

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Вып. 4(77)**      **Серия: Строительство и архитектура**  
Научно-теоретический и производственно-практический журнал      **2019**

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

Выходит 4 раза в год  
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГТУ

**С о д е р ж а н и е**

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

- Лапина А. П., Зотов И. М., Чепурненко А. С., Языев Б. М.* Совершенствование энергетического метода в расчетах балок на устойчивость плоской формы изгиба 5
- Саинов М. П.* Изменение напряженно-деформированного состояния железобетонного экрана каменно-набросной плотины в зависимости от его толщины 17
- Туманов С. Л., Калиновский С. А., Фетисов Ю. М., Рисунов А. Р.* Расчет величины оползневого давления, действующего на свайную удерживающую конструкцию 24
- Туманов С. Л., Фетисов Ю. М., Рисунов А. Р.* Экспериментальное исследование устойчивости откосов и уступов грунтовых выемок на моделях из эквивалентного материала 35
- Харланов В. Л., Харланова С. В.* Сравнение различных теорий прочности бетона в методе конечных элементов на примере изгибаемой балки 41

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

- Корневский В. В., Мордик Е. А.* Оценка геометрических параметров дороги с использованием передвижной дорожной лаборатории 48
- Макаров А. В., Ерещенко Т. В., Старов А. В., Захаров И. Н.* Анализ экономической целесообразности мостовых сооружений различных продольных профилей 56
- Сапожкова Н. В., Кубахова А. С., Федина М. А., Барышников В. А.* Устройство перехватывающих и многоуровневых парковок как метод снижения загруженности улично-дорожной сети 64

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Исакулов Б. Р., Кульшаров Б. Б., Сартова А. М., Коньсбаева Ж. О., Шалабаева С. И.** Исследование деформативности серосодержащих арболитовых композитов при различных длительных нагрузках 74
- Положное А. В., Торколенкова К. С., Хуторной С. М.** Оценка процессов структурообразования и формирования строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения 82
- Положное А. В., Хуторной С. М., Торколенкова К. С.** Анализ формирования мелкозернистого бетона, модифицированного отходами инструментальной промышленности 93
- Ткач Е. В., Соловьев В. И., Темирканов Р. И.** Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема 100

#### ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Игнаткина Д. О., Поздняков А. П., Москвичева А. В., Москвичева Е. В., Войтюк А. А.** Математическое описание экспериментальных закономерностей процесса сорбционной доочистки сточных вод на примере предприятия табачной индустрии РФ 110
- Меренцов Н. А., Лебедев В. Н., Персидский А. В., Шилихин А. С., Голованчиков А. Б.** Автоматическое управление режимами работы аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды 124

#### ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М.** Гидравлический привод рабочих органов дорожно-строительных машин 136
- Чебанова С. А., Азаров А. В., Беккер М. Е.** Особенности и проблемы организационно-технологических решений строительства в стесненных условиях 146

#### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т., Пушенко С. Л., Стасева Е. В.** Обеспечение безопасности обслуживания линий связи и электропередач на общих опорах 153

#### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А.** Принципиальные положения оптимизации зеленого строительства в Волгоградской агломерации 162
- Анопин В. Н., Рулев А. С., Сабитова Т. А.** Особенности методов ландшафтно-топографических изысканий для лесозащитного обустройства автомобильных дорог Нижнего Поволжья 171
- Меренцов Н. А., Персидский А. В., Лебедев В. Н., Карасев А. Г., Голованчиков А. Б.** Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли 182
- Митягин С. Д., Шевчук И. В., Мельникова Е. И., Кольшев Ю. Б., Соколов И. И.** Ландшафтно-рекреационные особенности природных памятников как направление развития современных природных парков Ставропольского края 196
- Орозалиев М. Д., Соколов И. И., Сасова Е. А., Шевчук И. В., Мельникова Е. И.** Способ архитектурно-ландшафтного анализа с использованием метода оценки информационно-эстетического потенциала территории природного парка «Цимлянские пески» 204

#### АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- Черешнев И. В., Черешнева Н. В.** Исследование методов архитектурно-экологического формирования жилых зданий 213

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

- Гусейнова Е. Л.** Развитие профессиональных компетенций студентов технических вузов, изучающих дисциплину «Гидравлика» 221
- От редколлегии** 230

## Content

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

<b>Lapina A. P., Zotov I. M., Chepurnenko A. S., Yazyev B. M.</b> Improving the energy method in calculation of the beams for the stability of a flat bending shape	5
<b>Sainov M. P.</b> Change of stress-strain state of concrete face of rockfill dam weir depending on its thickness	17
<b>Tumanov S. L., Kalinovskii S. A., Fetisov Yu. M., Risunov A. R.</b> Calculation of the value of the landslide pressure acting on the pile retaining structure	24
<b>Tumanov S. L., Fetisov Yu. M., Risunov A. R.</b> Experimental study of the stability of slopes and ledges of excavation on models of equivalent material	35
<b>Kharlanov V. L., Kharlanova S. V.</b> Comparison of different theories of concrete strength in the finite element method on the example of a bent beam	41

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

<b>Korenevskii V. V., Mordik E. A.</b> Evaluation of geometric parameters of the road using a mobile road laboratory	48
<b>Makarov A. V., Ereshchenko T. V., Starov A. V., Zakharov I. N.</b> Analysis of economic feasibility of bridge structures of different longitudinal profiles	56
<b>Sapozhkova N. V., Kubakhova A. S., Fedina M. A., Barishnikov V. A.</b> Park-and-ride and multi-level parking as a method of reducing congestion on the road network	64

### BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

<b>Isakulov B. R., Kulsharov B. B., Sartova A. M., Konysbayeva Zh. O., Shalabayeva S. I.</b> Study of deformation of sulphur-containing arboleyte composites at various long-term loads	74
<b>Polozhnov A. V., Torkolenkova K. S., Khutornoy S. M.</b> Assessment of processes of structural formation and formation of construction composition using secondary polymeric materials and waste of instrumental machinery	82
<b>Polozhnov A. V., Khutornoy S. M., Torkolenkova K. S.</b> Analysis of formation of fine-concrete concrete modified by waste instrumental industry	93
<b>Tkach E. V., Soloviev V. I., Temirkanov R. I.</b> Cement concrete with improved physico-mechanical properties based on the use of activated silicafume	100

### WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

<b>Ignatkina D. O., Pozdnyakov A. P., Moskvicheva A. V., Moskvicheva E. V., Voityuk A. A.</b> Mathematical description of experimental regularities of the process of sorption purification of sewage on the example of enterprises in the tobacco industry of the Russian Federation	110
<b>Merentsov N. A., Lebedev V. N., Persidskiy A. V., Shilikhin A. S., Golovanchikov A. B.</b> Automatic adjustment flow modes of evaporation cooling apparatuses of industrial water supply	124

### TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

<b>Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Fetisov Yu. M.</b> Hydraulic drive of working bodies of road-building machines	136
<b>Chebanova S. A., Azarov V. A., Bekker M. E.</b> Features and problems of organizational and technological solutions of construction in cramped conditions	146

### LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

<b>Senchenko V. A., Kaverzneva T. T., Pushenko S. L., Staseva E. V.</b> Ensuring the safety of communication lines and power transmission service on common supports	153
--	-----

### ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

<b>Anopin V. N., Makhova S. I., Stepanova E. A.</b> Principal provisions of optimization of green construction in Volgograd agglomeration	162
<b>Anopin V. N., Sabitova T. A., Rulev A. S.</b> Methods of landscape features — topographic survey of forest for development of roads Lower Volga	171
<b>Merentsov N. A., Persidskiy A. V., Lebedev V. N., Karasev A. G., Golovanchikov A. B.</b> Perspective of using industrial waste of machining enterprises for solution environmental problems of the construction industry	

---

<b>Mityagin S. D., Shevchuk I. V., Mel'nikova E. I., Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I.</b> Landscape and recreational features of natural monuments as the development direction of modern natural parks in the Stavropol territory	182
<b>Orozaliev M. D., Mel'nikova E. I., Sokolov I. I., Sasova E. A., Shevchuk I. V.</b> Architectural and landscape analysis using the method of evaluation of awareness-esthetic potential of the natural park «Tsimlyansk Sands»	196
	204
GENERAL ARCHITECTURE	
<b>Chereshnev I. V., Chereshneva N. V.</b> Research of methods architectural and ecological form-construction residential buildings	213
ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE	
<b>Guseynova E. L.</b> Developing professional competence in students of technical higher education studying Hydraulics	221
<b>From Editorial Team</b>	230

УДК 624.04

А. П. Лапина, И. М. Зотов, А. С. Чепурненко, Б. М. Языев

Донской государственный технический университет

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА В РАСЧЕТАХ БАЛОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ ИЗГИБА

В статье рассматриваются вопросы применения энергетического метода к задаче бокового выпучивания балок узкого прямоугольного и двутаврового поперечного сечения. Предложен подход, позволяющий выполнить машинную реализацию вычислений и учесть произвольное число членов ряда. Также имеется возможность учета вертикального смещения точки приложения нагрузки относительно центра тяжести и переменной по длине жесткости балки.

Ключевые слова: энергетический метод, боковое выпучивание, вековое уравнение, вариационный принцип Лагранжа, плоская форма изгиба, устойчивость.

