ в воде, вследствие захвата воздуха, в приемном резервуаре и измерительной камере образовывалось много пены, которая не позволяла измерить объем вовлеченного воздуха.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить степень влияния отдельных независимых переменных на относительный расход вовлеченного воздуха. Это дает возможность установить вид функции (3), используя метод анализа размерностей. Для постоянных значений длины струи и угла ее падения функция запишется в виде:

$$\frac{Q_a}{Q} = C\,\mathrm{Re}^x We^y Fr^z\,, \tag{5}$$

где $x$, $y$, $z$ — показатели степени при безразмерных параметрах; $C$ — согласующий коэффициент.

В результате проведенных опытных исследований был определен показатель степени $x = -0{,}25$, а также установлено, что относительный расход вовлеченного воздуха $Q_a \sim U^{0{,}55}$ и не зависит от диаметра насадка.

Тогда уравнения для показателей степеней из условий однородностей запишутся как

при $U$: $-0{,}25 + 2y + 2z = 0{,}55$;
при $d$: $-0{,}25 + y - z = 0$. (6)

Из системы (6) определяем значение неизвестных показателей степеней:

$y = 0{,}33$; $z = 0{,}08$.

Тогда функция (5) запишется в виде:

$$\frac{Q_a}{Q} = C\,\mathrm{Re}^{-0{,}25} We^{0{,}33} Fr^{0{,}08}\,. \tag{7}$$

Обобщение многочисленных экспериментальных данных представлено графиком (рис. 6) в координатах функции

$$\frac{Q_a}{Q} = F\left[\mathrm{Re}^{-0{,}25} We^{0{,}33} Fr^{0{,}08}\left(\frac{L}{d}\right)^{0{,}66}\right]$$

при $\alpha = 60°$.

График (см. рис. 6) показывает, что опытные точки для разных диаметров насадков, для разных скоростей, длины струй и значений вязкости группируются с некоторым разбросом вокруг прямой линии, угловой коэффициент которой равен $C = 0{,}06$. Разброс точек вызван сложностью измерений расхода вовлеченного струей воздуха, но не выходит за пределы точности измерений ($\pm 5\,\%$). Тогда функция (7) для $\alpha = 60°$ принимает вид:

$$\frac{Q_a}{Q} = 0{,}06\,\mathrm{Re}^{-0{,}25} We^{0{,}33} Fr^{0{,}08}\left(\frac{L}{d}\right)^{0{,}66}\,. \tag{8}$$

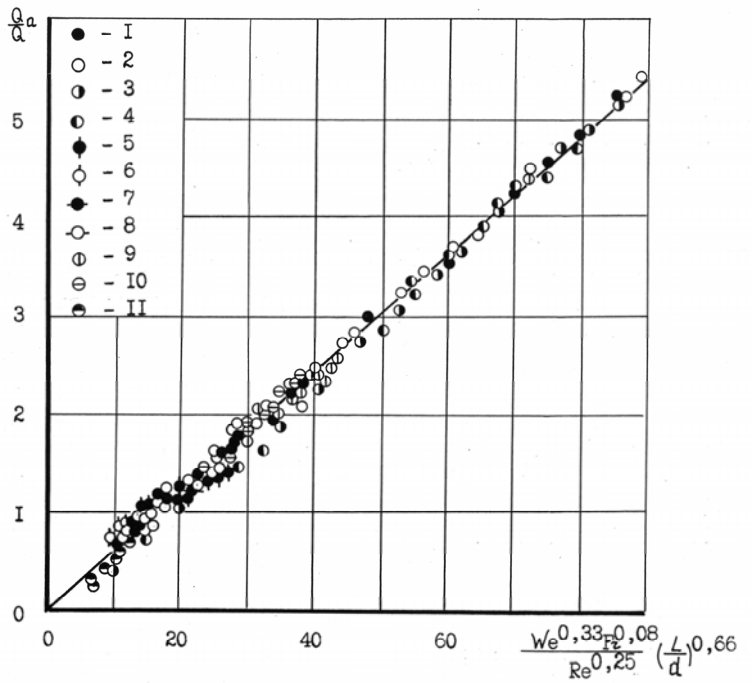



Рис. 6. Обобщение результатов экспериментальных исследований по измерению объема вовлеченного воздуха

На графике (рис. 7) приведены опытные данные других авторов, которые удовлетворительно согласуются с обобщающей зависимостью (8). Отклонение экспериментальных точек M. Kumagai [6] и J. Siborowski [7] вызвано отличающимися условиями проведения исследований и методикой измерения потока вовлеченного воздуха. Подробное сравнение полученного соотношения (8) с экспериментальными значениями разных авторов показывает их удовлетворительное согласование; что подтверждает надежность наших опытов.

Таким образом, получено соотношение (8), которое подтверждается опытными данными разных авторов. Соотношение действительно для угла падения струи α = 60° и в диапазоне изменения определяющих параметров.

$25 < \mathrm{We} < 8 \times 10^4$; $2 < \mathrm{Fr} < 10^4$;

$8 \times 10^2 < \mathrm{Re} < 5 \times 10^5$; $10 < L/d < 300$.

**Пример инженерного расчета**

Определить скорость и расход струи для осуществления подачи воздуха в количестве $Q_a$ = 5 л/с. Воздухововлечение обеспечивает водяная струя диаметром $d$ = 30 мм, падающая под углом α = 60° к поверхности аэрируемого объема с высоты $L$ = 1,5 м.

Из формулы (8) для α = 60° после преобразований получаем:

$$U = 7\frac{Q_a^{0,64}\sigma^{0,21}g^{0,05}\left(\frac{d}{L}\right)^{0,42}}{p^{0,21}\nu^{0,16}d^{1,27}} = \frac{7(5\cdot 10^3)^{0,64}\cdot 72^{0,21}\cdot 981^{0,05}\cdot(3/150)^{0,42}}{1^{0,21}\cdot 0,01^{0,16}\cdot 3^{1,27}} = 5,62 \text{ м/с}.$$

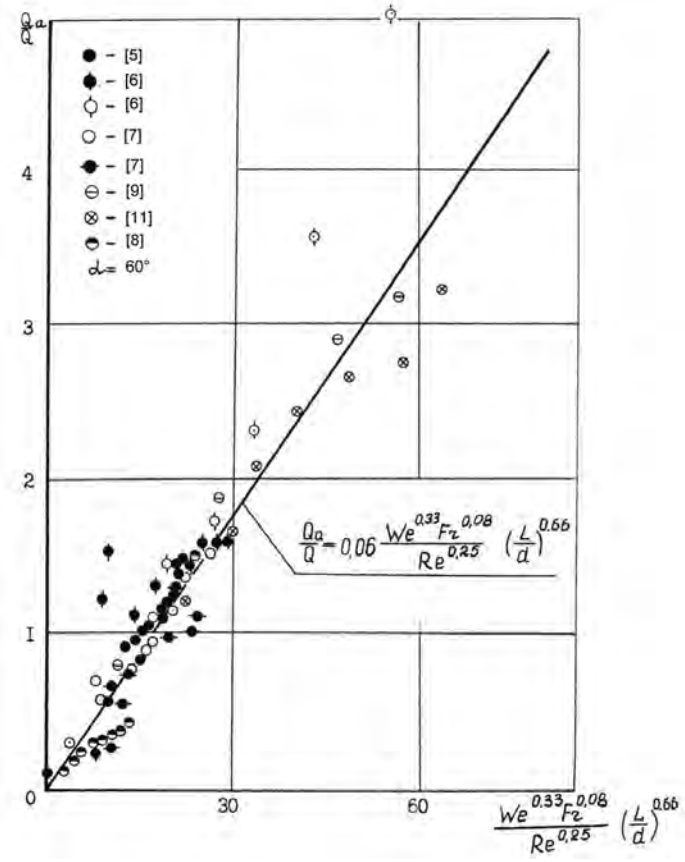



Рис. 7. Сравнение опытных данных разных авторов с обобщающей зависимостью (8)

Расход струи будет равен:

$Q = 0,785 d^2 U = 0,785 \cdot 0,3^2 \cdot 56,2 = 3,97$ л/с.

Производительность струи по воздуху составит:

$$\frac{Q_a}{Q} = \frac{5,0}{3,97} = 1,26 .$$

Сделаем проверку расчета. Значения безразмерных параметров при $U$ = 5,62 м/с будут равны:

We = 13 160, Re = 168 600, Fr = 107, $L/d$ = 50;

$We^{0,33}$ = 22,9, $Re^{0,25}$ = 20,3, $Fr^{0,08}$ = 1,45, $(L/d)^{0,66}$ = 13,2.

Тогда относительный расход вовлеченного воздуха согласно

$$\frac{Q_a}{Q} = 0,06 \cdot 22,9 \cdot 1,45 \cdot 13,2 / 20,3 = 1,29 .$$

Совпадение результатов означает правильность сделанного расчета.

**Основные выводы**

1. Вовлечение воздуха падающими струями является эффективным способом улучшения экологического состояния водоемов, интенсификации процессов биологической очистки сточных вод.

2. На основе экспериментальных исследований получена зависимость для определения расхода воздуха, вовлекаемого турбулентной струей при ее взаимодействии с поверхностью покоящейся жидкости, которая согласуется с опытными данными разных авторов в широком диапазоне измерения определяющих параметров.

3. На основе полученных результатов разработан метод инженерного расчета, позволяющий определить параметры струи и ее воздухововлекающую способность для обеспечения необходимой степени аэрации объема жидкости, что имеет важное практическое значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Albrecht D.* Beluftigungversuche init frei absturzendem Wasser. GWF — Wasser // Abwasser Bend. 1971. Vol. 112. No. 1. S. 29—32.

2. *Худенко Б. М., Шпирт Е. А.* Аэраторы для очистки сточных вод. М.: Стройиздат, 1973. 112 с.

3. *Haut J. W., Tayler I. J.* Mechanism air entrainment in a high-speed water jet. Ecoulements dip has et cavit syst. // Prad. Energ. Symp., Grenoble. 1976. Pp. 329—335.

4. *Фетисов Ю. М.* Захват воздуха при взаимодействии струи с покоящейся жидкостью: автореф. дис… канд. техн. наук. М., 1995. 24 с.

5. *Van de Sande E.* Air Entrainment by plunging water jets. Ph. D. Thesis. Delft, 1974.

6. *Kumagai M., Imai H.* Gas entrainment by liquid jets // Kagaku kogaku Rombunshu. M. 8. 1982. № 1. Pp. 1—6.

7. *Ciborowski J., Bin A.* Badanie efektu napowietrzania swobodnych strumieni cieczy // Inzynieria Chemiczna. 1972. II, 4. C. 557—576.

8. *Henderson J. B., McCarthy M. J., Molloy N. A.* Entrainment by plunging jets // Proc. Chemica. 1970. Conf., 1970, Australia, Sec. 2. Pp. 86—100.

9. *Oyama Y., Takashima Y., Ydemura H.* Air Entrainment Phenomena by jets // Pepts. Sci. research Inst (Japan) 29. 1954. 3.4.4.

10. *Ervine D. A., Mckeogh E., Elsawy E. M.* Effect of turbulence intensity of the rate of aur entrainment by plunging water jets // Proc. Inst. Civ. Engr., Part 2. 1980. No. 69. Pp. 425—445.

*© Фетисов Ю. М., Туманов С. Л., Фоменко Н. А., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в апреле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Фетисов Ю. М., Туманов С. Л., Фоменко Н. А.* Изучение процесса аэрации водной массы падающими струями // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 122—133.

*Об авторах:*

**Фетисов Юрий Михайлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, fetisow.yurij@yandex.ru

**Туманов Сергей Леонидович** — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, tumserlen@yandex.ru

**Фоменко Николай Александрович** — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

***Yu. M. Fetisov, S. L. Tumanov, N. A. Fomenko***

## THE STUDY OF THE PROCESS OF WATER AERATION WITH FALLING WATER SHEETS

The article provides the results of the study of air-entraining ability of a water sheet when interacting with the surface of liquid at rest as the way of improvement of oxygen balance in natural reservoirs. The study of the mechanism of air entrainment allowed the authors to establish the parameters defining the process. Numerous experimental data allowed to define the degree of impact of each parameter and to receive a ratio for the calculation of productivity of a water sheet by air in a wide range of their change.

K e y  w o r d s: aeration, water sheet, spray pipe, air-entraining, wave disturbance, rate of flow.

REFERENSES

1. Albrecht D. Beluftigungversuche init frei absturzendem Wasser. *GWF — Wasser. Abwasser Bend*, 1971, 112(1), s. 29—32.

2. Khudenko B. M., Shpirt E. A. *Aeratory dlya ochistki stochnykh vod* [Aerators for sewage treatment]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1973. 112 p.

3. Haut J. W., Tayler I. J. Mechanism air entrainment in a high-speed water jet. Ecoulements dip has et cavit syst. *Prad. Energ. Symp*., Grenoble. 1976. Pp. 329—335

4. Fetisov Yu. M. *Zakhvat vozdukha pri vzaimodeistvii strui s pokoyashcheisya zhidkost'yu*. Diss. d-ra tehkn. nauk [Air entrainment at jet interaction with liquid at rest. Cand. Eng. Sci. Dis.]. Moscow, 1995. 24 p.

5. Van de Sande E. *Air Entrainment by plunging water jets*. Ph. D. Thesis. Delft, 1974.

6. Kumagai M., Imai H. Gas entrainment by liquid jets. *Kagaku kogaku Rombunshu*, m. 8, 1982, no. 1, pp. 1—6.

7. Ciborowski J., Bin A. Badanie efektu napowietrzania swobodnych strumieni cieczy. *Inzynieria Chemiczna*, 1972, II, 4, pp. 557—576.

8. Henderson J. B., McCarthy M. J., Molloy N. A. Entrainment by plunging jets. *Proc. Chemica*, *1970*. Conf., 1970, Australia, Sec. 2. Pp. 86—100.

9. *Oyama Y., Takashima Y., Ydemura H.* Air Entrainment Phenomena by jets. *Pepts. Sci. research Inst* (Japan) 29. 1954. 3.4.4.

10. Ervine D. A., Mckeogh E., Elsawy E. M. Effect of turbulence intensity of the rate of aur entrainment by plunging water jets. *Proc. Inst. Civ. Engr.*, part 2, 1980, no. 69, pp. 425—445.

*For citation:*

Fetisov Yu. M., Tumanov S. L., Fomenko N. A. [The study of the process of water aeration with falling water sheets]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 122—133.

*About authors:*

**Fetisov Yurii Mikhailovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, fetisow.yurij@yandex.ru

**Tumanov Sergei Leonidovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, tumserlen@yandex.ru

**Fomenko Nikolai Aleksandrovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

УДК 504.5:502.51:661

***Э. П. Доскина[а], Е. В. Москвичева[а], А. А. Войтюк[б], Д. О. Игнаткина[а]***

***[а] Волгоградский государственный технический университет***
***[б] ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»***

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО СЕЛЕКТИВНОГО СОРБЕНТА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Сорбционный способ очистки сточных вод предполагает необходимость решения проблемы дальнейшей утилизации отработанного сорбента. Рассматривается один из возможных методов утилизации отработанного сорбента в качестве рекультивирующей добавки для ликвидации нефтезагрязнений почвы. Приводятся основные источники загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Предлагается использовать в качестве рекультивирующей добавки для ликвидации нефтезагрязнений отработанный сорбционный материал, состоящий почти на 70 % из отработанного активного ила и 30 % минеральной составляющей. Представлены физико-химические характеристики отработанного сорбента на основе избыточного активного ила. Приведены усредненные данные по содержанию азота, фосфора и калия в предлагаемой рекультивирующей добавке. Экспериментально подтверждается, что нефтезагрязненные почвы, обогащенные большим количеством органического вещества, снижают токсичность тяжелых металлов, а использование растений, высаженных на них, способствует удалению этих металлов. В качестве эффективного накопителя ионов тяжелых металлов для проведения лабораторных исследований выбрано растение, относящееся к семейству крестоцветных — горчица сарептская (индийская). В процессе проращивания семян горчицы происходит поглощение ИТМ корнями и транслокации их в надземную часть растения, поэтому после завершения основного периода вегетации биомасса, саккумулирующая в себе токсичные загрязнения, подвергается утилизации и переработке. Даны рекомендации по предварительной подготовке отработанного сорбента при внесении в качестве рекультивирующей добавки в нефтезагрязненные почвы. Результаты экспериментов показывают, что внесение отработанного сорбционного материала и одновременная аккумуляция загрязнителей горчицей сарептской является достаточно эффективным способом рекультивации и восстановления сильноэродированных и загрязненных нефтепродуктами почв.

Ключевые слова: сорбция, сорбент, ионы тяжелых металлов, рекультивация, нефтезагрязненные почвы, фиторемедиация, сарептская горчица.

Экологически безопасная технология удаления ионов цинка, никеля, меди перед биологической очисткой сорбционным методом, с использованием избыточного активного ила в качестве сырья для получения селективного сорбента, определяет необходимость решения проблемы дальнейшей утилизации отработанного сорбента.

Вновь образованный отход, в результате очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов (ИТМ), может быть регенерирован кислотой с последующей промывкой чистой водой. Недостатком данной процедуры является ее экономическая и экологическая нецелесообразность.

Поэтому авторами предлагается утилизировать отработанный селективный сорбент для рекультивации нефтезагрязненных почв (НЗП). Именно этой экологической проблеме и посвящена данная статья.

Согласно ГОСТу 17.5.3.04—83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» рекультивация земель — это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной

ценности нарушенных и загрязненных земель, а также на улучшение условий окружающей среды. Она является составной частью технологических процессов, связанных с нарушением земель, и должна проводиться с учетом местных почвенно-климатических условий, степени повреждения и загрязнения, ландшафтно-геохимических характеристик нарушенных земель, конкретного участка.

Основными источниками загрязнения нефтью и нефтепродуктами являются нефтедобывающие предприятия, системы перекачки и транспортировки, нефтяные терминалы и нефтебазы, хранилища нефтепродуктов, железнодорожный транспорт, речные и морские нефтеналивные танкеры, автозаправочные комплексы и станции. Объемы отходов нефтепродуктов, скопившиеся на отдельных объектах, составляют десятки и сотни тысяч кубометров. Значительное число хранилищ нефтяных шламов и отходов, построенных с начала 1950-х годов, превратились из средства предотвращения загрязнений нефтью и нефтепродуктами в постоянно действующий источник таких загрязнений [1].

Загрязнение почвы нефтепродуктами отличается от многих других антропогенных воздействий на нее тем, что оно дает не постепенную, а, как правило, «залповую нагрузку», вызывая быструю ответную реакцию среды [2, 3].

Естественное самоочищение почвенных покровов от загрязнения нефтепродуктами — длительный процесс. В связи с этим разработка способов рекультивации НЗП — одна из важнейших задач при решении проблемы снижения антропогенного воздействия на окружающую среду.

Механизм самовосстановления экосистемы, подвергшейся загрязнению нефтепродуктами, достаточно сложен. Факторами, лимитирующими процесс разложения углеводородов, являются газовоздушный режим почвы, наличие биогенных элементов — азота фосфора и калия, температурный режим [4, 5]. Загрязнение нефтепродуктами ухудшает газовый обмен почвы. Соответствующая обработка НЗП, способствующая улучшению аэрации, стимулирует активность микроорганизмов, что в конечном итоге усиливает окислительные процессы. При этом в почве создается большой биологически активный слой с усовершенствованными агрофизическими свойствами [6, 7]. Скорость разложения нефтепродуктов также зависит от кислотности почвы. Для развития и роста большинства культур микроорганизмов в условиях загрязнения нефтепродуктами, наиболее благоприятными являются значения pH, близкие к нейтральным. По этой причине для создания оптимальной pH-среды кислые почвы подвергают известкованию [8, 9].

Известно [10, 11], что посев на НЗП люцерны, бобовых культур и трав, с разветвленной корневой системой, способствует улучшению газовоздушного режима НЗП и обогащению азотом и биологически активными соединениями, выделяемыми корневой системой.

Сейчас в мире производится или используется для ликвидации разливов нефти около двухсот различных сорбентов, которые подразделяют на неорганические, природные органические и органоминеральные, а также синтетические [12, 13]. Качество сорбентов определяется главным образом их емкостью по отношению к нефти, степенью гидрофобности, плавучестью после сорбции нефти, возможностью десорбции нефти, регенерации или утилиза-

ции сорбента [14, 15]. Применение сорбентов может сочетаться с механическими методами сбора нефти. При этом механические методы могут применяться как до, так и после применения сорбентов, фиксирующих нефть и предотвращающих образование эмульсий [16].

Авторами предлагается использовать в качестве рекультивирующей добавки для ликвидации нефтезагрязнений отработанный сорбционный материал, состоящий почти на 70 % из отработанного активного ила (табл. 1) [17], в котором содержится большое количество питательных веществ, необходимых для растений. Однако, как и избыточный активный ил, отработанный сорбционный материал отягощен сложным набором токсичных веществ, в частности, повышенным содержанием ионов $Zn^{+2}$, $Cu^{+2}$ и $Ni^{+2}$. По этой причине технология рекультивации НЗП должна включать в себя использование отработанного сорбционного материала в комплексе со специально подобранными видами растений.

Таблица 1

*Физико-химические характеристики селективного сорбента на основе избыточного активного ила*

| Компонентный состав, % масс | | | | | | Плотность, г/дм$^3$ | Состав основной фракции, мм | Механическая прочность, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Избыточный активный ил | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | CaO | $AI_2O_3$ | $N_2O$ | 112 | 3…5 | 63,8 |
| 69,5 | 23,7 | 1,2 | 2,1 | 0,8 | 2,7 | | | |

Использование отработанного селективного сорбента в качестве органической добавки для рекультивации НЗП представляется наиболее разумным путем его утилизации, так как он является ценным комплексным удобрением с высоким содержанием азота, фосфора и различных микроэлементов.

Усредненные данные по содержанию азота, фосфора и калия приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Содержание основных питательных веществ в отработанном селективном сорбенте*

| № п/п | Питательные вещества | Отработанный селективный сорбент, % | Сырой осадок, % | Активный ил, % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Азот общий | 2,0…8,0 | 1,6…6,0 | 2,4…10,0 |
| 2 | Фосфор общий в пересчете на $P_2O_5$ | 1,0…7,0 | 0,6…5,2 | 2,3…8,0 |
| 3 | Калий общий в пересчете на $K_2O$ | 0,2…0,5 | 0,1…0,6 | 0,3…0,4 |

*Примечание*. Процентная концентрация дана на массу сухого вещества.

Как видно из данных табл. 2, активный ил является ценным органическим удобрением, богатым нитратами и фосфатами, но их содержание в нем изменяется в большом диапазоне. Это объясняется различием состава очищаемых городских сточных вод, который меняется в широких пределах.

Несмотря на высокое содержание ИТМ в отработанном сорбционном материале, его применение для рекультивации НЗП остается возможным. Как отмечено в работе [18] В. И. Кудряшевой, тяжелые металлы образуют наиболее устойчивые соединения в почве с гуминовыми кислотами и фульвокислотами. Почвы, обогащенные большим количеством органического вещества, снижают токсичность тяжелых металлов, а использование растений, высаженных на НЗП, приведет к удалению этих металлов.

Механизмы резистентности растений к избытку ИТМ могут выражаться в разных направлениях: одни способны накапливать высокие концентрации ИТМ, проявляя к ним толерантность, другие стремятся снизить их поступление [19].

Большинство растений задерживает максимальное количество ИТМ корнями, дальше следуют стебли и листья, а в последнюю очередь их накапливают органы и части растений, отвечающие за репродуктивные функции [20, 21]. Такие гипераккумулирующие генотипы растений являются основой для фиторемедиации (от греческого «фитон» — растение и латинского «ремедиум» — восстанавливать) — современной технологии очистки загрязненных почв с использованием дикорастущих растений. Фиторемидиацию признали эффективным и экономически выгодным методом очистки почв от ряда органических и неорганических поллютантов [20, 21].

Множество дикорастущих растений, способных аккумулировать и подвергать деструкции соединения ИТМ, относятся к семейству крестоцветных, близких родственников капусты и горчицы; один из видов горчицы, называемой сарептской (индийской), оказался весьма эффективным накопителем цинка, меди и никеля [22, 23]. Так же это растение удовлетворяет ряду других требований: производит большую биомассу, обладает развитой корневой системой, толерантно к высоким концентрациям ИТМ, способно поглощать и аккумулировать несколько соединений тяжелых металлов в высоких концентрациях одновременно. Однако стоит отметить, что в процессе проращивания семян горчицы сарептской происходит поглощение ИТМ корнями и транслокации их в надземную часть растения, и поэтому после завершения основного периода вегетации биомасса, саккумулирующая в себе токсичные загрязнения, подвергается утилизации и переработке [24].

Определение длины и массы корней семян производили через 24, 48 и 72 часа после проращивания. С помощью измерительной линейки определяли длину всех корней семян горчицы сарептской в миллиметрах. Через 72 часа после проращивания и анализа всех результатов у семян срезались корни и взвешивали на технических весах, записывая результат в граммах. При определении длины всех исследованных проб, за результат анализа принимали среднее арифметическое значение (табл. 3).

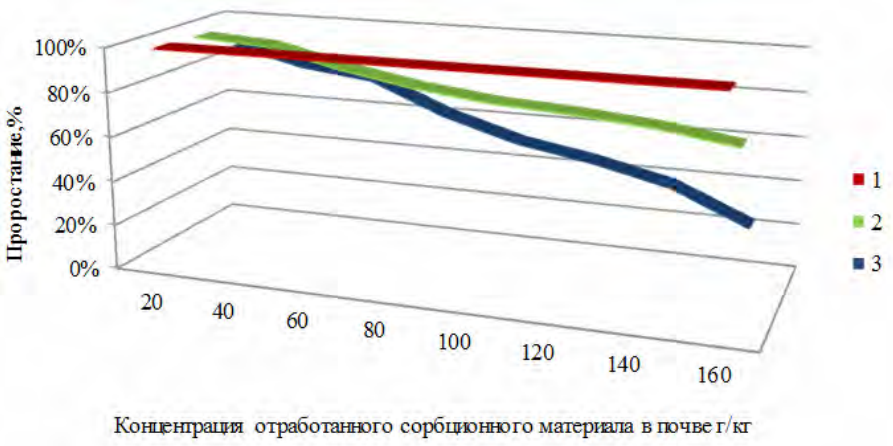
Из данных, представленных в табл. 3, видно, что обработка семян горчицы сарептской токсическими компонентами несущественным образом влияет на прорастание.

Таблица 3

*Влияние условий обработки на прорастание горчицы сарептской*

| Параметры исследования | Контроль | Сульфат (Zn, Ni) | Керосин | Сульфат (Zn, Ni) + керосин |
|---|---|---|---|---|
| Энергия прорастания, % | 80±2 | 78±2 | 76±2 | 76±2 |
| Относительная энергия прорастания, % | 100 | 98 | 94 | 94 |
| Длина корней, мм | 10,0±0,2 | 8,0±0,2 | 8,0±0,2 | 5,6±0,2 |
| Относительная длина корней, % | 100 | 90 | 80 | 79 |
| Масса корней, г | 0,37±0,2 | 0,29±0,1 | 0,24±0,1 | 0,22±0,1 |
| Относительная масса корней, % | 100 | 85 | 65 | 63 |

Лабораторные исследования по определению энергии прорастания семян проводились на культуре горчицы сарептской. Согласно ГОСТ 12038—84 проводилось определение всхожести. Семена обрабатывали раствором солей тяжелых металлов (сульфатами цинка и никеля) с концентрацией от 0,001 до 0,1 мг/л без или совместно с керосином (рис.).




Зависимость длины проростков горчицы сарептской от концентраций отработанного сорбционного материала в почве: *1* — контрольный образец почвы без внесения отработанного сорбционного материала; *2* — образец почвы с добавлением отработанного сорбционного материала; *3* — образец с нефтепродуктом и отработанным сорбционным материалом

Определение фитотоксичности по всхожести семян и начальному росту проростков сарептской горчицы производился по ГОСТ Р ИСО 22030—2009.

Эксперимент показал, что предлагаемая рекультивирующая добавка не обладает ярко выраженной фитотоксичностью. Токсичность проявил образец, подвергнутый загрязнению нефтепродуктом.

Таким образом, результаты лабораторных исследований показали потенциальную возможность использования отработанного сорбционного материала в качестве сырья для рекультивации НЗП. Данный способ удаления органических и неорганических поллютантов за счет внесения в почву рекультивирующей добавки на основе отработанного активного ила и минеральной составляющей в совокупности с аккумуляцией загрязнителей растениями является альтернативой существующим дорогостоящим методам восстановления НЗП.

Ряд проведенных экспериментов свидетельствует о том, что отработанный сорбционный материал можно рекомендовать для рекультивации и восстановления сильноэродированных и загрязненных нефтепродуктами почв.

Органоминеральная композиция, предназначенная для рекультивации НЗП, должна представлять собой относительно сыпучую массу влажностью не более 50…60 % и может применяться в качестве почвоулучшающей добавки.

На объектах, где будет использоваться отработанный сорбционный материал в качестве рекультивирующей добавки, целесообразно организовать многолетний контроль (мониторинг) за содержанием ИТМ в почвах и растениях. Это позволит составить базу данных о поведении тяжелых металлов и будет играть важную роль при установлении дозы и периодичности внесения рекультивирующей добавки.

Дозы и периодичность внесения рекультивирующей добавки устанавливают в зависимости от следующих условий:

почвенных условий участка: содержания гумуса и питательных элементов, реакции почвенной среды, гранулометрического состава, залегания уровня грунтовых вод и др.;

показателей содержания органического вещества, питательных элементов и тяжелых металлов в рекультивирующей добавке на основании ГОСТ Р 17.4.3.07—2001.

При проведении рекультивации НЗП доза добавки рассчитывается исходя из необходимости создания на поверхности рекультивируемой площади плодородного слоя определенной мощности и содержанием заданного количества органического вещества. При повторном внесении на эти земли рекультивационной добавки дозы рассчитываются, исходя из дефицита какого-либо питательного элемента.

Предосторожность при определении доз внесения данной добавки продиктована отсутствием данных о результатах ее использования в промышленных условиях и недостаточной изученностью поведения комплексов ИТМ с нефтепродуктами и растениями в многолетнем режиме.

С учетом длительного научного и производственного опыта, требований ГОСТ Р 17.4.3307—2001 и СанПиН 2.1.7.573—96 к использованию осадков с очистных сооружений в различных почвенных условиях и принимая во внимание аналогичные зарубежные разработки, периодичность и нормы внесения рекультивационной добавки устанавливают дифференцированно.

В предложенном нами способе рекультивации НЗП отработанный сорбционный материал предварительно подготавливают к использованию. Для этого его необходимо подсушить и уплотнить естественным путем до воздушно-сухого состояния в летний период в илонакопителях, затем извлечь и

разместить на компостной площадке, где выдержать в течение 1-2 лет до исчезновения патогенных микроорганизмов согласно СанПиН 2.1.7.573—96. Определить в подготовительном отработанном сорбционном материале содержание биогенных элементов для питания растений и приоритетных токсикантов. Провести микробиологический анализ для определения содержания микроорганизмов. Затем отработанный сорбционный материал разместить на НЗП в количестве 25…30 т/га в пересчете на сухое вещество. Для улучшения аэрации почвы и перемешивании с нефтезагрязненным слоем, провести рыхление со снижением гравиометрической плотности на 10…30 %. Весной произвести засевание площади семенами горчицы сарептской. Производить постоянный контроль процесса разрушения нефтепродуктов и приоритетных токсикантов отработанного сорбционного материала, почвообразования и озеленения, путем анализа проб с рекультивируемого земельного участка.

**Вывод.** Таким образом, можно создать малоотходную технологию очистки городских сточных вод с использованием сорбционного материала на основе избыточного активного ила, а также производить рекультивацию почв, загрязненных нефтепродуктами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Минаков В. В., Кривенко С. М., Никитина Т. О.* Новые технологии очистки от нефтяных загрязнений // Экология и промышленность России. 2002. № 5. С. 7—9.

2. *Другов Ю. С., Родин А. А.* Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. СПб., 2000. С. 16—17.

3. *Charekhan P. R., Dand A. M.* Problems of Environmental Pollution and its Hasards in Refinery and Petrochemical Plants // Chem. Age India. 1980. Vol. 31. No. 4. Pp. 331—334.

4. *Atlas R. M.* Microbiol degradation of petroleum hydrocarbons and environmental perspective // Microbiol. Rev. 1981. Vol. 45. No. 1. Pp. 180—209.

5. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Справочник. М.: РЭФИА НИА-Природа, 2001. С. 7—16.

6. *Farrington J.* Oil pollution: a dacade of research and monitoring // Oceanus. 1985. Vol. 28. No. 3. Pp. 2—13.

7. *Коронелли Т. В.* Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводородов в окружающей среде // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Вып. 32. № 6. С. 519—525.

8. *Зайдельман Ф. Р.* Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. М.: Колос, 2008. 486 с.

9. *Куликов О. В.* Техногенные загрязнения нефтепродуктами почв и водных объектов // Бурение и нефть. 2002. № 2. С. 26—28.

10. *Robinson B.H., Leblanc M., Petit D.* The potential of Thlaspi caerulescens for phytoremediation of contaminated soils // Plant. Soil. 1998. No. 1. Pp. 47—56.

11. *Каннингем Скотт Д., Вл. Дэвид У.* Обещания и перспективы фиторемедиации растений // Physiol. 1996. No. 110. Pp. 715—719.

12. Переработка отходов производства во вторичное сырье как одно из условий обеспечения промышленной безопасности на предприятии / Е. В. Москвичева, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, Д. О. Игнаткина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 204—211.

13. Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина и др.// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 34(53). С. 114—120.

14. *Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 334 с.

15. *Каменщиков Ф. А., Богомольский Е. И.* Нефтяные сорбенты. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.

16. *Иощенко Ю. П., Каблов В. Ф., Зайков Г. Е.* Биодеградация нефтепродуктов в загрязненной почве с использованием смеси полимерный комплекс (хитозан — белок молочной сыворотки) — активный ил // Пластические массы. 2008. № 7. С. 50—54.

17. *Войтюк А. А., Москвичева Е. В., Сахарова А. А.* Способ получения сорбента: пат. 2542259 Рос. Федерация, МПК B01J 20/10. № 2013146300/05; заявл. 16.10.2013; опубл. 03.12.2014, Бюл. № 5.

18. *Кудряшова В. И.* Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями: дис… канд. биол. наук. Саранск, 2003. 144 с.

19. *Grûnther T., Domberger U., Fritsche W.* Effects of ryegrass on biodégradation of hydrocarbons in soil // Chemosphere. 1996. Vol. 33. No. 2. Pp. 203—215.

20. *Dushenkov S. M., Kapulnik Y., Blaylock M.* Phytoremediation: a novel approach to an old problem // Global Enviromental Biotechnology / ed. Wise D.L. Amsterdam: Elsevier Science B.V. 1997. Pp. 563—572.

21. *Рис Дж., Эллис Б.* Интегрированные инженерные и научные методы переработки загрязненных почв и почвенных вод // Химия в интересах устойчивого развития. 1993. № 2.

22. *Баганцова М. В.* Использование горчицы сарептской и райграса пастбищного для фиторемедиации загрязненных свинцом почв: автореф. дис… канд. биол. наук. М., 2011. 23 с.

23. *Воскресенская Г. С.* Горчица сарептская // Руководство по селекции и семеноводству масличных культур / под ред. В. С. Пустовойта. М., 1987. С. 173—235.

24. *Башмаков Д. И., Лукатин А. С.* Аккумуляция тяжелых металлов некоторыми высшими растениями в разных условиях местообитания // Агрохимия. 2002. № 9. С. 66—71.

*© Доскина Э. П., Москвичева Е. В., Войтюк А. А., Игнаткина Д. О., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в мае 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Использование отработанного селективного сорбента для рекультивации нефтезагрязненных почв / Э. П. Доскина, Е. В. Москвичева, А. А. Войтюк, Д. О. Игнаткина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 134—143.

*Об авторах:*

**Доскина Эльвира Павловна** — канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. 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

**Войтюк Александр Андреевич** — ведущий специалист отдела развития и содержания железнодорожного транспорта дирекции по логистике, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий». Российская Федерация, 404354, Волгоградская обл., Котельниковский р-н, г. Котельниково, ул. Ленина, 7, voytyuk.1987@list.ru

**Игнаткина Дарья Олеговна** — аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, viv_vgasu@mail.ru

***E. P. Doskina, E. V. Moskvicheva, A. A. Voityuk, D. O. Ignatkina***

## THE USE OF SPENT SELECTIVE SORBENT FOR RECULTIVATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS

The sorption method of wastewater treatment involves the necessity of solving the problem of further disposal of spent sorbent. The article considers one of the possible methods of disposal of spent sorbent as restored additives for the elimination of oil contamination of soil. The principal

sources of oil contamination are identified. It is proposed to use spent sorption material, which consists of spent activated sludge (almost 70%) and mineral component (30%), as restored additive to eliminate oil contamination. Physical and chemical characteristics of spent sorbent based on surplus activated sludge are given. Average data on content of nitrogen, phosphorus and potassium in proposed restored additive are provided. It is experimentally confirmed that oil-contaminated soil, rich in organic substances, reduce the toxicity of heavy metals, and the use of plants that grow on them promote their removal. For laboratory studies the authors select the plant belonging to mustard family — Brassica juncea (Indian mustard) as an effective accumulator of heavy metal ions. In the process of mustard seed sprouting the absorption of heavy metal ions by roots and their translocation into the herb take place, so after the main period of vegetation biomass, accumulating toxic contamination, is disposed and processed. Recommendations on the preparation of spent sorbent when used as restored additive in oil-contaminated soil are given. The experimental results show that the introduction of spent sorption material and simultaneous accumulation of pollutants by Indian mustard is a very effective way of remediation and recovery of severely eroded and oil-contaminated soil.

K e y  w o r d s: sorption, sorbent, heavy metal ions, remediation, oil-contaminated soil, phytoremediation, Indian mustard.

REFERENSES

1. Minakov V. V., Krivenko S. M., Nikitina T. O. [New technologies of oil decontamination]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2002, no. 5, pp. 7—9.

2. Drugov Yu. S., Rodin A. A. *Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefti i nefteproduktov* [Ecological analyses in case of oil and petroleum product spills]. Saint Petersburg, 2000. Pp. 16—17.

3. Charekhan P. R., Dand A. M. Problems of Environmental Pollution and its Hasards in Refinery and Petrochemical Plants. *Chem. Age India*, 1980, 31(4), pp. 331—334.

4. Atlas R. M. Microbiol degradation of petroleum hydrocarbons and environmental perspective. *Microbiol. Rev*., 1981, 45(1), pp. 180—209.

5. *Tekhnologii vosstanovleniya pochv, zagryaznennykh neft'yu i nefteproduktami. Spravochnik* [Technologies of soil remediation contaminated by oil and petroleum products]. Reference Book. Moscow, REFIA NIA-Priroda, 2001. Pp. 7—16.

6. Farrington J. Oil pollution: a dacade of research and monitoring. *Oceanus*, 1985, 28(3), pp. 2—13.

7. Koronelli T. V. Principles and methods for raising efficiency of biological degradation of hydrocarbons in the environment: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 1996, 32(6), pp. 519—525.

8. Zaydelman F. R. *Metody ekologo-meliorativnykh izyskanii i issledovanii pochv* [Methods of eco-melioration researches and analyses of soils]. Moscow, Kolos Publ., 2008. 486 p.

9. Kulikov O. V. [Technogenic contamination of soils and water objects by petroleum products]. *Burenie i neft'* [Drilling and oil], 2002, no. 2, pp. 26—28.

10. Robinson B.H., Leblanc M., Petit D. The potential of Thlaspi caerulescens for phytoremediation of contaminated soils. *Plant. Soil*., 1998, no. 1, pp. 47—56.

11. Cunningham Scott D., Vl David U. [Promises and prospects of plant phytoremediation]. *Physiol*, 1996, no. 110, pp. 715—719.

12. Moskvicheva E. V., Sidyakin P. A., Shchitov D. V., Ignatkina D. O. [Recycling of production waste into secondary raw materials as one of the conditions to ensure industrial safety at enterprise]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2014, no. 37(56), pp. 204—211.

13. Moskvicheva E. V., Sakharova A. A., Gonchar Yu. N., Ignatkina D. O., Kuzmina T. A. [Wastewater treatment by mixed reagent derived from petroleum wastes]. [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2013, no. 34(53), pp. 114—120.

14. Orlov D. S., Sadovnikova L. K., Lozanovskaya I. N. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskom zagryaznenii* [Ecology and protection of the biosphere in case of chemical pollution]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2002. 334 p.

15. Kamenshchikov F. A., Bogomol'skii E. I. *Neftyanye sorbenty* [Petroleum sorbents]. Moscow, Izhevsk, Institute of Computer Researches, 2003. 268 p.

16. Ioshchenko Yu. P., Kablov V. F., Zaikov G. E. [Biodegradation of petroleum products in contaminated soil with use of polymer system (chitosan — whey protein) — biological sludge]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2008, no. 7, pp. 50—54.

17. Voityuk A. A., Moskvicheva E. V., Sakharova A. A. *Sposob polucheniya sorbenta*. Pat. 2542259 Ros. Federatsiya [Methods of sorbent preparation. Pat. 2542259 Russian Federation].

18. Kudryashova V. I. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi rasteniyami*. Diss. kand. biol. nauk [Heavy metal accumulation by wild plants. Cand. Biol. Sci. Diss.]. Saransk, 2003. 144 p.

19. Grûnther T., Domberger U., Fritsche W. Effects of ryegrass on biodégradation of hydrocarbons in soil. *Chemosphere*, 1996, 33(2), pp. 203—215.

20. Dushenkov S. M., Kapulnik Y., Blaylock M. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. Wise D.L. (ed.). *Global Enviromental Biotechnology*. Amsterdam: Elsevier Science B. V. 1997. Pp. 563—572.

21. Rees J., Ellis B. [Integrated engineering and scientific methods of processing of contaminated soils and ground waters]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 1993, no. 2.

22. Bagantsova M. V. *Ispol'zovanie gorchitsy sareptskoi i raigrasa pastbishchnogo dlya fitoremediatsii zagryaznennykh svintsom pochv*. Dis… kand. biol. nauk [Use of Sarepta mustard and pasture ryegrass for phytoremediation of soils contaminated by lead. Cand. Biol. Sci. Diss.]. Moscow, 2011. 23 p.

23. Voskresenskaya G. S. [Sarepta mustard]. Pustovoit V. S. (ed.). *Rukovodstvo po selektsii i semenovodstvu maslichnykh kul'tur* [Guideline for selection and seed growing of oil plants]. Moscow, 1987. Pp. 173—235.

24. Bashmakov D.I., Lukatin A. C. [Heavy metal accumulation by some higher plants in different conditions of habitat]. *Agrokhimiya* [Agricultural chemistry], 2002, no. 9, pp. 66—71.

*For citation:*

Doskina E. P., Moskvicheva E. V., Voityuk A. A., Ignatkina D. O. [The use of spent selective sorbent for recultivation of oil-contaminated soils]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 134—143.

*About authors:*

**Doskina El'vira Pavlovna** — Candidate of Engineering Science, Professor, Professor of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

**Moskvicheva Elena Viktorovna** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

**Voityuk Aleksandr Andreevich** — Leading Specialist of Development and Maintenance of Rail Transport in the Logistics Directorate Department, "EuroChem-Volgakaliy". 7, Lenin str., Kotelnikovo, Kotelnikovsky R-n, Volgograd region, 404354, Russian Federation, voytyuk.1987@list.ru

**Ignatkina Dar'ya Olegovna** — Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, viv_vgasu@mail.ru

УДК 711.5:551.58

***В. И. Дроботов, Е. В. Шагиева***

***Волгоградский государственный технический университет***

# АКТУАЛЬНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЖИЛОЙ СРЕДЫ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Освещены актуальные проблемы оптимизации жилой среды в неблагоприятных климатических условиях. Проанализированы основные методы и приемы градостроительства прошлого в формировании традиционного жилища с учетом климатических и исторических особенностей регионов. Учтены современные градостроительные решения в застройке селитебных территорий. Рассмотрен альтернативный способ регулирования микроклимата жилой среды в сложных климатических условиях.

Ключевые слова: микроклимат, жилая среда, климатический район, акклиматизация, адаптивная архитектура, «город-дом».