Впервые энергетический метод для расчета на устойчивость плоской формы деформирования был применен С. П. Тимошенко в работе [1] при определении критической нагрузки для шарнирно опертой по концам балки узкого прямоугольного поперечного сечения, загруженной сосредоточенной силой в середине пролета (рис. 1).

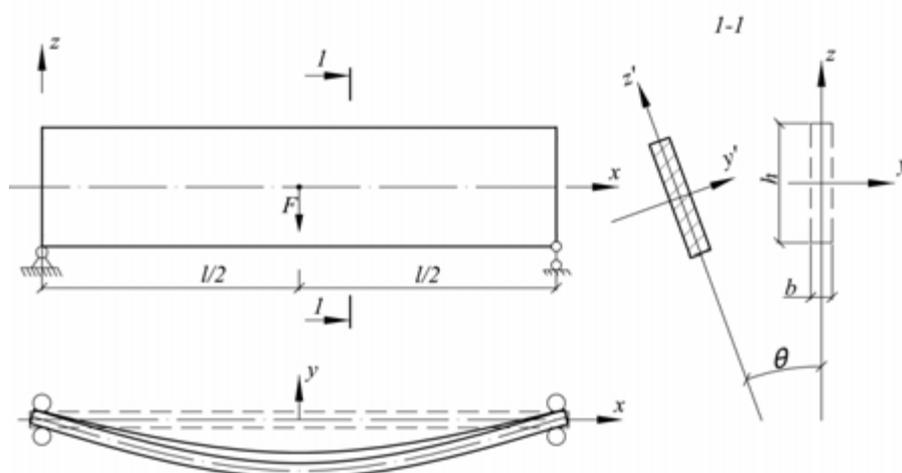


Рис. 1. Расчетная схема

При боковом выпучивании балки происходит увеличение потенциальной энергии деформации (ПЭД), и в то же время вследствие вертикального смещения точки приложения нагрузки сила  $F$  совершает некоторую работу.

Увеличение энергии деформации  $\Delta\Pi$  вследствие бокового выпучивания для балки постоянного прямоугольного сечения можно записать в виде [1]:

$$\Delta\Pi = EI_z \int_0^{0,5l} \left( \frac{d^2v}{dx^2} \right)^2 dx + GI_k \int_0^{0,5l} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 dx, \quad (1)$$

где  $E$  — модуль упругости материала;  $I_z$  — осевой момент инерции;  $v$  — прогиб в плоскости наименьшей жесткости;  $G$  — модуль сдвига;  $I_k$  — момент инерции при кручении;  $\theta$  — угол закручивания.

В формуле (1) учитывается симметрия балки и рассматривается ее половина. Вертикальное смещение точки приложения нагрузки при боковом выпучивании для принятых нами положительных направлений осей определяется интегралом [1]:

$$\Delta = - \int_0^{0,5l} \theta \frac{d^2 v}{dx^2} \left( \frac{l}{2} - x \right) dx. \quad (2)$$

Критическую нагрузку С. П. Тимошенко определяет из условия равенства работы силы  $F$  энергии деформации бокового изгиба и кручения балки:

$$EI_z \int_0^{0,5l} \left( \frac{d^2 v}{dx^2} \right)^2 dx + GI_k \int_0^{0,5l} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 dx = -F \int_0^{0,5l} \theta \frac{d^2 v}{dx^2} \left( \frac{l}{2} - x \right) dx. \quad (3)$$

Изгибающий момент относительно оси  $z'$  в момент выпучивания определяется как:

$$M_{z'} = M_y \theta = -EI_z \frac{d^2 v}{dx^2}. \quad (4)$$

Далее, используя формулу (4) и учитывая, что изгибающий момент  $M_y$  для правой половины балки определяется как  $\frac{F}{2} \left( \frac{l}{2} - x \right)$ , можно выразить производную прогиба через угол закручивания и представить уравнение (3) в виде:

$$GI_k \int_0^{0,5l} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 dx - \frac{F^2}{4EI_z} \int_0^{0,5l} \theta^2 \left( \frac{l}{2} - x \right)^2 dx = 0. \quad (5)$$

Функцию угла закручивания  $\theta$  С. П. Тимошенко предлагает принимать в виде ряда:

$$\theta(x) = a_1 \cos \frac{\pi x}{l} + a_3 \cos \frac{3\pi x}{l} + a_5 \cos \frac{5\pi x}{l} + \dots \quad (6)$$

В первом приближении, беря только один член ряда, С. П. Тимошенко получает следующую формулу для критической нагрузки:

$$F_{кр} = K \frac{\sqrt{EI_z GI_k}}{l^2}, \quad (7)$$

где  $K = 17,2$ .

Точное значение коэффициента  $K$ , полученное на основе решения дифференциального уравнения устойчивости балки, составляет 16,93 [2].

Перейдем для удобства к безразмерной координате  $\xi = x/l$  и рассмотрим более детально второе приближение, взяв в (6) первые 2 члена ряда:

$$\theta = a_1 \cos(\pi\xi) + a_3 \cos(3\pi\xi). \quad (8)$$

Равенство (5) в безразмерных величинах примет вид:

$$\int_0^{0.5} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi - \frac{\lambda}{4} \int_0^{0.5} \theta^2 \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi = 0, \quad (9)$$

где  $\lambda = \frac{F^2 l^4}{GI_\kappa EI_z}$ .

Подстановка (8) в (9) дает для  $\lambda$  следующую формулу:

$$\lambda = \frac{\frac{\pi^4}{4} (a_1^2 + 9a_3^2)}{\frac{a_1^2 + a_3^2}{48} + \frac{a_1^2}{8} + \frac{5a_1 a_3}{16} + \frac{a_3^2}{72}}. \quad (10)$$

Коэффициенты  $a_1$  и  $a_3$  следует подобрать так, чтобы параметр  $\lambda$  принял минимальное значение. Для этого возьмем производные от  $\lambda$  по  $a_1$  и  $a_3$  и приравняем их к нулю. Дифференцирование как по  $a_1$ , так и по  $a_3$  приводит к следующему уравнению:

$$320a_1 a_3 - 45a_1^2 + 405a_3^2 + 48a_1 a_3 \pi^2 = 0. \quad (11)$$

Введем величину  $k = a_1/a_3$ . Тогда вместо (11) получим следующее квадратное уравнение:

$$-45k^2 + (320 + 48\pi^2)k + 405 = 0. \quad (12)$$

Корни данного уравнения  $k_1 = -0,496$  и  $k_2 = 18,13$ . Минимальное значение  $\lambda_{\min} = 287,15$  параметр  $\lambda$  принимает при  $k_2 = 18,13$ . Этому значению соответствует коэффициент  $K = \sqrt{\lambda} = 16,9454$ . Полученное во втором приближении значение коэффициента  $K$  отличается от точного менее чем на 0,1 %.

Форма энергетического метода, предложенная С. П. Тимошенко для решения данной задачи, не очень удобна для машинной реализации и при числе членов ряда больше двух требует громоздких выкладок. Воспользуемся вместо условия равенства работы внешних сил и потенциальной энергии деформации вариационным принципом Лагранжа. Функционал Лагранжа, представляющий разность между потенциальной энергией деформации и работой внешних сил, запишется в виде:

$$\Lambda = -\frac{F^2}{4EI_z} \int_0^{0.5l} \theta^2 \left( \frac{l}{2} - x \right)^2 dx + GI_\kappa \int_0^{0.5l} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 dx. \quad (13)$$

Или в безразмерных координатах:

$$\Lambda = -\frac{F^2 l^3}{4EI_z} \int_0^{0.5} \theta^2 \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi + \frac{GI_\kappa}{l} \int_0^{0.5} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi. \quad (14)$$

Введем новый функционал  $\Lambda' = \Lambda / (GI_\kappa)$ , минимизация которого эквивалентна минимизации  $\Lambda$ . Выражение для  $\Lambda'$  примет вид:

$$\Lambda' = \int_0^{0.5} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi - \frac{\lambda}{4} \int_0^{0.5} \theta^2 \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi. \quad (15)$$

Представим функцию угла закручивания (6) в виде:

$$\theta(\xi) = \sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i f_i, \quad (16)$$

где  $f_i = \cos(\pi i \xi)$ .