Уже на ранних стадиях развития человеческого общества архитектура была тесно связана с климатом и природным окружением. Так, Витрувий в своих книгах об архитектуре писал, что «здания по своему стилю очевидно, должны быть различными в Египте и Испании, в Понте и Риме и в странах и районах, отличающихся характерными климатическими особенностями. Ибо одна часть Земли лежит прямо под путем Солнца, другая отстоит от него далеко, а третья подвергается его воздействию на умеренном расстоянии».

На территории нашей страны человек подвергается климатическим воздействиям в различных сочетаниях и различной интенсивности. Поэтому в плане градостроительных требований обширная территория поделена на четыре климатических района: север, характеризующийся холодным климатом (температура до –36 °С или до –20 °С при повышенных, 5…12 м/с, скоростях ветра); умеренные широты, характеризующиеся умерено-холодным климатом (температура 6…10 °С); часть южных районов с очень теплым летом (12…21 °С при влажности воздуха от 25 до 75 %); юг, характеризующийся мягкой зимой и жарким летом (Южный берег Крыма, Закавказье с температурой 24…32 °С при влажности воздуха от 25 до 75 %), жарким влажным летом (Западная Грузия с температурой наружного воздуха в пределах от 30 до 35 °С при влажности 25…60 %) или очень жарким и сухим летом (долины Средней Азии с температурой 33…36 °С и влажностью менее 24 %) [1].

На протяжении тысячелетий архитекторам было известно, что города и здания следует проектировать и строить в соответствии с климатом. Так, в южных сухих районах древние города всегда имели характер «самозатеняющихся структур» с высокой плотностью застройки, а замкнутая композиция жилых и общественных зданий формировала внутренние дворы, выходящими на улицы глухими оградами [2]. Комфортные условия в древности могли позволить себе лица высших должностей, посредством плотного смыкания массивных ограждающих стен формировался микроклимат тенистого озелененного внутреннего двора с прохладными водоемами и участками зелени.

В жарких засушливых районах сложился характерный тип жилого образования, например, иранская деревня в оазисе Верамин. Выполненная в фор-

мах традиционного зодчества она получила такое объемно-планировочное решение, которое позволяло сократить до минимума площадь наружных поверхностей, подверженных воздействию палящих лучей солнца и знойного ветра, несущего пыль и песок. В планировке деревни мы обнаруживаем очень незначительное число отдельно стоящих строений, высокую плотность застройки, которые вместе с массивными ограждающими конструкциями (стены и крыши) оказывают стабилизирующий эффект на микроклимат внутри зданий. В каждом жилище имеется свой тенистый озелененный внутренний дворик с прохладным водоемом, хорошо защищенный от неблагоприятных факторов внешней среды; в этот дворик раскрыты все основные помещения.

Для влажных южных районов, наоборот, характерными чертами являются: открытая планировка, хорошо проветриваемые городские пространства, легкие «дышащие» стены зданий и большие световые проемы. Особенностью данной концепции является тесная связь зданий с окружающей природной средой, позволяющая создавать оптимальные условия вентиляции, но при этом исключать возможность проникновения избыточной солнечной радиации и дождя.

Данную концепцию можно обнаружить уже во всех ранних постройках первобытных племен жарко-влажных районов. Деревня отличалась свободной системой застройки с открытой расстановкой хижин, что способствовало свободному омыванию их воздушными течениями. При таком расположении хижин достигалась органическая связь внутренних пространств жилых образований как между собой, так и с окружающей внешней природой [3].

В суровых холодных районах поселения имели характер закрытого режима проживания, с ограниченным пребыванием на открытом воздухе. Внутреннее пространство дома основывалось на предельной изоляции от неблагоприятных внешних воздействий, компактность в плане, внутренние дворы, защищающие от холодных ветров, несущих воздух со слишком низкой температурой.

В ходе проведенного обобщенного анализа традиционного жилища южных и северных территорий, было выявлено, что изменение конфигурации плана и формы, обеспечивают оптимальную адаптацию здания к климатическим условиям. Иными словами, в условиях Севера это, прежде всего, защита от снегозаносов и холодных ветров, в жарких и влажных районах — проветривание и защита от пыльных бурь и избыточной солнечной радиации [4].

В двух случаях используются максимальные значения: переохлажденный и перегретый воздух, недостаток и избыток солнечной радиации, ультрафиолетовое голодание и перенасыщение. И как следствие, жилая застройка для Севера развернута к солнцу и максимально укрыта от холодных ветров, а для юга — открыта прохладным ветрам и защищена от солнца. Несмотря на схожие параметры и конструкции, используемые в разных климатических условиях, главное отличие в том, что житель юга старается обеспечить себя открытым пространством. А житель севера большую часть времени проводит в закрытом помещении. Отсюда абсолютно разные критерии организации внутреннего пространства дома.

Таким образом, анализ методов и приемов строительства прошлого позволил выявить ряд характерных архитектурно-конструктивных и планировочных решений, искусственных средств и мер, способствующих созданию

благоприятной среды в жилище и населенном месте. К ним можно отнести следующее:

В жарко-сухом районе (семиаридный климат умеренных широт или «степной климат», семиаридный климат низких широт или «климат пустыни», аридный климат умеренных и низких широт, климат приморских пустынь, климат саванн и муссонов: центрально-азиатские пустыни, Саудовская Аравия, Монголия, южная часть Алжира, Ливия, Египет, Нигерия, Ирак, Иран, Пакистан, Афганистан, юго-запад США, Чили, Сирия, Израиль, Южный Китай, Турция и др.).

1. Строительство литосферных типов жилищ, компактных жилых комплексов, связанных подземными переходами, а в районах пустынь — переносных палаток и шатров с остовом из жердей и покрытием из войлока или кожи.

2. Создание замкнутых объемно-пространственных композиций, включающих объемы и внешние замкнутые ими пространства. Каждый градостроительный элемент основан на ячейке с внутренним двором. Строительство узких улиц и небольших площадей, озелененных и обводненных дворов и крыш-садов.

3. Размещение и ориентация зданий и населенных мест в соответствии с природно-климатическими факторами.

4. Применение различных видов блокировки зданий в единые массивные объемы, высокая плотность застройки.

5. Возведение зданий из массивных тяжеловесных материалов (земли, кирпича-сырца, камня). Устройство небольших светопроемов в стенах. Широкое применение плоских, купольных и сводчатых крыш. Окраска наружных поверхностей ограждений в белый и светлые тона.

6. Применение высоких и глубоких помещений на всю ширину зданий с коротким фронтом по фасаду; анфиладное расположение помещений. Часто жилища включают два рода помещений: одни — с легкими ограждениями (используются в вечернее и ночное время), другие — с массивными (используются днем).

7. Предусмотрение различных приспособлений и устройств для защиты от солнечных лучей и знойных ветров, а также для улавливания благоприятных потоков воздуха и его охлаждения.

8. Применение простейших трансформируемых солнцезащитных экранов и устройств.

В жарко-влажном районе (климат тропических лесов и переменно-влажный тропический климат: Индонезия, Вьетнам, Лаос, Кампучия, Таиланд, Индия, Мадагаскар, Мозамбик, Конго, Нигерия, Либерия, Гвинея, Мексика, Коста-Рика, Панама, Колумбия, Венесуэла и др.).

1. Строительство домов на опорах; широкое применение каркасов из дерева.

2. Отсутствие стен или применение легких ограждений с низкими инерционными качествами. Как правило, применяют решетчатые экраны, выполненные из плетеных ветвей, прутьев, соломы, тростника, зеленой листвы, керамики, кирпича, камня.

3. Крыша — самый существенный элемент дома. Ее делают массивной и крутой, двускатной или зонтичного типа, с сильно выступающими свесами.

4. В городах и селениях применяют рассредоточенную застройку павильонного типа со сквозным проветриванием дворов и помещений, устраивают широкие тенистые улицы-сады с фонтанами.

5. В многоэтажном строительстве примечательно пирамидальное построение объемов с террасами, крышами-садами и крытыми галереями. Каждый ярус такого объема включает в себя единые помещения, раскрытые со всех сторон во внешнюю среду. Устройство неглубоких помещений на всю ширину здания.

6. При размещении и ориентации зданий и города в целом учитывается направление благоприятных господствующих ветров и предусматривается защита от воздействия солнечной радиации и дождя.

7. Широкое применение трансформируемых устройств — съемных матов-экранов, раздвижных стен — ширм из дерева, бамбука, тростника и специальной бумаги, поднимающихся элементов стен, образующих козырьки, и т. п. [5, 6].

Районы сурово-холодного климата: климат тайги (субарктический пояс), климат тундр (субполярный пояс), полярный климат (районы ледниковых покровов).

1. Компактная городская форма поселения, собранная в целостные кластеры. Принцип использования естественных преград, растительности, защитных ветровых экранов, способных предотвратить накопление снега.

2. Строгая ориентация пешеходных пространств и застройки с целью смягчения влияния неблагоприятных погодных условий, преобладающих в данной местности, а также использование приемов максимальной открытости к солнечному свету.

3. Формирование закрытых жилых дворов с целью создания условий для благоприятного микроклимата и снижения ветрового воздействия.

Анализ методов и приемов градостроительства прошлого позволил выявить ряд характерных архитектурно-планировочных решений, способствующих созданию благоприятной среды в жилище на современном этапе в неблагоприятных климатических условиях [7].

Современные условия развития науки и техники, а также экономические предпосылки требуют новых подходов в области архитектуры и градостроительства. Необходимо выйти на научно обоснованные принципы создания градостроительных системных структур городов закрытого типа в сложных климатических условиях.

Стоит отметить, что традиционные жилища демонстрируют примеры адаптивной архитектуры либо в очень холодных условиях, либо в жарком климате, а на территориях с резкими перепадами температур в течение дня и контрастами зимних и летних температур, архитектура не нашла наиболее оптимальной формы и функционального содержания, так как ее оптимизация требует научного подхода для создания гуманной среды обитания человека.

Ярким примером, подтверждающим, что научно обоснованные принципы организации жилой среды в условиях резко континентального климата или Крайнего Севера актуальны и в настоящее время, является современная застройка селитебных территорий. Аналогичные типовые проекты жилых домов частично адаптируются и воспроизводятся в разных климатических районах страны. Принцип организации жилой ячейки, когда периметрально

или строчно закомпанованный ряд жилых домов, образующий дворовое пространство, явно устарел и требует новых градостроительных приемов.

Таким образом, в нашей стране, в архитектурно-строительной практике далеко не всегда и неполностью учитывается специфика природно-климатических условий и особенности быта населения в условиях неблагоприятного климата (жаркого лета и холодной зимы) при проектировании и возведении жилых архитектурных образований.

Проблеме проектирования жилой среды в зависимости от климата посвящены многие специальные исследования А. Н. Римши, В. М. Фирсанова, Д. Э. Аронина, Л. Н. Киселевича, В. А. Коссаковского, О. И. Ржехина, В. К. Лицкевича, И. Н. Филиповича, Б. Ф. Васильева, Б. П. Алисова, С. И. Ветошкина, Б. Н. Засыпкина, В. В. Коренькова, С. А. Сапожниковой и др.

Однако отечественные и зарубежные исследования зачастую посвящены обеспечению комфортных условий проживания либо в условиях холодной зимы, либо в жарких условиях. Не исследован такой тип жилой среды, который обеспечивал бы все процессы жизнедеятельности в жаркие летние месяцы (+40 $^{o}$C) и холодный зимний период (–40 $^{o}$C), поэтому особое внимание следует уделить разработке научно обоснованных принципов создания жилища в условиях резко континентального климата [8].

Стоит отметить, что резко континентальный климат неблагоприятно влияет на организм человека. Как низкая, так и высокая резко меняющаяся в течение года, месяца или суток температура неблагоприятно воздействует на состояние здоровья населения. Комфортными для человека условиями являются: температура 18…23 $^{o}$C, относительная влажность 30…60 %, скорость ветра 0,1…0,2 м/с. Температура воздуха выше 24…25 $^{o}$C и ниже 14…15 °C при тех же условиях нарушает тепловое равновесие организма. При указанных комфортных параметрах у человека наблюдается наименьшее напряжение терморегуляторного и зрительного аппаратов. Высокая температура, особенно при повышенной влажности, вызывает нарушение терморегуляции, сердечно-сосудистой деятельности. Нарушение терморегуляции может проявиться перегреванием в виде тепловой лихорадки (тепловой удар, солнечный удар) либо в виде теплового изнурения [9].

При высокой температуре воздуха, в частности в жарком климате, организм ослабевает и становится более восприимчивым к инфекционным болезням. При пониженной температуре воздуха отдача тепла увеличивается и создается опасность переохлаждения организма. Длительные или сильные кратковременные воздействия низких температур вызывают разнообразные рефлекторные реакции общего и местного характера с функциональными сдвигами не только в местах, подвергнутых охлаждению, но и в отдельных частях тела. Резкие воздействия холода вызывают также охлаждение периферических нервов, мышц и связочно-суставного аппарата, что ведет к развитию или обострению ревматизма, радикулита, неврита, и других так называемых простудных заболеваний, в основе которых лежит нарушение баланса регуляции обменных процессов [10].

Особенно опасным являются резкие, неожиданные понижения температуры, к которым организм не всегда успевает приспособиться. Умеренные колебания температуры не вредны и обеспечивают физиологически необходимую тренировку организма в целом и его терморегуляторных механизмов. Резкие охла-

ждения всего тела, если за этим следует согревание, менее вредны, чем слабые охлаждения отдельных частей тела, например, шеи, поясницы и т. д.

Это определяет наилучшие условия для отдыха и трудовой деятельности (не сопровождается большой физической нагрузкой) [11].

Приспособление людей к неблагоприятным климатическим условиям жизнедеятельности не должно отрицательно отражаться на состоянии их здоровья и быть причиной потери их трудоспособности в дальнейшем. Все это, в свою очередь, предполагает необходимость разработки и научного обоснования критериев адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды [12].

Отсюда следует, что актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска альтернативных средств регулирования как внешнего, так и внутреннего микроклимата жилой среды, и как следствие, поиск новых принципов архитектурно-планировочной организации селитебных пространств в условиях неблагоприятного климата.

Необходимо отметить, что уже с 60-х гг. XX века понятия «жилище» заменяется на понятие «жилая среда» [13]. Для регионов с резко континентальным климатом этот термин наиболее применим, поскольку здесь и двор, и квартал оказывают влияние на формирование микроклимата жилой среды. А значит, комфортность жилого дома нужно рассматривать не отдельно, а в комплексе с прилегающими территориями (домами, дворами, городской застройкой, обводнением, озеленением и т. д.), поскольку все они также оказывают влияние на микроклимат жилой среды.

В условиях резко континентального и приполярного климата возникают два различных архитектурных приема градостроительства, связанные со спецификой климата: жарко-сухой район летом и ветрено холодный зимой. Поэтому концепция архитектуры строится на базе нескольких принципов: закрытое пространство жилого образования; создание гуманной инфраструктуры нового типа; замкнутость экологических циклов.

Предлагаемая концепция — создание жилой среды типа «город-дом», накрытый оболочкой, позволит создать умеренный искусственный климат. Данная концепция может быть применена как в арктической, тропической, так и в условиях резко меняющихся температур в ограниченных временных рамках.

Говоря о больших (или сверхбольших) пролетах, приходится различать две стороны этой задачи — техническую возможность и экономическую целесообразность. Есть ли смысл перекрывать единым пролетом в несколько сотен метров столь большой объект как, например, город или агропромышленный комплекс?

Воздухоопорная оболочка громадных размеров перестает быть зданием. Она перерастает масштабы моноструктуры и становится своего рода диафрагмой, отделяющей пространство с естественным климатом от пространства с искусственным климатом [14]. Она отделяет от внешней среды уже не человека, как это делает дом, а поселение человека, общества. И поэтому к домам, укрытым оболочкой, не приходится предъявлять привычные и кажущиеся вечными и незыблемыми требования тепло- и гидроизоляции. Остаются требования решения только условий звукоизоляции. Кровли, которые не будут знать ни ливней, ни снегопадов, станут совсем другими, утратив функции гидро-, теплоизоляции и водоотвода. Несущая конструкция здания, его остов, освобожденный от ветровых и снеговых нагрузок, станет предельно легкой.

Дождевые и талые воды, стекающие не с грязного асфальта дорог и тротуаров, а с чистой оболочки, можно будет разумно использовать, облегчая решение назревающей проблемы нехватки пресной воды. Ливневая канализация получает новые функции — сбора, очистки, переработки и бережного хранения воды. Исключаются расходы на очистку улиц от снега.

Воздух под куполом можно будет увлажнять или осушать, охлаждать или подогревать. Промышленный дым не сможет попадать в легкие горожан, явление «смога» исключается. Отопление города становится более экономичным, поскольку суммарная теплоотдающая поверхность отапливаемых зданий превышает площадь теплоотдачи оболочки примерно в 50 раз. Общие потери тепла, по данным Р. Б. Фуллера, сокращаются в 10 раз [15].

Данная концепция жилой среды типа «дом-город» в районах с резко континентальным климатом снизит период вынужденной изоляции населения от внешней неблагоприятной среды. Но это не значит, что сооружение должно полностью изолировать человека от неблагоприятной внешней среды. У человека должна быть сохранена возможность выйти на улицу, в природную обстановку, сохраняя природный иммунитет организма.

Проведенные авторами исследования говорят о необходимости дальнейшего изучения вопроса, поскольку данные разработки могут широко применяться в практике освоения новых обширных площадей России как в условиях резко континентального климата, так и в условиях Крайнего Севера. Выработка научно обоснованных принципов градостроительной организации гуманной селитебной территории актуальна и должна вывести на новые приемы и уровень развития отечественного градостроительства.

Необходимость успешного решения градостроительных комплексов с гуманной жилой средой в условиях резко континентального климата, а также освоения территорий Крайнего Севера ставит актуальные задачи выработки научно обоснованных принципов проектирования, строительства и эксплуатации жилища в указанных климатических районах. Это позволит создавать благоустроенную жилую среду, отвечающую современным условиям комфорта проживания, а следовательно, успешно решать политические и экономические задачи государства в обозначенных выше климатических условиях страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шихов А. Н.* Архитектурная и строительная физика. Пермь: ВПО Пермская ГСХА, 2013. 377 с.

2. *Тиняева Н. В.* Двор в структуре жилой среды // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 5(10). Ст. 23. URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2012/

3. *Maxwell F., Jane D.* Tropical architecture in the dry and humid zones. B. T. Batsford LTD, London, 1964.

4.. *Карпова Т. А., Дорофеева Н. Н.* Эволюция адаптивной архитектуры в экстремальном климате // Новые идеи нового века: материалы Международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2017. Т. 1. С. 107—113.

5. *Lee Douglas H. K.* La construction en climat chaud. Centre Regional Editions Techniques. Paris, 1953.

6. *Oakley D.* Tropical houses. B. T. Batsford LTD. London, 1961.

7. Van Eyck Aldo, Smithson P., Bakema J. B. The Sub-Arctic Habitat // CIAM'59 in Otterlo: Arbeitsgruppe für die Gestaltung soziologischer und visueller Zusammenhänge. Stuttgart: Karl Krämer Verlag: 169. 1961.

8. *Тиняева Н. В.* Принципы формирования жилой среды в условиях Нижнего Поволжья: дис… канд. архит. Астрахань, 2013. 169 с.

9. *Sewart J. H.* The basic principles of tropical climatology and diseases due to heat // J. roy. nav. med. Serv. 1960. Vol. 46. No. 2. Pp. 79—91.

10. *Bruck K.* Heat balance: the regulation of body temperature // Amer. Industr. Hyg. Ass. J. 1971. Vol. 32 (Schmidt R. F., G. Thews). Berlin; Heidelberg; New York, 1983. Pp. 531—541.

11. *Бессонова Н. А.* Физиологическое обоснование оптимальных параметров микроклимата с учетом температурных перепадов «воздух — ограждения» // Актуальные вопросы промышленного микроклимата: сб. науч. трудов ин-та гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР. 1978. С. 83—87.

12. Temperature and life / H. Precht, J. Christophersen, H. Hensel, W Lacher. Berlin; Heldelbery; New York: Springer Verlag, 1971. Pp. 505—761.

13. *Аракелян Р. Г.* Повышение качеств жилой среды с учетом ценностей традиционных жилых образований (на примере территории Армянского нагорья): дис… канд. архит. М., 2011. 180 с.

14. *Haug E., Oelbermann J.* Numerical design and analysis of pneumatic structures // CIB — International Symposium on air supported structures. Venedig, 1977.

15. Pneumatic Structures under Windload and internal pressure. Research report IASS-working group of pneumatic structures. Yokohama National University, 1978. Pp. 50—67.

*© Дроботов В. И., Шагиева Е. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в апреле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Дроботов В. И., Шагиева Е. В.* Актуальность оптимизации жилой среды в неблагоприятных климатических условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 144—152.

*Об авторах:*

**Дроботов Виктор Иванович** — канд. арх., почетный работник высшей школы РФ, доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Шагиева Елизавета Владимировна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, liza-2609@mail.ru

***V. I. Drobotov, E. V. Shagieva***

## SIGNIFICANCE OF OPTIMIZATION OF THE LIVING ENVIRONMENT IN ADVERSE CLIMATIC CONDITIONS

The article addresses the current problems of optimization of the living environment in adverse climatic conditions. The main methods and techniques of town planning of the past in the formation of traditional dwelling are analyzed taking into account the climatic and historical features of the regions. Modern town-planning solutions are taken into account in the development of residential areas. An alternative method for regulating the microclimate of the living environment in adverse climatic conditions is considered.

K e y  w o r d s: microclimate, living environment, climatic region, acclimatization, adaptive architecture, «city-home».

REFERENSES

1. Shikhov A. N. *Arkhitekturnaya i stroitel'naya fizika* [Architectural and structural physics]. Perm, HPE Perm SAA, 2013. 377 p.

2. Tinyaeva N. V. [A yard in the structure of the living environment]. *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie v MARKhI*. Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii

professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodykh uchenykh i studentov. Ser.: Politematicheskaya [Science, education and experimental design in MARKhI. Theses of Scientific and Practical Conference of the Academic Staff, Young Scientists and Students. Series: Multidisciplinary], 2012, iss. 5(10), peper 23. URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2012/

3. Maxwell F., Jane D. *Tropical architecture in the dry and humid zones*. B. T. Batsford LTD, London, 1964.

4. Karpova T.A., Dorofeeva N.N. [The evolution of adaptive architecture in an extreme climate]. *Novye idei novogo veka*. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii FAD TOGU [New ideas of the new century. Proc. of the Int. Sci. Conf. of Pacific National University], 2017, vol. 1, pp. 107—113.

5. Lee Douglas H. K. *La construction en climat chaud*. Centre Regional Editions Techniques. Paris, 1953.

6. Oakley D. *Tropical houses*. B. T. Batsford LTD. London, 1961.

7. Van Eyck Aldo, Smithson P., Bakema J. B. The Sub-Arctic Habitat. *CIAM '59 in Otterlo*: Arbeitsgruppe für die Gestaltung soziologischer und visueller Zusammenhänge. Stuttgart, Karl Krämer Verlag: 169. 1961.

8. Tinyaeva N. V. *Printsipy formirovaniya zhiloi sredy v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya. Dis… kand. arkhit.* [Principles of the formation of the living environment under the conditions of the Lower Volga region. Cand. Arch. Diss.]. Astrakhan, 2013. 169 p.

9. Sewart J. H. The basic principles of tropical climatology and diseases due to heat. *J. roy. nav. med. Serv.*, 1960, 46(2), pp. 79—91.

10. Bruck K. Heat balance: the regulation of body temperature. *Amer. Industr. Hyg. Ass. J.*, 1971, vol. 32 (Schmidt R. F., G. Thews). Berlin; Heidelberg; New York, 1983. Pp. 531—541.

11. Bessonova N.A. [Physiological justification of optimum parameters of microclimate taking into account “air — enclosures” temperature differences]. *Aktual'nye voprosy promyshlennogo mikroklimata. Sb. nauch. trudov in-ta gigieny truda i profzabolevanii AMN SSSR* [Current issues of industrial microclimate. Collection of scientific works of Institute of Workplace Hygiene and Occupational Diseases of the Academy of Medical Sciences of the USSR], 1978. Pp. 83—87.

12. Precht H., Christophersen J., Hensel H., Lacher W. *Temperature and life*. Berlin; Heldelbery; New York, Springer Verlag, 1971. Pp. 505—761.

13. Arakelyan R. G. *Povyshenie kachestv zhiloi sredy s uchetom tsennostei traditsionnykh zhilykh obrazovanii (na primere territorii Armyanskogo nagor'ya). Diss kand. arkhit.* [Increase in qualities of the living environment taking into account values of traditional living structures (by the example of the territory of Armenian Highlands). Cand. Arch. Diss.], 2011. 180 p.

14. Haug E., Oelbermann J. Numerical design and analysis of pneumatic structures. *CIB — International Symposium on air supported structures*. Venedig, 1977.

15. Pneumatic Structures under Windload and internal pressure. *Research report IASS-working group of pneumatic structures*. Yokohama National University, 1978. Pp. 50—67.

*For citation:*

Drobotov V. I., Shagieva E. V. [Significance of optimization of the living environment in adverse climatic conditions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 144—152.

*About authors:*

**Drobotov Viktor Ivanovich** — Candidate of Architecture, honorary worker of higher school of the Russian Federation, Docent of Department of Urban Development and Theory of Architecture, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Shagieva Elizaveta Vladimirovna** — Masrer's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, liza-2609@mail.ru

УДК 711.55

***Н. В. Иванова, О. А. Ганжа***

***Волгоградский государственный технический университет***

# ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ УМНОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ИСТОРИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕЛЕНОГО КОЛЬЦА СТАЛИНГРАДА — ВОЛГОГРАДА)

Представлены новые ландшафтные решения, повышающие потенциал энергосберегающих технологий города при последующей трансформации в «умный» город. Анализировалась история строительства зеленого кольца вокруг Сталинграда — Волгограда, установлены направления экологического характера его воздействия на качество жизни горожан. Исследования охватывают теоретические основы формирования объектов ландшафтного строительства в концепции «умного» города. Обоснуется необходимость расширения приемов ландшафтного строительства (вертикального озеленения фасадов зданий, строительство ландшафтного объекта вокруг города) с позиций повышения энергоэффективности зданий и снижения расходов на электроэнергию, а также формирования территориальной платформы для трансформации города в область «умный город». Разработанная методика строительства ландшафтного объекта позволяет использовать полученные предложения в отечественном и зарубежном строительстве в сходных природных условиях при развитии города в сферу «умного» города.

Ключевые слова: «умный» город, ландшафт, экологическая устойчивость ландшафта, зеленые насаждения.

В мировой практике градостроительства на сегодняшний день накоплен значительный опыт в вопросах развития современных информационных технологий при формировании концепции «умных» городов (Smart Cities) и, в частности, направления энергоэффективности зданий. Широко используются элементы «зеленой» архитектуры.

В последнее время интерес вызывает применение ландшафтных решений в регионах с климатическим потенциалом окружающей среды, например вертикальное озеленение фасадов зданий, позволяющие снизить расходы на электроэнергию и др. Для регионов с резко засушливым климатом, к которым относится Волгоград, стремление создать комфортные условия жизнедеятельности становится важным энергосберегающим мероприятием, где активную роль в повышении энергоэффективности зданий начинает занимать ландшафтное строительство. Приемы вертикального озеленения фасадов (затенение, охлаждение стен) и строительство внешнего ландшафтного окружения города в виде зеленого кольца направлены на формирование благоприятных городских условий проживания в «умном» городе.

Поиски решения общих и комплексных проблем формирования концепции «умного» города имеют место с различных позиций в ряде специальных изданий. Авторы, начиная свои исследования, уточняют терминологию, так как в России и за рубежом пока не сформировалось четкого определения (известны: «цифровой город», «город знаний» и др.). Прослеживаются определения: термин «смарт сити» определяет использование больших объемов информации (Big Data), собранных и обработанных при помощи современных технологий, с целью оптимизации и организации городской среды и становится экологически дружественным проектом; или же «умные города» можно рассматривать как

концепция «мегаполисов, активно внедряющих современные технологии, чтобы обеспечить устойчивое развитие и экологическую безопасность для более комфортной жизни своих граждан» [1]. С позиций ландшафтно-экологического строительства «умный» город выступает как «экогород», который наделен эффективной экономикой, высоким уровнем качества жизни населения, продуманными архитектурно-ландшафтные решениями, направленными на бережное отношение к окружающей среде города.

Концепция самой идеи развития новых «умных» городов становится одной из обсуждаемых тем профессионального инженерного сообщества и связывается с исследованиями по проектированию телекоммуникационных систем [2, 3], работами по программной инженерии и графическому анализу метрик программного обеспечения [4] и другими, по информационным технологиям.

Разработке и применению «умных» систем в городе посвящаются многие работы, особое внимание уделяется повышению эффективности экологического состояния города посредством выявления необходимых видов «умных» технологий и их связи с решением экологических проблем среды обитания («умные» урны и мусорные контейнеры, работающие на энергии солнца, применяющие технологию прессования мусора и др.) [5]. Приводятся примеры «умных» систем Барселоны, Копенгагена и других городов, в которых работают над объединением в одно целое всего городского хозяйства, от освещения и парковок и до энергосистем и объектов гражданского назначения [6]. Однако авторы отмечают, что не только достижение в новом городе экологического комфорта способствует привлечению населения, важными являются вопросы культурной идентичности, формирование градостроительной стратегии, сохраняющей местный контекст и архитектурные традиции. Эти положения поднимаются американским исследователем Крисом Хартли по материалам развивающихся новых городов Азии. Автор, анализируя существующие планировки, показывает, что ярлык «умный город» часто сопровождает старые принципы градостроения и стандартные способы планирования, без учета культуры, социальных связей. Направление дальнейших перспектив развития «умных» городов раскрывает исследование «Умный город как перспективы и тенденции развития», где умный город выступает как вектор дальнейшего социально-экономического развития [7]. Исследования, проводимые Ингеборг Рокер, касаются будущего планирования, по ее мнению, города следует проектировать как живые организмы, к каждому городу применяя свой прием [8]. Этот принцип применяется в создании многих «Smart city», с жилыми пространствами социально-технологичной среды и оснащением современной интеллектуальной техникой. Сейчас в странах мира строится более 100 «интеллектуальных» городов. Среди российских городов к их числу относится Сколково [9], основной концепцией строительства которого стало создание среды, способствующей интенсивному развитию инновационно-технологического предпринимательства. Планировка «умного» города способствовала созданию экспериментальной площадки для разработки и апробирования новых технологий, которые затем могут тиражироваться и внедряться в городах России и за рубежом [10, 11].

Строительство новых и трансформация существующих городов в сферу «умных» городов происходит в разных природно-климатических условиях.

Проблеме планирования и развития «умных» технологий в сложных природных средах посвящены работы [12, 13]. Исследования нацелены на земли Крайнего Севера для проектирования уникальных концепций поселений, улучшения экологической обстановки, поиска альтернативных источников энергии, создания информационного поля и др. [12]. Автор, решая композиционные особенности планировок северных «умных» городов, отметил современные композиционные тенденции строительства в сложных климатических условиях: создание городов ограниченного размера и с определенными параметрами (Сонгдо, Масдар); дополнительные точки развития формируют территории с крепкой инфраструктурой («города системы», проект Острова 2100). Градостроительное решение создания щита от негативного влияния климата разрабатывалось в проекте «Инициатива Масдар», где проектировщики предполагают строительство высокой стены вокруг всей городской зоны в целях его защиты от горячего пустынного ветра. В планировке учитываются «умные» технологии, что «позволит разбить городскую зону на множество тенистых улочек, по которым постоянно будет гулять легкий прохладный бриз» [13].

«Умные» города уже стали реальностью, известны примеры реализации концепции умных городов: Неаполис (Кипр), Сонгдо и Инчхон (Южная Корея), Джазан (Саудовская Аравия), Лаваса (Индия), Уси, Хушань, Донгтан (Китай), Масдар (ОАЭ), Долина PlanIT (Португалия). При этом авторы указывают на ряд препятствий в проектировании программ модернизации (ограниченные бюджеты, географические границы, организационная структура), а также отсутствие соответствующей экспертизы и сложность в выполнении стандартов [14]. Развитие «умных» городов связано с высокотехнологичными подходами в проектировании с учетом требований экологии, энергосберегающих технологий. Национальные стандарты «зеленого» строительства направлены на адаптацию международных требований энергоэффективного строительства к местным условиям [15, 16]. Среди международных стандартов экологичности в градостроительстве и архитектуре авторы выделяют LEED, BREEAM, DGNB, имеющие основные критерии оценки экологичности архитектурного сооружения: экология места (месторасположение); водоснабжение и сбережение воды; атмосфера и энергия; ресурсы и материалы; качество воды; уровень шума [15]. Автор в статье [16] анализирует примеры «технологии грамотного архитектурного проектирования, учитывающего локальные ресурсы внешней среды» («Экодом Solar-5», «Панда-дом»), биоклиматического подхода в проектировании. В работе [17] рассматриваются проблемы использования территориально-пространственных резервов и прогнозирование градостроительного регулирования планировочной структуры Самары.

«Зеленая» архитектура («зеленая» экономика) рассматривается в статьях как основа устойчивого развития умного города. Анализируются инновационные «зеленые» технологии, основанные на энерго- и ресурсосбережении, чистом транспорте, альтернативных источниках энергии и другое, позволяющие сохранять природу и экологическое благополучие человека [18]. Интерес вызывают вопросы применения энергосберегающих технологий и методик повышения энергоэффективности зданий (энергосберегающие краски и кровля, солнечные батареи и др.), а также использования ландшафтных ре-

шений (вертикальное озеленение южных фасадов зданий и озеленение крыш), позволяющих снизить расходы на электроэнергию. Раскрываются примеры проектных предложений по энергосбережению при устройстве озеленения наружных ограждений, зеленых пространств на верхних отметках зданий и сооружений [19].

**Определение общего состояния ландшафта по уровню стабильности**

В соответствии с методикой, предложенной В. А. Барановым [20], проведена оценка степени экологической устойчивости ландшафта Волгоградского городского лесничества — определены коэффициенты $КЭСЛ_1$ и $КЭСЛ_2$ Коэффициент $КЭСЛ_1$ основан на определении и сопоставлении площадей, занятых различными ландшафтами. Коэффициент $КЭСЛ_2$ оценивает ландшафт, учитывая влияние его биотических элементов, их внутренние свойства и качественное состояние. Оценка проводится по вербальной шкале (табл. 1).

Таблица 1

*Характеристика устойчивости ландшафта*

| Коэффициент экологической стабилизации ($КЭСЛ_1$, $КЭСЛ_2$) | | | |
|---|---|---|---|
| $КЭСЛ_1$ | Характеристика ландшафта | $КЭСЛ_2$ | Характеристика ландшафта |
| ≤ 0,5 | Нестабильность хорошо выражена | ≤ 0,33 | Нестабильный |
| 0,51…1,00 | Состояние нестабильное | 0,34…0,50 | Малостабильный |
| 1,01…3,00 | Состояние условно стабильное | 0,51…0,66 | Среднестабильный |
| 3,00 и более | Стабильность хорошо выражена | Более 0,66 | Стабильный |

Исследование проводилось по территории Волгоградского городского лесничества. Лесной район местоположения лесных участков лесничества — район степей европейской части Российской Федерации. По лесорастительному зонированию территории все лесные участки располагаются в степной лесорастительной зоне. В соответствии со ст. 10 и 102 Лесного кодекса Российской Федерации по целевому назначению относятся к защитным лесам, которые выполняют функции защиты природных и иных объектов. Учитывая Генеральный план города Волгограда на 2008—2025 гг. и положения Стратегического плана устойчивого развития Волгограда до 2025 г., выделены две категории защитных лесов, в том числе городские леса общей площадью 13269,3 га и леса, расположенные в первой, второй и третьей зонах округов санитарной охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов площадью 569,9 га [20].

Основное назначение городских лесов — выполнение средообразующих, водоохранных и защитных функций. Структура землепользования для территории Волгоградского городского лесничества приведена в табл. 2.

На долю лесных земель приходится 61,7 % территории лесничества. Для лесов, которые расположены на границе городского округа, это невысокий процент, который показывает способность лесных земель выполнять защитные и экологические функции. Территории, покрытые лесной растительностью, составляют 55,5 %. Не лесные территории занимают 38,3 % всей терри-

тории лесничества. Пятая часть не лесных земель (8,4 % территории лесничества) представлена охранными зонами линейных объектов, ландшафтными полянами, крутыми склонами и противопожарными разрывами. Согласно генеральному плану города предусматривается расширение ряда функциональных зон города: жилой, производственной и других, которые будут размещены на территории, относящейся к городским лесам.

Таблица 2

*Структура землепользования для территории Волгоградского городского лесничества*

| № п/п | Виды землепользования | Площадь, га |
|---|---|---|
| 1 | Общая земельная площадь | 13839,2 |
| 2 | Лесные земли (покрытые лесной растительностью) | 6482,9 |
| 3 | Лесные культуры,<br>в том числе хвойный лес<br>лиственный лес | 2853,9<br>26,0<br>130,0 |
| 4 | Естественные луга, пастбища | 19,8 |
| 5 | Сенокосы | 340,8 |
| 6 | Особо охраняемые природные территории | 3626,0 |
| 7 | Пески | 2070,9 |
| 8 | Дороги, просеки | 121,5 |
| 9 | Воды | 66,3 |
| 10 | Болота | 485,3 |
| 11 | Усадьбы | 599,5 |
| 12 | Прочие земли | 1005,2 |

В результате проведенных расчетов установлено, что значение коэффициента $КЭСЛ_1$ составляет 3,46, что свидетельствует о хорошо выраженной стабильности ландшафта; значение показателя $КЭСЛ_2$ составляет 0,1, что характеризует территорию лесничества как нестабильную, следовательно, необходимо провести трансформацию элементов в стабильные. К нестабильным элементам относят: площадь под застройку, склоны, пески, земли с неустойчивым травяным покровом. Разработка комплекса мероприятий по увеличению стабильности биотических элементов позволит рационально использовать ландшафт, сохранить полезные свойства и предупредить возможную утрату лесных участков городских лесов.

Волгоградская область расположена на юго-востоке России, в ее составе представлены все основные природные районы аридной зоны — черноземная степь, сухая степь и полупустыня, территория, где наблюдаются засухи и суховеи, пыльные бури и водная эрозия. В направлении с северо-запада на юго-восток северная степь с ее обыкновенными черноземами быстро сменяется южными черноземами и сухой степью, где распространены темно-каштановые и каштановые почвы. Крайний юго-восток области относится к полупустыне с ее типичными светло-каштановыми почвами. Наряду с общей засушливостью климата в отдельные годы наблюдаются сильные засухи: ранневесенние, весенне-летние, позднелетние или осенние, а также устойчивые (длительные). Недостаточная влажность, солонцеватость, а иногда и солончаковатость, неблагоприятные физические свойства почв — все это соз-

дает большие трудности при подборе древесных пород и их выращивании. В составе земель области отмечается наличие значительных площадей песков и песчаных почв: наличие крупного массива Арчединско-Донских песков на севере и северо-западе области, террасовых песков Дона, имеющихся в нескольких районах области, Приволжской песчаной гряды по правому высокому берегу Волги — все это малопригодные песчаные земли. Проведение работ по лесоразведению дает положительный результат по закреплению и защите легко развеваемой почвы от ветровой эрозии, закрепление подвижных песков.

**Создание зеленого кольца Волгограда (Сталинграда)**

Мероприятия по проведению работ по защитному лесоразведению предприняты на территории Волгоградской области к XIX столетию: постановлением комиссии Лесного департамента Российского государства и его Донского управления в 1879 г. решено приступить к облесению Арчединско-Донских песков массива с целью закрепления разбитых песков, периодически засыпающих участки плодородных почв, дороги и сельские поселения. В 30-е годы XX столетия созданы полезащитные и приовражные лесные полосы на сельскохозяйственных землях, а облесение оврагов и песков было проведено в начале XX века (1903-1904 гг.) — проведена посадка деревьев и кустарников на террасах и откосах оврагов с целью оставить их разрастание [21]. В этот период началось лесоразведение в районе Ергененской возвышенности. Наиболее крупным из созданных на этой территории насаждений является Тингутинская лесная дача, где произрастают сосна, дуб, вяз и ясень. В 1887—1900 гг. заложены лесные полосы на водоразделах рек Медведицы (приток Дона), Терсы и Щелка. До 1917 г. на территории современной Волгоградской области было создано 2,3 тыс. га лесных насаждений, которые закрепили более 5 тыс. га песков.

В 1935 г. начаты работы по созданию зеленой зоны Волгограда (Сталинграда), принято постановление руководства СССР о плане полезащитных лесонасаждений, которое получило название «Сталинский план преобразования природы». В соответствии с планом намечалось заложить 5 государственных лесных полос, создать 380,9 тыс. га защитных лесных насаждений, а также провести облесение и закрепление песков на площади 32,7 тыс. га.

В настоящее время площадь озелененных территорий города сокращается, это связано с отсутствием необходимого ухода за насаждениями, разрастанием городских территорий и поглощением озелененных территорий застройкой. Современное состояние городских лесов следует признать неблагополучным. Антропогенное воздействие хозяйственной деятельности выражено промышленным и транспортным загрязнением, климатической особенностью территории, неорганизованным отдыхом населения, что приводит к деградации озелененных пространств. Зеленые насаждения зеленой зоны Волгограда постепенно теряют устойчивость к факторам внешнего воздействия, поражаются вредителями и болезнями.

**Характеристика зеленой зоны Волгограда (Сталинграда)**

Территория, непосредственно примыкающая к городской линии застройки, представлена склонами Приволжской и Ергенинской возвышенностей, которые вблизи Волго-Донского водораздела переходят в равнинное плато. Волжский склон сильно расчленен крупными оврагами и балками. Почвы

светло-каштановые комплексные, с участием солонцов от 10 до 70 %. При пригородных землях Волгограда (Сталинграда) создана зеленая зона, которая включает в себя земли в пределах городской черты, прилегающие к городу государственные лесные полосы, леса хозяйственного значения (дубравы) и естественные байрачные леса. Наиболее сложными являются работы по облесению территории в пределах городской черты, где создаются лесопарки и сады. Работы по созданию зеленого кольца вокруг Волгограда начаты в 1935 г. До начала Великой Отечественной войны посадки проведены на площади около 3 тыс. га (в плотном исчислении), в том числе более 1100 га садов и виноградников, около 300 га лесопарков и 1800 га лесных культур в виде полос насаждений и небольших массивов. За время военных действий под Сталинградом многие насаждения были уничтожены или сильно повреждены, например парковые посадки на Мамаевом кургане, виноградники, частично культуры сосны. В настоящее время довоенных посадок сохранились мало [21]. В 1958 г. принято решение об отводе земель города в государственный лесной фонд для проектирования и создания защитных лесных насаждений зеленого кольца. Проект создания зеленой зоны города утвержден Постановлением Совета Министров РСФСР от 11 августа 1962 г. № 1062. В результате проведенных мероприятий по устройству зеленой зоны Волгограда изменен ландшафт пригородных зон города, прекратились пыльные бури, значительно сократились процессы оврагообразования.

По состоянию на 1 января 1966 г. [21] в составе зеленой зоны Волгограда находилось 6800 га насаждений. Распределение по категории насаждений приведены на рис. 1.

Рис. 1. Структура распределения зеленых насаждений в зоне зеленого кольца Волгограда (Сталинграда)

Особенность структуры зеленого кольца — чередование участков лесных культур с плодовыми садами, что явилось новым приемом в создании зеленых зон вокруг городов юго-востока. Породный состав в довоенный период представлен следующий: белая акация, клен ясенелистный, вяз обыкновенный, берест, ясень зеленый, дуб, акация желтая жимолость татарская,

аморфа и клен татарский. В послевоенный период в породный состав введен вяз мелколистный, ясень пенсильванский. Посадка проведена рядами, с учетом различия в увлажнении почвы. В первые ряды высажены тополя, береза, далее груша лесная, акация белая, вяз мелколистный и смородина золотистая. В зоне зеленого кольца высажено 1440 га плодовых садов, ягодников и виноградников (рис. 2).

Рис. 2. Диаграмма распределения плодово-ягодных насаждений и виноградников в зоне зеленого кольца

В непосредственной близости к городу в конце XX столетия для отдыха населения города создано три лесопарковых массива общей площадью 370 га: в северной части города площадью 150 га; в центральной части города на склонах Мамаева Кургана — 120 га и в южной части — 100 га.

**Современное состояние зеленого кольца Волгограда**

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации леса, которые находятся на землях городских поселений, не входят в состав лесного фонда, а относятся к городским лесам. Основными территориальными единицами управления в области использования, охраны, защиты и воспроизводства городских лесов являются лесничества [22, 23], площади которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

*Лесничества и их площади*

| Наименование лесничества | Площадь территории, га |
|---|---|
| Тракторозаводское | 1076,4 |
| Ворошиловское | 1508,6 |
| Кировское | 1451,6 |
| Красноармейское | 2145,6 |
| Сарпинское | 7657,0 |

Значительная часть территории городских лесов расположена по балкам: Чапурниковская, Елхи, Казенная, Бирючья, Дубовая, Мокрая Мечетка, Пионерка, Сухая Мечетка, Капустная.

Зеленые насаждения городских лесов представляют собой искусственные посадки с разнообразными схемами смешения древесно-кустарниковых пород (сосна, дуб, вяз, клен, акация, береза, осина, тополь, ива и др.) и в меньшей степени естественные леса по дну балок. На землях городских лесов расположено особо охраняемые природные территории (ООПТ) регионального и местного значения (табл. 4).

Таблица 4

*Характеристика особо охраняемых природных территорий (ООПТ)*

| Наименование ООПТ | Площадь территории, га | Краткое описание |
|---|---|---|
| Красноармейское лесничество: биологический памятник природы — Чапурниковская балка | 1127 | ООПТ регионального значения, является одним из южных форпостов ареала дуба, сохранившегося в степной и полупустынной зонах |
| Ворошиловское, Кировское и Красноармейское лесничество: ландшафтный памятник природы на землях зеленого кольца города Волгограда | 580 | |
| Городищенское, Тракторозаводское и Ворошиловское лесничество: памятник природы «Зеленое кольцо» | 1919 | ООПТ регионального значения. Особо ценная территория образована с целью сохранения мест обитания редких и исчезающих видов растений, занесенных в Красную книгу Волгоградской области, которые произрастают на территории уникального природного комплекса — искусственно созданного лесного массива |
| Сарпинское лесничество: городские леса островной системы Сарпинский—Голодный | 7657 | ООПТ местного значения: островная система является центром, на который опирается естественный природный комплекс города. Растительный покров системы островов, важнейший компонент пойменных биоценозов, представляет собой сложные комплексы и сочетания луговых, водных и околоводных, а также древесно-кустарниковых лесных фитоценозов и группировок. Флора островов насчитывает более 300 видов. В водоемах острова встречается более 20 видов рыб. Особую природоохранную ценность и биосферное значение имеют мозаичные биотопы болотных угодий, в которых обитают редкие виды птиц-мигрантов с европейского севера Западной Сибири в Малую Азию и Африку, занесенные в Красную книгу. Остров является своеобразным резерватом орнитофауны: постоянно или временно на островной системе обитают более 80 видов птиц |

Зеленые зоны города являются важной частью градостроительной структуры Волгограда и главным структурным элементом его экологического каркаса, входят в систему жизнеобеспечения города, являются средообразующим и средозащитным фактором, обеспечивающим комфортность и качество среды обитания человека.

«Умные» города развиваются по-разному в зависимости от местоположения и потенциала природной среды, планировочных особенностей и городских приоритетов, при активном использовании информационно-коммуникационных технологий, необходимых для повышения уровня качества жизни населения и эффективности услуг в экономических, социальных и природоохранных аспектах. Так же важным является социальное сознание людей и их активное участие в устройстве города. Графически процессы трансформации города в сферу «умного» города можно проследить на рис. 3. Непременной чертой «умного» города является устойчивое развитие, направленное на формирование устойчивого города — Устойчивый город, обеспечивающий эффективную экономику и управление. Следующим компонентом модели «умного» города выступает комфортное экологическое состояние окружающей среды — экологичный город, определяющий природный потенциал местности, минимизацию негативного влияния на окружающую среду при сохранении устойчивого развития за счет проникновения «зеленой» идеологии во все элементы инфраструктуры города и ее распространения среди жителей. Природный потенциал местности на примере Волгограда определяют ландшафтные решения строительства зеленого кольца вокруг Волгограда для обеспечения стабилизации экологического состояния городской среды от негативного действия климата.

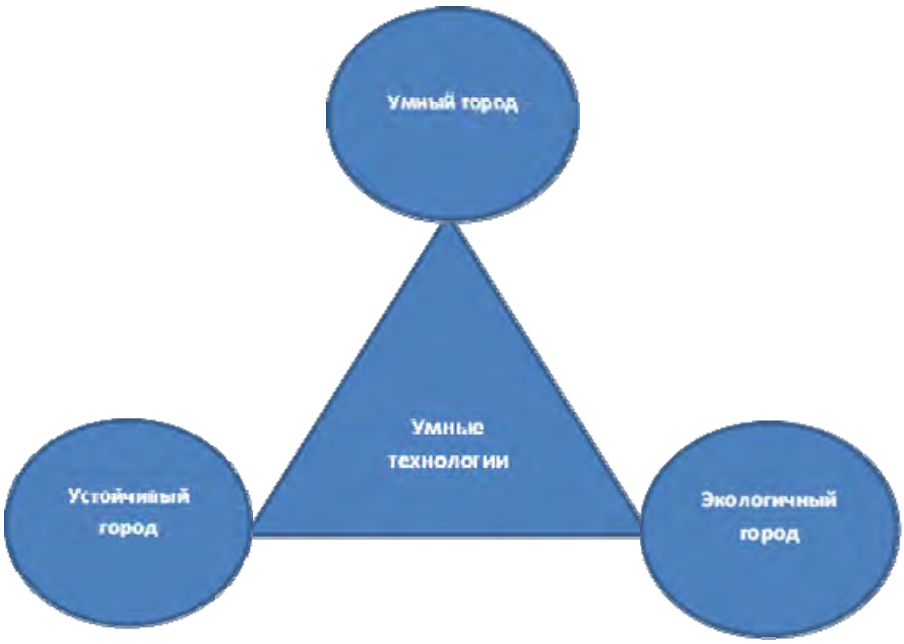



Рис. 3. Модель развития «умного» города [24]

**Экспериментальное проектирование**

В основу экспериментального проектирования пространственной системы города закладываются принципы разработанной модели «умного» города [24], сочетающей в себе интеллектуальные системы управления и безопасности, экологически чистый общественный транспорт, свободные от автомашин дворы, экологически чистая окружающая среда. Важная роль отводится благоустройству рекреационно-парковых зон, формированию развитой социальной инфраструктуры, рассчитанной на обеспечение потребностей всех жителей. Проверка, выдвинутой гипотезы о необходимости расширения ландшафтных приемов для формирования комфортной среды, проходит экспериментальную проверку, в которой моделями становятся слои проектирования, выбранных картографических материалов на примере Волгограда. Первым слоем является схема планировочных участков территории города (без зеленого кольца); вторым — схема границ городской застройки; третий слой показывает наличие пятен зелени в предлагаемом зеленом кольце вокруг города. Получение планировочных данных последнего слоя (обработка результатов, их интерпретация и обобщение) приобретает значение технического задания на проектирование этапа развития города в сферу «умного города» (рис. 4).

Рис. 4. Проектирование современного зеленого кольца Волгограда

Предлагаемая методика строительства ландшафтного объекта вокруг города для нейтрализации негативного действия климата позволит по-новому оценить значительный потенциал применения ландшафтных приемов и результатов их внедрения в энергосберегающие технологии, в соответствии с которыми «умные» города начнут представлять новую высокую стадию городского развития. Методические вопросы проектирования зеленого кольца вокруг городской структуры могут быть использованы как в отечественном, так и зарубежном строительстве в сходных природных условиях в процессе трансформации города в сферу «умного города».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Введение в проблематику смарт-сити. 2016. URL: http://e-gov.by/smart-city/vvedenie-v-problematiku-smart-siti

2. О телекоммуникационных парадигмах // International journal of open information technologies. 2014. Т. 2. № 9. С. 1—3.

3. *Соколов Н. А.* Системные аспекты построения и развития сетей электросвязи специального назначении // INJOT. 2014. Ч. 2. С. 4—8.

4. *Романов В. Ю.* Анализ и визуализация зависимостей между пакетами программных систем // INJOT. 2015. Ч. 3. № 1. С. 23—29.

5. *Карманов А. М.* Экологические предпосылки распространения смарт в современном обществе // Известия ТулГУ. 2015. № 3(1). С. 145—150.

6. *Панасенко С.* Город будущего: новая утопия, или горе от ума? // Зеленый город. 2015. 3/02. URL: http://green-city.su/gorod-budushego-novaya-utopiya-ili-gore-ot-uma

7. Город будущего — умный город. URL: http://apptractor.ru/info/articles/gorod-budushhego-umnyiy-gorod.html

8. *Ганин О. Б., Ганин И. О.* «Умный город»: перспективы и тенденции развития // Ars administrandi. 2014. № 1. С. 124—135.

9. *Долгих Е., Антонов Е., Ерлич В.* Умные города. Перспективы развития в России // Урбанистика и рынок недвижимости. 2015. № 1. С. 50—61. DOI: 10.7256/2313-0539.2014.3.15072

10. Сколково станет «умным городом». URL: ecolife.ru/skolkovo-unit/7283

11. Концепция «умного города» для Сколково. URL: https://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=19924

12. *Поросенкова К. В.* Проектирование нового города в экстремальных условиях Крайнего Севера // Архитектон: известия вузов. Приложение — июль 2011. № 34. URL: http://archvuz.ru/2011_22/48

13. Масдар — Сити-город на солнечной энергии в Абу-Даби за $22 млрд. URL: http://grammota.com/interests/masdar-siti-gorod-na-solnechnoy-energii-v-abu-dabi-za-22-mlrd/22-02-11

14. *Толмачева Т.* Города берутся за ум. О концепции «умного города» и проблемах ее реализации // Relga. 2012. № 8. URL: http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=3213&level1=main&level2=articles

15. *Радулова Ю. И.* Критерии экологичности в формировании пространственных границ в архитектуре и градостроительстве // Градостроительство и архитектура. 2015. № 1(18). С. 42—46. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.01.7

16. *Лекарева Н. А.* «Зеленые» стандарты и развитие «зеленого» строительства // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 1. С. 6—9. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.1

17. *Лекарева Н. А., Заславская А. Ю.* Территориально-пространственные ресурсы города. Градостроительные стратегии. Германия: Lambert Academic Publishing, 2014. 100 p.

18. *Захарова Т. В.* Зеленая экономика и устойчивое развитие России: противоречия и перспективы // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2015. № 2(30). С. 116—126. DOI: 10.17223/19988648/30/11

19. *Иванова Н. В.* Ландшафтные решения в развитии энергоэффективности зданий // Энергоэффективность, ресурсосбережение и природопользование в городском хозяйстве и строительстве: материалы II Международной науч.-технич. конф. 23—26 сент. 2015 г. Волгоград: в 2 ч. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. Ч. 1. С. 15—20.

20. Лесохозяйственный регламент Волгоградского городского лесничества (городские леса). Саратов, 2011. 92 с.

21. *Миронов В. В.* Лесная промышленность, защитное лесоразведение (опыт Волгоградской области). Волгоград, 1968. 92 с.

22. Аналитическая записка: состояние зеленых насаждений Волгограда. URL: http://v102.ru/docs/1951.html

23. Городские леса на карте Волгограда. URL: http://ecology.volgadmin.ru/Forest.aspx

24. *Ivanova N., Ganzha O.* The methodological aspect of the landscape and ecological forming of a comfortable environment for the smart city // MATEC Web of Conferences. Vol. 106, 01002. 2017. URL: http://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/20/matecconf_spbw2017_01002/matecconf_spbw 2017_01002.html

*© Иванова Н. В., Ганжа О. А., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июне 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Иванова Н. В., Ганжа О. А.* Ландшафтно-экологические особенности формирования комфортной среды умного города (на примере исторического строительства зеленого кольца Сталинграда — Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 153—166.

*Об авторах:*

**Иванова Нина Васильевна** — канд. арх., профессор, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1. ORCID:0000-0002-2472-1705, ivanovaninav@mail.ru

**Ганжа Ольга Александровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, ganzha_olga@mail.ru

***N. V. Ivanova, O. A. Ganzha***

## LANDSCAPE AND ECOLOGICAL FEATURES OF THE FORMATION OF COMFORTABLE ENVIRONMENT OF SMART CITIES (BY THE EXAMPLE OF THE HISTORICAL CONSTRUCTION OF A “GREEN RING” OF STALINGRAD — VOLGOGRAD)

The authors provide new landscape solutions that increase the capacity of energy-efficient technologies of the city during the subsequent transformation into a “smart city”. The history of the construction of the green ring around Stalingrad — Volgograd is analyzed, the directions of its ecological influence on the quality of life of citizens are determined. The research covers theoretical bases of the formation of objects of landscape construction in the concept of a “smart city”. The article substantiates the necessity to expand the techniques of landscape construction (vertical greening of façades of buildings, building of a landscape object around the city) from the standpoint of improvement of energy efficiency of buildings and reduction of energy costs, as well as the formation of territorial platforms for the transformation of the city into the area of a “smart city”. The methodology of the construction of a landscape object allows using the received proposals in domestic and foreign construction in similar natural conditions when developing city into the sphere of a “smart city”.

K e y  w o r d s: smart city, landscape, ecological stability of landscape, green spaces.

REFERENSES

1. *Vvedenie v problematiku smart-siti* [Introduction to a smart city issues]. 2016. URL: http://e-gov.by/smart-city/vvedenie-v-problematiku-smart-siti

2. [On telecom paradigms]. *International journal of open information technologies*, 2014, 2(9), pp. 1—3.

3. Sokolov N. A. [System aspects of the formation and development of telecommunication networks of special purpose]. *INJOT* [INJOT], 2014, p. 2, pp. 4—8.

4. Romanov V. Y. [Analysis and visualization of dependencies between packages of software systems]. *International journal of open information technologies*, 2015, 3(1), pp. 23—29.

5. Karmanov A. M. [Ecological preconditions of the smart in modern society]. *Izvestiya TULGU* [Izvestiya TULGU], 2015, no. 3(1), pp. 145—150.

6. Panasenko S. [The city of the future: new utopia, or woe from wit?]. *Zelenyi gorod* [Green city], 2015, 3/02. URL: http://green-city.su/gorod-budushego-novaya-utopiya-ili-gore-ot-uma

7. *Gorod budushchego — umnyi gorod* [The city of the future — a smart city]. URL: http://apptractor.ru/info/articles/gorod-budushhego-umnyiy-gorod.html

8. Ganin O. B., Ganin I. O. ["Smart City": Development Prospects and Trends]**.** *Ars administrandi* [Ars administrandi], 2014, no. 1, pp. 124—135.

9. Dolgikh E., Antonov E., Erlich V. [Smart cities. The prospects of development in Russia]. *Urbanistika i rynok nedvizhimosti* [Urban studies and real estate market], 2015, no. 1, pp. 50—61. DOI: 10.7256/2313-0539.2014.3.15072

10. *Skolkovo stanet «umnym gorodom»* [Skolkovo will become “a smart city”]. URL: ecolife.ru/skolkovo-unit/7283

11. *Kontseptsiya «umnogo goroda» dlya Skolkovo* [The concept of “a smart city” for Skolkovo]. URL: https://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=19924

12. Porosenkova K. V. [Design of a new city in extreme conditions of the Far North]. [Architecton: Proceedings of Higher Education]. Appendix — July, № 34. URL: http://archvuz.ru/2011_22/48

13. *Masdar — Siti-gorod na solnechnoi energii v Abu-Dabi za $22 mlrd* [Masdar — a city in Abu Dhabi on solar energy that costs $22 billion]. URL: http://grammota.com/interests/masdar-siti-gorod-na-solnechnoy-energii-v-abu-dabi-za-22-mlrd/22-02-11

14. Tolmacheva T. [Cities are getting serious. Towards the concept of a “smart city” and problems of its implementation]. *Relga* [Relga], 2012, no. 8. URL: http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?textid=3213&level1=main&level2=articles

15. Radulova Ya. I. [Environmental criteria in forming spatial border architecture and urban planning]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban construction and architecture], 2015, no. 1(18), pp. 42—46. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.01.7

16. Lekareva N. A. [«Green» standards and «green» building development]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban construction and architecture], 2011, no. 1, pp. 6—9. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.1

17. Lekareva N. A., Zaslavskaya A. Yu. *Territorial'no-prostranstvennye resursy goroda. Gradostroitel'nye strategii* [Territorial and spatial resources of the city. Town-planning strategy]. Germany, Lambert Academic Publishing, 2014. 100 p.

18. Zakharova T. V. [Green economy and sustainable development of Russia: contradictions and prospects]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Tomsk State University Journal of Economics], 2015, no. 2(30), pp. 116—126. DOI: 10.17223/19988648/30/11

19. Ivanova N. V. [Landscape solutions in the development of energy efficiency of buildings]. *Energoeffektivnost', resursosberezhenie i prirodopol'zovanie v gorodskom khozyaistve i stroitel'stve. Materialy II Mezhdunarodnoi nauch.-tekhnich. konf. 23—26 sent. 2015 g. Volgograd* [Energy efficiency, resource-saving and natural resource management in municipal services and construction. Proc. of 2 Int. Sci. and Prac. Conf. 23—26 September, 2015, Volgograd]. Volgograd, VSUACE, 2015. Part .1. Pp. 15—20.

20. *Lesokhozyaistvennyi reglament Volgogradskogo gorodskogo lesnichestva (gorodskie lesa)* [Forestry regulations of the Volgograd urban forestry (city forests)]. Saratov, 2011. 92 p.

21. Mironov V. V. *Lesnaya promyshlennost', zashchitnoe lesorazvedenie (opyt Volgogradskoi oblasti)* [Forest industry, windbreak (experience of Volgograd Oblast)]. Volgograd, 1968. 92 p.

22. *Analiticheskaya zapiska: sostoyanie zelenykh nasazhdenii Volgograda* [Briefing note: state of green areas in Volgograd]. URL: http://v102.ru/docs/1951.html

23. *Gorodskie lesa na karte Volgograda* [City forests on the map of Volgograd]. URL: http://ecology.volgadmin.ru/Forest.aspx

24. Ivanova N., Ganzha O. The methodological aspect of the landscape and ecological forming of a comfortable environment for the smart city. *MATEC Web of Conferences.* Vol. 106, 01002. 2017. URL: http://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/20/matecconf_spbw2017_01002/matecconf_spbw2017_01002.html

*For citation:*

Ivanova N. V., Ganzha O. A. [Landscape and ecological features of the formation of comfortable environment of smart cities (by the example of the historical construction of a “green ring” of Stalingrad — 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], 2017, iss. 49(68), pp. 153—166.

*About authors:*

**Ivanova Nina Vasil’evna** — Candidate of Architecture, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ORCID:0000-0002-2472-1705, ivanovaninav@mail.ru

**Ganzha Ol’ga Aleksandrovna** — Candidate of Engineering Science, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, ganzha_olga@mail.ru

УДК 699.86

***С. В. Корниенко***

***Волгоградский государственный технический университет***

# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ — ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ «ЗЕЛЕНОГО» СТРОИТЕЛЬСТВА

Выявлены приоритетные задачи «зеленого» строительства в России и за рубежом. Систематизация и обобщение данных по «зеленому» строительству позволяют наметить дальнейшие пути комплексного решения задач энергоэффективности, экологической безопасности и экономической эффективности зданий и сооружений.

Ключевые слова: здания, сооружения, конструкция, гражданское строительство, проектирование, «зеленое» строительство, энергоэффективность, экология, экономия, рейтинговая оценка.

## Введение

Известно, что здания и сооружения оказывают существенное воздействие на окружающую среду. Удовлетворяя свои потребности в среде обитания путем строительства зданий, расходуя при этом невозобновляемые источники энергии и воздействуя на экологию, люди должны стремиться защищать функционирование земной экосистемы в целом от своей деятельности, обеспечивая устойчивость развития для будущих поколений.

Эффективным инструментом повышения устойчивости среды обитания является строительство «зеленых» зданий.

«Зеленое» строительство — это вид строительства зданий с минимальным воздействием на окружающую среду. Главной целью такого строительства является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов при обеспечении комфортных условий внутренней среды в течение всего жизненного цикла здания, включая инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию, капитальный ремонт, реконструкцию, снос.

Основной идеей строительства «зеленых» зданий является повышение устойчивости среды обитания [1—3], что достигается сокращением общего влияния застройки на окружающую среду и здоровье человека. «Зеленые» здания смягчают эффект «тепловых островов» за счет выравнивания температуры поверхностей зданий в городской среде.

«Зеленое» строительство развивается по многим направлениям. Активно разрабатываются и внедряются в современную практику инновационные решения зданий с низким энергопотреблением [4—6]. Непрерывно совершенствуются элементы «зеленых» зданий — «зеленые» крыши и «зеленые» фасады [7—10]. Формируется экоустойчивая архитектура города [2]. Чрезвычайно важное практическое значение имеет повышение энергоэффективности при термореновации гражданских зданий и их фасадных систем [11—19]. Для более полного и точного учета потребительских характеристик зданий разрабатываются новые системы рейтинговой оценки устойчивости среды обитания (СТО НОСТРОЙ 2.35.4—2011. «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания).

Указанные аспекты «зеленого» строительства отражены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях. Однако в настоящее время отсутствует анализ направленности работ и систематизация данных по строительству «зеленых» зданий. Это делает актуальной задачу определения вектора развития «зеленого» строительства в России и за рубежом.

**Концепция здания с нулевым энергопотреблением**

Одним из направлений «зеленого» строительства в зарубежных странах и в России является развитие концепции здания с нулевым энергопотреблением.

Здание с нулевым энергопотреблением (zero-energy building, ZEB) — высокоэнергоэффективное здание, способное на месте вырабатывать энергию из возобновляемых источников и потреблять ее в равном количестве в течение года. Если количество вырабатываемой энергии меньше потребляемой, такое здание называется зданием с почти нулевым энергопотреблением (near zero-energy building, nZEB).

Последние изменения европейских норм по энергоэффективному строительству связаны с введением двух базовых требований: по оптимальной стоимости энергии и расходу энергии для зданий с почти нулевым энергопотреблением. Хотя эти требования связаны между собой, требование по оптимальной стоимости энергии базируется на затратах, в то время как требования к nZEB по расходу энергии основаны на оценке энергетических характеристик и использовании источников возобновляемой энергии. Результаты исследований [5] показывают возможность перехода от экономически целесообразных зданий к nZEB без значительных затрат, на основе объединения этих концепций, а также за счет применения источников возобновляемой энергии и эффективного уровня теплоизоляции оболочки здания.

Анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в России и зарубежных странах показывает [6], что строительство таких зданий эффективно по следующим причинам: экологичность (отсутствуют вредные выбросы в атмосферу); экономичность (окупаемость); энергоэффективность (значительное снижение потребляемых энергетических ресурсов).

**«Зеленые» крыши — важный элемент теплозащитной оболочки**

Важным элементом теплозащитной оболочки «зеленого» здания является «зеленая» крыша. Это многослойная ограждающая конструкция, состоящая из железобетонной плиты покрытия, основного слоя водоизоляционного ковра, теплоизоляции из экструдированных пенополистирольных плит, разделительного слоя из геотекстиля, дренажного и фильтрующего слоев, почвенного слоя, растительного слоя (рис. 1).

Основными преимуществами озелененных крыш являются:

смягчение эффекта «тепловых островов» за счет выравнивания температуры поверхностей; в летнее время увеличение площади «зеленых» крыш может существенно снизить среднюю температуру целого города;

сокращение затрат на отопление здания в холодный период года благодаря высокому сопротивлению теплопередаче конструкции; здания с «зеленой» крышей приближаются к стандартам пассивного дома;

сокращение затрат на охлаждение и климатизацию зданий в теплый период года за счет увеличения массы конструкции, а также благодаря естественному испарению влаги;

существенное уменьшение загрязненности воздуха и обогащение его кислородом, что, в свою очередь, повышает комфортные условия проживания в городе и сокращает число аллергических и астматических заболеваний;

повышение акустического комфорта за счет дополнительного поглощения городского шума, при этом почвенный слой поглощает преимущественно низкочастотный звук, а растительный слой — высокочастотный;

уменьшение количества влаги, попадающей в ливневую систему канализации в виде атмосферных осадков; покрытия с озеленением очищают дождевую воду, в том числе и от тяжелых металлов.

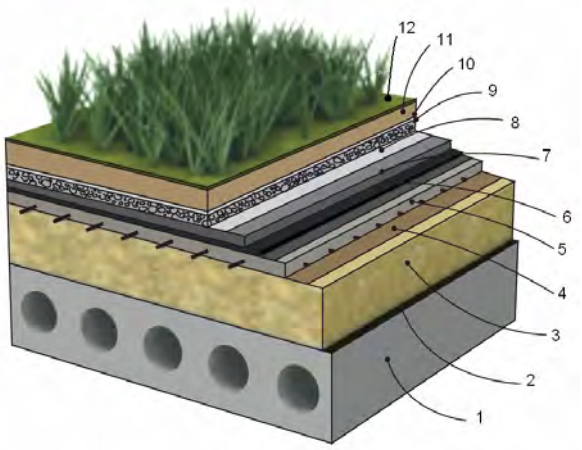



Рис. 1. Схема конструкции «зеленой» крыши: *1* — несущая конструкция; *2* — пароизоляция; *3* — теплоизоляция; *4* — водоизоляционный слой; *5* — выравнивающая стяжка; *6* — гидроизоляция; *7* — мембрана; *8* — геотекстиль; *9* — гравий; *10* — геотекстиль; *11* — растительный грунт; *12* — озеленение

Основным недостатком озелененных крыш можно считать большую начальную стоимость по сравнению с обычной крышей. Строительство «зеленых» крыш существенно усложняет конструкцию. При реконструкции и термической реновации зданий существуют ограничения по дополнительной нагрузке на существующий остов здания от веса озелененного покрытия. Для многих видов растений актуальной проблемой является сохранение постоянной влажности почвенного слоя, и как следствие — обеспечение надежной защиты здания от влаги. Применение дополнительных слоев (разделительного, дренажного, фильтрующего и др.) приводит к удорожанию строительства.

**«Зеленые» фасады — высокий потенциал энергосбережения**

Наряду с «зелеными» крышами важное практическое значение имеет применение «зеленых» фасадов.

Эффект повышения уровня теплоизоляции фасадных систем обеспечивается благодаря:

снижению потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции и теплозащитную оболочку здания в целом, что позволяет сократить количество потребляемой тепловой энергии;

улучшению теплового комфорта в помещениях вследствие уменьшения интенсивности лучистого и конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждений;

снижению загрязненности окружающей среды ввиду сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Озеленение фасадов способствует смягчению теплового режима городской застройки посредством затенения, испарительного охлаждения и тепловой изоляции.

Особое значение имеет строительство зданий с «зелеными» фасадами в жарком и засушливом климате. Интенсивное солнечное излучение создает дискомфортные условия проживания и пребывания в зданиях вследствие значительного перегрева помещений.

Темная отделка наружных стен и крыш является дополнительным тепловым «источником», особенно в жарком климате, вследствие поглощения солнечного излучения. Все это приводит к тепловому «загрязнению» окружающей среды в течение года (рис. 2).

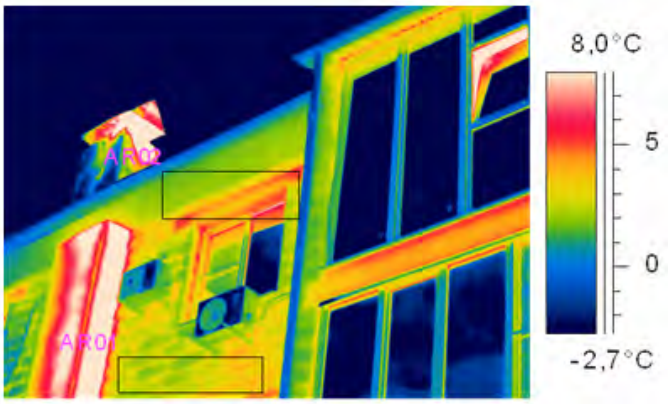



Рис. 2. Тепловое «загрязнение» окружающей среды зданием (по результатам тепловизионного контроля)

**Оценка теплового «загрязнения» окружающей среды крышами и фасадами**

В процессе солнечного облучения конструкции часть тепловой энергии поглощается наружной поверхностью, часть — теряется вследствие теплообмена с окружающей средой, часть — идет на нагревание поверхностного слоя (рис. 3).

Уравнение теплового баланса для поверхностного слоя конструкции имеет вид

$$q_h = q_{ab} - q_{los}\,. \tag{1}$$

Плотность теплового потока $q_h$, Вт/м$^2$, аккумулированного поверхностным слоем конструкции, определяется по формуле:

$$q_h = c\rho\delta\frac{T_{se} - T_{ext}}{\Delta\tau}\,, \tag{2}$$

где $c\rho$ — объемная теплоемкость слоя, Дж/(м$^3$·К); $\delta$ — толщина слоя, м; $\Delta T$ — разность температур наружной поверхности ($T_{se}$) и наружного воздуха ($T_{ext}$); $\Delta\tau$ — время нагрева, с.

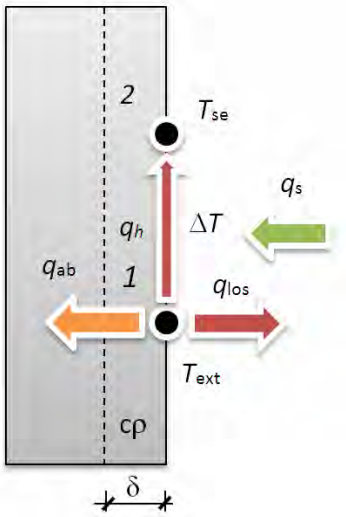



Рис. 3. Схема теплового баланса ограждающей конструкции: *1* — начальное состояние; *2* — конечное состояние

При определении поверхностного слоя конструкции учитываются слои, расположенные между наружной поверхностью и утеплителем.

Плотность теплового потока $q_{ab}$, Вт/м$^2$, поглощенного наружной поверхностью конструкции, определяется по формуле:

$$q_{ab} = pq_s\,, \tag{3}$$

где $p$ — коэффициент поглощения солнечного излучения материалом наружной поверхности конструкции; $q_s$ — максимальное значение суммарного солнечного излучения, Вт/м$^2$.

Плотность теплового потока $q_{los}$, Вт/м$^2$, теряемого вследствие конвективного и лучистого теплообмена конструкции с окружающей средой, определяется по формуле:

$$q_{los} = \alpha_{se}\left(T_{se} - T_{ext}\right), \tag{4}$$

где $\alpha_{se}$ — коэффициент теплообмена наружной поверхности конструкции с окружающей средой, Вт/(м$^2$·К), определяемый по формуле:

$$\alpha_{se} = 5{,}8\left(1 + 2\sqrt{v}\right), \tag{5}$$

где $v$ — расчетная скорость ветра, м/с.

После подстановки (2)—(4) в (1) получим максимальную разность между температурами наружной поверхности конструкции и наружного воздуха $\Delta T$:

$$\Delta T = \frac{pq_s\Delta\tau}{c\rho\delta + \alpha_{se}\Delta\tau}\,. \tag{6}$$

Параметр $\Delta T$, определяемый формулой (6), является индикатором теплового «загрязнения» окружающей среды. Чем выше значение $\Delta T$, тем больше тепловое воздействие здания на окружающую среду. Снижение параметра $\Delta T$

способствует уменьшению теплового «загрязнения» окружающей среды и повышению устойчивости развития.

Для оценки теплового воздействия рассмотрены различные типы фасадов и крыш для пункта с географическими координатами (48°N, 44°E). Максимальные значения солнечного излучения в июле: для горизонтальной поверхности крыш — $q_s$ = 866 Вт/м$^2$, для вертикальной поверхности фасадов западной ориентации — $q_s$ = 764 Вт/м$^2$. Время нагрева конструкции принято равным $\Delta\tau$ = 21 600 с (нагрев поверхности с 6:00 до 12:00). Расчетная скорость ветра в июле $v$ = 1 м/с. Результаты расчета $\Delta T$ (при различных характеристиках поверхностного слоя конструкций) приведены в табл.

*Параметр $\Delta T$ индикации теплового «загрязнения» окружающей среды крышами и фасадами*

| Конструкция | Коэффициент поглощения солнечного излучения $p$ | Характеристики поверхностного слоя | | $\Delta T$, К |
|---|---|---|---|---|
| | | толщина $\delta$, м | объемная теплоемкость $c\rho$, МДж/(м$^3$·К) | |
| Традиционная совмещенная рулонная невентилируемая крыша с гидроизоляцией по утеплителю с темной кровлей | 0,9 | 0,005 | 1,01 | 45,0 |
| То же, со светлой кровлей | 0,65 | 0,008 | 1,06 | 32,2 |
| «Зеленая» крыша | 0,74 | 0,1 | 1,51 | 26,6 |
| Фасадная система с тонкой штукатуркой по утеплителю (СФТК) | 0,7 | 0,008 | 1,51 | 30,3 |
| То же, с облицовочным слоем из керамического кирпича | 0,7 | 0,12 | 1,23 | 22,3 |
| То же, с вентилируемым фасадом (НФС) | 0,4 | — | — | 17,9 |

На основании табличных данных выполнена оценка теплового воздействия фасадов и крыш на окружающую среду (рис. 4).

Анализ результатов показывает (см. рис. 4), что наибольшее тепловое воздействие на внешнюю среду оказывает традиционная крыша с темной кровлей. Применение светлой кровли существенно снижает тепловую нагрузку, уменьшая температуру наружной поверхности конструкции вследствие высокого отражения солнечного излучения. Максимальное выравнивание температуры дает «зеленая» крыша, главным образом, за счет аккумулирования теплоты поверхностным массивным слоем. В целом можно отметить меньшее тепловое воздействие фасадов зданий по сравнению с крышами, что обусловлено меньшим значением суммарного солнечного излучения на вертикальную поверхность фасадов. Большее тепловое воздействие на окружающую среду оказывает фасадная система с тонкой штукатуркой по утеплителю. Применение обли-

цовочного кирпичного слоя способствует выравниванию температуры на внешней поверхности конструкции. Минимальное тепловое воздействие характерно для навесных вентилируемых фасадных систем.

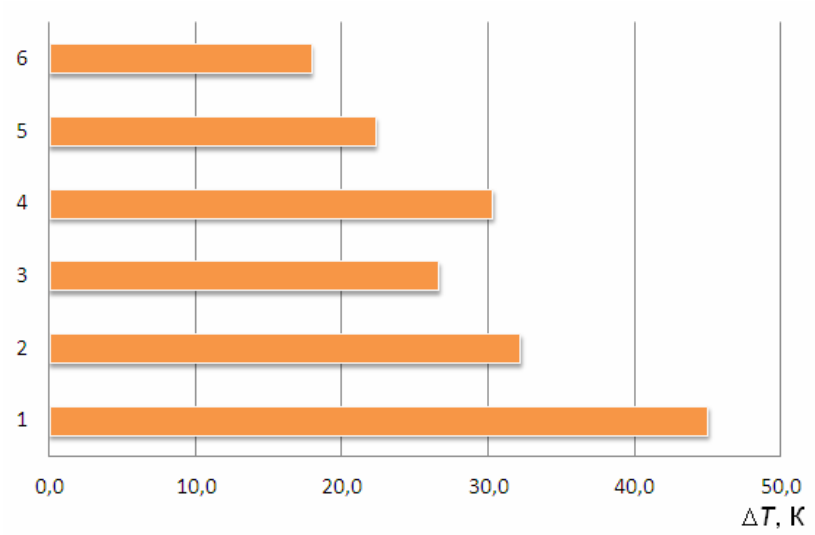



Рис. 4. Сравнительная оценка теплового воздействия конструкций на окружающую среду: *1* — традиционная крыша с темной кровлей; *2* — то же, со светлой кровлей; *3* — «зеленая» крыша; *4* — фасадная система с тонкой штукатуркой по утеплителю; *5* — то же, с облицовочным слоем из керамического кирпича; *6* — то же, с вентилируемым фасадом

Полученные результаты позволяют приближенно оценить уровень теплового воздействия ограждающих конструкций на внешнюю среду. Более точная оценка может быть получена на основе численного моделирования нестационарного теплопереноса в конструкции [11].

**Повышение энергоэффективности при термореновации фасадов зданий**

Важное практическое значение имеет термореновация гражданских зданий.

Фасадные системы современных зданий имеют специфику [10].

Во-первых, это увеличение неравноэффективности теплозащиты элементов оболочки. Значительно возрастает влияние двух- и трехмерных элементов в конструкции, неравномерность распределения температуры на ее внутренней поверхности, снижается теплотехническая однородность ограждающих конструкций. Для выявления температурных аномалий и дефектов необходимы расчеты трехмерных температурных полей и разработка новых конструктивных решений.

Во-вторых, значительно увеличивается роль влажностного режима. Причем если по «глади» стены распределение влажности может быть более благоприятным, чем раньше, то в краевых зонах ограждающих конструкций влажностный режим значительно ухудшается, и главное в том, что существенно возрастает сложность расчета совместного нестационарного влаготеплопереноса в трехмерных ограждающих конструкций.

В-третьих, кладка наружных стен, особенно из мелкоразмерных элементов, является воздухопроницаемой. Инфильтрация наружного воздуха в хо-

лодный период года приводит к ухудшению теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Эксфильтрация внутреннего воздуха в стеновые конструкции также чрезвычайно опасна.

Все перечисленные выше особенности важно учитывать в реконструируемых зданиях. Это улучшение температурно-влажностного режима наружных стен, разработка эффективных конструктивных решений узлов сопряжений ограждающих конструкций с целью выравнивания температуры на внутренней поверхности, снижение сквозной воздухопроницаемости через швы кладки, повышение комфортных условий среды в помещениях, энергосбережение и повышение энергоэффективности зданий.

Термореновация зданий является эффективным инструментом, позволяющим повысить теплотехническую, энергетическую и экологическую безопасность зданий.

**Рейтинговая оценка устойчивости среды обитания — инновационный инструмент стимулирования «зеленого» строительства**

Без обновления существующей нормативной базы невозможно достичь установленной цели по снижению энергоемкости валового внутреннего продукта и обеспечить рациональное и экологически ответственное использование энергии и энергетических ресурсов. Крайне необходима разработка новых стандартов в области энергосбережения и повышения энергоэффективности и экологической безопасности зданий, гармонизируемых с европейскими стандартами.

В целях совершенствования существующей нормативной базы разработана система рейтинговой оценки устойчивости «зеленого» строительства [20].

Требования рейтинговой системы направлены на сокращение потребления энергетических ресурсов, использование нетрадиционных, возобновляемых и вторичных энергетических ресурсов, рационального водопользования, снижение вредных воздействий на окружающую среду в процессе строительства и эксплуатации здания, включая придомовую территорию, при обеспечении комфортной среды обитания человека и адекватной экономической рентабельности архитектурных, конструктивных и инженерных решений.

Наибольший удельный вес в данной системе имеет категория «Энергосбережение и энергоэффективность» (рис. 5).

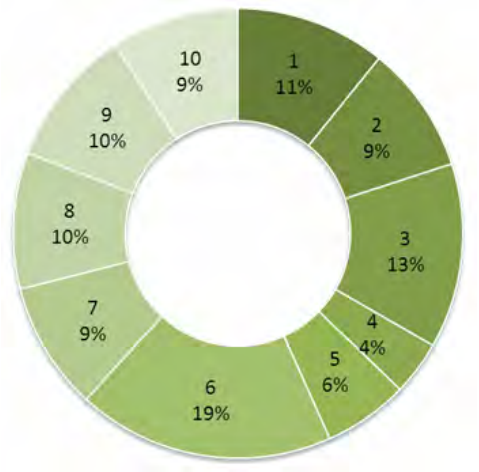



Рис. 5. Базовые категории устойчивости среды обитания: *1* — комфорт и качество внешней среды; *2* — качество архитектуры и планировки объекта; *3* — комфорт и экология внутренней среды; *4* — качество санитарной защиты и утилизации отходов; *5* — рациональное водопользование; *6* — энергосбережение и энергоэффективность; *7* — применение альтернативной и возобновляемой энергии; *8* — экология создания, эксплуатации и утилизации объекта; *9* — экономическая эффективность; *10* — качество подготовки и управления проектом

Сумма баллов всех категорий определяет общую (интегральную) величину устойчивости качества среды обитания, числовое значение которой обозначается как «S-фактор» («Sustainability-фактор») и характеризует класс устойчивости среды обитания.

Система рейтинговой оценки устойчивости среды обитания является инновационным инструментарием, стимулирующим «зеленое» строительство.

**Заключение**

По результатам исследования основных направлений «зеленого» строительства определен вектор развития «зеленого» строительства в России и за рубежом. Этот вектор включает в себя приоритетные задачи, определяющие направленность работ в области «зеленого» строительства: *энергоэффективность—экология—экономия*. Систематизация и обобщение данных по «зеленому» строительству позволяют наметить дальнейшие пути комплексного решения задач энергоэффективности, экологической безопасности и экономической эффективности зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В.* Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.

2. *Есаулов Г. В.* Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 5. С. 4—13.

3. *Теличенко В. И., Бенуж А. А.* Совершенствование принципов устойчивого развития на основе опыта применения «зеленых» стандартов при строительстве олимпийских объектов в Сочи // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 40—43.

4. Net zero-energy buildings in Germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in Berlin / F. Ascione, N. Bianco, O. Böttcher, R. Kaltenbrunner, G. P. Vanoli // Energy and Buildings. 2016. No. 133. Pp. 688—710.

5. *Ferreira M., Almeida M., Rodrigues A.* Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target // Energy and Buildings. 2016. No. 133. Pp. 724—737.

6. *Горшков А. С., Дерунов Д. В., Завгородний В. В.* Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3(8). С. 12—23.

7. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States / J. Sproul, M. P. Wan, B. H. Mandel, A. H. Rosenfeld // Energy and Buildings. 2014. No. 71. Pp. 20—27.

8. *Chan A. L. S., Chow T. T.* Energy and economic performance of green roof system under future climatic conditions in Hong Kong // Energy and Buildings. 2013. No. 64. Pp. 182—198.

9. *Копылова А. И., Богомолова А. К., Немова Д. В.* Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10(49). С. 20—34.

10. *Корниенко С. В.* Зеленое строительство — комплексное решение задач энергоэффективности, экологии и экономии // Энергосбережение. 2017. № 3. С. 22—26.

11. *Корниенко С. В., Ватин Н. И., Горшков А. С.* Натурные теплофизические испытания жилых зданий из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 4(64). С. 10—25. DOI: 10.5862/MCE.64.2

12. *Корниенко С. В.* Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 389—394.

13. *Корниенко С. В., Ватин Н. И., Горшков А. С.* Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6(45). С. 34—54.

14. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С. В. Корниенко, Н. И. Ватин, М. Р. Петриченко, А. С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6(33). С. 19—33.

15. Математическая модель энергетической эффективности слоистых строительных ограждений / Д. Д. Заборова, М. И. Куколев, Т. А. Мусорина, М. Р. Петриченко // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 4. С. 28—33.

16. [Простая модель теплоустойчивой ограждающей конструкции] / Е. А. Стаценко, А. Ф. Островая, Т. А. Мусорина, М. И. Куколев, М. Р. Петриченко // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 8(68). С. 86—91. DOI: 10.5862/MCE.68.9

17. [Необходимость реновации жилых зданий в Латвии] / А. Бородинец, Ю. Земитис, Ю. Сорокинс, Д. В. Баранова, Д. О. Советников // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 8(68). С. 58—64. DOI: 10.5862/MCE.68.6

18. *Korniyenko S.* Evaluation of thermal performance of residential building envelope // Procedia Engineering. 2015. No. 117. Pp. 191—196.

19. *Миков В. Л.* «Человеческий фактор» и строительная теплотехника окон // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 411—415.

*© Корниенко С. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в апреле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Корниенко С. В.* Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность — приоритетные задачи «зеленого» строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 167—177.

*Об авторе:*

**Корниенко Сергей Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, skorn73@mail.ru

***S. V. Kornienko***

## ENERGY EFFICIENCY, ECOLOGICAL SAFETY, ECONOMIC EFFECTIVENESS — PRIORITY TASKS OF “GREEN” CONSTRUCTION

Priority tasks of “green” construction in Russia and abroad are revealed in the article. Systematization and synthesis of data on “green” construction allow planning further ways of the complex solution of problems of energy efficiency, ecological safety and economic effectiveness in buildings and structures.

K e y  w o r d s: buildings, structures, construction, civil engineering, design, “green” construction, energy efficiency, ecology, economy, rating.

REFERENSES

1. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M., Shilkin N. V. *Energoeffektivnye zdaniya* [Energy efficient buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2003. 200 p.

2. Esaulov G. V. [Energy efficiency and sustainable architecture as the development vectors]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika* [AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and structural thermal physics], 2015, no. 5, pp. 4—13.