Функционал  $\Lambda'$  будем минимизировать по каждому из неизвестных коэффициентов  $a_i$ :

$$\frac{\partial \Lambda'}{\partial a_j} = \int_0^{0.5} \frac{\partial}{\partial a_j} \left( \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 \right) d\xi - \frac{\lambda}{4} \int_0^{0.5} \frac{\partial}{\partial a_j} (\theta^2) \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi = 0, \quad j = 1, 3, 5, \dots, n. \quad (17)$$

Отдельно рассмотрим каждое подынтегральное выражение, входящее в (17):

$$\frac{\partial}{\partial a_j} \left( \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 \right) = 2 \frac{d\theta}{d\xi} \frac{\partial}{\partial a_j} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right) = 2 \sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i \frac{df_i}{d\xi} \frac{df_j}{d\xi}; \quad (18)$$

$$\frac{\partial}{\partial a_j} (\theta^2) = 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial a_j} = 2 \sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i f_i f_j. \quad (19)$$

Подставив (18) и (19) в (16) для каждого  $j = 1, 3, 5, \dots, n$ , получим линейное алгебраическое уравнение:

$$\sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i \left[ 2 \int_0^{0.5} \frac{df_i}{d\xi} \frac{df_j}{d\xi} d\xi - \frac{\lambda}{2} \int_0^{0.5} f_i f_j \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi \right] = 0. \quad (20)$$

Равенства (20) можно представить в матричном виде:

$$([A] - \lambda[B])\{X\} = 0, \quad (21)$$

где  $\{X\} = \{a_1 \quad a_3 \quad \dots \quad a_n\}^T$ ;  $[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{13} & a_{15} & \dots & a_{1n} \\ a_{31} & a_{33} & a_{35} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n3} & a_{n5} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$ ;

$$[B] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{13} & b_{15} & \dots & b_{1n} \\ b_{31} & b_{33} & b_{35} & \dots & b_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n3} & b_{n5} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты матриц  $[A]$  и  $[B]$  определяются по формулам:

$$a_{ij} = 2 \int_0^{0.5} \frac{df_i}{d\xi} \frac{df_j}{d\xi} d\xi = 2\pi^2 ij \int_0^{0.5} \sin(\pi i \xi) \sin(\pi j \xi) d\xi = \begin{cases} 0, i \neq j \\ \frac{\pi^2 i^2}{2}, i = j \end{cases};$$

$$b_{ij} = \frac{1}{2} \int_0^{0.5} f_i f_j \left(\frac{1}{2} - \xi\right)^2 d\xi = \frac{1}{2} \int_0^{0.5} \cos(\pi i \xi) \cos(\pi j \xi) \left(\frac{1}{2} - \xi\right)^2 d\xi = \quad (22)$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{48} + \frac{1}{8i^2 \pi^2} \right), i = j \\ \frac{1}{2} \left( \frac{i^2 + j^2}{\pi^2 [i^2 - j^2]^2} \right), i \neq j \end{cases}$$

Критическая нагрузка вычисляется из условия равенства нулю определителя системы (21):

$$|[A] - \lambda[B]| = 0. \quad (23)$$

Таким образом, задача сводится к обобщенному вековому уравнению. В таблице 1 представлены значения коэффициента  $K = \sqrt{\lambda_{\min}}$  при различном числе членов ряда.

Т а б л и ц а 1

Величины коэффициента  $K$  при различном числе членов ряда  $n$

$n$	1	2	3	4	5	6
$K$	17,1647	16,9454	16,9373	16,9364	16,9362	16,9362

Энергетический метод позволяет также учесть приложение нагрузки с вертикальным смещением  $a$  относительно центра тяжести поперечного сечения. В выражении для работы силы  $F$  при этом появляется дополнительное слагаемое  $Fa\theta_0^2/2$  [1], где  $\theta_0 = \theta|_{x=0}$ , и выражение для минимизируемого функционала  $\Lambda'$  принимает вид:

$$\Lambda' = \int_0^{0.5} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi - \frac{\lambda}{4} \int_0^{0.5} \theta^2 \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi - \sqrt{\lambda} \alpha \frac{\theta_0^2}{2}, \quad (24)$$

где  $\alpha = \frac{a}{l} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_k}}$ .

Величина  $\theta_0$  при использовании аппроксимирующей функции (6) записывается в виде:

$$\theta_0 = \sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i. \quad (25)$$

Производные от  $\theta_0^2/2$  по неизвестным коэффициентам  $a_j$  принимают вид:

$$\frac{\partial}{\partial a_j} \left( \frac{\theta_0^2}{2} \right) = \theta_0 \frac{\partial \theta_0}{\partial a_j} = \sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i. \quad (26)$$

Окончательно задача сводится к решению уравнения:

$$[A] - \lambda[B] - \sqrt{\lambda}\alpha[C] = 0, \quad (27)$$

где  $[C]$  представляет матрицу размером  $n \times n$ , все элементы которой равны 1.

Методика решения такого вида уравнений рассматривалась ранее в работах [3, 4]. Решение данной задачи различными методами приводится в монографии А. С. Вольмира [5] и диссертации А. А. Карамышевой [3]. В таблице 2 представлено сравнение результатов, полученных в [3, 5], с решением на основе энергетического метода.

Т а б л и ц а 2

*Сравнение решения авторов с результатами других исследователей*

Над центром тяжести						
$\alpha$	0,03	0,143	0,293	0,544		
$K$ (Вольмир)	16,0	12,8	9,6	6,4		
$K$ (Карамышева)	15,9934	12,7911	60,3294*	55,8618*		
$K$ (Авторы)	15,9983	12,8253	9,6668	н/д		
Под центром тяжести						
$\alpha$	-0,069	-0,166	-0,271	-0,396	-0,562	-0,815
$K$ (Вольмир)	19,2	22,4	25,6	28,8	32,0	35,2
$K$ (Карамышева)	19,2001	22,4024	25,6060	28,8038	32,0024	35,1934
$K$ (Авторы)	19,2024	22,4932	25,8706	29,3402	32,8745	36,4173

Для больших положительных значений  $\alpha$  при использовании энергетического метода наблюдается потеря устойчивости вычислительного процесса (появляются мнимые собственные значения), в таблице в соответствующей ячейке указано «н/д». Аналогичный эффект наблюдался в работе А. А. Карамышевой [3] (соответствующие значения помечены звездочкой). Однако, как было указано в [3], такие значения  $\alpha$  соответствуют очень узким и высоким балкам и не представляют практического интереса.

При приложении нагрузки под центром тяжести с увеличением  $\alpha$  по абсолютной величине наблюдается увеличение расхождения решения автора с результатами, представленными в [3] и [5]. Для  $\alpha = -0,815$  это расхождение составляет около 3,7 %.

Рассмотрим также консольную балку прямоугольного сечения под действием сосредоточенной силы на свободном конце (рис. 2).

Для определения вертикального смещения точки приложения силы  $F$  вследствие бокового выпучивания воспользуемся теоремой Кастильяно. Заметим, что смещение центра тяжести поперечного сечения из положения  $O$  в  $O_1$  (рис. 3) вызывается совокупностью двух причин: поворотом сечения вокруг точки  $O$  на угол  $\theta$  и боковым перемещением в направлении оси  $y$ .

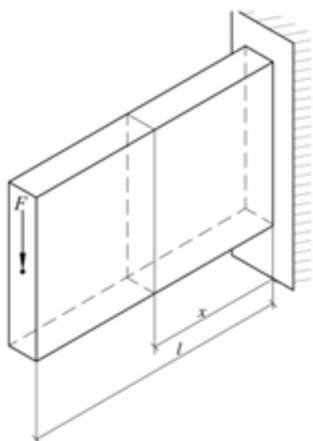


Рис. 2. Консольная балка прямоугольного сечения под действием сосредоточенной силы

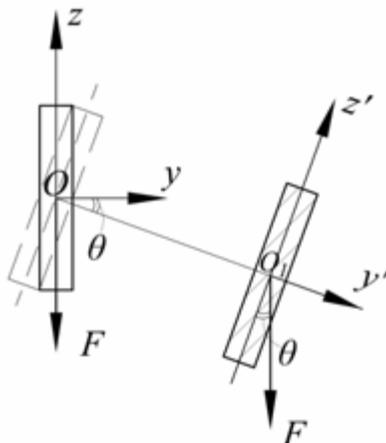


Рис. 3. К определению вертикального смещения точки приложения силы

Поскольку при повороте сечения опускания точки  $O$  не происходит, то, очевидно, причиной опускания точки приложения силы  $F$  является боковой изгиб балки из плоскости  $xOz$ .

Потенциальная энергия деформации изгиба из плоскости  $xOz$  может быть представлена в виде:

$$\Pi_u = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{(M_z(x))^2}{EI_z} dx = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{M_y^2 \theta^2}{EI_z} dx = \frac{1}{2} \frac{F^2}{EI_z} \int_0^l \theta^2 (l-x)^2 dx. \quad (28)$$

Вертикальное перемещение  $\Delta$  точки приложения силы  $F$  по теореме Кастильяно определяется как:

$$\Delta = \frac{\partial \Pi_u}{\partial F} = \frac{F}{EI_z} \int_0^l \theta^2 (l-x)^2 dx. \quad (29)$$

Отсюда работа силы  $F$  на перемещении  $\Delta$  будет равна:

$$A = F\Delta = \frac{F^2}{EI_z} \int_0^l \theta^2 (l-x)^2 dx. \quad (30)$$

Функционал Лагранжа для рассматриваемой задачи примет вид:

$$\Lambda = \frac{1}{2} GI_\kappa \int_0^l \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 dx - \frac{1}{2} \frac{F^2}{EI_z} \int_0^l \theta^2 (l-x)^2 dx. \quad (31)$$

Эквивалентный функционал  $\Lambda'$  в безразмерных величинах запишется в виде:

$$\Lambda' = \frac{1}{2} \int_0^1 \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi - \frac{\lambda}{2} \int_0^1 \theta^2 (1-\xi)^2 d\xi. \quad (32)$$

Функцию угла закручивания будем искать в виде тригонометрического ряда:

$$\theta(\xi) = \sum_{i=1,3,5,\dots}^n a_i f_i, \quad (33)$$

$$\text{где } f_i = 1 - \cos \frac{\pi i \xi}{2}. \quad (34)$$

При приложении нагрузки в центре тяжести поперечного сечения задача сводится к обобщенному вековому уравнению (23). Коэффициенты матриц [A] и [B] определяются по формулам:

$$a_{ij} = \int_0^1 \frac{df_i}{d\xi} \frac{df_j}{d\xi} d\xi = \frac{\pi^2 ij}{4} \int_0^1 \sin \frac{\pi i \xi}{2} \sin \frac{\pi j \xi}{2} d\xi = \begin{cases} \frac{\pi^2 ij}{8}, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (35)$$

$$b_{ij} = \int_0^1 f_i f_j (1 - \xi)^2 d\xi. \quad (36)$$

Интегрирование в формуле (36) для функций (34) выполняется численно.