3. Telichenko V. I., Benuzh A. A. [Improving the principles of sustainable development on the basis of experience of «green» standards application in the construction of Olympic facilities in Sochi]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2014, no. 10, pp. 40—43.

4. Ascione F., Bianco N., Böttcher O., Kaltenbrunner R., Vanoli G. P. Net zero-energy buildings in Germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in Berlin. *Energy and Buildings*, 2016, no. 133, pp. 688—710.

5. Ferreira M., Almeida M., Rodrigues A. Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. *Energy and Buildings*, 2016, no. 133, pp. 724—737.

6. Gorshkov A. S., Derunov D. V., Zavgorodnij V. V. [Technology and organization of the building with zero energy consumption]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii* [Construction of Unique Buildings and Structures], 2013, no. 3(8), pp. 12—23.

7. Sproul J., Wan M. P., Mandel B. H., Rosenfeld A. H. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. *Energy and Buildings*, 2014, no. 71, pp. 20—27.

8. Chan A. L. S., Chow T. T. Energy and economic performance of green roof system under future climatic conditions in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 2013, no. 64, pp. 182—198.

9. Kopylova A. I., Bogomolova A. K., Nemova D. V. [The energy efficiency of the building with application of green roof technology]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii* [Construction of Unique Buildings and Structures], 2016, no. 10(49), pp. 20—34.

10. Kornienko S. V. [Green construction — complex solutions for energy efficiency, ecology and economy parameters]. *Energosberezhenie* [Energy efficiency], 2017, no. 3, pp. 22—26.

11. Korniyenko S. V., Vatin N. I., Gorshkov A. S. Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks. *Magazine of Civil Engineering*, 2016, no. 4, pp. 10—25. DOI: 10.5862/MCE.64.2

12. Korniyenko S. V. [Temperature and humidity conditions of external walls with a ventilated façade]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and construction], 2009, no. 5, pp. 389—394.

13. Korniyenko S. V., Vatin N. I., Gorshkov A. S. [Assessment of moisture conditions of walls with facade's thermoinsulation composite systems with external mortar layers]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii* [Construction of Unique Buildings and Structures], 2016, 6(45), pp. 34—54.

14. Kornienko S. V., Vatin N. I., Petrichenko M. R., Gorshkov A. S. [Evaluation of hygrothermal performance of multilayered wall design in annual cycle]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii* [Construction of Unique Buildings and Structures], 2015, no. 6(33), pp. 19—33.

15. Zaborova D. D., Kukolev M. I., Mussorina M. T., Petritchenko M. R. [The simplest mathematical model of the energy efficiency of layered building envelopes]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology], 2016, no. 4, pp. 28—33.

16. Statsenko E. A., Ostrovaia A. F., Musorina T. A., Kukolev M. I., Petritchenko M. R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2016, no. 8(68), pp. 86—91. DOI: 10.5862/MCE.68.9

17. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O. Renovation need for apartment buildings in Latvia. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2016, no. 8(68), pp. 58—64. DOI: 10.5862/MCE.68.6

18. Korniyenko S. Evaluation of thermal performance of residential building envelope. *Procedia Engineering*, 2015, no. 117, pp. 191—196.

19. Mikov V. L. [«Human factor» and thermal properties of windows]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and construction], 2010, no. 3, pp. 411—415.

*For citation:*

Kornienko S. V. [Energy efficiency, ecological safety, economic effectiveness — priority tasks of "green" construction]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 167—177.

*About author:*

**Kornienko Sergei Valerʼevich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, skorn73@mail.ru

УДК 628.517.2:711

***Н. В. Коростелева***

***Волгоградский государственный технический университет***

# ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ШУМОВОЙ РЕЖИМ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ: СТЕПЕНЬ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И СПОСОБЫ ЕГО МИНИМИЗАЦИИ

Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на шумовой режим городских улиц. В результате проведенного анализа были выделены факторы, требующие большого внимания при оценке шумового режима транспортных магистралей. Даны рекомендации по минимизации негативного воздействия шума.

Ключевые слова: шумовой режим, транспортные магистрали, планировочные факторы, шумозащита.

В Федеральном законе от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об охране атмосферного воздуха» указано, что шум является одним из физических факторов, загрязняющих окружающую среду, атмосферный воздух.

Городской шум в основном складывается из шумов коммунально-бытового характера, шумов промышленных предприятий и транспорта. Наиболее сильным по уровню, неприятным и распространенным в городской среде, является транспортный шум, в частности шум от автомобильного транспорта.

Городской наземный автотранспорт представляет целый ряд удобств, без которых не может обойтись современное общество: он быстр, надежен, экономичен; эффективно обеспечивает массовые перевозки как на небольшие, так и на значительные расстояния; по сравнению с другими видами транспорта обладает наибольшей гибкостью и мобильностью. Однако наряду с несомненными преимуществами этот вид транспорта имеет ряд недостатков, одним из которых является высокий шум. Повсеместное распространение автотранспорта привело к значительному росту транспортного шума.

Поэтому при исследовании шумового режима городских магистралей необходимо определить факторы, в наибольшей степени влияющие на формирование и распространение уровня шума. Это в дальнейшем позволит давать конкретные рекомендации по оптимизации шумового режима и снижению его негативного воздействия.

Основным источником шума городских транспортных магистралей является транспортный поток. Шум транспортных потоков складывается из шума отдельных автотранспортных средств — автомобилей, автобусов, троллейбусов и других автотранспортных средств. Шум, производимый отдельными автотранспортными средствами, зависит от мощности и режима работы двигателя, технического состояния экипажа, качества дорожного покрытия и скорости движения.

Общий уровень транспортного шума на городских транспортных пересечениях и территории, прилегающей к магистрали, будет зависеть от сложного взаимодействия целой группы факторов: транспортных, планировочных и природных (рис. 1).

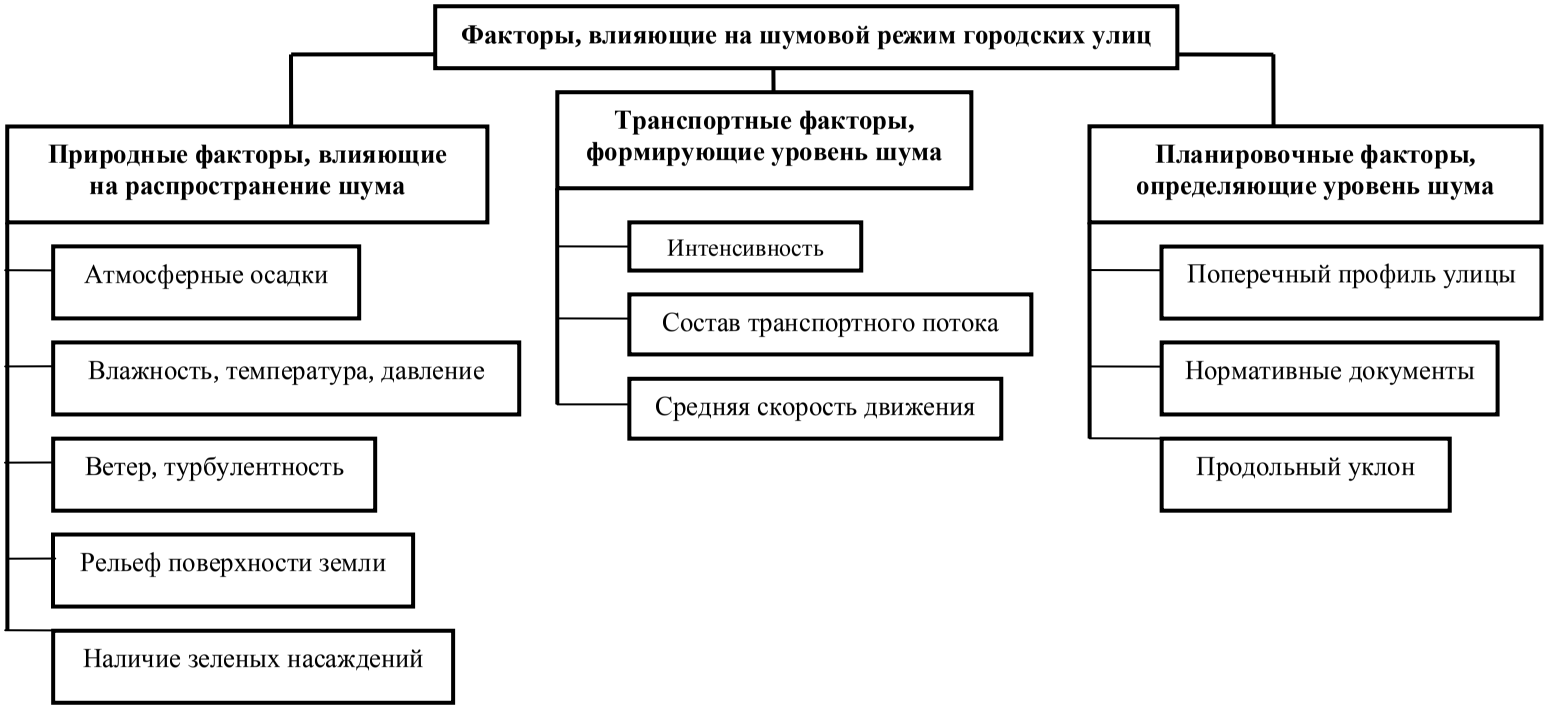



Рис. 1. Факторы, влияющие на шумовой режим городских улиц

Эта группа факторов является очень важной, практически неуправляемой, но ее необходимо учитывать при проведении проектных работ.

Исходя из того, что каждый фактор оказывает определенную степень воздействия на шумовой режим транспортных магистралей, необходимо провести анализ и оценку каждой группы факторов.

К первой группе факторов можно отнести природные, а именно: атмосферные осадки, влажность, температура воздуха, ветер, турбулентность, рельеф поверхности земли, наличие зеленых насаждений.

Рассмотрим более подробно каждый из этих факторов.

В однородной воздушной среде линейное снижение звука объясняется поглощением его воздухом. Звуковые волны, распространяясь в атмосфере, в частности в приземном слое, теряют свою энергию благодаря рассеиванию и поглощению. Это поглощение зависит от следующих параметров: молекулярного строения воздуха, метеорологических явлений, происходящих в открытом пространстве, а также и от ограничения пространства различными предметами, которые изменяют прямолинейность пути звуковых волн и действуют, как поглощающие и отражающие экраны [1].

Как известно, затухание в воздушной среде происходит благодаря перераспределению энергии молекулярных движений, т. е. затухание энергии зависит от присутствия в воздухе молекул воды, что, следовательно, связано с влажностью атмосферы. Самое большое поглощение звука воздухом наблюдается при относительно низком проценте влажности. Таким образом, дождь, снег, туман практически не меняют коэффициента поглощения [2].

Сильное влияние на распространение звуковых волн оказывают температурные перепады в различное время суток. Так при контрастной температурной инверсии звуковые волны неоднократно возвращаются и отражаются от поверхности земли. Особенно это проявляется в ночное время при тихой безветренной погоде, когда дальность распространения звука сильно увеличивается.

Что касается влияния ветра на распространение шума, то оно зависит от его градиентов, т. е. изменения скорости ветра, а также от его направления по отношению к направлению распространения звуковых волн. Встречное распространение обуславливает отклонение звуковых лучей вверх, и наоборот, распространение звука в направлении ветра приводит к отклонению звуковых лучей вниз [3]. Следовательно, учет ветрового фактора весьма сложен, так как изменчивость направления и силы ветра в условиях городской застройки чрезвычайно велика.

При исследовании влияния перечисленных факторов на распространение шума было установлено, что данные факторы сказываются лишь на расстояниях, превышающих 50…100 м [4]. Поэтому при решении задач распространения шума от городских транспортных магистралей, проезжая часть которых, как правило, удалена от жилой застройки на расстоянии до 50 м, данные факторы могут быть исключены и не учитываться при анализе шумового режима транспортных магистралей.

На снижение шума при его распространении над поверхностью земли оказывает влияние ее характер.

Экспериментальными измерениями установлено, что уровень звукового давления при распространении шума над поверхностью земли всегда ниже того уровня, который будет, если шум распространяется в свободной атмосфере [3].

Дополнительное снижение шума вблизи поверхности земли есть следствие поглощения звуковой энергии этой поверхности. Поглощение происходит преимущественно над почвой, покрытой травой и кустарником, над пашней и т. п.

На распространение шума в приземном пространстве большое влияние оказывают зеленые насаждения. Установлено, что зеленые насаждения обладают шумопоглощающими свойствами, которые зависят от плотности дендрологического состава и конструкции посадок [5]. В зеленых насаждениях звуковые волны, наталкиваясь на препятствия (листья, ветки, хвою и стволы), изгибаются, отражаются и поглощаются.

Анализируя снижение шума зелеными насаждениями, можно сделать вывод, что наибольшее снижение происходит на высоких частотах. Вместе с тем транспортные источники шума имеют низкочастотный и среднечастотный характер спектра. Следовательно, ожидать больших показателей уменьшения шума зелеными насаждениями не приходится.

К группе транспортных факторов, влияющих на шумовой режим, относятся параметры, которые оказывают влияние на формирование эквивалентного уровня шума — это интенсивность транспортного потока; состав транспортного потока (легковые и грузовые автомобили, общественный транспорт, автобусы и другие автотранспортные средства); средневзвешенная скорость движения автотранспортных средств [6].

Интенсивность движения, являясь одним из основных параметров движения транспортного потока, определяется числом автомобилей, движущихся по данной полосе магистрали и проходящих через пункт наблюдения за фиксированный период времени.

Состав транспортного потока в различных точках улично-дорожной сети города неодинаков. Это различие связано с назначением участка улицы или магистрали в генеральной транспортной схеме организации городских грузо- и пассажироперевозок. Изменение состава транспортного потока в различных зонах крупного города происходит неравномерно. Он, как правило, характеризуется процентным содержанием в нем определенных видов автотранспортных средств: легковые и грузовые машины, автобусы, троллейбусы и др. Каждый вид транспортного средства имеет свои габариты и динамические характеристики.

В работах Р. Стефенсона, Дж. Вулкана [7] и Д. Джонсона, Е. Саундерса [8] рассматривается влияние интенсивности, состава и средневзвешенной скорости на эквивалентный уровень звука транспортных потоков.

Основным параметром, определяющим шумность автотранспортного средства, является скорость его движения. В обобщенном виде корреляционная связь между изменениями уровня звука и изменением скорости движения при движении автомобиля по асфальтобетонному покрытию с макрошероховатостью порядка 0,3 мм может быть выражена в виде следующей формулы:

$$\Delta L_V = 34 lg V/V_o, \quad (1)$$

где $\Delta L_V$ — изменение уровня звука (дБА) на расстоянии $r$ = 7,5 м от оси движения автомобиля при его скорости $V$ по отношению к уровню звука при скорости движения $V_o$ = 50 км/ч.

В табл. 1 приведены значения уровня шума равномерно движущегося легкового автомобиля для разных скоростей.

Таблица 1

*Значение эквивалентного уровня звука равномерно движущегося легкового транспорта при различных скоростях*

| Скорость, км/ч | 60 | 80 | 100 | 110 | 120 | 140 | 160 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $L_A$, дбА | 74,3…75,0 | 78,0…78,7 | 81,0…81,7 | 82,2…82,9 | 83,3…84,0 | 85,3…86,0 | 87,1…87,8 |

Из табл. 1 видно, что при увеличении скорости движения в два раза уровень звука повышается в среднем на 8…10 дБА.

Так как в современных городах наблюдается большое количество машин, то на сегодняшний день ситуация на основных транспортных магистралях не позволяет развивать значительных скоростей.

Если рассмотреть планировочные факторы, то шумовой режим территорий, прилегающих к городским транспортным магистралям, зависит от поперечного профиля улиц, характера прилегающей застройки, продольного уклона проезжей части и элементов благоустройства (покрытие проезжей части и наличие зеленых насаждений). Каждый из этих параметров способен изменить уровень транспортного шума до 10 дБА [9].

Поперечный профиль магистрали включает множество элементов, которые можно разделить на три группы: проезжая часть дороги; разделительные элементы; ограничительные элементы.

Размеры каждого элемента выбирают из оценки характеристик движения, назначения магистрали и уровня обслуживания. От ширины проезжей части зависит интенсивность движения, т. е. чем больше ширина, тем большее количество транспорта движется по этой магистрали и, следовательно, увеличивается уровень шума на данной магистрали. Отсюда можно утверждать, что данный показатель оказывает сильное влияние на фактор, относящейся к транспортным, регулируя его, можно корректировать воздействие последних.

В табл. 2 приведены значения ширины проезжей части и уровень шума для различных категорий улиц.

Таблица 2

*Шумовые характеристики транспортных потоков и ширина проезжей части различных категорий улиц*

| Категория улицы или дороги | Ширина проезжей части, м | Уровень шума, дБА |
|---|---|---|
| Скоростные дороги | 15…30 | 87 |
| Магистральные улицы: | | |
| общегородского значения с непрерывным движением | 15…30 | 85 |
| общегородского значения с регулируемым движением | 14…28 | 82 |
| районного значения | 7…14 | 81 |
| Магистральные дороги с грузовым движением | 7…21 | 84 |
| Дороги промышленных и коммунально-складских районов | 6 | 81 |

Чрезвычайно важным фактором, влияющим на уровень транспортного шума, является характер дорожного покрытия.

Экспериментальные данные показывают, что наиболее важным фактором, влияющим на уровень шума покрышек, является не материал покрытия дорожного полотна, а микроскопический рисунок поверхности, т. е. шероховатость поверхности полотна автомобильной дороги [10]. В табл. 3 приведены значения поправок для определения уровня шума в зависимости от типа покрытия дорожного полотна.

Таблица 3

*Величина поправки в зависимости от типа покрытия автомобильной дороги*

| Показатель шероховатости | Соответствующий тип покрытия | Поправки, дБА |
|---|---|---|
| Менее 0,05 | Асфальт на силикатном песке<br>Совершенно ровный | +3 |
| 0,05…0,4 | Плотный асфальтобетон<br>Стыки плотно заделаны | 0 |
| 0,4…0,7 | Асфальтобетон со стыками<br>Бетон с наполнителем | +2 |
| 0,7…1,0 | Грубые стыки<br>Вышелушенный с поверхности наполнитель | +4 |
| 1,0…1,3 | Асфальт с наполнителем<br>Небольшие повреждения поверхности | +6 |
| Более 1,3 | Небольшие повреждения и трещины на поверхности | +8 |

Кроме этого, в руководстве по прогнозированию уровня шума, разработанном в США (для которых характерно интенсивное дорожное движение) Управлением по изучению проблем скоростных автомобильных дорог, указывается, что если за стандартную принята поверхность дорожного полотна с асфальтовым или бетонным покрытием с умеренной шероховатостью, то для дорог с чрезвычайно гладкой поверхностью, полученной в результате оплавления в пламени горелки, эта поправка равна –5 дБ, а для дороги, покрытой шероховатым асфальтом или бетонными плитами с зазорами между ними, поправка равна +5 дБ.

Следовательно, для уменьшения шума дорожного движения необходимо своевременно принимать меры по поддержанию дорог в надлежащем состоянии.

Продольный уклон проезжей части также вносит изменения в шумовой фон транспортных магистралей, так при уклоне 60 ‰ эквивалентный уровень звука увеличивается на 1 дБА.

К разделительным элементам поперечного профиля можно отнести разделительную полосу между проезжими частями. Ее наличие не только исключают столкновения экипажей и ослепления водителя фарами встречных автомобилей, но и снижает уровень шума до 3 дБА в зависимости от ширины конструкции [11, 12].

Ограничительными элементами улиц являются в основном жилые дома, поэтому высота и характер первого эшелона застройки также является важным фактором, влияющим на уровень шума на магистрали. Анализ характера жилой застройки, прилегающей к городским транспортным магистралям, производится по следующим параметрам: планировочная структура; тип застройки; конфигурация зданий в плане.

По планировочной структуре застройку вдоль транспортных магистралей можно условно разделить:

на строчную — с размещением зданий перпендикулярно или под некоторым углом к магистрали;

периметральную — с размещением зданий различной протяженности вдоль магистрали;

свободную — без выраженного преобладания перечисленных выше элементов.

Согласно проведенным исследованиям, при размещении здания перпендикулярно магистрали оба его фасада подвергаются одинаковой шумовой нагрузке, которая мало (всего на 3 дБ) отличается в лучшую сторону от шумовой нагрузки на фасаде здания, расположенного параллельно магистрали на том же расстоянии [13]. Эта шумовая ситуация мало меняется при уменьшении угла между осью здания и направлением магистрали вплоть до углов 45…30°. Периметральное расположение зданий, очевидно, является наихудшим по шумовой нагрузке на их фасад. При этом практически на всех городских улицах, даже при небольших транспортных потоках, уровни шума в жилых помещениях таких домов, обращенных окнами в сторону улицы, превышают допустимые по санитарным нормам значения. Это превышение может достигать 15…20 дБА и более. Однако при таком расположении зданий существенным фактором является относительно хорошая защищенность внутриквартального пространства, где шумовая нагрузка уменьшается на 20 дБА и более.

Застройка вдоль транспортных магистралей по типу делится на две группы: с двух сторон проезжей части и с одной стороны. Очевидно, что на улицах с двухсторонней застройкой звуковые волны, ударяясь о стены зданий и многократно отражаясь от них, усиливают общий шумовой уровень по сравнению с улицами с односторонней застройкой.

Что касается конфигурации зданий в плане, то в табл. 4 приводится эффективность различных типов застройки примагистральных территорий по защите дворовых территорий от транспортного шума.

Таблица 4

*Эффективность различных типов застройки*

| Тип застройки | Снижение уровня шума, дБА |
|---|---|
| Сплошная 9-этажная периметральная застройка | 20…30 |
| Периметральная 9-этажная застройка с арками | 12…20 |
| Периметральная 9-этажная застройка с разрывами | 10…26 |
| П-образная 9-этажная застройка | 18…22 |
| Свободная 9-этажная (80…120 м от магистрали) | 12…18 |

Рассмотрев все группы факторов, влияющих на шумовой режим городских улиц, можно говорить о том, что из всех факторов наибольшее внимание при защите от шума следует уделять планировочным. Комплексное использование данных факторов способно понизить уровень звукового давления в значительных пределах при этом, не ухудшая в целом состояние окружающей среды [14].

Данные факторы учитывают в двух направлениях: планированием общих градостроительных мероприятий в процессе составления генеральных планов городов и проектов детальной планировки жилых районов и микрорайонов, а также разработкой и внедрением специальных шумозащитных приспособлений, изолирующих, поглощающих и отражающих шум.

Так, например, при проектировании улично-дорожной сети должны быть предусмотрены максимально возможные укрупнения межмагистральных территорий, уменьшение количества перекрестков и других транспортных узлов, устройство плавных криволинейных соединений дорог. На территории жилых районов необходимо ограничивать сквозное движение транспорта.

В архитектурно-планировочной структуре жилых районов и микрорайонов можно использовать следующие способы защиты от шума:

1) расположение между источниками шума и жилой застройкой зданий-экранов (буферной застройки). Буферная застройка по своей форме и конструкции должна обеспечивать надежную шумозащиту расположенных позади нее участков. Здания буферной застройки должны быть расположены фасадом в сторону дорог, а длина фасада должна быть не менее 30 м. Этажность буферной застройки должна быть не менее двух этажей (их количество должно препятствовать проникновению автомобильного шума в жилые районы, расположенные позади этой застройки). При достаточной протяженности буферной застройки вдоль линии автодороги позади нее достигается значительное снижение уровня шума. При ограниченной протяженности ее экранный эффект в значительной степени снижается, если не считать тех участков, которые расположены непосредственно позади зданий буферной застройки;

2) удаление жилой застройки от источников шума. Основную трудность при практическом внедрении буферной застройки представляет собой наличие уже сложившейся застройки. Целесообразным здесь представляется уже на этапе проектирования предоставлять примыкающим к жилым районам автомобильным дорогам с количеством полос не ниже четырех так называемую полосу отчуждения, служащую для защиты окружающей среды. Ширина полосы отчуждения может варьироваться от 10 до 20 м по обе стороны от обочин магистральной автомобильной дороги в зависимости от интенсивности движения (особенно в ночное время). Строительство буферной застройки или шумозащитных стенок, создание лесозащитного пояса на свободной территории буферной зоны приведет к значительному снижению уровня шумового воздействия;

3) применение рациональных с точки зрения защиты от шума композиционных способов группировки жилых зданий. Для обеспечения санитарных норм в квартирах и на территории микрорайонов нужно использовать композиционные приемы группировки шумозащищенных зданий, основанные на создании замкнутого пространства. При расположении жилой застройки вдоль транспортных магистралей не следует прибегать к композиционным

приемам группировки жилых зданий, которые основываются на раскрытии пространства в сторону проезжей части. Если архитектурно-планировочные мероприятия (разрывы, приемы застройки и т. д.) не обеспечивают надлежащего шумового режима в зданиях и на территории жилого микрорайона, а также с целью экономии территории, необходимой для соблюдения территориальных разрывов с транспортными магистралями, целесообразно применять строительно-акустические методы: шумозащитные сооружения и устройства, экраны, шумозащитные полосы озеленения.

4) применение специального функционального зонирования. Зонирование территории жилых районов и микрорайонов города заключается в перераспределении плотности жилищного фонда и реализуется путем сосредоточения в зданиях-экранах, располагаемых вдоль городских и районных магистралей, торговых, коммунально-бытовых и административных предприятий и организаций, а также части жилищного фонда при условии размещения его в шумозащищенных жилых домах. Эффективность приема зонирования территории существенно зависит от линейной плотности застройки микрорайона вдоль магистральной улицы или плотности застройки жилых групп по периметру и возрастает с увеличением плотности, способствуя улучшению шумового режима на территории и в жилой застройке второго эшелона [15].

Таким образом, проведенный анализ показал, что общий уровень шума на городских транспортных магистралях зависит от сложного взаимодействия целой группы факторов: природных, транспортных и планировочных. Рассмотрев все группы факторов, влияющих на шумовой режим городских улиц, можно говорить о том, что наибольшее негативное влияние на шумовой режим именно магистралей оказывают транспортные (интенсивность, состав транспортного потока и средневзвешенная скорость движения автотранспортных средств) и планировочные факторы (размеры и структура поперечного профиля, этажность и планировочная структура застройки, благоустройство прилегающих территорий). Так же была выявлена определенная связь между данными группами, так, внося изменения в планировочные факторы, возможно корректировать и снижать воздействие транспортных.

Следовательно, можно утверждать, что из всех факторов наибольшее внимание при защите от шума следует уделять планировочным. Комплексное использование данных факторов способно понизить уровень звукового давления в значительных пределах, при этом не ухудшая в целом состояние окружающей среды.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Harris C. M.* Handbook of noise control. New York; Toronto; London, 1957. Chapter 3. Pp. 3-1-3-17.

2. *Красильников В. А.* Звуковые и ультразвуковые волны // Акустика. 1960. С. 222—225.

3. *Wiener F. M., Keast D. N.* Experimental study of the propagation of Sound over ground // Journal of the Acoustical Society of America. June 1959. Vol. 31. No. 6.

4. *Осипов Г. Л.* Градостроительные меры борьбы с шумом. М., 1975. 215 с.

5. *Meister F. J., Ruhrberg W.* Der Einflub von Grünanlagen. Aut die ausbreitung von Geräuschen // Lärnibekäm — pfung Band Jahrung 3. Januar 1959. Heft 1.

6. *Желпакова А. Х.* Возникновение транспортного шума и мероприятия по его снижению // Вестник Казахстанско-Американского свободного университета. Вып.: Социально-политические и правовые проблемы образования и общества. 2010. № 4. С. 35—40.

7. *Stephenson R., Vulkan G.* Traffic noise // J. Sound and vibrat. 1968. No. 2. Pp. 134—139.

8. *Johnson D., Saunders E*. The evaluation of noise from freely flowing road traffic // J. Sound and vibrat. 1968. No. 2. Pp. 114—117.

9. *Семина Н. В.* Экологически чистый автомобиль — мечта или реальность? М., 1990. 25 с.

10. *Миронов А. А., Евгеньев И. Е.* Автомобильные дороги и охрана окружающей среды. Томск, 1986. 51 с.

11. *Борисюк Н. В., Киялбаев А. К.* Экологическое состояние городских улиц и дорог и факторы, его определяющие // Технический прогресс в дорожном строительстве. М.: МАДИ (ГТУ), 1995.

12. *Киялбаев А. К.* Экологическая безопасность при эксплуатации автомобильных дорог и городских улиц. Алматы: НИЦ «Ғылым», 2003. 300 с.

13. *Коростелева Н. В.* Анализ степени влияния различных факторов на уровень шума городских магистралей // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международной конф., посвященной 60-летию образования вуза, 18—19 сентября 2012 г., Волгоград: в 2 ч. Ч. I. Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. С. 190—194.

14. *Коростелева Н. В.* Оценка шумового режима примагистральных территорий города Волгограда и разработка рекомендаций по созданию оптимальных условий проживания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 23(42). С. 168—172.

15. *Коростелева Н. В.* Специальное зонирование примагистральных территорий как метод защиты от транспортного шума // Архитектура и строительство. Наука и образование как фактор оптимизации среды жизнедеятельности: материалы Международной науч.-практич. конф.-семинара, 11—16 октября 2004 года, Хаммамет, Тунис. Волгоград: ВолгГАСА, 2004. С. 136—137.

*© Коростелева Н. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Коростелева Н. В.* Факторы, влияющие на шумовой режим транспортных магистралей: степень негативного воздействия и способы его минимизации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 178—188.

*Об авторах:*

**Коростелева Наталия Владимировна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, korostelevanv@mail.ru

***N. V. Korosteleva***

## FACTORS AFFECTING THE NOISE REGIME OF HIGHWAYS: THE DEGREE OF NEGATIVE IMPACT AND WAYS TO MINIMIZE IT

The article deals with the factors that influence the noise regime in city streets. As a result of the analysis carried out by the author the factors that require great attention when evaluating the noise regime of highways were determined. Recommendations how to minimize the negative impact of noise are given.

K e y  w o r d s: noise regime, highways, planning factors, noise protection.

REFERENSES

1. Harris C. M. *Handbook of noise control*. New York; Toronto; London, 1957. Chapter 3. Pp. 3-1-3-17.

2. Krasil'nikov V. A. [Sound and ultrasonic waves]. *Akustika* [Acoustics], 1960, pp. 222—225.

3. Wiener F. M., Keast D. N. Experimental study of the propagation of Sound over ground. *Journal of the Acoustical Society of America*, June 1959, 31(6).

4. Osipov G. L. *Gradostroitel'nye mery bor'by s shumom* [Town-planning measures of noise control]. Moscow, 1975. 215 p.

5. Meister F. J., Ruhrberg W. Der Einflub von Grünanlagen. Aut die ausbreitung von Geräuschen. *Lärnibekäm — pfung Band Jahrung 3*. Januar 1959. Heft 1.

6. Zhelpakova A. Kh. [Generation of traffic noise and noise control measures]. *Vestnik Kazakhstansko-Amerikanskogo svobodnogo universiteta. Vyp.: Sotsial'no-politicheskie i pravovye problemy obrazovaniya i obshchestva* [Herald of Kazakh-American Free University, issue: Sociopolitical and legal problems of education and society], 2010, no. 4, pp. 35—40.

7. Stephenson R., Vulkan G. Traffic noise. *J. Sound and vibrat*, 1968, no. 2, pp. 134—139.

8. Johnson D., Saunders E. The evaluation of noise from freely flowing road traffic. *J. Sound and vibrat*, 1968, no. 2, pp. 114—117.

9. Semina N. V. *Ekologicheski chistyi avtomobil' — mechta ili real'nost'* [The eco-friendly car — a dream or reality?]. Moscow, 1990. 25 p.

10. Mironov A. A., Evgen'ev I. E. *Avtomobil'nye dorogi i okhrana okruzhayushchei sredy* [Highways and environmental protection]. Tomsk, 1986. 51 p.

11. Borisyuk N. V., Kiyalbaev A. K. [Ecological state of urban streets and roads and its determining factors]. *Tekhnicheskii progress v dorozhnom stroitel'stve* [Technological advancement in road construction]. Moscow, MADI (STU), 1995.

12. Kiyalbayev A. K. *Ekologicheskaya bezopasnost' pri ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits* [Environmental safety while operating roads and urban streets]. Almaty, R&D Center Fylym, 2003. 300 p.

13. Korosteleva N. V. [The analysis of the degree of influence of different factors on noise pollution level caused by urban highways]. *Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo. Materialy Mezhdunarodnoi konf., posvyashchennoi 60-letiyu obrazovaniya vuza, 18—19 sentyabrya 2012 g., Volgograd: v 2 ch. Ch. 1* [Science and education: architecture, town planning and construction. Proc. of the Int. Conf. Devoted to the 60th Anniversary of the Foundation of the Institution, 18—19 September, 2012, Volgograd: in 2 parts, part 1]. Volgograd, VSUACE, 2012. Pp. 190—194.

14. Korosteleva N. V. [Rated the regime noising on the territories along streets of Volgograd and developing recommendations on creating optimal living conditions]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture* [Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura], 2011, no. 23(42), pp. 168—172.

15. Korosteleva N. V. [Certain zoning of the territories close to motorways as the method of traffic noise control]. *Arkhitektura i stroitel'stvo. Nauka i obrazovanie kak faktor optimizatsii sredy zhiznedeyatel'nosti. Materialy Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf.-seminara, 11—16 oktyabrya 2004 goda, Khammamet, Tunis* [Architecture and construction. Science and education as factor of optimization of the living environment. Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conference-Workshop, 11—16 October, 2004, Hammamet, Tunis]. Volgograd, VSUACE, 2004. Pp. 136—137.

*For citation:*

Korosteleva N. V. [Factors affecting the noise regime of highways: the degree of negative impact and ways to minimize it]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 178—188.

*About authors:*

**Korosteleva Nataliya Vladimirovna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, korostelevanv@mail.ru

UDC 574.2

***R. Gopinath[a], N. Balasubramanya[б]***

***[a] BMSIT&M***
***[б] AcIT***

## HISTORICAL TREND OF AMBIENT AIR QUALITY INDICES AT KEY OBSERVATORIES FOR MAJOR CITIES IN KARNATAKA, INDIA

Several researches have immensely worked on modeling an AQI, yet none have compared its historic trend. This consequently presents the lacuna that remedial measures only address a specific time period, and fail to trail the evolution and its subsequent fate in future with more developments bound to come for the location. To overcome this gap in literature, the present research attempts to address the transformation of Air Quality Indices at key observatories for major cities in Karnataka (India), and interpret the same with parameters such as HDI, land-cover changes etc. Secondary Data on monitored 'Criteria Air Pollutants' made available from Central Pollution Control Board have been considered for the computation of AQI in this research. The objective of this study is to facilitate computation of the average AQI across observatories and successively rank the cities in the historical, current and futuristic sense. The results confirm that the derived Air Quality Indices across each observatory are constantly depicting an increased trend, thereby presenting both an acute and chronic health risk to the health of residents. This warrants corrective and preventive measures at National and regional levels, with targets and timelines as well as measures to reduce fugitive air pollution emissions from all key polluting sectors such as power generation units, industries, transportation and agro-based economies.

K e y  w o r d s: Air, Pollution, Quality, AQI, Karnataka.

Quality of outdoor air is constantly deteriorating due to large scale industrialization and globalization on account of unsustainable urbanisation. To the scientific community though this may be explicitly explained in the form of criteria air pollutants ($O_3$, CO, $NO_x$, RSPM, $SO_2$), yet to the maximum layman population the impact is still best understood in the form of Air Quality Indices (AQI). An AQI may be best defined as an overall statistical scheme which transforms weighted values of individual air pollution related parameters into a single number. Developing an efficient and comprehensible AQI scale is required for citizens and policy makers to make decisions to prevent and minimize air pollution exposure and ailments induced from the exposure. Until off-late, there were no significant efforts to develop and use AQI in India, primarily due to the fact that a modest air quality monitoring programme was started only in 1984 and public awareness about air pollution was almost non-existent. Though literature surveys have thrown up several articles which have dealt with the computation of AQI for specific cities; none have communicated the same in the historical, current and futuristic sense. This presents the lacuna that remedial measures only addresses a specific time period, and fails to trail the evolution and its subsequent fate in future with more developments bound to come for the location. In this context, this research is an attempt to investigate the trend of AQI across major cities of Karnataka as a measure of Urbanisation.

**Methodology**

The seeds Secondary Data on monitored 'Criteria Air Pollutants' made available from Central Pollution Control Board have been considered for the computation of AQI in this research; with a prerogative to interpret the same with parame-

ters such as HDI, land-cover changes etc. The data on CO, $NO_x$, RSPM and $SO_2$ was collected for the major districts/cities namely Bangalore, Mysore, Hubli, Dharwad, Mangalore, Gulbarga, Hassan and Belgaum; from the year 2007 to 2015; and computed for AQI (Table 1) based on CPCB scales which starts from 0 to 500.

The computation was derived from averaging the results obtained from monitoring using 'Respirable Dust Sampler' at each observatory across each aforementioned station under the National Ambient Air Quality Monitoring Programme by Karnataka State Pollution Control Board. While the observatories in Bangalore include Graphite India Ltd., KHB Industrial Area, Yeshwanthpur, Peenya Industrial Area, Victoria Hospital and AMCO Batteries; Hebbal Industrial Area and KR Circle represent Mysore. While Hubli-Dharwad is marked by Lakkammanahalli Industrial Area, Baikapady Industrial Area demarcates Mangalore, Government Hospital for Gulbarga, KSPCB Building for Belgaum; and KSRTC Building for Hassan respectively.

Table 1

*Colour coded advisory system (AQI) based on CPCB scales, with Health Impacts*

| Number | Remark | Health Impact |
|---|---|---|
| 1–50 | Good | Minimal impact |
| 51–100 | Satisfactory | Minor breathing, discomfort to sensitive people |
| 101–200 | Moderate | Breathing discomfort to the people with lungs, asthma and heart diseases |
| 201–300 | Poor | Breathing discomfort to most people on prolonged exposure |
| 301–400 | Very Poor | Respiratory illness on prolonged exposure |
| 401–500 | Severe | Effects healthy people and serious impacts to those with existing diseases |

**Results and Discussion**

The compiled & extracted data (Tables 2—5) confirms that exposure to toxic particulate/non-particulate pollution is alarmingly high and rising with each year; with the National Ambient Air Quality Standards being continuously violated. A specific defined trend in the concentration of parameters has not been observed owing to meteorological conditions. Nevertheless, holistically it may be commented that over the period of ten years; at all the Areas studied $SO_2$ concentrations in the ambient air was found to be within the permissible limit and similarly $NO_x$ concentration had not exceeded the permeable limit except at Victoria Hospital (a sensitive area), wherein the air quality was found to be most deteriorated.

The results also revealed that the annual average data of the pollutants for most of the locations except that of RSPM are mostly within the limits for $SO_2$ and $NO_x$. The dipping trend may be due to clean fuel interventions that have taken place in recent years. The fluctuations still reflect at the exponential increase in number of vehicles and traffic congestions. In the case of RSPM, even though various measures have been taken to mitigate it; the exponential increase in number of diesel vehicles, the continued presence of 2-stroke vehicles and the resuspension of traffic dust pave for way as the major causes for the increasing trend. This average concentration of Particulate matter in Bangalore, when compared to Gulbarga, Hubli and Dharwad; or the relatively less polluted cities such as Mysore, Mangalore and Belgaum is a constant mater of worry.

Table 2

*Annual Variation of RSPM (ug/m3) across Observatories.*

| RSPM, ug/m$^3$ | Location | ‘07 | ‘08 | ‘09 | ‘10 | ‘11 | ‘12 | ‘13 | ‘14 | ‘15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bangalore | Graphite India Ltd. (I) | 124 | 161 | 171 | 133 | -na- | -na- | 133 | 233,3 | 230 |
| Bangalore | KHB Industrial Area (I) | 77 | 71 | 58 | 63 | -na- | -na- | 128 | 113,3 | 121 |
| Bangalore | Peenya Industrial Area (I) | 86 | 123 | 64 | 58 | -na- | -na- | 123 | 137,5 | 119 |
| Bangalore | AMCO Batteries (I) | 62 | 76 | 67 | 76 | -na- | -na- | 170 | 198,1 | 129 |
| Bangalore | Yeshwanthpur ® | 64 | 104 | 224 | 110 | -na- | -na- | 110 | 108,3 | 154 |
| Bangalore | Victoria Hospital (S) | 199 | 204 | 177 | 184 | -na- | -na- | 181,6 | 129,7 | 264.5 |
| Mysore | Hebbal Industrial Area (I) | 67 | 66 | 61 | 70 | -na- | -na- | 88 | -na- | -na- |
| Mysore | KR Circle ® | 38 | 48 | 41 | 42 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Hubli- | Lakkammanahalli | 45 | 50 | 54 | 46 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Mangalore | Baikapady Indus. Area (I) | 90 | 100 | 119 | 79 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Gulbarga | Government Hospi-tal (S) | 145 | 107 | 101 | 104 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Belgaum | KSPCB Building | 62 | 60 | 41 | 48 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Hassan | KSRTC Building | 80 | 71 | 74 | 65 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |

Table 3

*Annual Variation of $SO_2$ (ug/m3) across Observatories*

| RSPM, ug/m$^3$ | Location | ‘07 | ‘08 | ‘09 | ‘10 | ‘11 | ‘12 | ‘13 | ‘14 | ‘15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bangalore | Graphite India Ltd. (I) | 17 | 16 | 17 | 15 | 20 | 16 | 15 | 14,4 | 12,3 |
| Bangalore | KHB Industrial Area (I) | 17 | 15 | 15 | 14 | 18 | 16 | 14 | 12,7 | 11 |
| Bangalore | Peenya Industrial Area (I) | 16 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 15 | 13,8 | 11,7 |
| Bangalore | AMCO Batteries (I) | 17 | 15 | 115 | 1 | 16 | 16 | 15 | 13,7 | 11,9 |
| Bangalore | Yeshwanthpur ® | 17 | 15 | 17 | 16 | 19 | 16 | 14 | 12,3 | 10,8 |
| Bangalore | Victoria Hospital (S) | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- | 12.9 | -na- | 12,9 | 6,1 |
| Mysore | Hebbal Industrial Area (I) | 13 | 15 | 14 | 10 | 13 | 10 | -na- | -na- | -na- |
| Mysore | KR Circle ® | 13 | 16 | 15 | 11 | 11 | 12 | -na- | -na- | -na- |
| Hubli-Dharwad | Lakkammanahalli Industrial Area (I) | -na- | -na- | 4 | 4 | 7 | 5 | -na- | -na- | -na- |
| Mangalore | Baikapady Indus. Area (I) | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | | -na- | -na- | -na- |
| Gulbarga | Government Hospi-tal (S) | 7 | -na- | 3 | 9 | 4 | 3 | -na- | -na- | -na- |
| Belgaum | KSPCB Building | -na- | -na- | 2 | 2 | 2 | 2 | -na- | -na- | -na- |
| Hassan | KSRTC Building | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | -na- | -na- | -na- |

Table 4

*Annual Variation of $NO_x$ (ug/m3) across Observatories*

| RSPM, ug/m$^3$ | Location | ‘07 | ‘08 | ‘09 | ‘10 | ‘11 | ‘12 | ‘13 | ‘14 | ‘15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bangalore | Graphite India Ltd. (I) | 41 | 42 | 42 | 31 | 33 | 31 | 30 | 27,1 | 33,5 |
| Bangalore | KHB Industrial Area (I) | 39 | 40 | 38 | 30 | 34 | 30 | 25 | 30,6 | 29,6 |
| Bangalore | Peenya Industrial Area (I) | 39 | 41 | 38 | 32 | 29 | 30 | 30 | 32,8 | 32,9 |
| Bangalore | AMCO Batteries (I) | 38 | 40 | 38 | 29 | 31 | 31 | 29 | 33,9 | 31,5 |
| Bangalore | Yeshwanthpur ® | 39 | 41 | 40 | 31 | 34 | 31 | 31 | 31,9 | 30,9 |
| Bangalore | Victoria Hospital (S) | 39 | 41 | 37 | 27 | 26 | 30 | 29 | 30,9 | 30,8 |
| Mysore | Hebbal Industrial Area (I) | 39 | 41 | 37 | 27 | 26 | 30 | 29 | -na- | -na- |
| Mysore | KR Circle ® | 18 | -na- | 28 | 28 | 22 | 23 | -na- | -na- | -na- |
| Hubli-Dharwad | Lakkammanahalli Industrial Area (I) | 18 | 21 | 31 | 28 | 22 | 23 | -na- | -na- | -na- |
| Mangalore | Baikapady Indus. Area (I) | -na- | 12 | 13 | 13 | 13 | 15 | -na- | -na- | -na- |
| Gulbarga | Government Hospi-tal (S) | -na- | 12 | 12 | 13 | 13 | 14 | -na- | -na- | -na- |
| Belgaum | KSPCB Building | -na- | -na- | 14 | 18 | 18 | 7 | -na- | -na- | -na- |
| Hassan | KSRTC Building | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 11 | -na- | -na- | -na- |

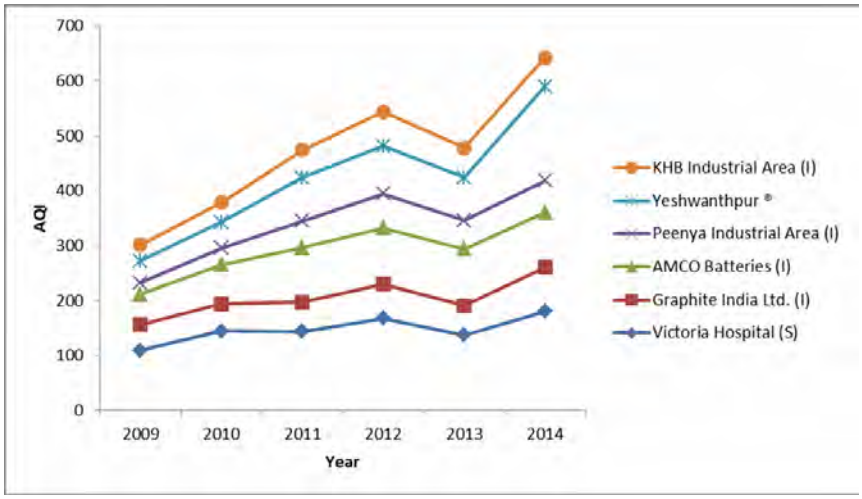
Table 5

*Annual Variation of SPM (ug/m3) across Observatories*

| RSPM, ug/m$^3$ | Location | ‘07 | ‘08 | ‘09 | ‘10 | ‘11 | ‘12 | ‘13 | ‘14 | ‘15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bangalore | Graphite India Ltd. (I) | 348 | 408 | 442 | 296 | -na- | -na- | 327,7 | -na- | -na- |
| Bangalore | KHB Industrial Area (I) | 227 | 205 | 188 | 303 | -na- | -na- | 188,6 | -na- | -na- |
| Bangalore | Peenya Industrial Area (I) | 229 | 324 | 173 | 207 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Bangalore | AMCO Batteries (I) | 181 | 208 | 178 | 160 | -na- | -na- | 163 | -na- | -na- |
| Bangalore | Yeshwanthpur ® | 189 | 288 | 513 | 238 | -na- | -na- | 278 | -na- | -na- |
| Bangalore | Victoria Hospital (S) | 67 | 66 | 61 | 70 | -na- | -na- | 88 | -na- | 67 |
| Mysore | Hebbal Industrial Area (I) | 199 | 204 | 177 | 184 | -na- | -na- | 181,6 | -na- | -na- |
| Mysore | KR Circle ® | 75 | 94 | 80 | 78 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Hubli-Dharwad | Lakkammanahalli Industrial Area (I) | 87 | 97 | 108 | 93 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Mangalore | Baikapady Indus. Area (I) | 173 | 210 | 250 | 151 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Gulbarga | Government Hospi-tal (S) | 263 | 223 | 220 | 193 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Belgaum | KSPCB Building | 125 | 118 | 87 | 98 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |
| Hassan | KSRTC Building | 218 | 210 | 188 | 178 | -na- | -na- | -na- | -na- | -na- |

Further based on the annually averaged AQI (Fig.), it could be concluded that the analysis of AQI data mostly shows a constantly increasing trend across all stations, at elevated levels that are both an acute short-term threat to the health of residents and a major long-term health risk. Even the trend lines of exceedance of RSPM are a major factor to be observed with respect to the observatories in Bangalore. While in 2015, it exceeded the National limit of annual average by 283, 102, 140, 115, 248 and 165 % at Graphite India, K.H.B Industrial Area, Peenya Industrial Area, Yeshwanthpura, AMCO Batteries and Victoria Hospital respectively; this was an unparalleled increase from the previous 2 years (2013-2014).

While in 2014, RSPM exceeded the National limit of annual average by 167, 13, 38, 15, 98 and 37 % respectively; in 2013 it had exceeded by 121, 113, 108, 83, 183 and 46 % respectively. A major drawback leading to the derivation of AQI across the other observatories in Karnataka is the lack of credible data, as this study relies entirely on official data made available through the NAQI platform. All the pollutants have not been successfully monitored at all the locations between 2007 and 2015; hence, this also leads to the inability to compute Sub-indices for individual pollutants at monitoring locations using 24-hourly average concentration value, and also the failure to rank the cities under NAQI. Hence this study drives home a point necessitating a need for constant monitoring across each observatory.




Annual Variation/Trend of AQI across observatories in Bangalore

**Conclusion**

The objective of an AQI is to quickly disseminate air quality information (almost in real-time) that entails the system to account for pollutants which have short-term impacts. Four parameters (SPM, RSPM, $NO_x$ and $SO_2$) having short-term standards have been considered in this research for near real-time dissemination of AQI. The results derived from present study confirm that the derived Air Quality Indices across each observatory are constantly depicting an increased trend, thereby presenting both an acute and chronic health risk to the health of residents. This warrants both corrective and preventive measures at all levels with targets and timelines; and as well as strategic measures to minimize the air pollution emissions from all key polluting sectors and economies.

REFERENCES

1. Goverdhan Rathla K. S., Sankarappa T., Ashwajeet J. S., Ramanna R. A Study of Air Quality Index in and Around Belagavi City, Karnataka State, India. *Res. J. Physical Sci.*, 2015, no. 3(4), pp. 1—7.

2. Srinivas J., Purushotham A. V. Determination of Air Quality Index Status in Industrial areas of Visakhapatnam, India. *Res. J. Engineering Sci*., 2013, no. 2(6), pp. 13—24.

3. Beig G., Ghude S. D., Deshpande A. *Scientific Evaluation of Air Quality Standards and Defining Air Quality Index for India*. Indian Institute of Tropical Meteorology-Pune, 2010.

4. Gao Fanyu. *Evaluation of the Chinese New Air Quality Index (GB3095-2012):* Based on Comparison with the US AQI System and the WHO AQGs, 2013.

5. Ott W. R. *Environmental indices theory and practice*. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Mich. 48106, 1978.

6. Sharma M. *Review of National Air Quality Criteria/Standards*. Report submitted to Central Pollution Control Board. New Delhi, 2009.

7. Sharma M., Maheshwari M., Pandey R. Development of air quality index for data interpretation and public information. *IIT-Kanpur*. Report submitted to Central Pollution Control Board Delhi, 2001.

8. Shenfeld L. Note on Ontario's air pollution index and alert system. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 2009, no. 20(9), pp. 622.

9. Swami P. K., Tyagi A. Formation of an Air Pollution Index. *Journal of Air and Waste Management Association*, 1999, no. 49, pp. 88—91.

10. *WHO Air quality guidelines for Europe. Copenhagen*, World Health Organization Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, № 91), 2000.

*© Gopinath R., Balasubramanya N., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*For citation:*

Gopinath R., Balasubramanya N. Historical trend of ambient air quality indices at key observatories for major cities in Karnataka, India. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 189—195.

*About authors:*

**Rajesh Gopinath** — Associate Professor, Department of Civil Engineering, BMSIT&M, Bengaluru 64, India, dr.rajeshgopinathnair@gmail.com

**Balasubramanya N.** — Vice Principal and Professor, Department of Civil Engineering, AcIT, Bengaluru 107, India

***Р. Гопинат, Н. Баласубраманя***

## ИСТОРИЧЕСКАЯ ТЕНДЕНЦИЯ ИНДЕКСОВ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ОСНОВНЫХ ОБСЕРВАТОРИЯХ КРУПНЫХ ГОРОДОВ В КАРНАТАКЕ, ИНДИЯ

Некоторые исследования тесно связаны с моделированием индекса качества воздуха (ИКВ), но до сих пор не было проведено сравнение в исторической тенденции. Следовательно, существует пробел в связи с тем, что корректирующие действия относятся к определенному периоду и не могут проследить эволюцию и ее последующее развитие в будущем с большими улучшениями, рано или поздно имеющими место быть. Для преодоления этого пробела в настоящем исследовании делается попытка рассмотреть трансформацию показателей качества атмосферного воздуха на основных обсерваториях крупных городов в штате Карнатака (Индия) и интерпретировать такими параметрами, как, например, индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП), изменений почвенно-растительного покрова и т. д. Вторичные данные о контролируемом критерии содержания в воздухе загрязняющих веществ, поступавшие из Центрального комитета по контролю за загрязнением, были рассмотрены для вычисления ИКВ в

данном исследовании. Целью исследования является расчет среднего ИКВ по обсерваториям и последовательное ранжирование городов по данному показателю в прошлом, настоящем и будущем. Результаты подтверждают, что полученные показатели качества воздуха в каждой обсерватории постоянно дают повышенный тренд, тем самым представляя риск обострения как острых, так и хронических заболеваний жителей городов. Это требует принятия корректирующих и превентивных мер на национальном и региональном уровнях с учетом целей и сроков, а также мер по снижению неорганизованных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от всех основных загрязняющих секторов экономики, в частности таких, как энергетика, промышленность, транспорт и сельское хозяйство.

К л ю ч е в ы е  с л о в а: воздух, загрязнение, качество, индекс качества воздуха, Карнатака.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A Study of Air Quality Index in and Around Belagavi City, Karnataka State, India / K. S. Goverdhan Rathla, T. Sankarappa, J. S. Ashwajeet, R. Ramanna // Res. J. Physical Sci. 2015. No. 3(4). Pp. 1—7.

2. *Srinivas J., Purushotham A. V.* Determination of Air Quality Index Status in Industrial areas of Visakhapatnam, India // Res. J. Engineering Sci. 2013. No. 2(6). Pp. 13—24.

3. *Beig G., Ghude S. D., Deshpande A.* Scientific Evaluation of Air Quality Standards and Defining Air Quality Index for India. Indian Institute of Tropical Meteorology-Pune, 2010.

4. *Gao Fanyu.* Evaluation of the Chinese New Air Quality Index (GB3095-2012): Based on Comparison with the US AQI System and the WHO AQGs, 2013.

5. *Ott W. R.* Environmental indices theory and practice. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Mich. 48106, 1978.

6. *Sharma M.* Review of National Air Quality Criteria/Standards. Report submitted to Central Pollution Control Board. New Delhi, 2009.

7. *Sharma M., Maheshwari M., Pandey R.* Development of air quality index for data interpretation and public information. IIT-Kanpur. Report submitted to Central Pollution Control Board Delhi, 2001.

8. *Shenfeld L.* Note on Ontario's air pollution index and alert system // J. Air Pollut. Control Assoc., 2009. No. 20(9). Pp. 622.

9. *Swami P. K., Tyagi A.* Formation of an Air Pollution Index // Journal of Air and Waste Management Association. 1999. No. 49. Pp. 88—91.

10. WHO Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, № 91), 2000.

*Ссылка для цитирования:*

*Гопинат Р., Баласубраманя Н.* Историческая тенденция индексов качества атмосферного воздуха на основных обсерваториях крупных городов в Карнатаке, Индия // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 189—195.

*Об авторах:*

**Раджеш Гопинат** — доцент, кафедра строительства, BMSIT&M. Бангалор 64, Индия, dr.rajeshgopinathnair@gmail.com

**Баласубраманя Н.** — проректор, профессор, кафедра строительства, AcIT. Бангалор 107, Индия

УДК 725.945(470.45)

***С. Н. Алаева, И. И. Соколов, Ю. Б. Колышев***

***Волгоградский государственный технический университет***

# СТРУКТУРИРОВАНИЕ МОНАСТЫРСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНОМУ ЗОНИРОВАНИЮ

Рассматривается научное исследование формирования культовых сооружений. Данный анализ позволит улучшить градостроительные характеристики по сравнению с существующей системой религиозных объектов на основе исторического формирования. Проведенное исследование позволит увеличить туристическую посещаемость и обратить внимание на актуальность изучения структурирования монастырских комплексов в единой градостроительной структуре области.

Ключевые слова: монастыри, монастырские комплексы, градостроительная система, туристическая посещаемость, культовые сооружения, Волгоградская область.

Монастырские комплексы занимают важнейшее место среди культурно-исторических памятников России. Их архитектура создавалась, исходя из условий жизни как социально-экономических, так и исторических.

В структуре Волгоградской области реконструируются и частично реставрируются монастырские комплексы. Одно из актуальных направлений сохранения индивидуальности монастырей состоит в том, что их привлекательность оценивается как этап экономического направления в перспективе [1, с. 15]. Дальнейшее формирование монастырей должно осуществляться в комплексной реконструкции, включающей более интенсивное использование территории, а также замену или модернизацию морально и физически устаревших отдельных жилых и хозяйственных объектов.

Монастырские ансамбли всегда были центрами культуры и просвещения. Они представляли собой отдельную территорию, разделенную на несколько частей, которые определяли территориальную организацию с соответствующими функциональными зонами [2, с. 34]. Монастырские комплексы создавали впечатление маленького города, за счет хорошо развитых транспортных и пешеходных систем. Являясь крупными градостроительными комплексами, монастыри были важными элементами городского каркаса и представляли собой ансамбли-«узлы», создание которых не только в городской черте, но и на подступах к городу было одним из распространенных приемов древнерусского градостроительства [3, с. 357].

Масштабы строительства на территории области позволяют рассматривать их реконструкцию как актуальную градостроительную проблему в структуре формирования Волгоградской агломерации. Эффективность ее решения может быть обеспечена при условии учета не только перспективных требований к монастырским комплексам, повышенным потребительским качествам, но и к совершенствованию пространственной среды в целом. Это позволит обеспечить значительные экономические и социальные результаты формирования.

Целью является рассмотрение структуры по территориальному зонированию монастырских комплексов в Волгоградской области, которая позволит

не только иметь улучшенные градостроительные характеристики по сравнению с существующей системой религиозных объектов на основе исторического формирования, но и воссоздать монастырские комплексы как центры религии, просвещения, культуры и образования [4, с. 180].

Методы исследования основаны на комплексном анализе современного состояния и тенденции развития монастырских комплексов Волгоградской области с учетом социально-экономических, функциональных и градостроительных требований их совершенствования. В основе лежат графические и графоаналитические методы, позволяющие выявить в градостроительной структуре монастырских комплексов долговременный, обладающий функциональной устойчивостью подход, а также подходы, изменяемые в процессе эволюции.

В настоящее время изучение общей характеристики, архитектурного стиля и планировки монастырских комплексов являются основными задачами при проектировании культовых сооружений в структуре Волгоградской области [5, с. 345]. Сейчас на территории региона расположено девять монастырских комплексов, из них шесть мужских: Свято-Духовской мужской монастырь, Свято-Архангельский мужской монастырь, Преподобных Сергия Германа Валаамских мужской монастырь, Свято-Троицкий Белогорский мужской монастырь, Михаило-Архангельский мужской монастырь, Свято-Архангельский Кременской мужской монастырь и три женских монастыря: Ахтырский Божией Матери женский монастырь, Свято-Вознесенский женский монастырь и Спасо-Преображенский Усть-Медведицкий женский монастырь (табл. 1).

Таблица 1

*Общая характеристика монастырских комплексов Волгоградской области*

| Название монастырского комплекса | Год основания | Район расположения | Площадь монастырского комплекса, м$^2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | малые | средние | крупные |
| Свято-Духовский | 1903 | г. Волгоград | 1 136 | | |
| Свято-Архангельский | 2005 | Светлоярский район | | 13 542 | |
| Преподобных Сергия и Германа Валаамских | 2005 | г. Волжский | 2 184 | | |
| Свято-Троицкий Белогорский | 1903 | Ольховский район | | 24 866 | |
| Михаило-Архангельский | 2007 | г. Краснослободск | 273 | | |
| Свято-Архангельский Кременской | 1693 | Клетский район | | 16 385 | |
| Ахтырский Божией Матери | 1860 | Ольховский район | | 21 433 | |
| Свято-Вознесенский | 1864 | г. Дубовка | | | 160 657 |
| Спасо-Преображенский Усть-Медведицкий | 1638 | г. Серафимович | | 42 966 | |

Монастырские комплексы имеют довольно своеобразную историю и представляют собой различные архитектурные стили прошлого, что делает их популярными среди культовых объектов страны и различных культурных памятников. Монастыри Волгоградской области пережили множество исторических потрясений, в том числе и разрушения во время советского периода. Их земли переходили из рук в руки, меняя свое назначение. В настоящее время религиозные сооружение вернули свои территории и имеют определенную взаимосвязь между собой на уровне современного градостроительного решения.

Архитектурный вид храма не столько выразителен, как внутреннее убранство здания, ведь оно потрясает своей роскошью и неповторимостью, а возлагавшиеся на монастырь различные функции определили комплекс сооружений разнообразного назначения: культовые, хозяйственные, жилые, оборонительные, мемориальные [6, с. 72].

Монастырские комплексы Волгоградской области строились в разное время. В их функциональных, конструктивных и художественных сторонах проявлялись черты определенной эпохи. Таким образом, их можно сгруппировать в отдельные категории по стилевым характеристикам каждого века [7, с. 112].

К XVII в. относятся 2 монастырских комплекса, которые были возведены на берегу реки Дон: Спасо-Преображенский Усть-Медведицкий и Свято-Вознесенский Кременской. Первый монастырь из этой категории считается одним из самых посещаемых исторических мест области.

Особенностью архитектурного стиля XVII в. является каменное строительство, которое становилось доступным не только в крупных городах, но и в структуре губернии. Постепенно деревянные постройки сменялись каменными. Во внешнем художественном облике монастырей крепостные башни являлись важными структурными элементами, которые придавали архитектуре черты композиционной завершенности.

Постройками XIX в. являются Ахтырский Божией Матери и Свято-Вознесенский женские монастыри. Их история начинается с женских общин, которые со временем все больше и больше развивались.

В период этого времени возрождается интерес к древнерусскому зодчеству, что породило семейство архитектурных стилей. В этот период происходило частичное заимствование архитектурных форм древнерусского и византийского зодчества [8, с. 220].

Свято-Духовский и Свято-Троицкий Белогорский мужские монастыри были построены в XX в. В плане эти культовые сооружения представляют собой форму в виде прямоугольника. Первый монастырь без хозяйственных построек. В Свято-Троицкий входит шесть однотипных зданий, которые формируют монастырское пространство.

Уже в XX в. усилилась тенденция к архитектурному стилю «эклектизм». Начали появляться новые направления в архитектурных стилях. Один из них — конструктивизм, который широко использовался в зодчестве. В простоте и целесообразности форм осуществлялись принципы демократии и равенства между людьми [9, с. 24].

В XXI в. было построено 3 мужских монастыря: Свято-Архангельский, Преподобных Сергия и Германа Валаамских и Михаило-Архангельский. Эти

монастырские комплексы не имеют единого архитектурного стиля. На данный момент на территории Волгоградской области они не действуют.

Главную роль в формировании общероссийской школы зодчества отечественного архитектурного и градостроительного творчества сыграл период времени XV—XVII вв. В течение этих трех столетий культовое строительство достигло тех высот, которые нами сегодня отмечаются как исключительно самобытное явление в архитектуре страны [10, с. 40; 11, с. 62].

В данной статье рассматривается, прежде всего, градостроительный аспект. Можно сказать, что именно эта сторона творчества зодчих стала определяющей в создании богатейшего отечественного градостроительного наследия страны [12, с. 142].

На территории области находятся структурноформирующие железнодорожные, автомобильные, речные и воздушные транспортные трассы. Современный областной центр является железнодорожным узлом пяти направлений.

Основные речные артерии области — реки Волга и Дон. Портовыми городами являются: Волгоград, Волжский, Калач-на-Дону, Камышин. Эти города находятся на пересечении транспортных коридоров «Север — Юг» и «Черное — Каспийское моря», которые играют важную роль в развитии региона.

Рис. 1. Транспортная схема Волгоградской области

Транспортная схема Волгоградской области показывает основные автомобильные пути различного назначения (рис. 1).

Автомобильные дороги федерального значения, ориентированные на московское и ростовское направления, оказывают больше влияние на формирование агломерации области, образуя планировочную ось I ранга. Дороги федерального значения, ориентированные на краснодарское и саратовское направления, являются планировочными осями II ранга, а дороги федерального

значения с направлением на Астрахань по левобережью и правобережью реки Волги, а также дорога федерального значения элистинского направления отвечают планировочным осям III ранга.

Города, расположенные ближе к планировочным направлениям I ранга, развиваются быстрее и чаще имеют больше достопримечательностей и объектов культурного значения, чем города и населенные пункты, расположенные вдоль планировочных осей II и III рангов.

Количество памятников архитектуры и монастырских комплексов в близлежащих районных городах и населенных пунктах существенно зависят от ранга планировочных осей (рис. 2).

Районирование планировочных осей связано с федеральными дорогами, проходящими по территории Волгоградской области.

Планировочные оси I ранга расположены по главным «артериям» области — М6 и М21. На магистрали М6 формируются города со значительной концентрацией памятников архитектуры и культовых сооружения. Это Урюпинск, Михайловка, Серафимович, Фролово и Волгоград.

На магистрали М21 сконцентрированы города Калач-на-Дону и Суровикино, где находятся несколько зданий и сооружений с различной стилевой направленностью.

Рис. 2. Планировочные оси Волгоградской области

Планировочные оси II ранга формируются по автомобильным трассам Р219 и Р228, вдоль которых имеются исторические и современные памятники архитектуры в городах Котельниково, Дубовка, Камышин, Петров Вал.

Планировочные оси III ранга составляют следующие направления: А153 (Волгоград — Волжский — Средняя Ахтуба — Ленинск) и Р221 (Волгоград — Элиста).

Таким образом, в Волгоградской области есть несколько основных дорог, которые сформировали планировочные оси нескольких рангов, уровень которых зависит от насыщенности транспортных потоков.

Уровень культового сооружения определяется площадью и планировкой [13, с. 15].

В качестве одной из основных проблем формирования монастырей является их размещение относительно планировочных осей, характерных для нашего региона. Можно выделить три основные группы во взаимосвязи с рангами планировочных осей (табл. 2).

Таблица 2

*Основные группы размещения монастырских комплексов на территории Волгоградской области*

| Характеристика | Группы | | |
|---|---|---|---|
| | первая | вторая | третья |
| Название монастырских комплексов (уровень) | 1. Спасо-Преображенский Усть-Медведицкий (II уровень)<br>2. Свято-Вознесенский Кременской (II уровень) | 1.Свято-Троицкий Белогорский (II уровень)<br>2. Ахтырский Божией Матери (II уровень)<br>3. Свято-Вознесенский (I группа) | 1. Свято-Духовский (III уровень)<br>2. Свято-Архангельский (II уровень)<br>3. Преподобных Сергия и Германа Валаамских (III уровень)<br>4. Михаило-Архангельский (III уровень) |

Первая и вторая группы по размещению на территории Волгоградской области компактные.

Первая группа находится на расстоянии 40,9 км до планировочной оси I ранга, а дистанция между монастырскими комплексами этой группы составляет 38,8 км. Она имеет увеличенную площадь жилой зоны, развитые входную и хозяйственную зоны, малую площадь культовой зоны. Планировка монастыря первого ранга выявляет градостроительную схему чередования функциональных элементов: комплекс культовых сооружений, зеленую зону, жилую зону с линейным центром по ее продольной оси и поперечным связям (рис. 3).

Вторая группа расположена между двух осей I и II ранга. Расстояние до планировочной оси I ранга — 71,4 км, до II ранга — 48 км. Дистанция между культовыми сооружениями 2-й группы составляет 40,7 км. Вторая группа имеет развитые хозяйственную и жилую зоны, неразвитую входную зону. Культовая зона разбивается на 2 малые подзоны. Наибольший интерес представляет схема тесного пространственного объединения всех функциональных частей путем размещения собора в центре монастыря, создание единого центра с расположением вблизи зон, озеленения с рельефом, при котором естественные природные факторы органически соединяют все части монастыря (рис. 4).

*а* *б*

Рис. 3. Схемы зонирования монастырских комплексов 1-го уровня: *а* — генплан; *б* — фасад

*а* *б*

Рис. 4. Схемы зонирования монастырских комплексов 2-го уровня: *а* — генплан; *б* — перспектива

Третья группа представляет собой функциональное ядро и является центром планировочных осей I, II и III ранга. Монастыри имеют увеличенную хозяйственную зону. Входная, культовая и жилая зоны являются средними по площади. В основу планировки положена более простая схема параллельного размещения и развития зон (рис. 5).

*а* *б*

Рис. 5. Схемы зонирования монастырских комплексов 3-го уровня: *а* — генплан; *б* — перспектива

Свято-Вознесенский женский монастырь в Дубовке находится на планировочной оси II ранга и является самым купным культовым сооружением Волгоградской области.

Каждая группа монастырей должна ориентироваться на развитие инфраструктуры территории, освоение ее по функциональному уровню.

Функциональное зонирование монастырских комплектов позволяет раскрыть суть уникальности организации архитектурного пространства ансамб-

лей. Главной задачей в решении внутреннего размещения отдельных сооружений монастыря является зрительное восприятие главного храма. Многообразие глубинно-пространственных перспектив, возникающих в связи с особенностями центрической планировки двора, позволяет выделить культовое сооружение на фоне жилых и хозяйственных построек [14, с. 221].

Архитектурно-планировочная структура монастырского ансамбля предусматривает соблюдение требований церкви к обеспечению уединенного монашеского уклада жизни — разведение людских потоков, дублирование входов (парадный и хозяйственный), санитарных узлов и рекреационных зон, вынос за пределы комплекса туристической зоны, обеспечение автостоянками [15, с. 14].

Вопросы формирования планировочной структуры монастырских комплексов можно подразделить на общие, относящиеся к монастырю, и локальные, относящиеся к структуре каждой его зоны.

Изучив зонирование монастырских комплексов, можно установить общие закономерности планировки. Таким образом, разные по величине и значимости культовые сооружения имеют одинаковое по последовательности функциональное зонирование.

Анализ формирования монастырских комплексов показал, что наряду с положительными тенденциями организации планировочно-объемной композиции культовых сооружений в некоторых направлениях градостроительный уровень архитектурно-пространственных решений монастырей остается незначительным.

Для планомерного градостроительного развития монастырских комплексов необходимо создать благоприятную социально-экономическую среду, а именно: улучшить социальные условия и состояние природной среды, повысить конкурентоспособность региона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соколов И. И.* Анализ состояния территории Юга России на основе методов пространственного планирования и их эффективного использования с учетом рекреационного потенциала // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2008. Вып. 1(5). С. 12—18.

2. Greater London Landscape // Landscape Design. 1985. No. 153. Pp. 29—50.

3. *Smyth B.* Slowing up the pace of London’s greening // Town and Country Planning. 1984. Vol. 53. No. 12. Pp. 356—358.

4. *Антюфеев А. В.* Агломеративное развитие городов: архитектурно-градостроительные идеи и их реализация (на примере Волгограда) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 15(34). С. 179—183.

5. Оценка рекреационного потенциала Волгоградской области / И. И. Соколов, Г. В. Павлов, Е. И. Горюнова, А. И. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 28(47). С. 343—349.

6. *Hubbard W.* Reassessing the art of landscape design: Central Park as a case Study // Architectural Record. 1984. Vol. 17. No. 10. Pp. 69—75.

7. *Колышев Ю. Б., Соколов И. И., Алаева С. Н.* Проблемы развития территорий Волго-Ахтубинской поймы // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии: сб. материалов Международной науч.-практич. конф., 27—29 апреля 2016 г.: в 3 т. Тюмень: Изд-во ТИУ, 2016. Т. III. С. 109—114.

8. Архитектурно-ландшафтная среда рекреационных территорий / И. И. Соколов, А. И. Соколов, В. Ф. Сидоренко и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 219—225.

9. *Syindels S.* Haddersfildsky of un-t England // Materials of the international conference. Yekaterinburg, 2003. Pp. 19—41.

10. *Boon J.* “Couperusolwin”, der Haag: Sied-lungs — und Erholungsgrün über Tiefgaragen in chemals bewaldeter Dünenlandschaft // Garten—Landschaft. 1984. No. 6. S. 40—42.

11. *Vreeland E. B., Sullivan R.* New parks for New York by New York // Landscape Architecture. 1984. Vol. 74. No. 2. Pp. 58—64.

12. Размещение дачных образований в структуре линейно-группового города / Ю. Б. Колышев, М. М. Сулейманова, С. Н. Алаева, И. И. Соколов // Новые идеи нового века: в 3 т. Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2017. Т. 2. С. 142—145.

13. The prediction of scenic beauty from landscape content and composition / M. R. Patsfall, N. F. Feimer, G. J. Buhyoff, J. D. Wellman // Yourmal of Environmental Psychology. 1984. Vol. 4. No. 1. Pp. 7—26.

14. Экотуристическая система г. Волгограда (на примере о. Сарпинский) / И. И. Соколов, А. И. Соколов, Е. И. Капустина и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 29(48). С. 218—223.

15. *Wellman J. D.* The prediction of scenic beauty from landscape content and composition // Journal of Environmental Psychology. 1984. Vol. 4. No. 1. Pp. 7—26.

*© Алаева С. Н., Соколов И. И., Колышев Ю. Б., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Алаева С. Н., Соколов И. И., Колышев Ю. Б.* Структурирование монастырских комплексов в Волгоградской области по территориальному зонированию // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 196—205.

*Об авторах:*

**Алаева София Николаевна** — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, Soffishka_33@mail.ru

**Соколов Иван Иванович** — канд. арх., профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sokolovii@mail.ru

**Колышев Юрий Богданович** — профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, tango7412@gmail.com

***S. N. Alaeva, I. I. Sokolov, Yu. B. Kolyshev***

## STRUCTURING OF MONASTIC COMPLEXES IN VOLGOGRAD OBLAST ACCORDING TO TERRITORIAL ZONING

The article examines the scientific study of the formation of religious buildings. This analysis will improve town-planning characteristics in comparison with the existing system of religious objects based on historical formation. The conducted research will allow to increase tourist attendance and draw attention to the significance of study of structuring of monastic complexes in a single town-planning structure of the region.

K e y  w o r d s: monasteries, monastic complexes, town-planning system, tourist attendance, religious buildings, Volgograd oblast.

REFERENSES

1. Sokolov I. I. [The analysis of the state of the territory in the South of Russia by methods of spatial planning and their effective use taking into account recreational potential]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel’nogo universiteta Seriya: Stroitel’stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2008, no. 1(5), pp. 12—18.

2. Greater London Landscape. *Landscape Design*, 1985, no. 153, pp. 29—50.

3. Smyth B. Slowing up the pace of London's greening. *Town and Country Planning*, 1984, 53(12), pp. 356—358.

4. Antyufeev A. V. [Agglomerative development of cities: ideas of architecture and town-planning and their realization (by the example of Volgograd)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2009, no. 15(34), pp. 179—183.

5. Sokolov I. I., Pavlov G. V., Sokolov A. I., Goryunova E. I., Sokolov I. I. [Estimation of recreational potential of Volgograd oblast]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2012, no. 28(47), pp. 343—349.

6. Hubbard W. Reassessing the art of landscape design: Central Park as a case Study. *Architectural Record*, 1984, 17(10), pp. 69—75.

7. Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I., Alaeva S. N. [Problems of the development of the territories in Volga-Akhtubinsk flood lands]. *Aktual'nye problemy arkhitektury, stroitel'stva, energoeffektivnosti i ekologii. Sb. materialov Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf., 27—29 aprelya 2016 g.: v 3 t.* [Current problems of architecture, construction, energy efficiency and ecology. Collection of proc. of the Int. Sci. and Practi. Conf., 27—29 April, 2016, in 3 p.]. Tyumen, Publishing House of TIU, 2016, part III, pp. 109—114.

8. Sidorenko V. F., Sokolov I. I., Mel'nikova E. I., Sokolov A. I., Muslimova D. R. [Architectural and landscape environment of recreational areas]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2014, no. 37(56), pp. 219—225.

9. Syindels S. Haddersfildsky of un-t England. *Materials of the international conference*. Yekaterinburg, 2003. Pp. 19—41.

10. Boon J. "Couperusolwin", der Haag: Sied-lungs — und Erholungsgrün über Tiefgaragen in chemals bewaldeter Dünenlandschaft. *Garten—Landschaft*, 1984, no. 6, s. 40—42.

11. Vreeland E. B., Sullivan R. New parks for New York by New York. *Landscape Architecture*, 1984, 74(2), pp. 58—64.

12. Kolyshev Yu. B., Suleimanova M. M., Alaeva S. N., Sokolov I. I. [Arrangement of the territory of country houses in the structure of a linear-group city]. *Novye idei novogo veka: v 3 t.* [New ideas of the new century: in 3 parts]. Khabarovsk, Pacific National University, 2017, part 2, pp. 142—145.

13. Patsfall M. R., Feimer N. F., Buhyoff G. J., Wellman J. D. The prediction of scenic beauty from landscape content and composition. *Yourmal of Environmental Psychology*, 1984, 4(1), pp. 7—26.

14. Sokolov I. I., Sokolov A. I., Kapustina E. I., Sidorenko V. F., Goryunova E. I. [Ecotourist recreation in Volgograd (in the example of Sarpinsky Island)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2012, no. 29(48), pp. 218—223.

15. Wellman J. D. The prediction of scenic beauty from landscape content and composition. *Journal of Environmental Psychology*, 1984, 4(1), pp. 7—26.

*For citation:*

Alaeva S. N., Sokolov I. I., Kolyshev Yu. B. [Structuring of monastic complexes in Volgograd oblast according to territorial zoning]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 196—205.

*About authors:*

**Alaeva Sofiya Nikolaevna** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Soffishka_33@mail.ru

**Sokolov Ivan Ivanovich** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sokolovii@mail.ru

**Kolyshev Yurii Bogdanovich** — Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, tango7412@gmail.com

УДК 711.113

***Н. В. Коростелева, О. А. Растяпина***

***Волгоградский государственный технический университет***

# ПЛАНИРОВКА ТЕРРИТОРИИ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С 1 января 2017 года в Градостроительном кодексе Российской Федерации появилось новое понятие «деятельность по комплексному и устойчивому развитию территории». Авторы рассматривают особенности подготовки документации по планировке территории, которая осуществляется в целях обеспечения ее устойчивого развития, в том числе в целях выделения элементов планировочной структуры и установления границ земельных участков и зон планируемого размещения на данной территории объектов капитального строительства.

Ключевые слова: градостроительная деятельность, планировка территории, объект капитального строительства, линейные объекты, проект планировки территории, проект межевания территории.

Обеспечение комплексного и устойчивого развития территории на основе территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территории, в соответствии с положениями ст. 2 Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (далее — ГрК РФ), выступает одним из основных принципов градостроительной деятельности.

ГрК РФ в их числе называет также обеспечение сбалансированного учета экологических, экономических, социальных и иных факторов при осуществлении градостроительной деятельности.

Устойчивое развитие территорий предполагает обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений [1].

При этом интенсивный рост городских территорий не всегда сопровождается развитием необходимой для их нормального функционирования инфраструктуры [2]. Так, анализ разрабатываемой в последнее время градостроительной документации показывает дисбаланс между ростом городских территорий и степенью развития их инфраструктуры (коммунальной, транспортной, социальной). Указанный дисбаланс градостроительных систем проявляется в неэффективности транспортной системы, увеличении до критических пределов нагрузки на инженерные системы, в ухудшении экологической обстановки [2].

С 1 января 2017 года в ГрК РФ появилось новое понятие «деятельность по комплексному и устойчивому развитию территории». Это деятельность по подготовке и утверждению документации по планировке территории. Основной целью данной деятельности является размещения на территории объектов капитального строительства различного назначения, объектов коммунальной, транспортной, социальной инфраструктуры, необходимых для функционирования обозначенных выше объектов и обеспечения жизнедея-

тельности граждан, а также регулирование деятельности по архитектурно-строительному проектированию, строительству и реконструкции данных объектов. Нормативно определенная цель ее осуществления заключается в обеспечении наиболее эффективного использования территории [3].

Информация о планируемом осуществлении такой деятельности в отношении конкретной территории должна содержаться в правилах землепользования и застройки, составной частью которых является карта градостроительного зонирования. В соответствии с частью 5.1 ст. 30 ГрК РФ, на карте градостроительного зонирования в обязательном порядке устанавливаются территории, в границах которых предусматривается осуществление деятельности по комплексному и устойчивому развитию, в случае планирования ее осуществления. Границы таких территорий устанавливаются по границам одной или нескольких территориальных зон и могут отображаться на отдельной карте.

В том случае, если в границах территории предусматривается осуществление деятельности по ее комплексному и устойчивому развитию, обязательной является подготовка документации по ее планировке. Подготовка данной документации необходима для выделения элементов планировочной структуры, установления границ участков и зон планируемого размещения на данной территории объектов капитального строительства.

В соответствии с положениями ст. 1 ГрК РФ, объектом капитального строительства является здание, строение, сооружение, объекты, строительство которых не завершено (объекты незавершенного строительства). Временные постройки, киоски, навесы и другие подобные им постройки не относятся к объектам капитального строительства.

Согласно Приказу Минстроя России от 25.04.2017 № 738/пр «Об утверждении видов элементов планировочной структуры» элементы планировочной структуры — это часть территории поселения, городского округа или межселенной территории муниципального района, а именно: квартал, микрорайон, район и другие подобные элементы. Все виды элементов планировочной структуры устанавливаются уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти. В настоящее время таким органом является Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России).

К основным видам документации по планировке территории относятся:

1) проект планировки территории;
2) проект межевания территории.

При этом проект планировки территории является основой для подготовки проекта межевания территории. Так подготовка проекта межевания территории осуществляется в составе проекта планировки территории или в виде отдельного документа.

Что касается проекта планировки территории, то он разрабатывается для выделения элементов планировочной структуры, установления границ территории общего пользования и границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства, а также для определения характеристик и очередности планируемого развития территории.

Данный документ состоит из основной части, которая подлежит утверждению, и материалов по ее обоснованию. Основная часть проекта планировки территории включает в себя:

1) чертежи планировки территории, на которых отображаются:

а) красные линии. Красные линии обозначают границы территорий, занятых линейными объектами. Порядок их установления и отображения устанавливается Минстроем России согласно Приказу Минстроя России от 25.04.2017 № 742/пр «О Порядке установления и отображения красных линий, обозначающих границы территорий, занятых линейными объектами и (или) предназначенных для размещения линейных объектов»;

б) границы уже существующих и только планируемых элементов планировочной структуры;

в) границы зон планируемого размещения объектов капитального строительства;

2) положение о характеристиках планируемого развития территории. К ним относятся плотность и параметры застройки территории в установленных градостроительным регламентом пределах; характеристики объектов капитального строительства жилого, производственного и иного назначения; объектов коммунальной, транспортной и социальной инфраструктуры, необходимых для обеспечения жизнедеятельности граждан и развития территорий в границах элемента планировочной структуры;

3) положения об очередности планируемого развития территории. В нем должны содержаться этапы проектирования строительства и реконструкции объектов капитального строительства жилого, производственного и иного назначения; этапы строительства и реконструкции объектов коммунальной, транспортной и инженерной инфраструктуры, необходимых для обеспечения жизнедеятельности граждан.

В свою очередь, материалы по обоснованию проекта планировки территории должны содержать:

1) карту планировочной структуры территорий поселения, городского округа или межселенной территории муниципального района с отображением границ элементов планировочной структуры;

2) результаты инженерных изысканий (в случаях, если требуется выполнение таких работ для подготовки документации по планировке территорий). Они должны быть выполнены в том объеме, который предусмотрен программой инженерных изысканий;

3) обоснование для определения границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства;

4) схему организации движения транспорта (включая транспорт общего пользования) и пешеходов, которая должна отражать не только местоположение объектов транспортной инфраструктуры, но и учитывать существующие и прогнозные потребности в транспортном обеспечении на территории, а также схему организации улично-дорожной сети;

5) схему границ территорий размещения объектов культурного наследия;

6) схему границ зон с особыми условиями использования территории;

7) обоснование соответствия планируемых параметров местоположения и назначения объектов регионального и местного значения нормативам градостроительного проектирования и требованиям градостроительных регламентов. А также применительно к территории, в границах которой предусматривается осуществление деятельности по комплексному и устойчивому развитию территории, установленным правилами землеполь-

зования и застройки расчетным показателям минимально допустимого уровня обеспеченности территории объектами коммунальной, транспортной, социальной инфраструктур и расчетным показателям максимально допустимого уровня территориальной доступности таких объектов для населения;

8) схему, отображающую местоположение существующих объектов капитального строительства, в том числе линейных объектов; объектов, подлежащих сносу; объектов незавершенного строительства, а также проходы к водным объектам общего пользования и их береговым полосам;

9) варианты планировочных и объемно-пространственных решений застройки территории в соответствии с проектом планировки территории (в отношении элементов планировочной структуры, расположенных в жилых или общественно-деловых зонах);

10) перечень мероприятий по защите территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе по обеспечению пожарной безопасности и по гражданской обороне;

11) перечень мероприятий по охране окружающей среды;

12) обоснование очередности планируемого развития территории;

13) схему вертикальной планировки территории, инженерной подготовки и инженерной защиты территории, подготовленную в нормативно установленных случаях;

14) иные материалы для обоснования положений по планировке территории.

Проект межевания территорий необходимо разрабатывать в следующих случаях:

1) для определения местоположения границ образуемых и изменяемых земельных участков;

2) для установления, изменения, отмены красных линий для застроенных территорий, в границах которых не планируется размещение новых объектов капитального строительства;

3) для установления, изменения, отмены красных линий в связи с образованием и (или) изменением земельного участка, расположенного в границах территории, применительно к которой не предусматривается осуществление деятельности по комплексному и устойчивому развитию территории, при условии, что такие установление, изменение, отмена влекут за собой исключительно изменение границ территории общего пользования.

Он, как и проект планировки территорий, состоит из основной части, которая подлежит утверждению, и материалов по обоснованию этого проекта. Основная часть проекта межевания территории состоит из текстовой части и чертежей межевания территории. В свою очередь, текстовая часть должна включать в себя:

1) перечень и сведения о площади образуемых земельных участков, возможные способы их образования;

2) перечень и сведения о площади образуемых земельных участков, которые будут отнесены к территориям общего пользования или имуществу общего пользования, в том числе в отношении которых предполагаются резервирование и (или) изъятие для государственных или муниципальных нужд;

3) вид разрешенного использования образуемых земельных участков в соответствии с проектом планировки территории в случаях, предусмотренных ГрК РФ.

На чертежах межевания территории должны отображаться:

1) границы планируемых (в случае, если подготовка проекта межевания территории осуществляется в составе проекта планировки территории) и существующих элементов планировочной структуры;

2) красные линии, утвержденные в составе проекта планировки территории, или красные линии, утверждаемые, изменяемые проектом межевания территории;

3) линии отступа от красных линий в целях определения мест допустимого размещения зданий, строений, сооружений;

4) границы образуемых и (или) изменяемых земельных участков, условные номера образуемых земельных участков, в том числе в отношении которых предполагаются их резервирование и (или) изъятие для государственных или муниципальных нужд;

5) границы зон действия публичных сервитутов.

Материалы по обоснованию проекта межевания территории включают в себя чертежи, на которых отображаются:

1) границы существующих земельных участков;

2) границы зон с особыми условиями использования территорий;

3) местоположение существующих объектов капитального строительства;

4) границы особо охраняемых природных территорий;

5) границы территорий объектов культурного наследия.

Таким образом, документация по планировке территории должна разрабатываться для одного или нескольких смежных элементов планировочной структуры, определяемых правилом землепользования и застройки территориальных зон или установленных схемами территориального планирования муниципальных районов, генеральными планами поселений или функциональных зон городских округов. При этом территориальными зонами являются зоны, для которых в правилах землепользования и застройки определены границы и установлены градостроительные регламенты. В целях их определения и установления градостроительных регламентов осуществляется градостроительное зонирование территорий муниципальных образований. Функциональные зоны — зоны, для которых документами территориального планирования определены границы и функциональное назначение.