Также для консольной балки функция угла закручивания может быть принята в виде степенного ряда:

$$\theta(\xi) = \sum_{i=1,2,3,\dots}^n a_i \xi^{i+1}. \quad (37)$$

В этом случае формулы для коэффициентов  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  принимают вид:

$$a_{ij} = \int_0^1 \frac{df_i}{d\xi} \frac{df_j}{d\xi} d\xi = \int_0^1 (i+1)\xi^i (j+1)\xi^j d\xi = \frac{(i+1)(j+1)}{i+j+1};$$

$$b_{ij} = \int_0^1 f_i f_j (1 - \xi)^2 d\xi = \int_0^1 \xi^{i+1} \xi^{j+1} (1 - \xi)^2 d\xi = \frac{1}{i+j+3} - \frac{2}{i+j+4} + \frac{1}{i+j+5}.$$

Критическая нагрузка также может быть вычислена по формуле (7). Точное значение коэффициента  $K$  для консольной балки при приложении нагрузки в центре тяжести поперечного сечения составляет 4,01 [5]. В таблице 3 представлены значения коэффициента  $K$ , полученные энергетическим методом при различном числе членов ряда в случае аппроксимации угла закручивания  $\theta$  тригонометрическим и степенным рядом.

Т а б л и ц а 3

*Величины коэффициента  $K$  при различном числе членов ряда для консольной балки*

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K$ (тригоном. ряд)	10,04	5,31	4,67	4,47	4,37	4,30	4,26	4,23	4,20	4,18
$K$ (степенной ряд)	11,83	5,77	4,65	4,35	4,24	4,18	4,14	4,11	4,09	4,08

Из таблицы 3 видно, что по сравнению с шарнирно опертой по концам балкой для консоли энергетический метод показывает гораздо худшую сходимость. Отклонение от точного решения при  $n = 10$  составляет 4,2 % в случае использования тригонометрического ряда и 1,75 % при использовании степенного ряда. Также при  $n \geq 12$  для степенного ряда наблюдалась потеря устойчивости вычислительного процесса (мнимые собственные значения). Для тригонометрического ряда при больших  $n$  вычислительный процесс был устойчив, но значение 4,01 с точностью до 3-го знака после запятой было получено лишь при 1000 членах ряда.

При приложении нагрузки с вертикальным смещением  $a$  относительно центра тяжести в выражении для работы силы  $F$  появляется дополнительное слагаемое, имеющее вид:

$$\frac{Fa(\theta|_{\xi=1})^2}{2}, \quad (38)$$

где  $\theta|_{\xi=1}$  — угол закручивания на свободном конце балки.

Окончательно задача сводится к уравнению (27).

Помимо балок с узким прямоугольным сечением предложенный подход может быть применен и к двутавровым балкам. В этом случае в выражении для потенциальной энергии деформации появляется дополнительное слагаемое, обусловленное деформациями стесненного кручения. Функционал Лагранжа для шарнирно опертой по концам балки под действием сосредоточенной силы в середине пролета при этом примет вид:

$$\begin{aligned} \Lambda &= EI_{\omega} \int_0^{0,5l} \left( \frac{d^2\theta}{dx^2} \right)^2 dx + GI_{\xi} \int_0^{0,5l} \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 dx - \frac{F^2}{4EI_z} \int_0^{0,5l} \theta^2 \left( \frac{l}{2} - x \right)^2 dx - Fa \frac{\theta_0^2}{2} = \\ &= \frac{EI_{\omega}}{l^3} \int_0^{0,5} \left( \frac{d^2\theta}{d\xi^2} \right)^2 d\xi + \frac{GI_{\xi}}{l} \int_0^{0,5} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi - \frac{F^2 l^3}{4EI_z} \int_0^{0,5} \theta^2 \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi - Fa \frac{\theta_0^2}{2}, \end{aligned} \quad (39)$$

где  $I_{\omega}$  — секториальный момент инерции сечения.

Вместо функционала  $\Lambda$  будем использовать функционал  $\Lambda' = \Lambda EI_{\omega} / l^3$ . Также введем следующие обозначения:

$$\lambda = \frac{F^2 l^6}{E^2 I_z I_{\omega}}; \alpha_1 = \frac{GI_{\xi} l^2}{EI_{\omega}}; \alpha_2 = a \sqrt{\frac{I_z}{I_{\omega}}}. \quad (40)$$

С учетом введенных обозначений выражение для  $\Lambda'$  примет вид:

$$\Lambda' = \int_0^{0,5} \left( \frac{d^2\theta}{d\xi^2} \right)^2 d\xi + \alpha_1 \int_0^{0,5} \left( \frac{d\theta}{d\xi} \right)^2 d\xi - \frac{\lambda}{4} \int_0^{0,5} \theta^2 \left( \frac{1}{2} - \xi \right)^2 d\xi - \sqrt{\lambda} \alpha_2 \frac{\theta_0^2}{2}. \quad (41)$$

Окончательно задача сводится к уравнению:

$$[A] - \lambda[B] - \sqrt{\lambda} \alpha_2 [C] = 0, \quad (42)$$

где матрицы  $[B]$  и  $[C]$  определяются как и ранее, а матрица  $[A]$  имеет вид:

$$[A] = \frac{\pi^4}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 3^4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 5^4 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & n^4 \end{bmatrix} + \alpha_1 \frac{\pi^2}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 3^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 5^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & n^2 \end{bmatrix}. \quad (42)$$

Была решена тестовая задача для стальной двутавровой балки при следующих исходных данных: пролет  $l = 4$  м, ширина полки  $b = 10$  см, высота стенки  $h = 40$  см, толщина стенки  $t_w = 3$  мм, толщина полки  $t_f = 4$  мм,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu = 0,3$ . В таблице 4 представлены величины критической нагрузки при различном числе членов ряда. Результаты первого и второго приближения отличаются лишь на 0,67 %.

Таблица 4

*Критическая нагрузка для двутавровой балки при различном числе членов ряда*

$n$	1	2	3	4	5	6
$F_{кр}$ , кН	15,0020	14,9018	14,8924	14,8902	14,8894	14,8890

Для контроля правильности результатов был выполнен расчет в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013. Полки и стенка моделировались плоскими прямоугольными оболочечными конечными элементами. Полученная форма потери устойчивости приведена на рис. 4. Критическая нагрузка по результатам расчета в ПК ЛИРА составила 15,26 кН, что отличается от решения энергетическим методом на 2,5 %.

Загрузка 1  
Форма потери устойчивости в гл. с. 1  
Коэффициент: 15,2623



Рис. 4. Форма потери устойчивости в ПК ЛИРА

Резюмируя представленные выше результаты, можно сделать вывод, что энергетический метод имеет непредсказуемую сходимость: в некоторых случаях оказывается достаточным удерживать один член ряда, а для некоторых

задач минимальное необходимое число членов ряда может достигать 10 и более. Предложенный в данной статье подход позволяет получать решение при произвольном числе членов ряда, а также учитывать вертикальное смещение точки приложения силы относительно центра тяжести поперечного сечения. Также имеется возможность учесть переменную по длине балки жесткость. В силу непредсказуемой сходимости для контроля достоверности результатов целесообразно применять альтернативные методы, рассмотренные в работах [6—18].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. Л., М. : Гостехиздат, 1946. 532 с.
2. Ищенко А. В., Зотов И. М. Энергетический метод в расчетах балок прямоугольного поперечного сечения при боковом выпучивании // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5583](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5583)
3. Карамышева А. А. Совершенствование расчета на устойчивость плоской формы изгиба деревянных балок переменного сечения и их оптимизация: дис... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2016. 124 с.
4. Calculation of wooden beams on the stability of a flat bending shape enhancement / A. S. Cherpurnenko, V. V. Ulianskaya, S. B. Yazyev, I. M. Zotov // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 196. Article No. 01003.
5. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М. : Наука, 1975. 984 с.
6. Гарифуллин М. Р., Ватин Н. И. Устойчивость тонкостенного холодногнутого профиля при изгибе — краткий обзор публикаций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6(21). С. 32—57.
7. Karamisheva A. A., Yazyev S. B., Avakov A. A. Calculation of plane bending stability of beams with variable stiffness // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1872—1877.
8. Карамышева А. А., Языев С. Б., Дудник А. Е. Выпучивание двухскатной балки при чистом изгибе // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом : материалы Международной науч.-практ. конф. Уфа, 2015. С. 35—37.
9. Карамышева А. А., Никора Н. И., Языев С. Б. Расчет на устойчивость плоской формы деформирования односкатной балки // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом : материалы Международной науч.-практ. конф. Уфа, 2015. С. 32—35.
10. Карамышева А. А., Чепурненко А. С., Языев Б. М. Устойчивость плоской формы изгиба односкатной дощатоклееной балки // Научное обозрение. 2016. № 7. С. 25—27.
11. Карамышева А. А., Языева С. Б., Чепурненко А. С. Расчет на устойчивость плоской формы изгиба балок переменной жесткости // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки. 2016. № 1. С. 95—98.
12. Wang C. M. Beam-Buckling Analysis via Automated Rayleigh-Ritz Method // Struct. Engrg., ASCE. 1994. Vol. 120(1). Pp. 200—211.
13. Tong G. A., Zhang L. General Theory for the Flexural-Torsional Buckling of Thin-Walled Members I: Fictitious Load Method // Adv. in Struct. Engrg. 2003. Vol. 6(4). Pp. 299—308.
14. Pengcheng J. Analytical Evaluations of Buckling Behavior of Wood Composite I-Joist with Sinusoidal Web. Morgantown : West Wirginia University, 2012. 106 p.
15. Galishnikova V. V., Gebre T. H. A comparative study of beam design curves against lateral torsional buckling using AISC, EC and SP // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2019. № 15(1). С. 25—32.
16. Ascione L., Giordano A., Spadea S. Lateral buckling of pultruded FRP beams // Composites Part B: Engineering. 2011. Vol. 42(4). Pp. 819—824.
17. Anapayan T, Mahedran M. Numerical modelling and design of Lite Steel Beams subject to lateral buckling // Constructional Steel Research. 2012. Vol. 70. Pp. 51—64.
18. Asgarian B., Soltani M., Mohri F. Lateral-torsional buckling of tapered thin-walled beams with arbitrary cross-sections // Thin-walled structures. 2013. Vol. 62. Pp. 96—108.

© Лапина А. П., Зотов И. М., Чепурненко А. С., Языев Б. М., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Совершенствование энергетического метода в расчетах балок на устойчивость плоской формы изгиба / А. П. Лапина, И. М. Зотов, А. С. Чепурненко, Б. М. Языев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 5—16.

*Об авторах:*

**Лапина Анастасия Павловна** — аспирант кафедры сопротивления материалов, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, nastya-l1@yandex.ru

**Зотов Иван Михайлович** — аспирант кафедры сопротивления материалов, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, ivan.zotov.1992@list.ru

**Чепурненко Антон Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, anton\_chepurnenk@mail.ru

**Языев Батыр Меретович** — д-р техн. наук, профессор кафедры сопротивления материалов, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, ps62@yandex.ru

**Anastasia P. Lapina, Ivan M. Zotov, Anton S. Chepurnenko, Batyr M. Yazyev**

**Don State Technical University**

**IMPROVING THE ENERGY METHOD IN CALCULATION OF THE BEAMS FOR THE STABILITY OF A FLAT BENDING SHAPE**

The article discusses the application of the energy method to the problem of lateral buckling of beams of narrow rectangular cross section and I-beams. An approach is proposed that allows one to perform machine implementation of calculations and take into account an arbitrary number of members of the series. It is also possible to take into account the vertical displacement of the point of application of the load relative to the center of gravity and a variable along the length of the beam stiffness.

**Key words:** energy method, lateral buckling, secular equation, Lagrange variational principle, flat bending shape, stability.

*For citation:*

Lapina A. P., Zotov I. M., Chepurnenko A. S., Yazyev B. M. [Improving the energy method in calculation of the beams for the stability of a flat bending shape]. *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], 2019, iss. 4, pp. 5—16.

*About authors:*

**Anastasia P. Lapina** — Postgraduate student of Strength of Materials Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, nastya-l1@yandex.ru

**Ivan M. Zotov** — Postgraduate student of Strength of Materials Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, ivan.zotov.1992@list.ru

**Anton S. Chepurnenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Strength of Materials Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, anton\_chepurnenk@mail.ru

**Batyr M. Yazyev** — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Strength of Materials Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, ps62@yandex.ru

УДК 624.04:627.43

**М. П. Саинов**

*Московский государственный строительный университет*

## **ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭКРАНА КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО ТОЛЩИНЫ**

В противофильтрационном железобетонном экране высокой каменно-набросной плотины могут возникать высокие растягивающие напряжения, которые могут вызвать образование трещин. В качестве одной из мер по повышению прочности экрана может рассматриваться изменение его толщины. Используя простой аналитический метод, можно получить, что при увеличении толщины экрана растет изгибающий момент и растягивающие напряжения увеличиваются. Однако численное моделирование показывает, что в определенных случаях увеличение толщины экрана может улучшить его напряженное состояние. Это объясняется тем, что экран работает не только на изгиб, но и воспринимает растягивающие продольные силы.

**Ключевые слова:** каменно-набросная плотина с железобетонным экраном, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, толщина экрана, деформации, прочность, изгиб, продольная сила.

### **Введение**

Железобетонный экран является одним из наиболее перспективных типов негрунтовых противофильтрационных элементов каменно-набросных плотин<sup>1</sup> [1]. Они могут воспринимать высокие напоры (100...200 м), имея толщину всего 1 % от высоты плотины. В соответствии с рекомендациями ICOLD<sup>2</sup> в высоких плотинах толщина  $t$  железобетонного экрана (ЖБЭ) назначается переменной по высоте и вычисляется по формуле:

$$t = 0,3 + 0,003H, \quad (1)$$

где  $H$  — глубина водохранилища в рассматриваемой точке.

Однако опыт эксплуатации свидетельствует о том, что тонкостенный ЖБЭ может находиться в неблагоприятном напряженном состоянии. На ряде сверхвысоких плотин в экране образовывались трещины вследствие нарушения прочности бетона на сжатие или растяжение [2—4].

В связи с этим актуальным является вопрос о выборе конструктивных способов улучшения напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонного экрана. В качестве одного из таких способов может рассматриваться изменение его толщины. Высказываются даже предложения по строительству каменно-набросных плотин с массивными негрунтовыми экранами из цементосодержащих материалов [5], предлагается дополнить железобетонный экран толстой подэкрановой зоной из грунтоцемента.

В данной статье исследуется, можно ли уменьшить растягивающие напряжения в экране, изменив его толщину.

<sup>1</sup> ICOLD. Concrete Face Rockfill dam: Concepts for design and construction, International Commission on Large Dams. Bulletin 141. 2010. 401 p.

<sup>2</sup> Там же.

### Материалы и методы

Для оценки эффективности изменения толщины ЖБЭ как способа регулирования его НДС автором было проведено исследование с применением аналитических и численных методов.

С помощью аналитического метода можно оценить влияние толщины экрана на его работу при изгибе. Из дифференциального уравнения изогнутой оси балки может быть определен изгибающий момент  $M$ , воспринимаемый экраном:

$$M = EJ \frac{d^2u}{dx^2}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль линейной деформации материала балки;  $J$  — момент инерции поперечного сечения балки;  $u$  — прогиб балки;  $x$  — координата вдоль оси балки.

Через изгибающий момент можно найти максимальные значения нормальных напряжений, возникающих в балке при изгибе. Значение напряжений  $\sigma$  на гранях балки будет равно:

$$\sigma = \pm \frac{M t}{2 J} = \pm E \cdot \frac{t}{2} \cdot \frac{d^2u}{dx^2}, \quad (3)$$

где  $t$  — толщина балки.

Из формулы (3) видно, что если форма изгиба балки останется неизменной, напряжения в балке будут повышаться пропорционально увеличению ее толщины. Из результатов численного моделирования НДС известно, что общий характер распределения прогибов определяется деформируемостью каменной наброски тела плотины — экран выгибается в сторону нижнего бьефа. При этом жесткость экрана практически не сказывается на величине прогибов. По этой причине увеличение толщины экрана может улучшить его напряженное состояние только на локальных участках, где происходит местный изгиб. В остальных случаях — чем толще экран, тем больше значения напряжений, вызванных общим изгибом.

Однако аналитический метод не учитывает, что помимо деформаций изгиба экран воспринимает и деформации продольного удлинения — укорачивания. В наших исследованиях [6, 7] было показано, что в нижней части ЖБЭ могут возникать растягивающие продольные силы, а в верхней — сжимающие. Эти силы передаются на экран через трение от деформаций тела плотины.

Чтобы учесть наличие продольных сил, автором было использовано численное моделирование. Исследования НДС проводились на примере конструкции каменно-набросной плотины с ЖБЭ высотой 100 м, показанной на рис. 1. Толщина ЖБЭ принималась постоянной по высоте. Рассматривались три варианта толщины: 1 %, 2 % и 2,5 % от высоты плотины.

Расчеты проводились для модели линейно-деформируемого материала. Коэффициент Пуассона каменной наброски был принят равным  $\nu = 0,25$ , а модуль линейной деформации  $E_{гр}$  варьировался от 60 до 480 МПа. Этот интервал значений  $E_{гр}$  соответствует диапазону прогибов ЖБЭ в реальных плотинах, который был измерен в натуральных условиях [8, 9]. Для бетона экрана

было принято:  $E = 29000$  МПа,  $\nu = 0,20$ . Наличие армирования экрана не учитывалось, т. к. оно, как правило, незначительное (около 0,4 %) <sup>3</sup>.