При подготовке документации по планировке территории до установления границ зон с особыми условиями использования учитываются размеры этих зон и ограничения по использованию территории в их границах, которые устанавливаются в соответствии с законодательством Российской Федерации. К числу таких зон относятся: охранные, санитарно-защитные зоны, зоны охраны объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации, водоохранные зоны, зоны затопления, подтопления, зоны санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, зоны охраняемых объектов и иные зоны, устанавливаемые в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Подготовка графической части документации по планировке территории должна обязательно осуществляется:

1) в соответствии с системой координат, которая используется для ведения Единого государственного реестра недвижимости;

2) с использованием цифровых топографических карт, цифровых топографических планов, требования к которым устанавливаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.[1]

Помимо этого, в ряде случаев для подготовки документации по планировке территории необходимо выполнение инженерных изысканий. Так, оно обязательно должно осуществляться в следующих случаях:

1) недостаточность материалов инженерных изысканий, размещенных в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности, федеральной государственной информационной системе территориального планирования, государственном фонде материалов и данных инженерных изысканий, Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, схемах комплексного использования и охраны водных объектов и государственном водном реестре;

2) невозможность использования ранее выполненных инженерных изысканий с учетом срока их давности, определенного в соответствии с законодательством Российской Федерации.[2]

Их выполнение осуществляется для решения таких задач, как:

1) оценка природных условий территории, в отношении которой осуществляется подготовка документации по планировке, и факторов техногенного воздействия на окружающую среду, прогнозирование их изменения для обеспечения рационального и безопасного использования указанной территории;

2) определение границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства, уточнение их предельных параметров;

3) обоснование проведения мероприятий по организации поверхностного стока вод, частичному или полному осушению территории и других подобных мероприятий и по инженерной защите и благоустройству территории.

Инженерные изыскания для подготовки документации по планировке территории выполняются в целях получения:

1) материалов о природных условиях территории, в отношении которой осуществляется подготовка такой документации, и факторах техногенного воздействия на окружающую среду, прогнозов их изменения в целях обеспечения рационального и безопасного использования указанной территории;

---

[1] Приказ Минстроя России от 25.04.2017 № 739/пр «Об утверждении требований к цифровым топографическим картам и цифровым топографическим планам, используемым при подготовке графической части документации по планировке территории» (Зарегистрировано в Минюсте России 24.05.2017 № 46825) // Официальный интернет-портал правовой информации http://www.pravo.gov.ru (дата обращения: 25.05.2017).

[2] Постановление Правительства РФ от 31.03.2017 № 402 «Об утверждении Правил выполнения инженерных изысканий, необходимых для подготовки документации по планировке территории, перечня видов инженерных изысканий, необходимых для подготовки документации по планировке территории, и о внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 19 января 2006 г. № 20» // Собрание законодательства РФ. 2017. № 15 (Часть VII). Ст. 2231.

2) материалов, необходимых для установления границ зон планируемого размещения объектов капитального строительства, уточнения их предельных параметров, установления границ земельных участков;

3) материалов, необходимых для обоснования проведения мероприятий по организации поверхностного стока вод, частичному или полному осушению территории и других подобных мероприятий (далее — инженерная подготовка), инженерной защите и благоустройству территории.

Состав и объем инженерных изысканий для подготовки документации по планировке территории и метод их выполнения устанавливаются с учетом требований технических регламентов программой инженерных изысканий. Она разрабатывается на основе задания на выполнения изысканий и зависит от вида и назначения объектов капитального строительства, сложности топографических, инженерно-геологических, экологических, климатических, метеорологических и гидрологических условий территории и степени их изученности.

Таким образом, при подготовке документации по планировке территории необходимо выполнение следующих видов инженерных изысканий:

инженерно-геодезические изыскания;

инженерно-геологические изыскания;

инженерно-гидрометеорологические изыскания;

инженерно-экологические изыскания.

Подготовка документации по планировке территорий не требуется в отношении территорий, в границах которой не предусматривается осуществление деятельности по ее комплексному и устойчивому развитию. Но есть исключения из этого правила. Так, подготовка документации по планировке территории в целях размещения объекта капитального строительства является обязательной, если планируются строительство, реконструкция линейного объекта (за исключением случая, если размещение линейного объекта планируется осуществлять на землях или земельных участках, находящихся в государственной или муниципальной собственности, и для размещения такого линейного объекта не требуются предоставление земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности, и установление сервитутов).

Согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 07.03.2017) линейные объекты — это линии электропередачи, линии связи (в том числе линейно-кабельные сооружения), трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные линии и другие подобные сооружения.

К числу объектов, для размещения которых не требуются предоставление земельных участков и установление сервитутов, в частности, относятся следующие линейные сооружения (если для их создания не требуется разрешение на строительство):

подземные линейные сооружения, а также их наземные части и сооружения, технологически необходимые для их использования;

водопроводы и водоводы всех видов;

линейные сооружения канализации (в том числе ливневой) и водоотведения;

линии электропередачи классом напряжения до 35 кВ;

нефтепроводы и нефтепродуктопроводы диаметром DN 300 и менее, газопроводы и иные трубопроводы давлением до 1,2 МПа;

тепловые сети всех видов, включая сети горячего водоснабжения;

линии связи, линейно-кабельные сооружения связи и иные сооружения связи;

проезды, в том числе вдольтрассовые, и подъездные дороги.[3]

При этом необходимо отметить, что подготовка документации по планировке в целях размещения таких объектов не требуется при совокупности всех указанных условий, т. е. определенный вид линейного объекта размещается на землях или земельных участках, находящихся в государственной или муниципальной собственности, без их предоставления и установления сервитута.

Правительством Российской Федерации могут быть установлены и иные случаи, при которых для строительства, реконструкции линейного объекта не требуется подготовка документации по планировке территории.

Также подготовка документации по планировке территории в целях размещения объекта капитального строительства обязательна в следующих случаях:

1) необходимо изъятие земельных участков для государственных или муниципальных нужд в связи с размещением объекта капитального строительства федерального, регионального или местного значения;

2) необходимо установление, изменение или отмена красных линий;

3) необходимо образование земельных участков в случае, если в соответствии с земельным законодательством образование земельных участков осуществляется только в соответствии с проектом межевания территории;

4) размещение объекта капитального строительства планируется на территориях двух и более муниципальных образований, имеющих общую границу (за исключением случая, если размещение такого объекта капитального строительства планируется осуществлять на землях или земельных участках, находящихся в государственной или муниципальной собственности, и для размещения такого объекта капитального строительства не требуется предоставление земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности, и установление сервитутов).

При этом применительно к территории, в границах которой не предусматривается осуществление деятельности по комплексному и устойчивому развитию территории, а также не планируется размещение линейных объектов, допускается подготовка проекта межевания территории без подготовки проекта планировки территории. Но по общему правилу обязательны оба вида документации по планировке территории.

Решения о подготовке документации по планировке территории принимаются уполномоченными федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации, органами местного самоуправления. Также они могут приниматься самостоятельно лицами:

[3] Постановление Правительства РФ от 03.12.2014 № 1300 (ред. от 30.04.2016) «Об утверждении перечня видов объектов, размещение которых может осуществляться на землях или земельных участках, находящихся в государственной или муниципальной собственности, без предоставления земельных участков и установления сервитутов» // Собрание законодательства РФ. 2014. № 50. Ст. 7089.

1) с которыми были заключены договоры о развитии застроенной территории, о комплексном освоении территории, в том числе в целях строительства жилья экономического класса, о комплексном развитии территории по инициативе органа местного самоуправления;

2) осуществляющими комплексное развитие территории по инициативе правообладателей. Оно осуществляется одним или несколькими правообладателями земельных участков и (или) объектов недвижимого имущества, расположенных в границах такой территории, в том числе лицами, которым земельные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности, предоставлены в аренду, в безвозмездное пользование в соответствии с земельным законодательством. При этом участие правообладателя, не являющегося собственником земельного участка или расположенного на нем объекта недвижимого имущества, в комплексном развитии территории по инициативе правообладателей допускается в случае, если срок действия его прав на земельный участок составляет на день заключения договора о комплексном развитии территории не менее чем пять лет;

3) правообладателями существующих линейных объектов, подлежащих реконструкции, в случае подготовки документации по планировке территории в целях их реконструкции;

4) субъектами естественных монополий, организациями коммунального комплекса в случае подготовки документации по планировке территории для размещения объектов федерального, регионального и местного значения.

Подготовка документации по планировке территории осуществляется указанными лицами за счет их средств самостоятельно или привлекаемыми организациями в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что планировка территории является важным этапом деятельности по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений [4]. Именно на ней в обязательном порядке должно базироваться архитектурно-строительное проектирование, строительство, капитальный ремонт, реконструкция объектов капитального строительства, эксплуатация зданий и сооружений. В противном случае развитие необходимой для нормального функционирования городских территорий инфраструктуры будет отставать от роста городских территорий, что приведет к неэффективности транспортной системы, увеличению до критических пределов нагрузки на инженерные системы, к ухудшению экологической обстановки. При этом при осуществлении планировки территории необходимо учитывать нормативно установленную цель ее осуществления, а именно обеспечение наиболее эффективного использования территории, и проводить ее в соответствии с новыми требованиями, закрепленными в ГрК РФ, анализ которых и проведен в представленной работе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тарасова Л. Г.* Роль документов территориального планирования крупных городов в становлении процессов их саморазвития // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 15(34). С. 195—201.

2. *Коростелева Н. В., Коростелева М. В.* Благоустройство территории города как фактор устойчивого развития // Социально-экономическое развитие городов и регионов: градострои-

тельство, развитие бизнеса, жизнеобеспечение города: материалы II Международной науч.-практич. конф., Волгоград, 3 февраля 2017 г. Волгоград : ВолгГТУ, 2017. С. 86—93.

3. *Коростелева М. В., Коростелева Н. В.* Обеспечение устойчивого развития городских округов: правовые и архитектурно-планировочные аспекты // Новая правовая мысль. 2017. № 1(68). С. 4—7.

4. *Коростелева М. В., Коростелева Н. В.* Комплексное развитие территории по инициативе органа местного самоуправления: особенности правового регулирования // Научный вестник Волгоградского филиала РАНХиГС. Сер.: Юриспруденция. 2016. № 2. С. 41—43.

*© Коростелева Н. В., Растяпина О. А., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Коростелева Н. В., Растяпина О. А.* Планировка территории как фактор обеспечения эффективности ее использования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 206—216.

*Об авторах:*

**Коростелева Наталия Владимировна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, korostelevanv@mail.ru

**Растяпина Оксана Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, o_kast@list.ru

***N. V. Korosteleva, O. A. Rastyapina***

## PLANNING OF THE TERRITORY AS A FACTOR TO ENSURE THE EFFECTIVENESS OF ITS USE

Since January 1, 2017 in the Urban Development Code of the Russian Federation a new notion has emerged — activities on integrated and sustainable development of the territory. The authors consider the specifics of preparation of documentation for the planning of the territory, which is carried out in order to ensure its sustainable development, including for the purpose of singling out the elements of the planning structure and establishing the boundaries of land plots and zones of planned arrangement of capital construction projects on the given territory.

K e y  w o r d s: town-planning activity, territory planning, capital construction object, linear objects, territory planning project, land surveying project.

REFERENSES

1. Tarasova L. G. [The role of regulate town planning activity documents in establishment of biggest cities' self-development processes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture], 2009, no. 15(34), pp. 195—201.

2. Korosteleva N. V., Korosteleva M. V. [Improvement of the territory of the city as a factor of sustainable development]. *Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie gorodov i regionov: gradostroitel'stvo, razvitie biznesa, zhizneobespechenie goroda. Materialy II Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf., Volgograd, 3 fevralya 2017 g.* [Social and economic development of cities and regions: town planning, business development, life support of the city. Proc. of 2 Int. Sci. and Pract. Conf., Volgograd, 3 February, 2017]. Volgograd, VSTU, 2017. Pp. 86—93.

3. Korosteleva M. V., Korosteleva N. V. [Assurance of sustainable development of city districts: legal and architectural and planning aspects]. *Novaya pravovaya mysl'* [New Legal Conception], 2017, no. 1(68), pp. 4—7.

4. Korosteleva M. V., Korosteleva N. V. [Integrated development of the territory at the initiative of local authorities: peculiarities of legal regulation]. *Nauchnyi vestnik Volgogradskogo filiala RANKhiGS. Ser.: Yurisprudentsiya* [Scientific Herald of Volgograd Institute of Management, Branch of RANEPA. Series: Law], 2016, no. 2, pp. 41—43.

*For citation:*

Korosteleva N. V., Rastyapina O. A. [Planning of the territory as a factor to ensure the effectiveness of its use]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 206—216.

*About authors:*

**Korosteleva Nataliya Vladimirovna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, korostelevanv@mail.ru

**Rastyapina Oksana Anatol'evna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, o_kast@list.ru

УДК 551.4:711.4 (470.45)

***О. А. Растяпина***

***Волгоградский государственный технический университет***

# АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ВОЛГОГРАДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Проведен теоретический анализ исследований территории города, с целью определения геологических процессов, оказывающих влияние на освоение территории. Проанализированы исследования влияния неблагоприятных геологических факторов на здоровье населения и окружающую среду. Обоснована необходимость анализа геологических факторов в условиях урбанизированной среды для оценки градостроительной безопасности и формирования благоприятных условий проживания населения. Дана оценка градостроительной безопасности по геологическим факторам.

Ключевые слова: геологические факторы, геофизические поля, градостроительная безопасность, оценка геологических факторов, оценка градостроительной безопасности.

Понятие безопасности достаточно часто обсуждается в обществе. Это связано чаще с военными и политическими событиями, происходящими в мире. В соответствии с диаграммой иерархии потребностей по Абрахаму Маслоу именно потребность человека в безопасности, заключающейся в создании комфорта и постоянства жизни, стоит на втором уровне после удовлетворения физиологических потребностей (голод, жажда и т. п.). Таким образом, безопасность важна для каждого человека, и если изначально она заключается в обеспечении определенной политической стабильности и отсутствии военных действий, то в дальнейшем, чтобы человек мог чувствовать себя защищенным (условия безопасности), необходимо обеспечение условий комфорта и благоприятных условий жизнедеятельности. Создать и оценить насколько комфортные и благоприятные условия для жизнедеятельности человека в условиях урбанизированной среды можно с помощью оценки градостроительной безопасности. Оценку градостроительной безопасности необходимо проводить с целью определения вероятности возникновения рисков на урбанизированной территории и создание опасных и просто неблагоприятных условий для проживания.

Градостроительная безопасность предполагает состояние защищенности человека — городского жителя — от возможного техногенного и природного воздействия на него урбанизированной среды. Иными словами, градостроительная безопасность направлена на оценку и предотвращение (предупреждение) вероятности возникновения неблагоприятных условий либо существующих условий. Градостроительная безопасность — это совокупность факторов урбанизации, архитектуры и экологии, формирующих благоприятную и безопасную среду проживания [1]. Благоприятная среда — это среда, отвечающая всем современным стандартам строительства и экологии и не оказывающая негативного воздействия на человека, здания, сооружения и природные объекты. Безопасная — значит защищенная урбанизированная среда, способная воспринимать и противостоять факторам, воздействующим на архитектуру и экологию территории. Само понятие градостроительной безо-

пасности, формируемой на основе экологической и урбанизационной безопасности, неразрывно связано с понятием качества окружающей среды [2]. Качество окружающей среды определяется набором показателей основанных, прежде всего, на экологических показателях, а также сложившихся природно-климатических особенностях территории. Формирование градостроительной безопасности на территории поселения позволит обеспечить устойчивое развитие градостроительной структуры. Необходимость достижения устойчивого развития и создание более высокого качества жизни заявлено на общемировом уровне [3—5].

Оценку градостроительной безопасности следует проводить по факторам, разделенным на группы: природные, социальные, техногенные и градостроительные. К природным факторам относятся: климатические, геологические, морфологические. В группу социальных факторов включены демографические процессы, в том числе распространение заболеваний, вызванных антропогенным воздействием, социально-экономические показатели развития территории, показатели, характеризующие уровень жизни, продолжительность жизни, уровень смертности. В состав техногенных факторов входят факторы воздействия на окружающую среду и человека техногенного характера. Группа градостроительных факторов включает: развитие инфраструктуры градостроительной территории, освоение территории по функциональному назначению, соответствие освоенности территории требованиям социума, учет функциональности территории, наличие зеленых насаждений и других элементов благоустройства.

В зависимости от степени изменения влияния факторов градостроительной безопасности их можно разделить на три группы: регулируемые, нерегулируемые и условно регулируемые. К регулируемым факторам относятся факторы, влияние которых на окружающую среду возможно изменить определенными инженерными мероприятиями и различными градостроительными средствами. Регулирование таких факторов возможно как в сторону уменьшения нагрузки на окружающую среду, так и наоборот, усиление воздействия на окружающую среду, в случае неправильного использования градостроительных мер или инженерных мероприятий. К этой группе факторов можно отнести как факторы естественной (природной среды), так и факторы градостроительной среды техногенного происхождения. К нерегулируемым относятся факторы естественной природной среды, которые связаны с влиянием различных природных процессов глобального масштаба: температура, влажность, инсоляция и т. п. Эти факторы оказывают влияние на распространение негативных процессов, но тем не менее изменить их нельзя, возможно использовать мероприятия с учетом конкретных условий для оптимизации и улучшения условия проживаний. Условно регулируемые факторы — это факторы влияния производственной среды и факторы энергоинформационного воздействия. Данные факторы оказывают воздействие на окружающую среду и человека. Используя градостроительные средства, а также средства защиты окружающей среды от промышленного воздействия, возможно снизить негативное воздействие факторов данной группы.

Все факторы в зависимости от степени влияния на окружающую среду и человека можно поделить на факторы сильного и слабого воздействия. Причем деление на данные группы можно считать относительным, так как одни

факторы могут проявлять себя в течение короткого времени, но при этом оказывать мгновенное воздействие. Другие факторы могут воздействовать в течение длительного времени, их проявление происходит со временем. В группу факторов сильного воздействия относятся: климатические факторы — это влажность, температура, давление; загрязнения на различных уровнях (почва, вода, воздух). К факторам слабого воздействия относятся: геохимические, геофизические, геологические (в зависимости от масштабности воздействия). Для комплексной оценки градостроительной безопасности необходимо использовать корректирующий коэффициент, учитывающий степень влияния оцениваемого фактора на градостроительную безопасность территории. Данный коэффициент определяется для каждого фактора индивидуально в зависимости от степени воздействия и существующих условий, способствующих распространению негативного фактора, либо усиливающих его негативное воздействие, либо нейтрализующие.

В данной работе рассмотрены природныефакторы, нерегулируемые геологические факторы. К основным геологическим факторам относятся: структура, литологический и петрографический состав пород, глубина и мощность залегания, тектоническая нарушенность. Для оценки градостроительной безопасности также важно проанализировать геологическое строение, характер и форму рельефа, высотные уровни и относительное превышение, распространение многомерзлотных пород и их мощность; криогенное строение льдистость, мощность слоя сезонного промерзания — протаивания, параметры гидрогеологических условий, инженерно-геологические характеристики пород, геологические процессы и явления. Инженерно-геологические условия зависят от следующих факторов: физико-механических свойств пород, подверженность территории к процессу выветривания, геотермельные процессы, глубины залегания пород, неоднородности пород в массиве, физико-геологические явления (карст, оползни, суффозия, многолетняя мерзлота, плывуны и др.), сейсмичность района, массивы пород, находящиеся в напряженном состоянии. Определяются они морфологией, геотектоникой, геохимией, геодинамикой грунтов. Особенности сложения факторов этой группы определяются географическими особенностями территории, соответственно регулировать их невозможно, помимо этого, факторы этой группы оказывают воздействие друг на друга в результате природных процессов и техногенного воздействия, тем самым усиливая негативное влияние на человека и окружающую среду. Геологические и геоморфологические особенности территории лежат в основе предпроектного анализа территории. Эти факторы определяют выбор строительных конструкций и строительных материалов при реализации проекта. Также геоморфология и геология территории определяют выбор планировочного решения застройки. При неблагоприятных условиях необходима разработка дополнительных инженерных мероприятий, влияющих на стоимость строительства. Помимо этого, существующая застройка иногда оказывает неблагоприятное воздействие на геологию среды, изменяя направления и химический состав грунтовых вод, структуру и механический состав грунтов. Изучение данных факторов важно не только на стадии предпроектного анализ и в ходе реализации проекта, но и в процессе градостроительного использования территории, а следовательно, и формирования градостроительной безопасности территории.

Формирование градостроительной безопасности на урбанизированной территории и своевременная ее оценка позволят сформировать устойчивую градостроительную систему. Под устойчивостью градостроительной системы понимается возможность системы возвращаться в состояние равновесия под влиянием внешних негативных факторов. Устойчивость градостроительной системы сохраняется либо за счет возможности адаптироваться к воздействию внешних факторов, либо воспринимать нагрузки в пределах нормы, при этом не изменяться. В результате выделяется 4 класса устойчивости территории: относительно устойчивые, средней устойчивости, низкой устойчивости и неустойчивые. Относительно устойчивые и территории средней устойчивости могут восстанавливать и сохранять свои свойства за счет адаптивности системы. Но потеря устойчивости вызовет необходимость проведения инженерных мероприятий для восстановления благоприятных условий существования и развития градостроительной системы. Территории, которые могут быть определены как с низкой степенью устойчивости и неустойчивые, требуют тщательного планирования и расчета возможных техногенных нагрузок на градостроительную среду, так как в таком случае потребуется сокращение нагрузок и восстановление среды дополнительными инженерно-градостроительными мероприятиями. В соответствии с системным анализом территории по степени устойчивости делятся на инертные, пластичные и восстанавливаемые. Инертными считается градостроительная система, способная сохранять свое состояние при техногенном воздействии в течение определенного времени. Пластичная градостроительная система переходит из одного устойчивого состояния в другое при определенных техногенных нагрузках. Восстанавливаемые градостроительные системы возвращаются в свое первоначальное состояние после изменения техногенных нагрузок. Первые две системы адаптационные, так как способны воспринимать и адаптироваться к техногенным нагрузкам. Последняя — восстанавливаемая, так как при снижении уровня техногенных нагрузок и реализации определенных инженерных мероприятий возвращается в свое первоначальное состояние. Сложность учета и отнесения территорий к какому-либо виду устойчивости связана с собственными характеристиками территории, уровнем воздействия техногенных факторов. С целью оптимизации свойств устойчивости градостроительной системы необходимо введение нормирования экологических нагрузок. Оценка градостроительной системы с точки зрения градостроительной безопасности проводится на основании качественных характеристик. Для определения нормативов и возможной степени воздействия, с целью сохранения устойчивости территории, необходима количественная оценка показателей. Во многих случаях именно геологические и гидрогеологические факторы определяют степень устойчивости территории к возможным техногенным нагрузкам.

На основании бальной оценки геологических условий можно классифицировать следующие участки: благоприятные — требуются обычные мероприятия инженерной подготовки; условно благоприятные — требуются значительные мероприятия по инженерной подготовке территории; ограниченно благоприятные — требуются сложные мероприятия инженерной подготовки; неблагоприятные — требуются специальные трудноосуществимые методы инженерной подготовки.

В работе И. В. Абатурова и И. А. Емельянова [6] предложено использование интегральной оценки компонентов инженерно-геологических условий, основанной на компьютерном моделировании. Данная оценка позволяет прогнозировать возможные условия инженерно-геологических условий в процессе эксплуатации городских территорий.

На территории Волгограда отмечено множество оврагов и балок. По балкам и оврагам правобережья имеется множество плотинных прудов, питающихся паводковыми и подземными водами. Вся территории Волгоградской области подвержена воздействию экзогенных факторов, в большей степени чем эндогенных. Интенсивно проявляются эрозионные процессы и аккумулятивная деятельность временных постоянных водотоков. На значительной части территории города распространены глины майкопской серии [7], что объясняет ряд неблагоприятных геологических процессов, протекающих на территории города. Местами на территории города преобладает пылеватый материал (алевриты), пески. Анализ геологического строения территории города, проведенный исследователями геологами [7], позволил не только составить карту инженерно-геологического районирования территории города, но и сделать вывод о наличии многочисленных участков, неблагоприятных для застройки и создающих значительные сложности при строительстве в связи с наличием слоистых глин, эоловых лессовидных суглинков и супесях. На значительных участках территории отмечены техногенные изменения рельефа, которые проявляются в изменении состава, состояния и структуры грунтов. В результате формируется особый слой по инженерно-геологическим условиям техногенных отложений. На территории Волгограда наблюдаются следующие опасные геологические процессы: эрозионная деятельность текучих вод, выветривание обломочных и осадочных пород, техногенные изменения рельефа, подтопление, оползни, набухание и усадка глин, морозное пучение, просадочность суглинков и супесей, заболачивание, сдвижение грунтов, подземные пожары. Все указанные процессы оказывают негативное воздействие на условия эксплуатации городской среды, осложняя инженерные мероприятия при строительстве. Многие из отмеченных процессов являются следствием неблагоприятного геологического строения грунтов, т. е. природными особенностями территории, но и также являются следствием техногенного воздействия. Активное уплотнение сложившейся застройки способствует проявлению этих процессов.

В Кировском районе города отмечены значительные участки заболоченной территории, что создает достаточно неблагоприятные условия жизнедеятельности. Кировский и Красноармейский районы в пределах Бекетовской низины более подвержены подтоплению. В результате изменения естественных природных условий данные территории более подвержены заболачиванию. Особенно это относится к Кировскому району, что является результатом неблагоприятной обстановки с точки зрения экологической безопасности, так как оказывает воздействие не только на выбор методов строительства, но и, прежде всего, на микроклиматическую ситуацию в данном районе, что неблагоприятно сказывается на здоровье горожан.

Большая часть территории Волгограда сложена глинистыми грунтами, в результате этого происходит набухание глин и суглинков из-за процесса подтопления территории. В случае осушения этой территории происходит высы-

хание грунтов и их чрезмерное уплотнение. Источником влаги, поступающей в грунт, является: ненормируемый полив зеленых насаждений, утечки из водонесущих коммуникаций, инфильтрация атмосферных осадков в условиях нарушенного поверхностного и подземного стока, когда большая часть территории покрыта асфальтом и другими покрытиями, вызывающими нарушение естественного влагообмена.

Эрозионный процесс, протекающий на территории Волгограда, способствует не только разрушению правого берега реки, но и развитию многочисленных оползневых процессов берегов, сложенных малопрочными глинами. В результате неправильного ведения градостроительной деятельности, необдуманного строительства и отсутствия результатов наблюдения в динамике за процессами в течение длительного времени данный процесс изменяет направления разрушения по территории.

Территория города подвержена подтоплению из-за овражных территорий, нарушен выход грунтовых вод. Для освоения овражных территорий часто прибегают к засыпке как средству ликвидации оврагов. Но у данного мероприятия по освоению овражных территорий есть неблагоприятные последствия для градостроительной территории. В частности, изменяется естественный баланс грунтовых вод и их уровень. В зависимости от того, чем засыпают, изменяется химический состав грунтовых вод. Они могут становиться более агрессивными и способствовать проявлению других процессов, таких как карст, суффозия. В результате такого инженерного мероприятия изменяется геохимический состав почв и грунтов, что может сказываться на здоровье населения, и в результате создаются небезопасные условия проживания [8]. В 30-е годы прошлого столетия общая длина оврагов в пределах города составляла 450 км, территория города относилась к густоэродированным районам, неблагоприятным для сплошной застройки [9], сейчас она в два раза меньше.

Все в большей степени проявляется подтопление территории города, как правило, проявляющееся в результате техногенного воздействия. Такое подтопление провоцирует проявление таких процессов, как: повышение влажности грунта и веса, снижение прочности грунтов, развитие оползневых деформаций на склонах, набухание, просадочность, снижение удельного электрического сопротивления и повышение коррозионной агрессивности грунтов, засоление грунтов и подземных вод и ряд др.

Как отмечает Н. А. Самусь в своей работе [9], природные экзогенные факторы также оказывают влияние на развитие оползневых процессов. К таким факторам относятся речная эрозия, абразия берегов водохранилища, сезонные и многолетние колебания уровня поверхностных и подземных вод, сезонное увеличение влажности. Таким образом, при оценке градостроительной безопасности следует учитывать все опасные геологические факторы, протекающие на территории города, и их совокупное влияние на различные процессы. При разработке проектов застройки следует учитывать хронологию данных процессов и разрабатывать мероприятия инженерной подготовки территории, с целью снижения возможности развития процесса, временно затухшего и неразвивающегося из-за снижения техногенной нагрузки на конкретном участке.

В результате ненормируемого полива на таких участках образуются временные верховодки, водоносные линзы над слабопроницаемыми глинами.

Для устранения протекания оползневых процессов 30—80-х годов прошлого столетия на территории города был реализованы ряд мероприятий, вплоть до сноса застройки, находящейся в зоне оползневого процесса. После чего данные процессы стабилизировались, но освоение данных территорий без предварительного изучения и проведения мероприятий инженерной подготовки могут опять начать проявляться. Активное освоение территории, техногенное воздействие на эти территории, ранее отнесенные к неблагоприятным и опасным для застройки, могут спровоцировать затухшие процессы.

Установлено влияние геологических факторов на здоровье населения. В частности, пыль как геологический материал, составляющий поверхностные слои почвы, разрушаемые под действием силы ветра и другого техногенного воздействия, оказывает влияние на оболочку глаза, разрушая ее [10]. Выявлена зависимость детских заболеваний, связанных с кроветворными органами и нарушениями иммунной системы с содержанием радиоактивных и магнитных аномалий. Именно микроэлементный состав почв оказывает влияние на здоровье населения. Аналогичные зависимости влияния геологических и геофизических факторов, проявляющиеся при тектонических разломах почвы, установлены для взрослого населения [11]. Установлена зависимость заболевания сахарным диабетом населения, проживающего на территории преимущественного развития песчаников, заболеваемость в 1,6 раза выше, чем в зоне выхода известняков [12]. Зоны развития карбонатных пород и повышенной концентрации тектонических дислокаций ассоциируются с увеличением содержания железа и бериллия в почве и снижением распространенности заболевания. Территории, сложенные породами континентального происхождения, характеризуются снижением уровня железа и бериллия в почве и относительным повышением распространенности сахарного диабета [13].

В результате землетрясений образуются разломы, которые впоследствии становятся волноводами и проводниками выделяющейся энергии при землетрясении. Именно этот процесс и оказывает влияние на объекты энергопотребления, авиакатастрофы. В соответствии со СП 115.13330.2015 «Геофизика опасных природных воздействий» город Волгоград не подвержен сейсмическим воздействиям интенсивностью более 6 баллов.

Геофизические поля оказывают существенное влияние на функции живых организмов [11, 14]. Организм человека реагирует на изменение эколого-геофизических характеристик, а именно на изменение динамических полей напряжений. Повышение заболеваемости населения установлено при активизации тектонических процессов [15].

Установлено влияние геомагнитных полей при активизации тектонических процессов на здоровье населения [15]. В частности, отмечено, что при активизации тектонических процессов увеличивается численность населения, перенесших такие заболевания, как: анемия, миопия, отит, ревматизм, инфаркт миокарда, пневмония. Есть прямые факторы воздействия: пыль атмосферная, содержащаяся в геологическом материале; физические поля; химические соединения. Физические поля и химические соединения формируются в результате геолого-производственной деятельности.

С. Е. Байда [16] связывает активность проявления гелиогеофизических факторов с циклами солнечной активности и лунными циклами, а также угрозами метеорологических явлений, т. е. усиление активизации циклониче-

ских процессов, аномальная засуха в одних районах и высокий уровень осадков в других. В результате проявления гелиогеографических факторов учащаются техногенные катастрофы, увеличивается частота их проявления, в результате — аварии на энергообъектах. Связано с циклами луны, при повышении солнечной активности возможно проявление более тяжелых последствий. Проявление солнечной активности оказывает воздействие на проявление эпидемии заболеваний. Эпидемии начинаются 2-3 года перед и после пика солнечной активности [17].

Влияние этих факторов на здоровье населения изучено и доказано [18], это подтверждает факт необходимости изучения и детальной проработки при проектировании и эксплуатации жилого пространства в урбанизированной среде, с целью формирования градостроительного безопасного пространства. Геодинамическая активность территории является ведущим фактором в формировании многих геохимических аномалий. Эти аномалии оказывают влияние на здоровье населения и состояние окружающей среды [19].

Таким образом, рассмотренные факторы, проявляющиеся на территории Волгограда, свидетельствуют о необходимости их определения для оценки градостроительной безопасности города. Это связано с неблагоприятным природно-геологическим строением почвы на большей части города. В связи с техногенным воздействием и недостаточной изученности протекающих процессов, а именно последствий техногенного воздействия, эти факторы усиливаются, проявляясь в различных природно-геологических процессах: оползни, обвалы, эрозия, морозное пучение и ряд др. В результате стоимость ликвидации последствий может быть гораздо выше суммарной стоимости строительства и исследований. В связи с имеющимися разломами почв существует вероятность проявления физических процессов в результате выхода энергии Земли на поверхность. Эти факторы оказывают влияние в большей степени на здоровье человека. Таким образом, оценка геологических и геофизических факторов для определения градостроительной безопасности соответствует 5 и 7 баллам из 10 максимально возможных, при условии отсутствия опасного их воздействия на урбанизированную среду. При детальной оценке градостроительной безопасности по территории города корректирующий коэффициент необходимо принимать с учетом имеющихся опасных геологических процессов, геофизических полей и плотности застройки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Растяпина О. А.* Направления оценки градостроительной безопасности // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2015. № 4(40). Ст. 9. URL: http://www.vestnik.vgasu.ru/

2. *Rastyapina O. A., Korosteleva N. V.* Urban safety development methods // Procedia Engineering. T. 150. Elsevier BV, 2016. C. 2042—2048.

3. Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development adopted by the UN Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3—14 June, 1992. URL: http://www.un-documents.net/rio-dec.htm

4. The Johannesburg Declaration on Sustainable Development adopted at the World Summit on Sustainable Development Summit. Johannesburg, South Africa, 26 August — 4 September 2002. URL: http://www.un-documents.net/jburgdec.htm

5. Declaration on the Human problems of the United Nations Conference Environment Adopted Konfrentce UN Human Environment, 1972. URL: http://www.un-documents.net/unchedec.htm

6. *Абатурова И. В., Емельянова И. А.* Интегральная оценка компонентов инженерно-геологических условий городской инфраструктуры в криогенной зоне (на примере г. Надым) // Литосфера. 2013. № 6. С. 105—111.

7. *Самусь Н. А., Игнатенко О. Н., Самусь А. Н.* Инженерная геология Волгоградской агломерации (практический опыт). М.: ООО «Геомаркетинг», 2010. 304 с.

8. *Volfson I. F., Paul W., Pechenkin I. G.* Geochemical anomalies: sickness and health // Man and the Geosphere / Florinsky I. V. (ed.). New York, 2010. Pp. 69—113.

9. *Самусь Н. А.* Оползневые процессы на территории Волгоградской агломерации // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2007. № 6. С. 86—101.

10. Геологические факторы риска глазных болезней / И. Ф. Вольсон, Е. В. Кремкова, И. Г. Печенкин, Е. Г. Фаррахов // Клиническая геронтология. 2006. Т. 12. № 7. С. 44—46.

11. *Шитов А. В.* Роль геологических факторов изменения заболеваемости населения республики Алтай // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 332. С. 192—196.

12. *Фархутдинов И. М., Фархутдинова Л. М.* Влияние геологических факторов на развитие сахарного диабета на примере республики Башкортостан // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2014. № 20. С. 85—88.

13. *Фархутдинов И. М., Фархутдинова Л. М., Суфияров Р. С.* Региональные геологические факторы и сахарный диабет // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 3. С. 38—46.

14. *Shitov A. V.* Helth of people living in a seismically active region // Man and the Geosphere / Florinsky I. V. (ed.). New York, 2010. Pp. 185—213.

15. *Шитов А. В., Харькина М. А.* Роль геологических факторов в изменении заболеваемости населения // Геология, география и глобальная энергия. 2008. № 2(29). С. 121—124.

16. *Байда С. Е.* Проблема 2012: оценка реальных угроз // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8. № 1. С. 74—91.

17. Influence of helio-geophysical factors (HGF) on environments, on health state and reliability of man's professional functioning, on processes of society development / A. I. Mikhailov, I. A. Shilova, P. M. Shalimov, Y. I. Gurfikel, V. L. Voeikov // Journal of gravitation physiology: a journal of the international society for gravitation physiology. 2002. No. 1—9. Pp. 335—336.

18. Geology and ecosystems: international union of geological sciences (iugs) commission on geological sciences for environmental planning (cogeo environment) commission on geosciences for environmental management (gem) / I. S. Zektser, B. Marker, J. Ridgway, G. Vartanyan. Springer, 2006. 372 p.

19. *Копылов И. С.* Региональные геологические факторы формирования экологических условий // Успехи современного естествознания. 2016. № 12-1. С. 172—177.

*© Растяпина О. А., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июле 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Растяпина О. А.* Анализ геологических факторов Волгограда для оценки градостроительной безопасности территории города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 217—227.

*Об авторах:*

**Растяпина Оксана Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, o_kast@list.ru

***O. A. Rastyapina***

## THE ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL FACTORS OF VOLGOGRAD FOR THE ASSESSMENT OF THE TOWN-PLANNING SAFETY

The theoretical analysis of the researches conducted on the territory of the city is carried out with the purpose of determining the geological processes influencing the development of the territory. The analysis of studies on the influence of unfavorable geological factors on public health and the environment is carried out. The necessity of the analysis of the geological factors under the conditions of the urbanized environment for the assessment of the town-planning safety and the formation of favorable conditions of residing of the population is grounded. The assessment of the town-planning safety on geological factors is given.

K e y w o r d s: geological factors, geophysical fields, town-planning safety, assessment of the geological factors, assessment of the town-planning safety.

REFERENSES

1. Rastyapina O. A. [Areas of assessment of urban planning security]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015, no. 4(40), paper 9. URL: http://www.vestnik.vgasu.ru/

2. Rastyapina O. A., Korosteleva N. V. Urban safety development methods. *Procedia Engineering*, т. 150. Elsevier BV, 2016. С. 2042—2048.

3. *Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development adopted by the UN Conference on Environment and Development*, Rio de Janeiro, 3—14 June, 1992. URL: http://www.un-documents.net/rio-dec.htm

4. *The Johannesburg Declaration on Sustainable Development adopted at the World Summit on Sustainable Development Summit*. Johannesburg, South Africa, 26 August — 4 September 2002. URL: http://www.un-documents.net/jburgdec.htm

5. *Declaration on the Human problems of the United Nations Conference Environment Adopted Konfrentce UN Human Environment*, 1972. URL: http://www.un-documents.net/unchedec.htm

6. Abaturova I. V., Emelyanova I. A. [Study of changes in structural characteristics of destructible rock samples on the observations of volume activity radon variations]. *Litosfera* [Lithosphere], 2013, no. 6, pp. 105—111.

7. Samus' N. A., Ignatenko O. N., Samus' A. N. *Inzhenernaya geologiya Volgogradskoi aglomeratsii (prakticheskii opyt)* [Engineering geology of Volgograd agglomeration (field experience)]. Moscow, OOO Geomarketing, 2010. 304 p.

8. Volfson I. F., Paul W., Pechenkin I. G. Geochemical anomalies: sickness and health. Florinsky I. V. (ed.). *Man and the Geosphere*. New York, 2010. Pp. 69—113.

9. Samus' N. A. [Landslide processes on the territory of Volgograd agglomeration]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Izvestia of the Volgograd State Pedagogical University], 2007, no. 6, pp. 86—101.

10. Volfson F., Kremkova E. V., Pechenkin I. G., Farrakhov E. G. [Geologic risk factors of eye diseases]. *Klinicheskaya gerontologiya* [Clinical Gerontology], 2006, 12(7), pp. 44—46.

11. Shitov A. V. [Role of geological factors in the Altai Republic population sickness rates changes]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Journal], 2010, no. 332, pp. 192—196.

12. Farkhutdinov I. M., Farkhutdinova L. M. [Influence of geological factors on the development of diabetes mellitus by the example of the Republic of Bashkortostan]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov AN RB* [Geology. Izvestia of the Department of Sciences about Earth and Natural Resources of the Academy of Sciences, the Republic of Bashkortostan], 2014, no. 20, pp. 85—88.

13. Farkhutdinov I. M., Farkhutdinova L. M., Sufiyarov R. S. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Regional geological factors and diabetes]. [Bulletin pf Tomsk Politechnic University], 2016, 327(3), pp. 38—46.

14. *Shitov A. V.* Helth of people living in a seismically active region. Florinsky I. V. (ed.). *Man and the Geosphere* New York, 2010. Pp. 185—213.

15. Shitov A. V., Khar'kina M. A. [The role of geological factors in the variation of morbidity of the population]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2008, no. 2(29), pp. 121—124.

16. Baida S. E. [The problem of 2012: evaluation of real threats]. *Problemy analiza riska* [Problems of risk analysis], 2011, 8(1), pp. 74—91.

17. Mikhailov A. I., Shilova I. A., Shalimov P. M., Gurfikel Y. I., Voeikov V. L. Influence of helio-geophysical factors (HGF) on environments, on health state and reliability of man's professional functioning, on processes of society development. *Journal of gravitation physiology: a journal of the international society for gravitation physiology*, 2002, no. 1—9, pp. 335—336.

18. Zektser I. S., Marker B., Ridgway J., Vartanyan G. (eds.). *Geology and ecosystems: international union of geological sciences (iugs) commission on geological sciences for environmental planning (cogeo environment) commission on geosciences for environmental management (gem)*. Springer, 2006. 372 p.

19. Kopylov I. S. [Regional geological factors of formation of environmental conditions]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2016, no. 12-1, pp. 172—177.

*For citation:*

Rastyapina O. A. [The analysis of the geological factors of Volgograd for the assessment of the town-planning safety]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 217—227.

*About authors:*

**Rastyapina Oksana Anatol'evna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, o_kast@list.ru

УДК 72.017 (1-21)

***О. А. Растяпина, К. В. Бабенко***

***Волгоградский государственный технический университет***

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Проведен анализ методов исследований визуального пространства городской среды. Обоснована необходимость оценки визуального пространства города Волгограда для формирования благоприятной городской среды с точки зрения визуального пространства. Рассмотрены основные методы оценки качественных показателей, которые как раз и определяют визуальную составляющую городского пространства.

Ключевые слова: зрительная оценка городского пространства, визуальная среда, методы анализа визуальной среды, оценка визуальной среды.

Городское пространство представляет собой взаиморасположение различных городских элементов для осуществления связей в процессе развития и функционирования города. В планировочной структуре города принято выделять «каркас» пространственной организации, образованный системой транспортных магистралей, коммуникационных узлов, а также связанных с ними зданий и сооружений городского значения. Именно каркас города определяет его дальнейшее развитие и планировочную структуру.

Пространственную (территориально-планировочную) структуру города образуют территории (функциональные зоны) различного назначения, взаимодействующие между собой (селитебные, рекреационные, промышленные и т. д.). Важную роль в структуре города играет также коммуникационная сеть, которая обеспечивает взаимосвязь между этими элементами. В процессе взаимодействия этих компонентов, тесно связанных между собой, усиливаются и противоречия между ними.

Целью благоустройства городского пространства должно являться максимальное обеспечение в удовлетворении всего многообразия потребностей населения и взаимоотношения отдельных людей с другими компонентами урбосистемы. В городской среде необходимо создать благоприятные санитарно-гигиенические условия, пространственную организацию для различных видов деятельности (труда, быта, отдыха и т. д.), приблизить людей к природе, создавать вблизи жилых массивов и домов зеленые зоны отдыха, избавляя тем самым человека от утомительной монотонности городского пространства путем строительства домов различной конфигурации или окраски.

Пространственная организация города и его архитектурные объекты составляют визуальное пространство города. Оно индивидуально и складывается в течение длительного периода времени под воздействием целого комплекса исторических, культурных, социально-экономических событий и процессов. Пространственная организация среды, в которой живет человек, очень тесно взаимосвязана с его образом жизни.

Ежедневно в городской среде каждый человек удовлетворяет широчайший круг потребностей (биологических, психологических, социальных, трудовых и т. д.). Любой человек, безусловно, испытывает потребность в ком-

фортных условиях среды — хорошем воздухе, воде, пространстве, словом, наличии экологичной, чистой и привычной комфортной среды. Подобная экологизация потребностей связана с поддержанием хорошего состояния естественной, природной и искусственно созданной человеком средой. Но сформированные пространства большинства современных городов не обладают достаточным объемом и уж тем более качеством нужной человеку среды, она не соответствует исторически сложившимся сенсорным воздействиям, продуцирует множество довольно острых социальных проблем, в частности, вопросы загрязнения различными источниками окружающей среды. В условиях масштабных преобразований в обществе в области потребления информации произошел ряд значительных социокультурных изменений, который привел к тому, что повсеместно возрастает внимание различных наук к вопросу изучения визуального восприятия пространства современного города и методам его изучения.