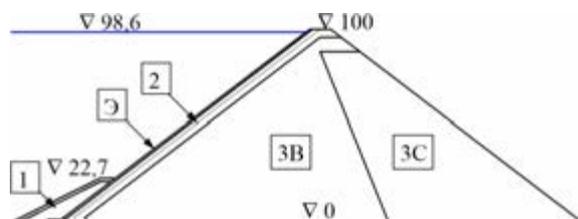


Рис. 1. Схема конструкции каменно-набросной плотины с железобетонным экраном: 1 — защитная призма; 2 — подэкрановая зона; 3В, 3С — зоны упорной призмы; Э — железобетонный экран

### Результаты

На рисунках 2, 3 <sup>4</sup> показано полученное расчетом для некоторых вариантов распределение продольных напряжений на верховой и низовой гранях ЖБЭ. НДС ЖБЭ характеризуется наличием изгиба и деформаций удлинения — укорачивания. Вследствие изгиба удлинение низовой грани экрана больше, чем на верховой. В нижней части экрана растягивающие напряжения действуют даже по средней линии экрана, что свидетельствует о наличии растягивающей продольной силы.

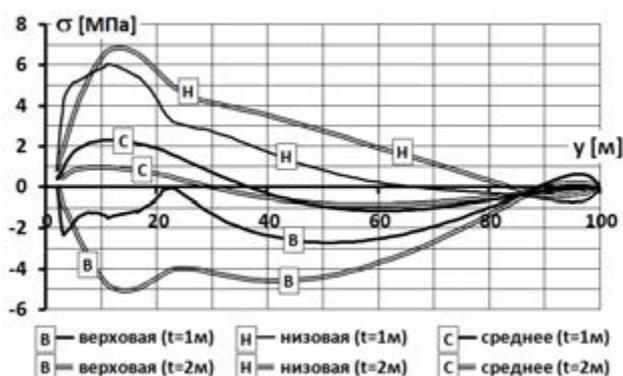


Рис. 2. Распределение продольных напряжений по высоте железобетонного экрана (модуль деформации каменной наброски 60 МПа)

В вариантах с большей толщиной ЖБЭ значения продольных напряжений на гранях экрана могут быть как выше, так и ниже по сравнению с напряжениями в вариантах с меньшей толщиной (рис. 2, 3). Это объясняется тем, что при увеличении толщины увеличивается моментная составляющая в распределении напряжений, но уменьшаются напряжения, вызванные продольной силой. Это видно из рис. 4 и 5, где показано распределение по высоте экрана продольной силы  $N$  и изгибающего момента  $M$ . Эти внутренние усилия были вычислены по значениям продольных напряжений на гранях экрана.

<sup>3</sup> ICOLD. Concrete Face Rockfill dam: Concepts for design and construction, International Commission on Large Dams. Bulletin 141. 2010. 401 p.

<sup>4</sup> На рисунках величина  $y$  соответствует высоте точки экрана.

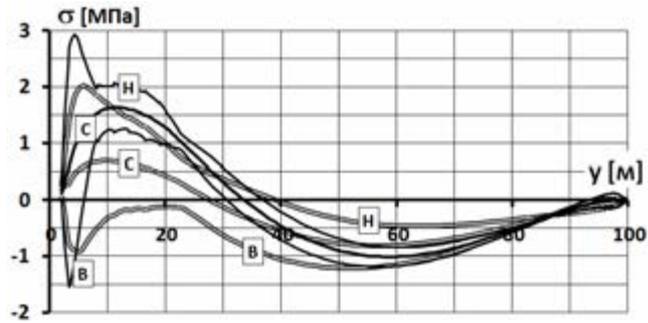


Рис. 3. Распределение продольных напряжений по высоте железобетонного экрана (модуль деформации каменной наброски 480 МПа)

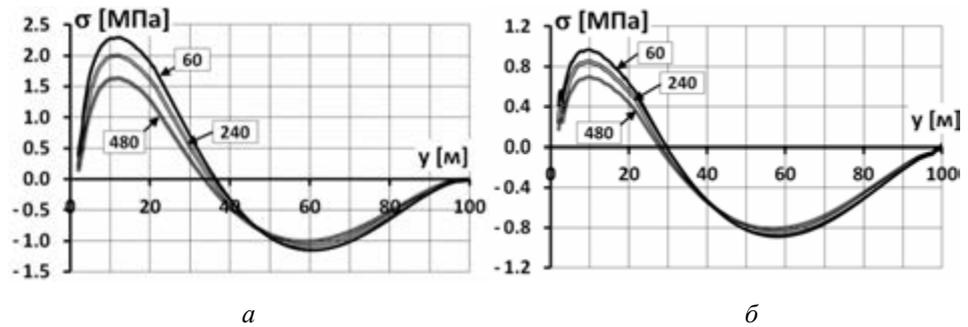


Рис. 4. Распределение по высоте средних значений продольных напряжений в железобетонном экране: *а* — при толщине экрана 1 м; *б* — при толщине экрана 2 м. Цифрами обозначено значение модуля деформации каменной наброски

По распределению моментов на рис. 5 видно, что повышенная толщина экрана позволяет «сгладить» неравномерность распределения деформаций изгиба экрана, особенно в его нижней части.

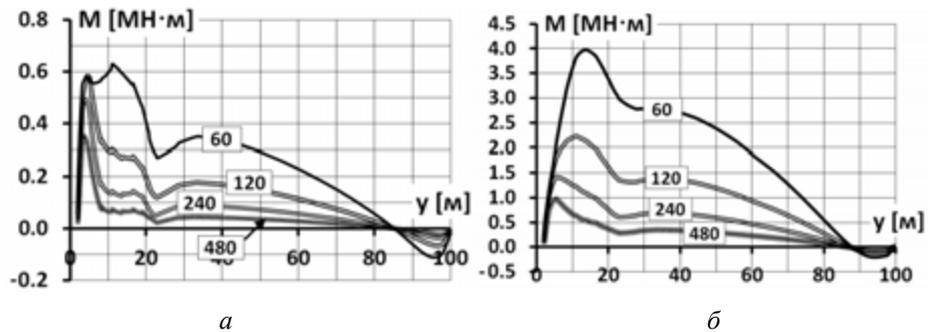


Рис. 5. Распределение по высоте железобетонного экрана значений изгибающего момента: *а* — при толщине экрана 1 м; *б* — при толщине экрана 2 м; цифрами обозначено значение модуля деформации каменной наброски

По результатам расчетов всех рассмотренных вариантов были построены графики изменения максимальных значений внутренних усилий (рис. 6) и растягивающих продольных напряжений (рис. 7) в ЖБЭ в зависимости от его толщины и модуля деформации каменной наброски.

Они позволили выявить следующее:

- Увеличение толщины экрана приводит к резкому увеличению максимального значения изгибающего момента  $M$  в ЖБЭ (рис. 6, *а*). При модуле каменной наброски  $E \approx 120$  МПа величина момента растет примерно пропорционально квадрату увеличения толщины экрана. При  $E < 100$  МПа рост момента происходит более интенсивно, а при  $E > 150$  МПа — менее интенсивно. Это отличие от теории объясняется тем, что максимальное значение изгибающего момента вызвано не только общим, но и местным изгибом экрана.

- При увеличении толщины экрана происходит небольшое уменьшение воспринимаемых им продольных сил  $N$  (рис. 6, *б*), однако это уменьшение незначительно.

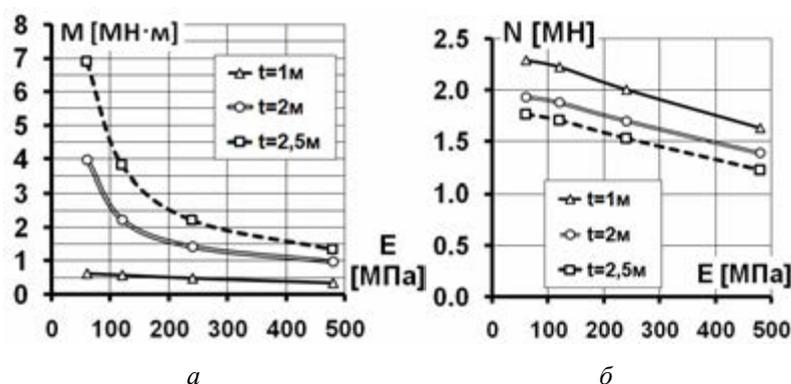


Рис. 6. Изменение максимальных значений внутренних усилий в ЖБЭ в зависимости от модуля деформации  $E$  каменной наброски и толщины экрана: *а* — изгибающий момент; *б* — продольная сила

Следствием разнонаправленного изменения  $N$  и  $M$  является сложный характер влияния толщины экрана на максимальные значения растягивающих напряжений в нем (рис. 7). При  $E \approx 80$  МПа наименьшее значение растягивающих напряжений наблюдалось при толщине экрана  $t = 1$  м, а при  $E > 100$  МПа — при  $t = 2,5$  м. Это различие объясняется тем, что при высоких модулях деформации каменной наброски наибольшее влияние на величины напряжений оказывает продольная сила  $N$ , а при низких модулях — изгибающий момент  $M$ .