Городская среда — сложное субъектно-объектное единство, включающее в себя множество пространственно-функциональных и поведенческих взаимодействий. Для того чтобы среда города в полной мере могла отвечать этим требованиям без ущерба и вреда здоровью горожан в ней необходимо создать ощущение психологического удобства, комфорта и безопасности. Иными словами, исключить все негативные влияния и воздействия со стороны городской среды на человека и его мироощущение.

Такая все более возрастающая в современном обществе роль визуальности в формировании социального устройства обусловлена общим ускорением ритма жизни, который, в свою очередь, вынуждает человека порой мгновенно ориентироваться в обилии окружающей его информации, все чаще транслируемой визуально, а не вербально, как это преимущественно осуществлялось раньше. Но, к сожалению, опыт изучения и разработанность методологической базы еще слишком мал и не способствует адекватной системе оценки и прогнозирования для необходимых изменений и улучшений пространства городов с целью сделать их более комфортными и удобными для людей.

Существенное значение в создании комфортной обстановки на территории города, а также в улучшении условий восприятия городской среды имеет наличие зеленых территорий: скверов, парков, садов, которые будут играть роль безопасных оазисов, помогающих разгрузить и структурировать пространство города. Говоря о видимой среде, как об экологическом факторе, следует обратить внимание на то, что человек, как биологический вид, формировался в определенных естественных условиях среды, в которых преобладала и определенная цветовая гамма, с колоссальным разнообразием природных образований и деталей, сенсорно воздействующих на органы чувств. Для средней географической зоны в постоянном видимом поле человека преобладал зеленый цвет, а для среды было характерно самое разнообразное количество красивых природных пейзажей (это и леса, горы, реки, холмы и т. д.). Колористика растительного окружения обладает способностью воздействовать на человека, на его эмоциональное состояние, волновать или успокаивать, создавать определенное настроение, вызывать ассоциативные сравнения, а также формировать в сознании людей ощущение красоты и умиротворения. Природный ландшафт местности позволяет глазу «отдыхать» и воспринимать визуальную информацию без серьезных возрастающих на-

грузок на органы зрения, как это происходит в городской среде. В природе преобладают «живые» цвета (благоприятный для глаза зеленый цвет и др.), произвольные формы, человек точно знает, на каком объекте сфокусировано его зрение, каково примерное расстояние до этого объекта, его характерные черты (к примеру, размер). Поэтому комфортная визуальная среда должна создавать благоприятные условия для проявления физиологических механизмов зрения. И совершенно очевидно, что грамотно организованная искусственная среда должна приближаться к естественной.

Прежде чем перейти к рассмотрению и подробному изучению методов оценки зрительного восприятия городского пространства важно понять, что визуальное восприятие города туристами, пребывающими в нем, и его жителями будут существенно различаться. Так происходит потому, что жители, пребывая в среде своего города, ежедневно сталкиваются с его основными элементами, они знакомы с его структурой, планировкой, возможно также, располагают той или иной информацией о каких-либо конкретных его местах. Продолжительное пребывание в городе заставляет его жителя проживать события, накапливать в ходе жизни воспоминания, которые могут быть как приятными, так и неприятными, которые накладывают свой отпечаток на образ города, а любые малейшие изменения или преобразования в городской среде не остаются незамеченными от глаз горожанина. Для него городская среда становится обыденной, лишенной импульсов, а эстетическая его сторона постепенно отходит на второй план, уступая свое место функциональному аспекту.

Совсем иначе процесс восприятия осуществляется у приезжих — туристов. Это происходит потому, что они не знают город, а от новых впечатлений склонны испытывать эмоциональный подъем. Они воспринимают и впитывают в себя все, что видят вокруг, таким образом, изучая окружающее пространство. А полученные впечатления получаются недолговечными и со временем могут и вовсе исчезнуть. Кроме всего перечисленного, при восприятии города туристом могут накладываться еще и впечатления от пребывания в нем их знакомых, образов, создаваемых открытками, фотографиями, брошюрами, буклетами и путеводителями.

Любой город должен определять направление и приоритеты своего развития. М. Вебер в своих работах рассуждал о типах города: город производителей, город потребителей, торговый город и города сельскохозяйственного типа. Одним из приоритетов развития Волгограда является формирование туристической инфраструктуры. Разработана муниципальная программа по созданию условий для развития туризма на территории Волгограда на 2016—2018 гг., которая будет осуществляться в один этап, обеспечивающий непрерывность решения поставленных задач, а именно создание условий для развития въездного и внутреннего туризма. В рамках данной программы планируется увеличить туристическое прибытие в город до 429 500 человек в год. Кроме того, в 2018 г., в преддверии Чемпионата мира по футболу, планируется наплыв туристов, поэтому вопрос о формировании благоприятного пространства очень актуален для нашего города. Турист должен приехать, запечатлеть образ города и вернуться с положительными впечатлениями и воспоминаниями, которыми он поделится со своими друзьями и близкими. Его оценка должна зарекомендовать наш город таким образом, чтобы обеспечить в дальнейшем возрастающий поток туристов. К сожалению, современная

практика проектирования архитектурной среды города все больше ведет к размыванию сложившегося образа города в сознании его жителей и приезжих гостей и зачастую деформирует его. Подобная ситуация затрудняет процесс ориентации человека в городской среде, усложняет восприятие визуального пространства города. Таком образом, формирование благоприятного пространства и оценка степени благоприятности пространства города становится одной из актуальнейших задач текущего времени для нашего города.

Для оценки визуального пространства следует использовать методы исследования городского пространства. Для исследования и изучения особенностей восприятия визуального образа города в сознании местных жителей и туристов могут использоваться как общие методы, так и специальные. К общим методам будут относиться анкетирование, социологический опрос, интервью, контент-анализ. К специальным методам исследования — анализ ментальных карт, архитектурный семантический дифференциал, анализ видео- и фотоматериалов, go-along, а также ряд его модификаций, автоэтнография, декодирование, квалиметрия. Далее рассмотрим подробнее каждый из перечисленных методов.

Одним из первых предложивших оценку зрительного восприятия пространства был В. А. Филин. Методика, предложенная им, основана на автоматии саккад. Согласно этому свойству глазодвигательный аппарат человека совершает быстрые непроизвольные перемещения взгляда (около двух и более раз в секунду, именуемые «саккады») в определенном ритме как в состоянии бодрствования, независимо от наличия или отсутствия зрительных объектов, так и в парадоксальной стадии сна — фазе, при которой электроэнцефалограмма регистрирует даже большую активность мозга человека, чем в бодрствующем состоянии.

Визуальную среду человека формируют предметы разной величины, разной четкости, разного цвета, часть из которых он видит хорошо, а часть — плохо. Международным центром «Видеоэкология» были проведены специальные исследования, показавшие, что на автоматию саккад большое влияние оказывает наличие контуров в поле зрения, но при этом переход от темного безориентированного поля к светлому существенного значения для глаз не имеет. При формировании видимой среды в окружающем человека пространстве должно быть достаточное количество хорошо различимых глазом предметов.

В процессе урбанизации произошло резкое изменение видимой среды — в большинстве городов господствуют оттенки серых цветов. Изменилась и структура цветовых элементов, стали преобладать прямые линии, прямые углы, огромное количество больших плоскостей, имеющих однородную окраску. Наибольший вред органам зрения и психическому состоянию человека, с точки зрения видеоэкологии, наносят агрессивные визуальные поля — среды, состоящие из множества одинаковых, равномерно распределенных зрительных элементов. Самые распространенные примеры — многоэтажный жилой дом со множеством окон, группы домов, выкрашенные в одни и те же цвета, большие остекленные плоскости, торцы зданий, которые и вовсе не подразумевают наличие каких-либо визуально выделяющихся элементов, за которые глаз мог бы «зацепиться» после саккады. Считается, что более девяти повторяющихся подряд элементов являются агрессивной средой для органов зрения.

Существует также гомогенная видимая среда, в которой и вовсе отсутствуют визуально различимые элементы либо их количество резко снижено. В окружении гомогенных полей глаз не может полноценно работать, в такой среде ему не за что «зацепиться». В результате длительного пребывания человека в такой среде возникает ряд проблем, связанных с его здоровьем: психические расстройства, близорукость, повышенная агрессивность, которая с накоплением приводит к более острым последствиям — росту конфликтов и зарождению преступности.

Методы анкетирования и социологического опроса подразумевают создание анкеты для последующего распространения их респондентам, при этом личный контакт с опрашиваемыми вовсе не обязателен, как того требует метод интервью. Помимо этого, специфика последнего заключается в наблюдении за реакцией респондента при опросе, это позволяет исследовать особенности восприятия городской среды в сознании различных групп людей как жителей, так и гостей города.

При обработке результатов, полученных в ходе анкетирования или социологического опроса, используется метод контент-анализа для выявления наиболее частых образов [1, 2]. Кроме того, данный метод может быть использован при анализе фото- и видеоматериалов, которые будут относиться к специальным методам исследования.

При изучении образа города, возможно, увидеть не только рациональное знание горожан о городе, но и формируемые ими в сознании желания, воспоминания, переживание той среды, в которой они живут. Ментальные (или когнитивные), т. е. формируемые в сознании человека, мысленные представления о визуальном образе города позволяет получить метод анализа ментальных карт, который, как инструмент сбора данных, требует формализованных и теоретически обоснованных методов анализа [3—6]. Выделяют следующие отличительные свойства ментальных карт: они создаются для исследования непосредственными создателями ментальных карт — информантами. Изучаемые представления являются визуализированными и приоритетными (как правило, в центр человек помещает место, наиболее важное для него, или же место, где он чаще всего бывает), отражающими свое видение изучаемой местности или той площади участка пространства (например, часть города или только участок около дома) [7]. Анализ ментальных карт должен складываться вокруг постижения связности, опознаваемости и эмоционально-практической значимости городских объектов для информантов. Помимо этого, целью ряда исследований является изучение того, как при передвижении по городу изменяется представление человека об окружающем его пространстве и дополняется, и изменяется ментальная карта. Говоря о применении данного метода, можно выделить два направления анализа: первое — изучение специфики восприятия какого-либо пространства разными группами людей (детьми, пожилыми людьми, маломобильными группами населения и т. д.), другое направление связано с лонгитюдными исследованиями, которые изучают изменение восприятия пространства определенным человеком (например, туристом по мере его узнаваемости местности).

Методы анализа видео- и фотоматериалов могут применяться с использованием уже имеющихся изображений, а также с созданием собственных

изображений, на основе которых происходит исследование. Впоследствии данные методы могут использоваться для исследования нового облика города, сравнения туристического восприятия визуального образа города с образом, создаваемым менеджерами [8]. Однако исключительно в чистом виде метод анализа видеозаписей позволит получить информацию о практиках передвижения по городу, но не изучить восприятие городского пространства. Для этого необходимо совместить метод анализа видеозаписей с последующим интервью. Сначала происходит съемка на видео, после исследователь и респондент вместе просматривают видео, и исследователь задает вопросы. При ответе респондент может апеллировать к видео, которое позволит вербализовать чувственные ощущения, тем самым увеличив каналы передачи информации, позволяющие исследователю глубже постичь восприятие другого человека. Кроме того, комбинация этих двух методов позволит решить частную проблему разрыва между эмоциями или ощущениями, которые не могут быть напрямую переданы от одного человека другому (так называемая mind-body problem).

В 60-х гг. XX в. стали зарождаться предпосылки к изучению влияния городской среды на человека, которые потребовали привлечения как архитекторов, так и психологов. И неслучайно, так как именно психология занимается изучением теории восприятия. Для исследований, в частности, связанных с восприятием человека определенных объектов или процессов используется метод семантического дифференциала — процедура, впервые предложенная Чарлзом Осгудом, который в 1972 г. исследовал эмоциональные реакции на различные эстетические объекты. Данная процедура при большом числе респондентов позволит получить общественно закрепленную оценку изучаемого объекта. Общее количество баллов, приписанных объекту, суммируется, но результаты будут представлять собой дробные величины, поскольку общая сумма баллов будет делиться на количество испытуемых. Данная методика получила довольно широкое распространение во многих областях, в том числе смежных с психологией.

Метод go-along подразумевает передвижение исследователя и респондента по городу, при этом происходит наблюдение за реакцией опрашиваемого на объекты визуального образа города, выявляются ассоциации, эмоции, которые вызывают эти объекты и места, мимо которых они проходят, просматривается связь визуального образа города с личными воспоминаниями и переживаниями человека, предыдущим жизненным опытом. При использовании данного метода чувство места обостряется, ведь момент восприятия визуального образа города осуществляется непосредственно в настоящее время [9]. Перемещение по знакомой территории сродни просмотру личного дневника или альбома с фотографиями, позволяет во время передвижения в пространстве как бы связать прошлое и будущее. Когда люди при движении по городу сталкиваются со знакомыми местами, они начинают спонтанно рассказывать о своих воспоминаниях, событиях своей жизни, которые связаны с этими местами, об истории взаимоотношений с какими-либо людьми, которые, в свою очередь, так или иначе тоже были связаны с этими местами. Все это объясняется фундаментальным свойством человеческой психики воскрешать в памяти события, переживания, вспоминая места, где они проходили.

Однако, независимо от этого, у данного метода есть несколько недостатков — влияние интервьюера на восприятие городского пространства и передвижение по нему. Снизить некоторую напряженность, а также заставить респондента меньше обращать внимание на интервьюера можно посредством проведения go-along с двумя респондентами (друзьями или парой). Также этот метод не может быть использован, если человек не может разговаривать во время той деятельности, которой он занимается, это может быть тяжелая физическая работа или занятия, во время которых требуется молчать. Интересным моментом является то, что у метода go-along имеется ряд модификаций, отличающихся средствами передвижения. Walk-along — движение пешком, ride-along — на машине или велосипеде. Этот метод наиболее актуален для города Волгограда, так как планировочная структура города «растянута» вдоль реки Волга и различные исторические места города располагаются на значительном удалении друг от друга.

Метод автоэтнографии, суть которого будет раскрываться далее, аналогичен предыдущему, но с участием одного исследователя, который одновременно является как объектом, так и субъектом исследования, при котором им осуществляется фиксация собственных перемещений по городу и своего восприятия визуального образа города. Особенностью является то, что, поскольку исследователь — носитель определенной культуры, ему необходимо суметь абстрагироваться и взглянуть на свои ощущения со стороны и проанализировать их [10]. Метод автоэтнографии связан с изучением исследователем собственного опыта для понимания опыта культурного. Имеется ввиду, что исследователь сам является носителем определенной культуры, а следовательно, описание его собственного опыта является одновременно описанием самой культуры.

Очевидная проблема использования данного метода состоит в субъективности восприятия. Кроме того, достаточно сложно создать объективное описание какой-либо практики, исходя исключительно из опыта одного носителя. Хотя в некоторых случаях эта проблема может быть не столь существенной, если нет значительных различий в описании опыта между различными людьми. Например, Д. Спинни [11] изучил восприятие пространства при передвижении по городу на велосипеде, используя метод автоэтнографии и метод ride-along с другими велосипедистами, и пришел к выводу, что восприятие этой практики различными людьми практически идентично.

Метод декодирования города, разрабатываемый Вайной Чен, позволяет выявить те объекты городской действительности, посредством которых люди воспринимают визуальный образ города и под воздействием которых в дальнейшем формируется их впечатление о нем [12].

Квалиметрический анализ эстетичности позволяет выявить те первичные эстетические характеристики (например, пропорциональность, цвет, масштабность, нюанс, ритм и т. д.), совокупность которых и определяет эстетическое впечатление от того или иного архитектурного объекта. А также определить математические закономерности сочетаний этих характеристик, которые бы соответствовали каждой отдельной градации количественной оценки эстетичности. Если такие закономерности будут найдены, то окажется возможным определить значение показателя эстетичности по любому конкретному архитектурному объекту, не прибегая для этого к помощи экспертов [13].

Таким образом, чтобы можно было определить необходимый и достаточный уровень формирования комфортного и благоприятного городского пространства нужно определить степень его неблагоприятного воздействия на человека, выявление которого возможно, благодаря совместному использованию различных методов социологического исследования (анализа видеозаписей и интервью, анализа ментальных карт и интервью, go-along, который сам по себе является синтезом двух методов — интервью и наблюдения).

Волгоград — это город с богатой историей. Протяженность города около 90 км. Практически каждый район города обладает своей исторической значимостью. Поэтому анализ и оценка визуального облика города должна проводиться с учетом архитектурно-исторической значимости города. На сегодня в городе строятся новые современные здания, которые порой не вписываются в образ исторической застройки. Для развития туристических направлений необходимо формирование туристических маршрутов, по которым туристы передвигаясь могут обозревать современные тенденции развития города с существующими историческими постройками.

На основании проведенных исследований визуального пространства города должна быть проведена оценка городского пространства, по результатам которой разработаны рекомендации, определяющие тенденции строительства, улучшающие восприятие городского пространства. Словом, для того чтобы сформировать яркий, художественно полноценный и выразительный облик города, способствующий созданию благоприятных условий для жизнедеятельности человека, удовлетворяющий его эстетические, функциональные и культурные потребности, в нем должны активную роль играть многочисленные элементы современной архитектуры, произведения садово-паркового искусства, ландшафтная архитектура и внешнее благоустройство, произведения монументально-декоративного искусства, вечернее световое и цветовое решение города. Произведения монументально-декоративного искусства, формирующиеся в системе внешнего благоустройства в художественно-декоративные композиции (скульптурные, живописно-графические), создают уникальную художественно-эстетическую среду, обладающую активным идейно-образным содержанием, оказывающим большое влияние на воспитание населения. На основании проведенных исследований восприятия городского пространства [14] установлено, что в формировании архитектурного облика города малые архитектурные формы играют значительную роль. Они дополняют и развивают общую градостроительную идею, являются одним из средств создания выразительности и разнообразия городских пространств. Применение малых архитектурных форм позволяет сравнительно незначительными средствами добиться большого художественного эффекта, придать отдельным элементам застройки особую индивидуальность без нарушения целостности всей композиции, внести оживление и разнообразие. Объекты малых архитектурных форм остаются в памяти прохожих, формируя неповторимое впечатление, являясь островками изящных дизайнерских решений среди рядов безликих строений.

Урбанизация внесла существенные изменения в жизнь человека, и это касается не только плохого воздуха, загрязненной воды и повышенной радиации, о которых часто говорится в связи с экологическими проблемами. Резко изменена постоянная видимая среда, ее цветовая гамма и структура цветовых эле-

ментов. На наш взгляд, если разложить компоненты городской среды, такие как здания, озеленение, с учетом их исторической, архитектурной значимости, то можно использовать более универсальную методику количественной оценки качественных показателей. Результаты оценки также важны, ведь на основании полученных результатов впоследствии будут разрабатываться мероприятия по оптимизации градостроительного пространства.

На основании проведенного анализа методов оценки зрительного восприятия урбанизированного пространства можно сделать вывод, что общие и специальные методы достаточно универсальны и могут быть использованы, когда маршрут движения (туриста, жителя) известен. Данные методы могут быть рекомендованы к использованию для определения оценки сформировавшейся городской среды. Для выявления недостатков и преимуществ городской среды рекомендуется использовать метод квалиметрии. Данный метод позволит не только оценить визуальную среду города, но и определить факторы, формирующие качество восприятия визуальной среды, что в дальнейшем позволит сформировать благоприятную урбанизированную среду с точки зрения ее восприятия человеком. Именно оценка визуального восприятия урбанизированной среды позволит определить тенденции в формировании благоприятного облика городского пространства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шемелина О. С., Ванина О. Е.* Образ города Новосибирска в представлении студентов // Сибирский педагогический журнал. 2012. № 8. С. 248—254.

2. *Шемелина О. С., Ванина О. Е.* Особенности восприятия городской среды жителями малых городов (на примере городов Новосибирской области) // Баландинские чтения: сб. ст. 8-е науч. чтения памяти С. Н. Баландина, Новосибирск, 18—20 апр. 2013 г. Новосибирск, 2014. С. 386—395.

3. *Милграм С.* Эксперимент в социальной психологии. СПб.: Питер, 2000. 336 с.

4. *Замятин Д. Н.* Локальные истории и методика моделирования гуманитарно-географического образа города // Гуманитарная география: научный и культурно-просветительский альманах. М.: Институт Наследия, 2005. Вып. 2. С. 276—322.

5. *Митин И. И.* Мифогеография города: семиозис пространственных мифов и проектирование имиджа места // Нижний Новгород в историко-культурной традиции России: материалы VI Междунар. науч.-практич. конф. по региональной культуре. Н. Новгород: НГЛУ им. Н. А. Добролюбова, 2005. С. 115—116.

6. *Семенова В.* Картирование городского пространства: основные подходы к визуальному анализу // Визуальная антропология: городские карты памяти / под ред. П. Романова, Е. Ярской-Смирновой. М.: ООО «Вариант», ЦСПГИ, 2009. С. 67—81.

7. *Веселкова Н. В.* Ментальные карты города: вопросы методологии и практики использования // Социология: методология, методы, математическое моделирование. 2010. № 31. С. 2—39.

8. *Лобанова А. С.* «Да, не в тему, но красиво же, красиво!»: Восприятие городского пространства жителями Йошкар-Олы // Журнал социологии и социальной антропологии. 2014. Т. 17. № 4(45). С. 124—135.

9. *Salesses P., Schechtner K., Hidalgo C. A.* The Collaborative Image of The City: Mapping the Inequality of Urban Perception // PLOS ONE. 2013. Vol. 8. No. 7. 12 p.

10. *Бангерт М. А.* Образ как воплощение «души» города: тактика проектного восприятия // Образ человека будущего: кого и как воспитывать в подрастающих поколениях / под ред. О. А. Базалука. Киев: Кондор, 2011. Т. 1. С. 259—266.

11. *Spinney J. A.* Chance to catch a breath: using mobile video ethnography in cycling research // Mobilities. 2011. Vol. 6. No. 2. Pp. 161—182.

12. *Weina Ch.* Decode the City: A Methodological Study Responding to the New Trend of City “Re-image” Montreal as a Case. School of Urban Planning. McGill University. Montreal, 2009. 75 p.

13. *Азгальдов Г. Г.* Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. М.: Стройиздат, 1989. 264 с.

14. *Растяпина О. А., Бабенко К. В.* Необходимость формирования визуального пространства в городах с целью обеспечения экологической безопасности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 47(66). С. 384—395.

*© Растяпина О. А., Бабенко К. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июне 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Растяпина О. А., Бабенко К. В.* Методы оценки зрительного восприятия городского пространства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 228—238.

*Об авторах:*

**Растяпина Оксана Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, o_kast@list.ru

**Бабенко Кристина Викторовна** — магистрант кафедры экологического строительства и городского хозяйства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, k210594@yandex.ru

***O. A. Rastyapina, K. V. Babenko***

## METHODS OF ESTIMATION OF THE VISUAL PERCEPTION OF THE URBAN SPACE

The article analyzes the methods of studying the visual space of the urban environment. The necessity to evaluate the visual space of the city of Volgograd for the formation of a favorable urban environment, from the viewpoint of visual space, is grounded. The main methods for estimating qualitative indicators, which determine the visual component of the urban space, are considered.

K e y w o r d s: visual evaluation of the urban space, visual environment, methods of the visual environment analysis, assessment of the visual environment.

REFERENSES

1. Shemelina O. S., Vanina O.E. [The image of the city of Novosibirsk in students' perception]. *Sibirskii pedagogicheskii zhurnal* [The Siberian Pedagogical Journal], 2012, no. 8, pp. 248—254.

2. Shemelina O. S., Vanina O. E. [Peculiarities of perception of the urban environment by residents of small towns (by the example of the cities in Novosibirsk Oblast)]. *Balandinskie chteniya. Sb. st. 8-e nauch. chteniya pamyati S. N. Balandina, Novosibirsk, 18—20 apr. 2013 g*. [Balandinsky readings. Coll. of articles, 8th scientific readings in memory of S. N. Balandin, Novosibirsk, 18—20 April, 2013]. Novosibirsk, 2014. Pp. 386—395.

3. Milgram S. *Eksperiment v sotsial'noi psikhologii* [Experiment in social psychology]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2000. 336 p.

4. Zamyatin D. N. [Local stories and methodology of modeling of a humanitarian and geographical image of the city]. *Gumanitarnaya geografiya: nauchnyi i kul'turno-prosvetitel'skii al'manakh* [Humanitarian geography: scientific, cultural and educational almanac]. Moscow, Institut Naslediya, 2005, iss. 2, pp. 276—322.

5. Mitin I. I. [Mythogeography of the city: semiosis of spatial myths and design of the image of the place]. *Nizhnii Novgorod v istoriko-kul'turnoi traditsii Rossii. Materialy 6 Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. po regional'noi kul'ture* [Nizhny Novgorod in historical and cultural Russian tradition. Proc. of 6 Int. Sci. and Pract. Conf. on Local Culture]. Nizhny Novgorod, LUNN, 2005. Pp. 115—116.

6. Semenova V. [Mapping of city space: main approaches to the visual analysis]. Romanov P., Yarskaya-Smirnova E. (ed.). *Vizual'naya antropologiya: gorodskie karty pamyati* [Visual anthropology: city memory maps]. Moscow, OOO Variant, TsSPGI, 2009. Pp. 67—81.

7. Veselkova N. V. [Mental maps of the city: issues of methodology and practice of use]. *Sotsiologiya: metodologiya, metody, matematicheskoe modelirovanie* [Sociology: methodology, methods, mathematical modeling], 2010, no. 31, pp. 2—39.

8. Lobanova A. S. [First of All We had Created a City and then the City has Created Us: the Perception of Urban Space by Local Residents of Yoshkar-Ola]. *Zhurnal sotsiologii i sotsial'noi antropologii* [The Journal of Sociology and Social Anthropology], 2014, vol. 17, no. 4(45), pp. 124—135.

9. Salesses P., Schechtner K., Hidalgo C. A. The Collaborative Image of The City: Mapping the Inequality of Urban Perception. *PLOS ONE*, 2013, 8(7). 12 p.

10. Bangert M. A. [Image as embodiment of the “soul” of a city: tactics of design perception]. Bazaluk O. A. (ed.). *Obraz cheloveka budushchego: kogo i kak vospityvat' v podrastayushchikh pokoleniyakh* [Image of a person of the future: who and how to bring up among younger generations]. Kiev, Kondor, 2011, vol. 1. Pp. 259—266.

11. Spinney J. A. Chance to catch a breath: using mobile video ethnography in cycling research. Mobilities, 2011, 6(2), pp. 161—182.

12. Weina Ch. *Decode the City: A Methodological Study Responding to the New Trend of City “Re-image” Montreal as a Case. School of Urban Planning.* McGill University. Montreal, 2009. 75 p.

13. Azgal’dov G. G. *Kvalimetriya v arkhitekturno-stroitel'nom proektirovanii* [Qualimetry in architectural and structural design]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1989. 264 p.

14. Rastyapina O. A., Babenko K. V. [The need for the formation of visual space in urban areas in order to ensure environmentally sound space]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel’nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel’stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 47(66), pp. 384—395.

*For citation:*

Rastyapina O. A., Babenko K. V. [Methods of estimation of the visual perception of the urban space]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel’nogo universiteta*. *Seriya: Stroitel’stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 228—238.

*About authors:*

**Rastyapina Oksana Anatol'evna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, o_kast@list.ru

**Babenko Kristina Viktorovna** — Master’s Degree student of Ecological Building and Municipal Facilities Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, k210594@yandex.ru

УДК 72.10 + 378

***Т. В. Киреева***

***Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет***

# ДИНАМИКА АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ФРАНЦУЗСКОЙ БИЗНЕС-ШКОЛЫ HEC (XIX—XXI вв.)

Впервые в отечественной теории рассматривается архитектурно-пространственное развитие старейшей бизнес-школы Франции с 1881 г. по настоящее время. Выделены характерные периоды изменения градостроительного расположения, планировочной структуры, архитектуры и стиля школы от традиционного клуатра до модели кампуса загородной бизнес-школы.

Ключевые слова: проектирование зданий бизнес-школ, архитектура зданий коммерческого образования, архитектура зданий бизнес-школ, кампус бизнес-школы, пространство образовательной среды.

Бизнес-школа HEC (Hautes Etudes Commerciales) Парижа, созданная в 1881 г. и успешно работающая по сей день, вызывает интерес для изучения положительного опыта развития как самой школы, так и ее пространственной организации, что становится актуальным в последние сорок лет в связи с активизацией этого направления образования. Изучение зарубежного опыта проектирования подобных школ дает нам возможность сформировать универсальную модель пространственной организации бизнес-школ, в том числе и России.

Поскольку развитие бизнес-школы HEC происходило в течение почти полутора столетий, представляется возможным выбор в качестве объекта исследования (цели) — анализ динамики архитектурно-пространственного развития одной школы. При этом применяемый метод исследования — сравнительный анализ — позволяет решить основную задачу выявления особенностей трех этапов формирования архитектурно-пространственной среды одной из старейших и уникальных школ коммерческого и бизнес-образования Франции. Хронологическая последовательность изложения материала отображает развитие и изменения, происходящие в пространственной организации школы в связи с изменениями как в самой системе коммерческого (бизнес) образования, так и в архитектурно-стилевых направлениях периода конца XIX начала XXI вв.

**Первый этап** (1881—1964 гг.) развития школы, изначально определенной как Высшая школа коммерции Парижа, совпадает с началом градостроительных преобразований Османа по переустройству города в период Второй Империи. Попечительский совет школы во главе с председателем Торгово-промышленной палаты Парижа Густавом Роем определили местом расположения школы новый бульвар Мальзерб (Malesherbes, 1863 г.).

Школа находилась во второй линии застройки, куда с бульвара можно было попасть через арку, построенную по подобию Триумфальной арки Парижа (рис. 1, *а*). Планировка школы сложилась по традиционной для Франции схеме клуатра [1], идущей еще от монастырской культуры — с внутренним двором и обходной галереей, куда выходили аудитории первого этажа. Первоначально школа вмещала всего 4 класса и рассчитана была на 57 мальчиков в возрасте 16 лет на два года обучения.

Двор школы окружали существующие и вновь построенные здания нового «парижского стиля»: 4-, 6-этажные здания строгой элегантной пластики с мансардами, украшенными простыми лукарнами. Ритм высоких окон с лучковыми сандриками и крестообразными переплетами окон; горизонтальные поэтажные карнизы дополняли композицию (рис. 1, *б*).

*а* *б*

Рис. 1. Высшая школа коммерции Парижа на бульваре Мальзриб (1881—1964 гг.): *а* — вход-арка с бульвара; *б* — внутренний двор школы (фото 2014 г.)

На рубеже XIX—XX вв. школа претерпела значительные изменения, связанные с дальнейшим развитием коммерческого образования во всем мире: в России были открыты Коммерческие институты; в Америке — первая школа бизнеса — Уортонская школа бизнеса Филадельфийского университета (1886 г.) [2]. Во Франции в 1900 г. был принят «Закон создания высшего образования и научных исследований в области управления ассоциациями», что повлияло на дальнейшее развитие коммерческого образования: коммерция получила право на научные исследования, а также было открыто несколько новых школ [1].

Высшая коммерческая школа HEC была реорганизована и впервые на Европейском континенте определена как школа бизнеса: HEC Business School [3]. Школа активно развивалась, увеличив число учащихся до 400 чел., и разрасталась, присоединив соседние здания (1932 г.) и заняв площадь в 5900 м$^2$ — целый квартал до улицы Rue de Tocguevil [4].

Градостроительное расположение HEC, в центральной части Парижа, имело преимущества престижности, доступности к научным и культурным сокровищам столицы, но и определенные проблемы, связанные, прежде всего, с невозможностью дальнейшего пространственного расширения, что было серьезной проблемой для большинства учебных заведений Парижа, особенно после окончания Второй мировой войны. Наплыв студентов, необходимость новых направлений обучения, социально-бытовые проблемы стали частью общегородских проблем разрастающегося города, где недостаток свободной территории, плотная застройка, ограниченный периметр агломерации требовали кардинальных градостроительных мер и поиска свободных территорий [3]. Вопрос о создании новой школы неоднократно поднимался в руководстве школы, и в 1946 г. было признано «несоответствие методов и условий обучения» [4].

**Второй этап развития школы.** Началом нового периода можно считать 1950 г. Послевоенная деятельность школы была ориентирована на американскую программу MBA и модель пространственной организации студенческих поселений за городом в виде кампуса. Это была новая для Европы модель градостроительной организации учебного заведения, вызывающая огромный интерес. Для изучения этого опыта в 1952 г. Торгово-промышленная палата Парижа направляет специалистов и сотрудников школы для изучения американского опыта, который в дальнейшем был одобрен.

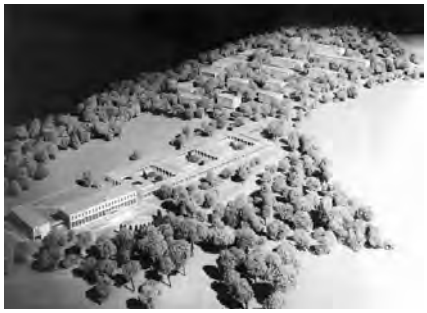


Рис. 2. Макет кампуса HEC 1960 г. в местечке Жуи-Ан-Жозас ( Jouy-en-Josas), арх. Рене Кулон ( Rene Coulon)

Рис. 3. Главное здание с вестибюлем и библиотекой HEC (1967 г.), фото Henrot

Идея вынесения бизнес-школ за пределы Большого Парижа была частью градостроительной политики государства: десять учебных заведений планировалось вынести в юго-западную часть предместий Парижа для нового строительства университетских центров и бизнес-школ [5]. Частью этого плана стало решение в 1958 г. о размещении HEC в районе деревни Жуи-Ан-Жозас (Jouy-en-Josas) в 16,4 км от Парижа и создания там кампуса с новым подходом к обучению [6]. Это был первый научный эксперимент по децентрализации объекта образования.

Школа получала 110 акров красивого ландшафта около замка Mallet Pari и должна была реализовать идею европейского кампуса — загородного, автономного студенческого городка, расположенного в зеленой зоне. В 1964 г. здание новой школы было торжественно открыто Шарлем де Голлем, сказавшим в своей речи: «Вам так повезло, что вы здесь! Вы действительно в сельской местности!» [7], что подтверждает основную идею кампуса, реализованную в проекте французского архитектора Рене Кулона (Rene Coulon).

Градостроительный проект кампуса школы HEC предполагал четкое разделение функций обучения и проживания на две зоны, соответственно открытого пространства учебной зоны и лесопарк жилой зоны. Несмотря на принятую американскую модель кампуса, Рене Кулон в своем решении не пошел по пути точного копирования американского опыта свободного расположения учебных зданий, а создал некий симбиоз: для основного учебного здания была сохранна историческая традиционная схема клуатра, а остальные здания были решены в образах рациональной архитектуры на окружающих ландшафтах. Необходимо отметить, что и другие архитекторы этого времени при строительстве новых учебных заведений Парижа оставались верны схеме клуатра: так жесткую схему модульных внутренних дворов ис-

пользовал в своей работе французский архитектор Эдуард Альберт (Edouad Albert), для проекта нового парижского кампуса Жюссье (Jussieu, ныне — университет Pierre-et-Marie-Curie) в 1964—1968 гг.

Учебное здание Рене Кулона представляло собой большой одноэтажный прямоугольник с тремя внутренними зелеными дворами (см. рис. 2) общей площадью 8200 м$^2$. Такая планировка давала студентам привычную возможность пользоваться всем зданием, пространством внутренних дворов, не выходя на внешнюю улицу. Протяженная часть здания была решена по коридорной схеме с односторонним расположением учебных аудиторий и коридорами, обращенными во внутренние дворы. Здания-вставки включали учебные классы и большие поточные аудитории. С торца к учебному корпусу примыкал двухсветный объем актового зала (128 м$^2$). Учебное здание, трехэтажное здание администрации (1080 м$^2$) и двухэтажное здание библиотеки с главным вестибюлем (1056 м$^2$), соединенные между собой переходами (см. рис. 3), формировали открытое пространство главной площади кампуса, обращенной на окружающие ландшафты.

Жилая часть кампуса, расположенная в лесопарковой зоне, состояла из 11 пятиэтажных корпусов-павильонов общей площадью 20 806 м$^2$. Здания общежитий выполнялись по коридорной схеме с выделением мест общего пользования и гигиены около лестничных клеток (рис. 4). Комнаты были рассчитаны на проживание двух студентов, имели прихожие и встроенные шкафы для хранения. Инфраструктура кампуса предполагала автономное существование всего «организма» и включала в себя: клуб, ресторан, столовую, а также жилье для преподавателей и обширную спортивную зону; инженерное обеспечение.

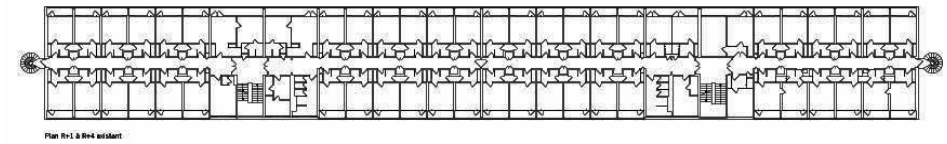


Рис. 4. План типового этажа общежития. Арх. Рене Кулон, 1960 г.

Архитектура зданий отражала рационалистический подход автора Рене Кулона к образу учебного здания, воплощенного в металле, стекле и бетоне. Следуя идеям Ле Карбюзье, он поставил здания-павильоны на колонны, отдав плоскость земли под озеленение, а фасады зданий получили рациональный минимум деталей: ритм вертикальных членений, решеток и переплетов огромных окон-витражей (рис. 5), через которые окружающий пейзаж «входил» в здание.

Новый кампус принес в пространственное восприятие много света, воздуха и зелени, но при этом оторванность от социально-культурных объектов Большого Парижа, и некая изолированность выявила проблемы переезда, новой организации среды [3], так как была нарушена сложившаяся традиция сплоченности и коллективизма городской студенческой жизни. Для успешной адаптации студентов и преподавателей к новым условиям, была разработана идея трехступенчатой системы вовлечения студента в коллектив школы.

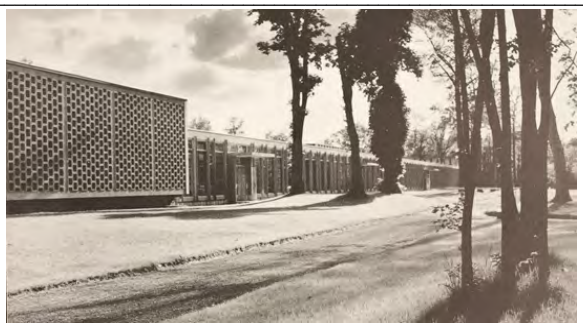


Рис. 5. Общий вид кампуса HEC (1968 г.)

Первая ступень — преобладание малых помещений вместимостью 10—25 чел., оборудованных мобильной мебелью, для сплоченности группы в учебное время. Вторая ступень — новые потребности в обустройстве общежитий: коллективный быт, места отдыха и общения. Третий уровень — главный вестибюль кампуса, площадью 528 м$^2$, собирал всех студентов в здании библиотеки. Для проектирования ландшафта кампуса был приглашен пейзажист R. Joffet, создавший простой, природный и наделенный особой деревенской атмосферой пейзаж из молодых посадок и вековых деревьев, открытые поляны и видовые площадки с дальними перспективами, объединившими кампус (см. рис. 2).

Таким образом, бизнес-школа HEC вновь на долгие годы стала лидером не только в обучении, но и продемонстрировала новаторский подход в организации новой модели образовательного пространства — европейского кампуса бизнес-школы, провозгласившего «коллективное образование и жизнь» [8].

**Третий этап развития** кампуса школы HEC приходится на начало XXI в. Школа, рассчитанная на 4 тыс. учащихся, стала глобальной в системе мирового бизнес-образования и, начиная с 2006 г., устойчиво заняла верхние позиции в мировом топе бизнес-школ. Получение высокого статуса потребовало от бизнес-школы дальнейших преобразований как открытой системы не только в учебной сфере, но и в пространственной организации (рис. 6), а усиление конкуренции определило поиск новых форм привлечения студентов и преподавателей.

Рис. 6. Организация зоны внутреннего общественного пространства кампуса бизнес-школы, 2015 г.)

Бизнес-школы, находясь в частных руках, по сути, властителей мира, все большее внимание стали уделять внешнему виду: архитектуре, архитектурно-ландшафтной среде, местам общественного пользования, а также внутреннему оснащению и, прежде всего, телекоммуникационным системам. В 2008 г. руководство школы HEC и Торгово-промышленная палата Парижа поставили перед школой новые задачи: расширение рабочих площадей и создание здания-входа как элемента визуальной идентичности кампуса бизнес-школы HEC. Для достижения этой цели под новое здание была отведена узкая полоса территории вдоль автомобильной трассы на пересечении кампуса и его южного расширения. Градостроительная доминанта должна была создать четкий образ современного, динамично развивающегося кампуса.

Над проектом «Высшей школы исследований делового администрирования» в течение 2008—2012 гг. работала группа архитекторов под руководством всемирно известного Дэвида Чипперфильда (David Chipperfield), сторонника строгой рациональности и классического модернизма, основанного «на логике и рациональном обосновании простой, прозрачной архитектуры» [9]. Как видим, в поддержание основного стиля школы был вновь приглашен архитектор, чье мировоззрение и авторский подчерк продолжают идеи, заложенные его предшественником Рене Кулоном.

Объемно-планировочное решение здания представлено набором отдельных блоков, формирующих традиционный клуатр — внутренний двор центрального связующего прямоугольника, по традиции окруженного галереей (рис. 7), являющегося местом случайных встреч, неформального, креативного общения. К нему примыкают два корпуса: левый, с актовым залом на 250 мест, и правый, с протяженным объемом ступенчатого плана, где располагаются основные аудитории и комнаты для занятий.

Рис. 7. План первого этажа здания Высшей школы исследований делового администрирования, арх. Дэвид Чипперфильд (2012 г.)

Протяженное здание в 126 м и общей площадью 9500 м$^2$ формирует планировочную структуру коридорного типа с аудиториями, лекционными и конференц-залами, актовым залом на 250 мест и рестораном.

Несмотря на планировочную насыщенность, здание имеет большие общественные пространства галереи, коридоров и холлов. Следуя идее открытости и мобильности не только как передвижения, но и быстрого взаимодействия и контакта по всему миру, авторами была предложена система небольших площадок, оснащенных средствами телекоммуникации для открытого общения, дистанционного обучения и звукозаписи, расположенных в угло-

вых пространствах каждого учебного блока. Такая децентрализация дает возможность раскрыться каждому студенту, усиливает дух толерантности и развивает студенческую сообщность.

Созданное по законам классического модернизма и жестокой логике Дэвида Чипперфильда новое здание реализует идею визуальной идентичности через политику использования материалов: стекла, бетона, алюминия — передавая эпоху 60-х и точно вписываясь в контекст кампуса, но уже на ступеньку выше. «Ступенька» является ассоциативным элементом всей идеи, где архитектура и образование дают новую ступеньку-высоту качественного роста, что соответствует основному кредо команды Д. Чипперфильда — «архитектура и конструкция есть единая социальная и интеллектуальная целостность» [10].

Модернистская форма прямоугольника идеальных пропорций звучит главной темой архитектуры школы в самом объеме ступенчатых корпусов (рис. 8), в разрезке фасада декоративными анодированными лопатками (рис. 9), в форме окон, широких бетонных пилястр интерьера (рис. 10), золотистых рамок лестничного ограждения, в рисунке потолка, протяженных скамьях (рис. 11).

Рис. 8. Здание главного входа в кампус бизнес-школы HEC, арх. Д. Чипперфильд (2012 г.)

Рис. 10. Интерьер общественных зон, 2015 г.