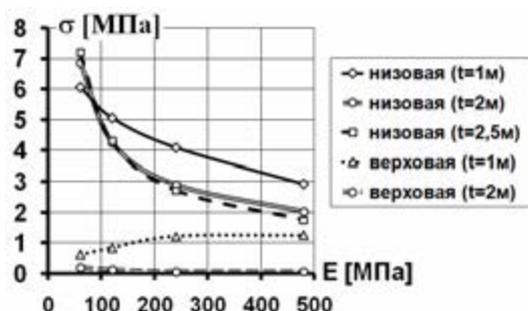


Рис. 7. Изменение максимальных значений растягивающих напряжений на гранях ЖБЭ в зависимости от модуля деформации  $E$  каменной наброски и толщины экрана

При  $E > 150$  МПа увеличение толщины экрана с 1 м до 2 м позволило уменьшить максимальное значение растягивающих напряжений в экране примерно на 1 МПа (рис. 7). Однако дальнейшее увеличение толщины экрана до 2,5 м не принесло существенного улучшения НДС ЖБЭ. Почти во всех вариантах растягивающие напряжения превысили расчетное сопротивление бетона на растяжение. Исключение составили варианты с  $E > 450$  МПа и  $t \geq 2$  м.

Выводы:

1. Собственная жесткость экрана оказывает малое влияние на его прогибы. Они в основном определяются деформируемостью каменной наброски тела плотины. Тем не менее увеличение толщины экрана может сглаживать деформации изгиба на его локальных участках.

2. Изменение толщины экрана каменно-набросной плотины оказывает неоднозначное влияние на его НДС. С одной стороны, увеличение толщины экрана позволяет снизить напряжения, вызванные продольной силой, а с другой — ведет к резкому увеличению изгибающих моментов. В результате увеличение толщины экрана может иметь как благоприятные, так и негативные последствия для его НДС и трещиностойкости.

3. Увеличение толщины экрана может являться эффективным способом повышения надежности экрана только в случае низкой деформируемости каменной наброски. В этом случае, по-видимому, следует принимать толщину экрана большей, чем по рекомендациям ICOLD.

4. Неоднозначность влияния толщины экрана на параметры его НДС приводит к тому, что существует некоторая оптимальная толщина экрана, которая обеспечивает наиболее благоприятные условия его работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современное научное обоснование строительства каменнонабросных плотин с железобетонными экранами / В. Г. Радченко, В. Б. Глаговский, Н. А. Кассирова, Е. В. Курнева и др. // Гидротехническое строительство. 2004. № 3. С. 2—8.
2. Ma H. Q., Cao K. M. Key technical problems of extra-high concrete faced rock-fill dam // Science in China. Series E: Technological Sciences. 2007. Vol. 50(1). Pp. 20—33.
3. Freitas, M. S. Jr. Concepts on CFRDs Leakage Control — Cases and Current Experiences // ISSMGE Bulletin. 2009. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 11—18.
4. Маркес Фильо П., Пинто Н. де С. Характеристики каменно-набросных плотин с бетонным экраном, полученные опытным путем // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. 2007. С. 69—74.
5. Рассказов Л. Н., Саинов М. П. Численные исследования надежности высокой каменной плотины с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из грунтоцементобетона // Гидротехническое строительство. 2012. № 2. С. 30—34.
6. Саинов М. П. Влияние деформируемости каменной насыпи на напряженно-деформированное состояние железобетонного экрана плотины // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 69—78.
7. Саинов М. П., Егоров И. М., Пак К. В. Влияние неоднородности строения каменно-набросной плотины на напряженно-деформированное состояние железобетонного экрана // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 2. Ст. 5. URL: [http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2019/02/05\\_02\\_2019.pdf](http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2019/02/05_02_2019.pdf).
8. A statistical review of the behaviour of concrete face rockfill dams based on case histories. A statistical review of the behaviour of concrete-face rockfill dams based on case histories / L. Wen, J. Chai, Z. Xu, Y. Qin, Y. Li, C. Junrui // Géotechnique. 2018. Vol. 68. № 9. Pp. 749—771.
9. Сорока В. Б., Саинов М. П., Королев Д. В. Каменно-набросные плотины с железобетонным экраном: опыт исследований напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 207—224.

© Саинов М. П., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Саинов М. П. Изменение напряженно-деформированного состояния железобетонного экрана каменно-набросной плотины в зависимости от его толщины // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 17—23.

Об авторе:

**Саинов Михаил Петрович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Mikhail P. Sainov**

**Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)**

## **CHANGE OF STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE FACE OF ROCKFILL DAM WEIR DEPENDING ON ITS THICKNESS**

Great tensile stresses in high rockfill dam seepage-control reinforced concrete face may occur, which may lead to crack formation. One of the considered measures in enhancing the face strength may be variation of its thickness. Using a simple analytical method there may be achieved the result when at increase of the face thickness the bending moment grows and tensile stresses increase. However, numerical modeling shows that in certain cases the face thickness increase may improve its stress state. This is explained by the fact that the face not only takes bending moment but also perceives tensile longitudinal forces.

**Key words:** concrete faced rockfill dam, stress strain state, numerical modeling, thickness of face, deformations, strength, bending, longitudinal force.

*For citation:*

Sainov M. P. [Change of stress-strain state of concrete face of rockfill dam weir depending on its thickness]. *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], 2019, iss. 4, pp. 17—23.

*About author:*

**Mikhail P. Sainov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Hydraulic Engineering Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

УДК 624.131

**С. Л. Туманов, С. А. Калиновский, Ю. М. Фетисов, А. Р. Рисунов**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ОПОЛЗНЕВОГО ДАВЛЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА СВАЙНУЮ УДЕРЖИВАЮЩУЮ КОНСТРУКЦИЮ**

Определена величина оползневого давления, действующего на свайную удерживающую конструкцию, на основе анализа напряженно-деформированного состояния приоткосной зоны уступов, в зависимости от их местоположения на откосе грунтовой выемки и угла его наклона, а также коэффициента бокового давления. Определив величину оползневого давления в зависимости от указанных факторов, по известным формулам можно определить расстояние между осями удерживающих элементов и глубину их заделки.

**Ключевые слова:** оползневое давление, свайная удерживающая конструкция, арочный эффект, расстояния между осями свай, глубина заделки свай, призма обрушения, параметр устойчивости откоса, сваи, межсвайное пространство.

В строительстве часто возникает необходимость в укреплении откосов террас либо подсеченных поверхностями ослабления, либо сложенных породами, предрасположенными к оползанию и осыпанию. Известны работы [1—3], в которых рассматриваются вопросы расчета укрепленных свайными конструкциями откосов, однако противооползневые мероприятия в ряде случаев оказываются неэффективными. Это чаще всего связано с неверным определением наиболее вероятной поверхности разрушения, а также использованием при расчетах только вертикальной составляющей напряжений, что не позволяет учесть такую важную характеристику грунтового массива, как коэффициент бокового давления  $\xi_0$  [4, 5]. В то же время в ряде работ отмечено значительное влияние этой величины на результаты геотехнических расчетов [6].

В работах [7, 8] рассматривается устойчивость укрепленных буронабивными сваями откосов на основе анализа напряженно-деформированного состояния приоткосных массивов, позволяющего устранить указанные недостатки.

Исследуется устойчивость откосов, сложенных глинистыми и скальными породами с неупорядоченной трещиноватостью. Рассматриваются верхний и нижний уступы, принадлежащие двухступенчатым грунтовым выемкам с углами наклона  $\beta = 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ$  и углами наклона уступов  $\alpha = 60^\circ$ , укрепленных вертикальными буронабивными сваями диаметром  $D = (0,01 \dots 0,1)h$ , где  $h$  — высота уступа. Высота откосов террас  $H = 2h$ .

На рисунке 1 приведена расчетная схема для  $\beta = 35^\circ, \alpha = 60^\circ$  с указанием свайной удерживающей конструкции ( $D = 0,07h$ ) и поверхности разрушения при коэффициенте бокового давления  $\xi_0 = 0,75$  и параметре устойчивости уступа  $\lambda_y = 1,0$ :

$$\lambda_y = \frac{2c'}{\gamma H} \operatorname{ctg} \varphi, \quad (1)$$

где  $c', \gamma, \varphi$  — сцепление, объемный вес, угол внутреннего трения грунта.