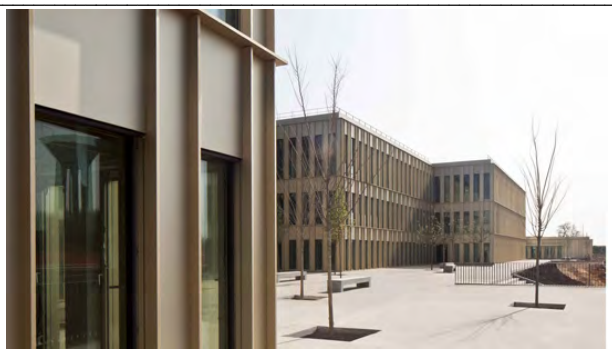


Рис. 9. Вид на открытый двор и детали фасада

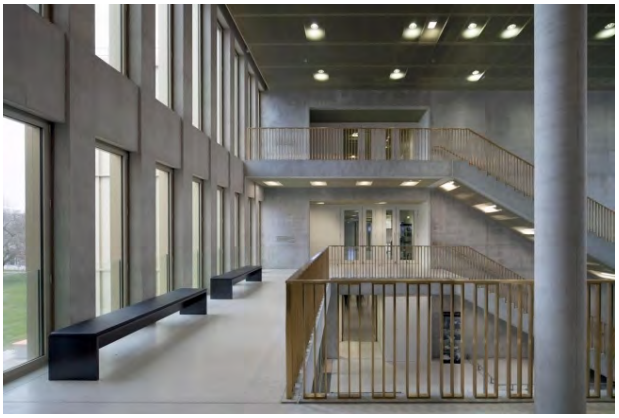


Рис. 11. Интерьер главного внутреннего двора-атриума бизнес-школы HEC

Новое здание Д. Чипперфильда стимулирует открытость обучения, а его инновационное оборудование дает качественный скачок в сфере глобального бизнес-образования, формируя новый этап в архитектуре учебного здания, что было высоко оценено Королевским институтом британских архитекторов RIBA с вручением премии за 2013 г.

**Выводы**

Представленное исследование развития Высшей школы коммерции Парижа (Hautes Etudes Commerciales — HEC) от 1881 г. до «Высшей школы исследований делового администрирования» наших дней отражает динамику прогрессивных изменений как самой школы, так и ее архитектурно-пространственной организации, завязанных на мировое развитие архитектуры и социально-экономические условия каждого периода развития.

Выявлены три основных этапа пространственного развития бизнес-школы HEC.

Первый этап (период с 1881—1964 гг.): традиционное здание клуатра с замкнутой системой и внутренним двором в исторической городской среде использовалось длительное время, демонстрируя жизнеспособность рациональной функциональной схемы. Развитие пространственной структуры шло за счет присоединения соседних зданий. Это был вариант ограниченного развития, который стал причиной дальнейших изменений.

Второй этап (период 1964—2006 гг.) был обусловлен новым экономическим развитием послевоенного времени и принятием американской системы обучения по программе MBA. Перенос школы за переделы города и ее развитие по новой модели кампуса на основе рационального функционализма и свободного размещения зданий на открытых ландшафтах, но с использованием традиционной схемы клуатра для основного учебного здания, свидетельствует о необходимости сохранения традиционных приемов функционирования и идентификации объекта.

Третий этап (период с 2007 г. и до настоящего времени): дальнейшее развитие архитектурно-ландшафтной среды кампуса и создание образа открытости и доступности мировой глобальной школы через архитектуру нового здания, технологию и телекоммуникацию, обращение к пейзажам окружающей среды.

Архитектура здания коммерческой школы менялась во времени и пространстве в соответствии с мировыми тенденциями развития стилевых и объемно-пространственных представлений о месте и роле коммерческого образования в системе общества. Успешное развитие школы HEC и самые высокие рейтинги подтверждают правильность выбранных и динамично развивающихся пространственных структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Киреева Т. В.* Архитектура зданий коммерческого образования Франции XIX в. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 248—258.

2. *Киреева Т. В.* Архитектура зданий коммерческого образования Российской империи. Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. 166 с.

3. *Hottin C.* Les Dilices di Campus. Tpoes grandes scoles parisiennes fase a leur transfert (1950—1980). Paris, 2004. Pp. 267—293.

4. *Cimaud L.* Histoire de laliberte d enseignement en France. Paris, 1946. 413 p.

5. *Merlen P.* Les villes nouveelles. Urbanism regional et management. Paris, 1969. 254 p.

6. *Drouin P.*, *Fayeton J.* Arty et manufactures. 1967. No. 179. P. 20.

7. Arch. CCIP 561.W 340. Commenigne depresse, 9 juillet. 1964. 34 p.

8. HEC Paris extends its development and opens new state-of-the-art academic building. URL: http://www.hec.edu/var/fre/storage/original/application /80bca9d1a3964369df27180fb8823ad.pdf

9. David Chipperfield — architects HEC School of Management Paris. URL: http://hicarquitectura.com/2015/ 07/david-chipperfieldarchitects-hecsch:ool-of-management-paris/

10. David Chipperfield. URL: http://www.davidchipperfield.co.uk/profile/

*© Киреева Т. В., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июне 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Киреева Т. В.* Динамика архитектурно-пространственного развития французской бизнес-школы HEC (XIX—XXI вв.) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 239—248.

*Об авторе:*

**Киреева Татьяна Валентиновна** — канд. филос. наук, доцент, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ). Российская Федерация, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, tkireeva2005@yandex.ru

***T. V. Kireeva***

## THE DYNAMICS OF ARCHITECTURAL AND SPATIAL DEVELOPMENT OF THE FRENCH BUSINESS SCHOOL HEC (XIX –XXI CENTURIES)

The paper first discusses the architectural and spatial development of the oldest business school in France since 1881 up to the present moment. Specific periods of the change of town-planning arrangement, planning structure, architecture and style of the school from the traditional cloister to the model of campus of a countryside business school are identified.

Key words: design of buildings of business schools, architecture of buildings of commercial education, architecture of buildings of business schools, campus of business school, space of the educational environment.

REFERENSES

1. Kireeva T. V. [Architecture of buildings of business education in France in XIX century]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2016, iss. 46(65), pp. 248—258.

2. Kireeva T. V. *Arkhitektura zdanii kommercheskogo obrazovaniya Rossiiskoi imperii* [Architecture of commercial education buildings in the Russian Empire]. Nizhniy Novgorod, NNSUACE, 2014. 166 p.

3. Hottin C. *Les Dilices di Campus. Tpoes grandes scoles parisiennes fase a leur transfert (1950—1980).* Paris, 2004. Pp. 267—293.

4. Cimaud L. *Histoire de laliberte d enseignement en France*. Paris, 1946. 413 p.

5. Merlen P. *Les villes nouveelles. Urbanism regional et management*. Paris, 1969. 254 p.

6. Drouin P., Fayeton J. *Arty et manufactures*, 1967, no. 179, p. 20.

7. *Arch. CCIP 561.W 340.* Commenigne depresse, 9 juillet. 1964. 34 p.

8. *HEC Paris extends its development and opens new state-of-the-art academic building*. URL: http://www.hec.edu/var/fre/storage/original/application /80bca9d1a3964369df27180fb8823ad.pdf

9. *David Chipperfield — architects HEC School of Management Paris*. URL: http://hicarquitectura.com/2015/ 07/david-chipperfieldarchitects-hecsch:ool-of-management-paris/

10. *David Chipperfield*. URL: http://www.davidchipperfield.co.uk/profile/

*For citation:*

Kireeva T. V. [The dynamics of architectural and spatial development of the french business school HEC (XIX — XXI centuries)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 239—248.

*About author:*

**Kireeva Tat'yana Valentinovna** — Candidate of Philosophy, Docent, Docent of Landscape Architecture Department, Nizhnii Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 65, Il'inskaya st., Nizhnii Novgorod, 603950, Russian Federation, tkireeva2005@yandex.ru

УДК 378.016:72.07

***Ю. Б. Колышев, И. И. Соколов, Д. О. Колышева***

***Волгоградский государственный технический университет***

# ЗНАЧЕНИЕ ПОЗНАНИЯ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РОДНОГО КРАЯ В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩЕГО АРХИТЕКТОРА

Познание историко-культурного наследия родного края подтверждает роль творческой личности в возрождении утраченных и создании современных объектов архитектуры. Значимость приобретает художественная подготовка архитекторов, изучающих средствами рисунка опыт градостроительства, закономерности формообразования архитектурных памятников. Решение комплекса познавательно-изобразительных задач формирует творческую личность архитектора, гармонизирующую окружающую среду обитания с ответственным отношением к природному ландшафту и традициям народов.

Ключевые слова: история Царицына — Сталинграда — Волгограда, природные богатства, архитектурное наследие, родной край, человек и среда обитания, чувство патриотизма, художественная подготовка будущего архитектора, творческая личность, гармонизация архитектурного пространства, традиции народов.

## 1. Введение

### *1.1. Представление проблемы исследования*

Решение проблемы познания историко-культурного наследия родного края города Волгограда и области имеет важное значение в художественной подготовке будущих архитекторов. Студенты-архитекторы средствами рисунка изучают дошедшие до нас исторические постройки, предметы быта и орудия труда, жизненные ценности, созданные предыдущими поколениями.

Изображая, наглядно познавая историю региона, обучающиеся начинают осознавать роль творческой личности в историческом развитии общества.

Одной из важнейших целей методической направленности исследуемого процесса художественной подготовки является формирование творческой личности будущего архитектора, с нравственными качествами в сохранении историко-культурного и природного наследия Царицына — Сталинграда — Волгограда.

### *1.2. Актуальность проблемы исследования*

История, природное и культурное наследия уникальной территории, охватывающей междуречья Волги, Ахтубы и Дона, исследуются с XV—XVIII вв. во многих направлениях. Приоритетные из них для темы исследования являются следующие: известные и неизвестные исторические факты; архитектурно-культурное наследие; сохранение архитектурных памятников региона.

Исследования 2013—2016 гг., посвященные изучению и сохранению историко-культурного наследия нашей страны, нашего народа, а также материалы статей автора данного исследования, позволяют глубже проанализировать процесс формирования творческой личности будущего архитектора [10, с. 382], [12, с. 135], [13, с. 109], [16, с. 48], [17, с. 172].

Новизна исследования заключается в определении значения познания архитектурных объектов региона как основы архитектурного рисунка и изучения опыта предыдущих поколений средствами рисунка, формирующих

творческую личность, способную эстетически воспринимать и выявлять в своих рисунках формообразующие, композиционные и функциональные особенности архитектурных сооружений, а также гармонизировать среду обитания, внося новое не в ущерб созданному.

Познавательно-исследовательское направление художественной подготовки подводит студентов-архитекторов к созидательной проектной деятельности. Ориентация обучающихся на изучение истории, природных богатств, архитектурного наследия края играет важную роль в возрождении патриотизма молодежи, в связи с чем тема исследования является актуальной.

***1.3. Обзор информационных источников***

Объем исследований о Нижнем Поволжье большой, остановимся для обсуждения на некоторых из них. Доктор исторических наук М. А. Водолагин ценит вклад исследователей Саратовской губернии А. Леопольдова, Ф. Ф. Чекалина и др. [3, с. 3], охвативших историю Нижней Волги и Нижнего Дона от первых поселений древнейших племен к периоду, когда эта территория стала Хазарским государством в VIII—IX вв. со столицей Итиль в устье Волги и являлась воротами из Европы в Азию. Князь древнерусского государства Святослав в X веке (964 г.) освободил славянские племена, разгромив столицу Итиль, и приблизил конец Хазарского государства. Анализ показал, что территория Золотой Орды в XI—XII вв. включала в себя Волжскую Булгарию (ныне Астраханская область) со столицей Сарай Бату, позже перенесенной в Сарай-Берке (ныне Волгоградская область) на реке Ахтуба у села Царев. При нашествии Тамерлана государство Золотая Орда распалось на ряд ханств, в том числе Нагайскую Орду. Территория нынешней Волгоградской области оказалась военной базой независимого ханства — Нагайской орды. Ближайшая граница России в то время шла по Белгородской защитной черте и по городской крепости Воронеж.

Иностранные купцы и путешественники Христофор Бэрро, А. Олеарий и другие писали о нашем крае и выполняли зарисовки Царицына в XV—XVIII вв. (рис. 1) [2], [3, с. 13].

Рис. 1. Крепость Царицын. Олеарий, 1636 г.

Доктор исторических наук Г. В. Орлов [16, с. 8] выделяет три периода Нижнего Поволжья: Царицынский край с 1589 по 1917 гг.; Сталинград — Волгоград с 1917 по 1993 гг.; Волгоградская область с конца XX в., ныне существующая, развивающаяся с начала XXI в. Г. В. Орлов выявил интересные факты о том, что рождение Царицына в 1589 г. укрепило обороноспособность Русского государства на южных его рубежах и река Волга стала неотъемлемой частью России. Впоследствии это подтверждено образованием по приказу Петра I Сторожевой линии между Волгой и Доном.

Ко времени царствования Екатерины II в Царицынском уезде уже существовали старейшие села — Отрада, Ельшанка, Бекетовка, на севере Мечетка (Ныне Спартановка). На юге, по распоряжению императрицы, образована Сарепта — немецкая колония, содействующая по ее планам развитию новых технологий в сельском хозяйстве и текстильной промышленности. В организованных ремесленных училищах Сарепты мальчики обучались столярному и слесарному делу, а девочки — рукоделию и текстильному ремеслу.

Запасы Ергенинских минеральных вод, найденных в Сарепте, спасали население от эпидемий чумы и холеры.

В конце XIX в. в Царицыне произошел рост производств. Бекетовская лесопереработка по техническому уровню не уступала лучшим заграничным образцам. Эффективность железнодорожной и водной магистралей, дешевая рабсила создали условия для строительства металлургического завода «Урал-Волга» (ныне «Красный Октябрь»).

Главным земельным собственником в округе было казачество. Паевые довольствия казаков дополнялись пашнями общего пользования, что оказывало влияние на развитие земледелия и скотоводства.

Население Царицына к 1909 г. возросло до 100 тыс. жителей.

Первая мировая война 1914 г. принесла голод. В 1917 г. на перевыборах Царицынского совета победили большевики.

Исследователь Г. В. Орлов отмечает, что период социалистического строительства прежде всего был направлен на преодоление разрухи, последствий войн — Первой мировой и гражданской.

Активизировался поиск природных ископаемых. 17 июня 1930 г. сошел с конвейера СТЗ первый трактор [15, с. 113].

В Сталинграде и областных городах начинает развиваться строительство жилого, общественного и промышленного фондов.

Данные территории с большим социально-демографическим потенциалом требовали рационального подхода к градостроительной организации жизнедеятельности населения. Неповторимый национальный колорит, существовавший и приобретаемый, отражался на менталитете и образе жизни населения. [10, 2 т., с. 465]

«Проблема кадров превратилась у нас в проблему поистине животрепещущую» [5, с. 13]. В 1930 г. в Сталинграде образованы Механический и Строительный институты. Основной упор делался на специалистов промышленных предприятий и на инженеров-градостроителей.

Велико значение Сталинграда в истории Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. Победа в Сталинградской битве 1942—1943 гг. явилась переломным этапом в окончательном разгроме фашистских немецких войск. Послевоенное восстановление Сталинграда активизировалось Черкасовским

движением, поднявшим добровольцев со всей страны на помощь возрождению из руин города на Волге.

С 1958 г. строительство Сталинграда — Волгограда переходит к комплексной застройке, планировке главных магистралей, формированию Центрального и других районных ансамблей города.

Благоустраивается одна из красивейших набережных Волги, определяющая новый архитектурно-художественный облик города. На Волге сооружена мощная плотина ГЭС. Сбылась мечта Петра I в проведении по степям между Волгой и Доном судоходного канала, оснащенного совершенной системой шлюзов.

Открылись вновь построенные вузы — Технический, институт инженеров городского хозяйства, Сельскохозяйственный и Педагогический, стали действовать библиотека им. М. Горького, театры — Музыкальный и Драматический, музеи — Краеведческий и Изобразительных искусств и пр.

В Волгоградском институте инженеров городского хозяйства, по инициативе архитектора А. В. Баранского в 1969 г., основана кафедра архитектуры по подготовке будущих зодчих.

Архитектор, выпускник Волгоградского инженерно-строительного института П. П. Олейников [14] посвятил свои исследования архитектуре довоенного Сталинграда, выявлению красоты облика города, подаренного историей Царицына — Сталинграда.

Искусствовед В. В. Серебряная исследовала приоритетный материал культового зодчества региона Волго-Донского междуречья (Волгоградской области), архитектурно-культовое наследие Урюпинского края, Ольховского, Новоаннинского и др. районов области. Касаясь художественной культуры, классических образцов культовой архитектуры, В. В. Серебряная выявила их роль в становлении композиционных особенностей храмов Нижнего Поволжья [18, с. 142]. Архитектурные рисунки типа «кроки», выполненные студентами во время обмерной практики, иллюстрируют процесс изучения культовых сооружений Волго-Донского междуречья.

***1.4. Научные труды, лежащие в основе исследования***

При подходе к решению поставленных задач данного исследования, приоритетными являются научные труды [16], [17] и [12], позволившие развить предыдущие разработки методики рисунка с натуры архитектурных объектов Волгограда и области в более значимом направлении.

Эта методика формирует в процессе художественной подготовки творческую личность студента-архитектора, обладающего даром открытия природной красоты родного края, в среду которого им придется в будущем вводить свои творения.

Изучение истории возрождения и тенденций современного развития Нижнего Поволжья формирует у обучающихся чувства патриотизма, любви и бережного отношения к природным богатствам, культурному наследию родного края. Благодаря чему у будущих архитекторов активизируется стремление к познанию окружающей среды, передаче изобразительными средствами своеобразия пространств населенных мест. Студенты, изображающие конструктивные формы жилых и общественных архитектурных сооружений, постигают взаимосвязи архитектурного чертежа, рисунка и наброска с натуры. Достижение этих целей возможно при условии совершенствования методов и

технологий художественной подготовки, учитывающих специфику архитектурного рисунка — выявление формы объектов во времени (истории), пространстве (среде) и движении (строительстве) [19, с. 107].

«Рисование — процесс мышления. Строительство — это процесс мышления», отсюда «Строительство — это рисование» [20, с. 124].

***1.5. Гипотеза***

Знание истории, природных богатств и культурного наследия родного края Царицына — Сталинграда — Волгограда, умение анализировать основные этапы его существования помогает будущему архитектору находить пути развития архитектурно-пространственной среды, возрождения утраченных, сохранения дошедших до наших времен и создания новых объектов культуры и жизнедеятельности.

Ключевым вопросом здесь является определение роли художественной подготовки студента-архитектора в повышении профессионального интереса к изучению средствами рисунка градостроительного пространства, архитектурных сооружений с их функцией, композиционными законами и главное к осознанию значения приобретенных знаний, открытий и умений в формировании творческой личности, способной с чувством любви и патриотизма развивать и организовывать жизненную среду родного края.

**2. Методы**

***2.1. Предмет исследования***

- значение историко-культурного наследия Царицына — Сталинграда — Волгограда, при формировании творческой личности будущего архитектора в процессе художественной подготовки;
- специфика художественной подготовки будущих архитекторов на базе знаний истории градостроительного пространства родного края, его сохранения, развития и популяризации.

***2.2. Методы, технологии и процедуры исследования***

- Метод дедукции — «от общего к частному», от комплексного познания совокупности исторических, природных и культурных взаимосвязей к понятиям реализации конкретных задач освоения художественной подготовки будущих архитекторов, к познанию истории развития, специфики построек славянских поселений на Нижней Волге, характера строительства, планировки и благоустройства города Волгограда и области;
- овладение совокупностью знаний архитектурных стилей, умениями изображения архитектурных сооружений в их историческом развитии и модификации [11, с. 58];
- создание условий для активного отношения студентов-архитекторов к совмещению в изобразительном процессе работы с натуры, по представлению и воображению [19, с. 104—108].

***2.3. Выбор методов изображения объектов с натуры и по представлению***

*2.3.1. Условия для рисования с натуры*

Выбор условий для рисования с натуры (перспективная ситуация — точка зрения, положение картинной плоскости) и опыт познавательно-изобразительной деятельности позволяет студентам целенаправленно наблюдать, изучать панораму города, рисовать его планировку по представлению и осознавать, что градостроительное пространство, ландшафты Волгограда вы-

сокого правого берега подковообразно изогнутой Волги с юга начинаются холмами Ергени (Красноармейский район), переходят в рельефы Лысой горы и Горной поляны (Кировский и Советский районы), ближе к центру находится Дар-гора (Ворошиловский район).

Далее на север от Центрального района возвышается легендарный Мамаев курган, севернее которого располагаются Краснооктябрьский, Тракторозаводской районы и новостройки Спартановки.

*2.3.2. Результаты познавательно-изобразительной деятельности*

Результатами познавательно-изобразительной деятельности являются основные рисунки (длительные) и дополнительные задания (наброски с целью сбора материала для творческой деятельности).

В основных рисунках будущие архитекторы изучают и выявляют характерные черты архитектурных сооружений Царицына — Сталинграда — Волгограда, сохранившихся, несмотря на колоссальные разрушения от бомбардировок Сталинграда 1942—1943 гг., ансамбль XVIII в. (ныне музей Старая Сарепта), особняк XIX в. купца Шлыкова (ныне Казачий театр) (рис. 2) и стилевые объекты конструктивистов 20-х годов XX в. (Дом грузчиков, проходная Тракторного завода и др.). Восстановленный город студенты воспринимают и изображают как монумент с прямолинейными проспектами и помпезными зданиями сталинского ампира, памятниками, воздвигнутыми героям Сталинградской битвы (Аллея героев, Площадь Павших борцов, ансамбль «Героям Сталинградской битвы») и современной высотной точечной застройкой (рис. 3, 4).

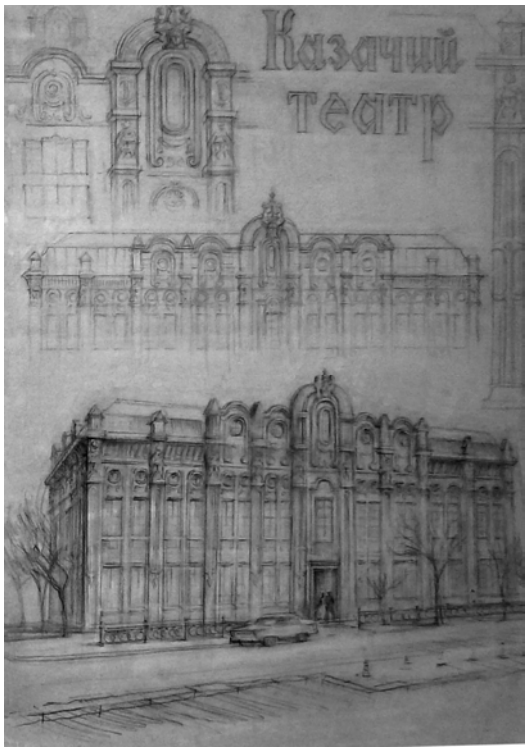



Рис. 2. Особняк купца Шлыкова, XIX в. (Казачий театр). Арх. Д. Колышева

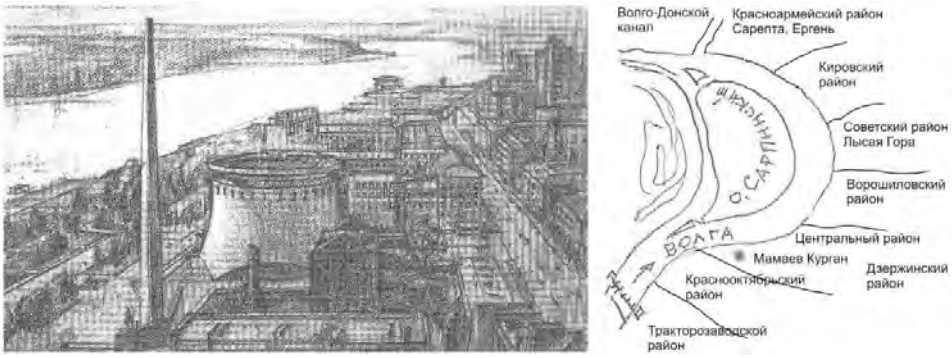



Рис. 3. Панорама Волгограда. Вид с правого берега Волги

Рис. 4. Панорама Волгограда. Вид с левого берега Волги

В учебных рисунках студенты выявляют взаимосвязи архитектурных ансамблей с городской средой (масштабность, структурирование, оптимальное решение композиционного центра) [8, с. 20].

В дополнительных набросках деталей объектов и малых архитектурных форм, несущих дух своего времени, подчеркивают функциональность, выразительность декора и фактуру строительных материалов.

*2.3.3. Места и условия для рисования исторических сооружений*

Изучаемые и изображаемые достоинства архитектуры Волгограда представляют живой профессиональный интерес у будущих архитекторов и соответственно имеют большое значение в их художественной подготовке.

Пленэрные задания по рисунку с целью изображения архитектурных сооружений во взаимосвязи с окружающей средой целесообразно выполнять в Волгограде и области. На пленэре студенты открывают красоту визуально-пространственной среды населенных мест и передают в рисунках особенности их планировки. Черты архитектурного наследия Волгоградской области прослеживаются в рисунках, отображающих своеобразные конструкции и объемы Камышинских особняков (г. Николаевск), в характере сохранившихся каменных и резных деталей деревянных жилых построек, в форме Спасо-Преображенского монастыря, органично связанного с Донской грядой в г. Серафимовиче (ст. Усть-Медведицкая).

В пластике многовековых дубов дачи Шемякина (XVIII в.), находящейся в лесных массивах Хоперско-Бузулукской равнины, «Богом отмеченное место на карте нашей области, где есть взгорья и долины, заливные луга и выжженная степь, исчезающие в жару озерки и чистейший Хопер, где солнце и небо над головой, само движение воздуха напоено запахами соснового бора — есть источник неиссякаемого художественного вдохновения» [6, с. 2].

Среди этих просторов в центре Тепикинской станицы возвышается храм Архангела Михаила Архистратига.

Урюпинский край знаменит еще одной станицей — Михайловской, где родился и работал с 1930 по 1937 гг. всемирно известный художник-живописец И. Машков.

«Найти новое в однажды увиденном», привлекают студентов архитектурной специальности загадочные меловые горы, силуэты монастыря Каменный брод в Ольховском районе к пленэрным этюдам, зарисовкам и длительно проработанным рисункам в материале [6, с. 2].

Студенты не только приобретают практически изобразительный опыт, но и одновременно знакомятся с бытом, традициями жизни донского казачества [19, с. 104—108].

*2.3.4. Содержание профессиональной направленности методики обучения*

В творческих мастерских происходит рисование архитектурных объектов по представлению и воображению с целью наглядной проверки архитектурного замысла, идеи проектируемого сооружения, элементов благоустраиваемой территории и пр.

На пленэрной практике студенты выполняют с натуры изображения исторических и современных зданий Волгограда и области: Царицынский храм И. Предтечи; постройки немецкой колонии Сарепта; конструктивистские здания; объекты Сталинской архитектуры; первый шлюз Волго-Донского канала; точечную застройку — офис компании «Универсалпроект», Мамаев курган.

*2.3.5. Популяризация архитектурного наследия родного края*

На территории Волгограда и области возможна организация познавательного туризма [1, с. 219—225].

Организация участия творческих работ студентов университета в художественных выставках Союза архитекторов, вузов и школ Волгограда и области, а также в международных, всероссийских и региональных конкурсах.

**3. Результаты исследований**

***3.1. Значение познания историко-культурного наследия Царицына — Сталинграда — Волгограда***

Результаты исследований подтверждают, что знание истории предметно-пространственной среды обитания, уровень культуры народов, населяющих родной край, влияет на повышение роли творческой личности, обладающей чувством нравственной ответственности в развитии цивилизации с бережным отношением к природе, богатствам ее животного и растительного мира, к архитектурно-художественному наследию [22, с. 49—50; 24, с. 7—26].

***3.2. Сфера применения и внедрения результатов исследований***

Сферу применения и внедрения результатов исследований мы видим в процессе художественной подготовки, формирующей творческую личность будущих архитекторов, осознающих степень ответственности за сбережение и развитие градостроительного пространства Волгограда и области.

***3.3. Анализ внедрения результатов исследования***

Для успешного применения результатов исследования на практике следует начинать прививать детям дошкольного возраста в игровой форме, на наглядных красочных примерах, любовь к природе, ее обитателям, к родителям и близким людям [9, с. 306].

В средней школе на учебных занятиях соответствующей тематики важно искренно излагать знаменательные факты, связанные с историей края, промахи и достижения, в определенные этапы его развития. Пробуждать интерес учащихся к знаниям о природе края, красавице Волге и богатстве ее поймы, величавом городе, раскинувшемся на ее берегах с главной высотой России — Мамаевым курганом. Под руководством учителей истории, географии, рисования важно стараться выполнять учебные работы (рисунки, макеты и пр.) для участия в городских и областных конкурсах [10, с. 382].

В вузе студент-архитектор обязан:

- знать историю, традиции, архитектурное наследие родного края; законы формообразования материально-пространственной среды; принципы исследовательской работы — критического анализа, самоконтроля и оценки полученного результата;
- уметь уверенно и свободно выражать свою мысль графическими средствами; осознанно применять знания и умения в архитектурной области;
- владеть разнообразными техническими приемами рисунка и реализацией их в архитектурно-проектной работе.

***3.4. Условия внедрения результатов исследования***

Приобретение вышеуказанных знаний, умений и навыков зависит от степени инициативности, активности в работе, наличия интереса обучающихся к изучению изображаемой натуры [7, с. 51].

Пометки, собственные умозаключения и открытия, которые выполняются на свободных полях рисунка, показывают последовательность раскрытия разрабатываемой темы и совершенствуют познавательно-исследовательскую работу. Изучение органичного слияния человека со средой средствами рисунка формирует архитектора-созидателя, а не рисовальщика, «пассивно копирующего натуру» [21, с. 7]. Рисунок будущего архитектора — это графический комплекс ортогоналей: плана, фасадов, разрезов и их трансформации в наглядные виды [19, с. 104—108].

Внедрение познавательно-исследовательского направления в художественное образование способствует развитию у студентов аналитического мышления, умений наглядного выражения своих замыслов на бумаге, передачи сути организации городской среды и донесения архитектурной идеи до зрителя. То есть тех профессиональных качеств, которые так необходимы при решении творческих задач в архитектурном проектировании [4, с. 47].

Целенаправленное рисование достопримечательных исторических и современных мест Волгограда и области позволяет популяризировать объекты историко-культурного наследия юга России путем участия учебных работ в выставках и конкурсах архитектурного рисунка различных уровней.

***4. Обсуждение полученных результатов***

*4.1. Соответствие результатов исследования первоначальной гипотезе*

Анализ проведенных исследований подтверждает, что без профессионального интереса к знаниям истории родного края, основных этапов его существования, осознания ценностей его культурного и природного наследия невозможно достичь эффективности художественной подготовки творческой личности архитектора.

Познавательные исследовательские задачи рисунка формируют у студентов способность целенаправленно наблюдать архитектурные объекты,

природу, делать выводы, определять главное — трехмерность пространства, функцию, красоту и образность архитектурной среды. Архитектурные рисунки студентов, иллюстрирующие исследования, раскрывают идеи, замыслы и наглядно демонстрируют достигнутые результаты.

*4.2. Перспективы развития исследования*

В нашем вузе увеличивается количество иностранных студентов, интересующихся историей России и Нижнего Поволжья. Активное творческое участие преподавателей и студентов университета в Международных конференциях и конкурсах способствует мировому признанию научных достижений в области художественной подготовки будущих зодчих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурно-ландшафтная среда рекреационных территорий / И. И. Соколов, А. И. Соколов, В. Ф. Сидоренко, Е. И. Мельникова, Д. Р. Муслимова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 219—225.

2. *Бэрро Х.* Хрестоматия по истории Подонья и Приазовья. Кн. 1. Ростов, 1946. 170 с.

3. *Водолагин М. А.* Очерки истории Волгограда. М.: Наука, 1968. 448 с.

4. *Гавричков А. А.* Архитектурная графика России второй половины XIX — начала XX в.: автореф. дис… д-ра архит. Л., 1988. 47 с.

5. *Головкин Г. М.* Время и люди. Очерки истории ВолгГАСУ. Ч. 1. Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. 181 с.

6. *Додина Т. А.* Тепикино: Пленэр 2007. Волгоград: Комитет по культуре Волгоградской обл., 2008. 2 с.

7. *Жилкина З. В.* Рисунок, развивающий архитектурное мышление. М.: Архитектура «С», 2012. 96 с.

8. *Колышева Д. О.* Структурирование модуля церкви Троицы в Никитниках в Москве // Студенческое творчество в архитектурно-художественной культуре России: материалы I Всерос. науч.-практич. конф. студентов и магистрантов. Ростов н/Д: ИАрхИ ЮФУ, 2011. 238 с.

9. *Колышева Т. Б.* Знакомство старших дошкольников с историей города Волгограда посредством проектной деятельности // Педология. URL: https://pedologiya.ru/servisy/publik/publ?id=104

10. *Колышев Ю. Б., Колышева Г. В.* Решение проблем взаимосвязи довузовского и вузовского этапов обучения архитектурному рисунку // Новые идеи нового века — 2015: материалы XV Междунар. науч. конф. = The new Ideas of New Century — 2015: The Fifteenth International Scientific Conference Proceedings: в 3 т. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. Т. 2. С. 382—385.

11. *Колышев Ю. Б.* Рисунок архитектурных форм и пространств. Волгоград: Комитет по печати, 1997. 109 с.

12. *Колышев Ю. Б.* Рисунок и архитектура Волгограда // Архитектурно-художественное образовательное пространство будущего: сб. материалов международной науч.-метод. конф. / науч. ред. Л. В. Карташова. ЮФУ, 2015. С. 135.

13. *Колышев Ю. Б., Соколов И. И.* Проблемы развития территории Волго-Ахтубинской поймы // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии — 2016: сб. материалов международной науч.-практич. конф., 27—29 апреля 2016 г.: в 3 т. Тюмень: Изд-во ТИУ, 2016. Т. III. С. 109—114.

14. *Олейников П. П.* Крепости Сталинградской победы. Волгоград: ВолгГАСУ; ООО «Сфера», 2015. 68 с.

15. *Орлов Г. В.* История родного края: Волгоградский регион (1589—2007). Волгоград: Издатель, 2007. 288 с.

16. *Регамэ С. К., Маркус К. Б.* Историко-культурный каркас России. Подход к выявлению // Градостроительство. 2013. № 1(23). С. 48.

17. *Серебряная В. В.* Культовое зодчество Волгоградской области. Волгоград: Издатель, 2002. 336 с.

18. *Соколов И. И.* Анализ состояния территории Юга России на основе методов пространственного планирования и их эффективного использования с учетом рекреационного потенциала // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2008. Вып. 1(5). Ст. 4. URL: www.vestnik.vgasu.ru

19. *Соняк В. М.* Архитектурное пространство. Методика освоения в курсе рисунка // Совершенствование методов обучения рисунку в архитектурно-художественном образовании: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., 2009 / под ред. Е. Н. Лихачева. Новосибирск, 2010. С. 104—108.

20. Архитектурный рисунок: современные технологии обучения / ред.-сост. В. М. Соняк. Екатеринбург: Архитектон, 2005. 268 с.

21. *Тихонов С. В., Демьянов В. Т., Подрезков В. Г.* Рисунок. М.: Строиздат, 1983. 296 с.

22. *Jacques D., Whitton M.* Computers in Landscape Practice: Applications in a landscape office // Landscape Design. 1984. Vol. 17. No. 152. Pp. 49—50.

23. The prediction of scenic beauty from landscape content and composition / M. R. Patsfall, N. F. Feimer, G. J. Buhyoff', J. D. Wellman // Journal of Environmental Psychology. 1984. Vol. 4. No. 1. Pp. 7—26.

*© Колышев Ю. Б., Соколов И. И., Колышева Д. О., 2017*

*Поступила в редакцию*
*в июне 2017 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Колышев Ю. Б., Соколов И. И., Колышева Д. О.* Значение познания историко-культурного наследия родного края в художественной подготовке будущего архитектора // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(68). С. 249—261.

*Об авторах:*

**Колышев Юрий Богданович** — профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, tango7412@gmail.com

**Соколов Иван Иванович** — канд. арх., профессор, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и профессиональных коммуникаций, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sokolovii@mail.ru

**Колышева Диана Олеговна** — архитектор-дизайнер, brand studio geek. Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Рабоче-Крестьянская, 22, grafit18@mail.ru

***Yu. B. Kolyshev, I. I. Sokolov, D. O. Kolysheva***

## VALUE OF THE KNOWLEDGE OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF THE NATIVE LAND IN ART TRAINING OF A FUTURE ARCHITECT

The knowledge of historical and cultural heritage of the native land confirms the role of a creative person in the revival of lost objects of architecture and the creation of modern ones. The importance is gained by art training of architects studying the experience of town planning and regularity of shaping of architectural monuments by means of the drawing. The solution of a complex of informative and graphic tasks forms the creative nature of an architect, harmonizing the habitat with a responsible attitude to the natural landscape and traditions of peoples.

K e y  w o r d s: Tsaritsyn — Stalingrad — Volgograd history, natural wealth, architectural heritage, native land, person and habitat, sense of patriotism, art training of a future architect, creative person, harmonization of architectural space, traditions of peoples.

REFERENSES

1. Sidorenko V. F., Sokolov I. I., Mel'nikova E. I., Sokolov A. I., Muslimova D. R. [Architectural and landscape environment of recreational 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], 2014, iss. 37(56), pp. 219—225.

2. Berro H. *Khrestomatiya po istorii Podon'ya i Priazov'ya. Kn. 1* [The history of Podonye and Priazovye reader. Book 1]. Rostov, 1946. 170 p.

3. Vodolagin M. A. *Ocherki istorii Volgograda* [Sketches of the history of Volgograd]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 448 p.

4. Gavrichkov A. A. *Arkhitekturnaya grafika Rossii vtoroi poloviny 19 — nachala 20 v. Avtoref. dis… d-ra arkhit* [Architectural graphics of Russia in the second half of 19 — the beginning of 20 century. Dr. Arch. Diss.]. Leningrad, 1988. 47 p.

5. Golovkin G. M. *Vremya i lyudi. Ocherki istorii VolgGASU. Ch. 1* [Time and people. Sketches of the history of VSUACE. Part 1]. Volgograd, VSUACE, 2007. 181 p.

6. Dodina T. A. *Tepikino: Plener 2007* [Tepikino: Plein-air of 2007]. Volgograd, Committee on the Culture of Volgograd Oblast, 2008. 2 p.

7. Zhilkina Z. V. *Risunok, razvivayushchii arkhitekturnoe myshlenie* [Drawing that develops architectural thinking]. Moscow, Arkhitektura “S” Publ., 2012. 96 p.

8. Kolysheva D. O. [Structuring of the module of Trinity Church in Nikitniki in Moscow]. *Studencheskoe tvorchestvo v arkhitekturno-khudozhestvennoi kul'ture Rossii. Materialy 1 Vseros. nauch.-praktich. konf. studentov i magistrantov* [Student's creativity in the architectural and art culture of Russia. Proc. of 1 All-Russian Sci. and Pract. Conf. of Students and Master’s Degree Students]. Rostov-on-Don, RAAI SFEDU, 2011. 238 p.

9. Kolysheva T. B. [Senior preschool children getting to know the history of the city of Volgograd due to project activity]. *Pedologiya* [Pedology]. URL: https://pedologiya.ru/servisy/publik/publ?id=104

10. Kolyshev Yu. B., Kolysheva G. V. [Solution of the problems of the interconnection between pre-university and high school levels of architectural drawing training]. *The new Ideas of New Century — 2015*. The Fifteenth Int. Sci. Conf. Proc.: in 3 parts. Khabarovsk, Publishing House of Pacific National University, 2015, vol. 2, pp. 382—385.

11. Kolyshev Yu. B. *Risunok arkhitekturnykh form i prostranstv* [Drawing of architectural forms and spaces]. Volgograd, Committee on the Press, 1997. 109 p.

12. Kolyshev Yu. B. [Drawing and architecture of Volgograd]. Kartashov L.V. (ed.). *Arkhitekturno-khudozhestvennoe obrazovatel'noe prostranstvo budushchego. Sb. materialov mezhdunarodnoi nauch.-metod. konf.* [Architectural and art educational space of the future. Collection of proc. of the Int. Sci. and Instructional Conf.]. SFU, 2015, p. 135.

13. Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I. [Problems of the development of the territories in Volga-Akhtubinsk flood lands]. *Aktual'nye problemy arkhitektury, stroitel'stva, energoeffektivnosti i ekologii — 2016. Sb. materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 27—29 aprelya 2016 g.: v 3 t.* [Current problems of architecture, construction, energy efficiency and ecology — 2016. Coll. of proc. of the Int. Sci. and Practi. Conf., 27—29 April, 2016, in 3 p.]. Tyumen, Publishing House of TIU, 2016, part III. Pp. 109—114.

14. Oleinikov P. P. *Kreposti Stalingradskoi pobedy* [Fortresses of the Stalingrad victory]. Volgograd, VSUACE, OOO “Sfera”, 2015. 68 p.

15. Orlov G. V. *Istoriya rodnogo kraya: Volgogradskii region (1589—2007)* [The history of the native shore: Volgograd region (1589—2007)]. Volgograd, Izdatel’ Publ., 2007. 288 p.

16. Regame S. K., Markus K. B. [Historical and cultural framework of Russia. Approach to the identification]. *Gradostroitel'stvo* [Town planning], 2013, no. 1(23), p. 48.

17. Serebryanaya V. V. *Kul'tovoe zodchestvo Volgogradskoi oblasti* [Church architecture of Volgograd Oblast]. Volgograd, Izdatel’ Publ., 2002. 336 p.

18. Sokolov I. I. [Analysis of state of Russian southern territories based on methods of spatial planning and their effective use taking into account recreation potential]. *Internet-Vestnik VolgGASU* [Internet-Vestnik VolgGASU], 2008, no. 1(5), paper 4. URL: www.vestnik.vgasu.ru

19. Sonyak V. M. [Architectural space. The technique of acquisition of drawing course]. Likhachev E. N. (ed.). *Sovershenstvovanie metodov obucheniya risunku v arkhitekturno-khudozhestvennom obrazovanii. Materialy 5 Mezhdunar. nauch.-metod. konf., 2009* [Improvement of drawing training methods in architectural and art education. Proc. of 5 Int. Sci. and Instructional Conf., 2009]. Novosibirsk, 2010. Pp. 104—108.

20. Sonyak V. M. *Arkhitekturnyi risunok: sovremennye tekhnologii obucheniya* [Architectural drawing: up-to-date learning technologies]. Ekaterinburg, Arkhitekton Publ., 2005. 268 p.

21. Tikhonov S. V., Dem'yanov V. T., Podrezkov V. G. *Risunok* [Drawing]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1983. 296 p.

22. Jacques D., Whitton M. Computers in Landscape Practice: Applications in a landscape office. *Landscape Design*, 1984, 17(152), pp. 49—50.

23. Patsfall M. R., Feimer N. F., Buhyoff G. J., Wellman J. D. The prediction of scenic beauty from landscape content and composition. *Journal of Environmental Psychology*, 1984, 4(1), pp. 7—26.

*For citation:*

Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I., Kolysheva D. O. [Value of the knowledge of historical and cultural heritage of the native land in art training of a future architect]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta. Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2017, iss. 49(68), pp. 249—261.

*About authors:*

**Kolyshev Yurii Bogdanovich** — Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, tango7412@gmail.com

**Sokolov Ivan Ivanovich** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, sokolovii@mail.ru

**Kolysheva Diana Olegovna** — Architect-designer, Brand studio geek. 22, Raboche-Krestyanskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, grafit18@mail.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 (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

*Векторные рисунки*, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300…600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *баблиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. 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 (Cyr) № 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. Корректура статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

**Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.**

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

*Примерный график выпуска* **серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).**

***Тематические рубрики***

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГТУ **http://vgasu.ru/publishing/journals/** (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

***Статьи направлять по адресу:*** **400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. (8442)-96-98-65. E-mail:** sk0522@yandex.com (ответственный секретарь журнала Калиновский Сергей Андреевич).

Уточнить ***условия публикации статей и приобретения*** очередного номера журнала можно по тел. **(8442)-96-98-65** у ответственного секретаря редсовета журнала **Калиновского Сергея Андреевича.**

***За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу:*** 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: 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,**
**на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343**
(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-65 к отв. секретарю редсовета *С. А. Калиновскому*

---

Продолжается прием статей в очередные выпуски
электронного сетевого научно-технического журнала **«ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ»**.
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство **Эл № ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство **№ 594 от 20.10.11,** включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация на сайте журнала **http://vgasu.ru/publishing/journals/**

---

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

---

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
**«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»**
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **E 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, **утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство **Эл № ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: **http://vgasu.ru/publishing/journals/**

Научное издание

**ВЕСТНИК**
**ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура**
**2017. Вып. 49(68)**

Редактор *О. А. Шипунова*
Перевод на английский язык *О. Ю. Юшко*
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Подписано в печать 27.09.2017. Формат 70×108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 9,6. Усл. печ. л. 23,1. Тираж 500 экз. Заказ № 25

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1