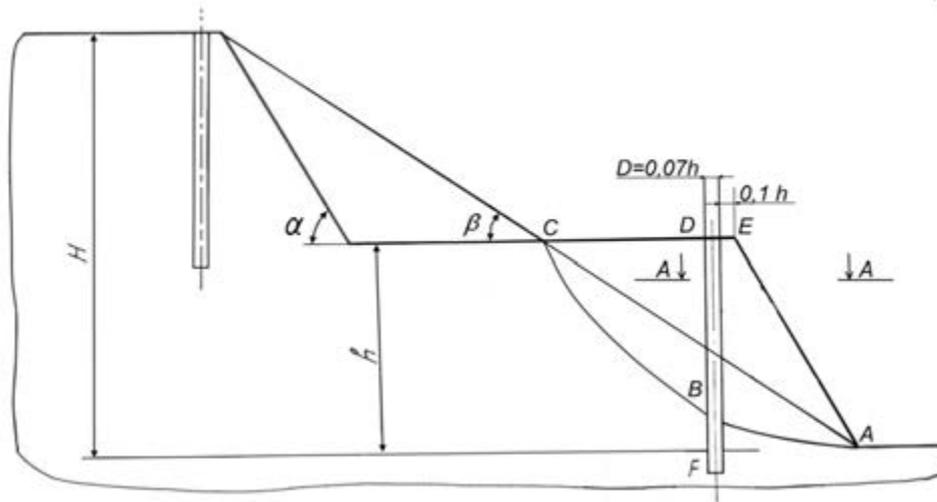


Рис. 1. Расчетная схема укрепленного уступа при  $\beta = 35^\circ, \alpha = 60^\circ$

Материал свай (железобетон) обладает по сравнению с рассматриваемыми грунтовыми породами повышенными прочностными свойствами, а напряжения в приоткосных зонах являются функциями отношений их модулей упругости и коэффициентов бокового давления. Расчеты проводились для отношений модулей упругости бетона  $E_6$  и грунтовой породы  $E_{г.п} = 1; 10; 100; 1000$  и величин коэффициентов бокового давления  $\xi_6 = 0,2$  и  $0,25 \leq \xi_{г.п} \leq 1$ .

Исследование устойчивости уступов, укрепленных буронабивными сваями, и обобщение теоретических и экспериментальных результатов дали возможность получить следующую формулу для определения коэффициентов устойчивости:

$$K_c = K + C \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где  $K_c$  — коэффициент устойчивости укрепленного уступа;  $K$  — коэффициент устойчивости уступа до укрепления;  $C$  — приращение коэффициента устойчивости, вызванное перераспределением напряжений в приоткосной зоне в результате возведения противооползневой удерживающей конструкции и дополнительных удерживающих сил в теле свай.

Расчетами также установлено, что влияние перераспределения напряжений в приоткосной зоне уступа в результате возведения свай на величину  $K$  незначительно, а его возрастание происходит за счет увеличения удерживающих сил, действующих вдоль части поверхности разрушения, расположенной в теле свай.

Проводились расчеты устойчивости уступов при  $0,1 \leq \lambda_y \leq 1$  и  $\lambda_y \leq \lambda_c \leq 20$  ( $\lambda_c$  — параметр устойчивости свай), что соответствует реальному диапазону изменения высот уступов, а также физико-механических характеристик грунтовых пород и бетона.

Анализ результатов вычислений позволил при рассматриваемых значениях  $\alpha, \beta, \lambda_y, \lambda_c$  для верхнего и нижнего уступов двухступенчатых бортов получить формулу для определения коэффициентов устойчивости укрепленных уступов:

$$K_c = K + (\lambda_c + \lambda_y)(b_1 - a_1 \lambda_y) \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

где  $a_1$  и  $b_1$  — коэффициенты, определяемые из [8].

Таким образом, расчетная формула получена на основе решения задачи об устойчивости однородного укрепленного откоса в плоской постановке, т. е. в предположении наличия «стены в грунте», а не свайного ряда. Для перехода к свайному ряду введем в рассмотрение параметр устойчивости межсвайного пространства  $\lambda_c^*$ , определяемый средневзвешенными характеристиками  $\lambda_{cp}, c_{cp}, \operatorname{tg} \varphi_{cp}$ . Для их определения используем известную формулу:

$$n_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (4)$$

в которой полагаем  $n = 2$ ,  $S_1 = \frac{\pi D^2}{4}$ ,  $S_2 = lD - \frac{\pi D^2}{4}$  (см. рис. 1), где  $l$  — расстояние между осями свай. Записав выражение для  $\lambda_{cp}, c_{cp}, \operatorname{tg} \varphi_{cp}$ :

$$\lambda_{cp} = \frac{\pi D}{4l}(\gamma_\delta - \gamma) + \gamma; \quad c_{cp} = \frac{\pi D}{4l}(c_\delta - c) + c; \quad \operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\pi D}{4l}(\operatorname{tg} \varphi_\delta - \operatorname{tg} \varphi) + \operatorname{tg} \varphi \quad (5)$$

и подставив их в формулу (1), определим параметр  $\lambda_c^*$ :

$$\lambda_c^* = \frac{2 \left[ \frac{\pi D}{4l}(c_\delta - c) + c \right]}{h \left[ \frac{\pi D}{4l}(\gamma_\delta - \gamma) + \gamma \right] \left[ \frac{\pi D}{4l}(\operatorname{tg} \varphi_\delta - \operatorname{tg} \varphi) + \operatorname{tg} \varphi \right]}. \quad (6)$$

Далее можно перейти в расчетных формулах к свайному ряду, для этого необходимо ввести вместо  $\lambda_c$  в формулу (3)  $\lambda_c^*$ .

Таким образом, установлены основные факторы, влияющие на величину  $K_c$  укрепленного уступа. Но не определено, каким должно быть расстояние между осями свай, для того чтобы не происходило их обтекания грунтовыми породами, и какова должна быть глубина заделки сваи ниже поверхности разрушения. Для этого в предлагаемой статье приводятся результаты исследований по определению величины оползневой нагрузки  $E_{оп}$ , действующего на свайную удерживающую конструкцию, дающие возможность ответить на эти вопросы.

Величину  $E_{оп}$ , действующего на свайную удерживающую конструкцию, целесообразно определять на основе анализа напряженно-деформированного состояния приоткосной зоны массива грунтовых пород. Используя зависимо-

сти [9], легко определить удерживающие  $\frac{T_{уд}}{\text{tg}\rho}$  и сдвигающие  $T_{сд}$  силы в любой точке приоткосной зоны, в том числе и в точках, расположенных на прямых, проходящих по боковым границам свай. На рисунке 2 показаны эпюры  $\frac{T_{уд}}{\text{tg}\rho}$  и  $T_{сд}$  для  $\beta = 45^\circ$   $\alpha = 60^\circ$ , а также наиболее вероятные поверхности разрушения при  $\xi_0 = 0,5$  и  $\lambda_y = 0,1; 0,6; 1,0$  для верхнего уступа. Определив разность между удерживающими и сдвигающими силами, строится эпюра оползневое давления для различных значений угла внутреннего трения. На рисунке 3 представлены эпюры  $E_{оп}$  для верхнего и нижнего уступов при  $\varphi = 10^\circ$ . Аналогичные эпюры построены и для других значений угла внутреннего трения.

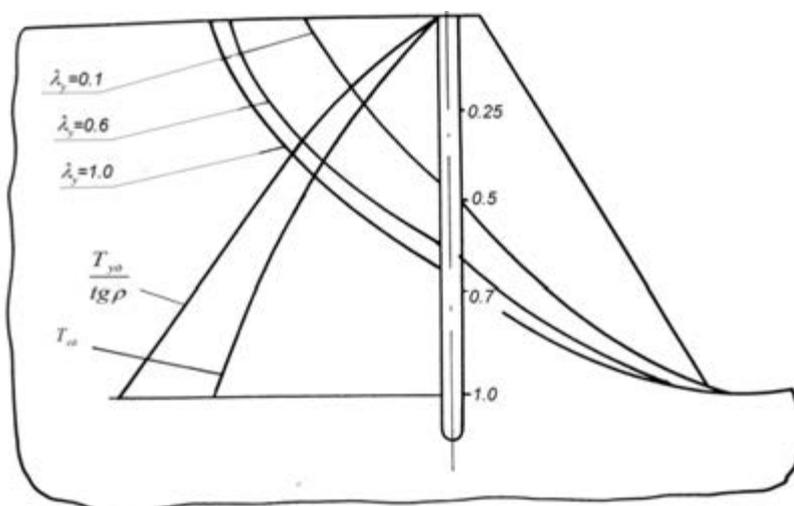


Рис. 2. Эпюры удерживающих и сдвигающих сил

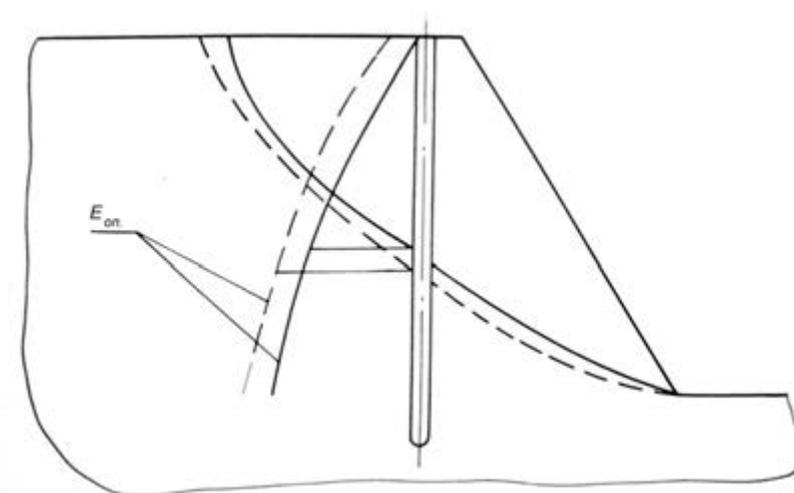


Рис. 3. Эпюры оползневое давления

Проведенные исследования позволили установить, что для верхнего уступа эпюра оползневое давления имеет вид криволинейного треугольника, который можно с небольшой погрешностью заменить прямолинейным. Это хорошо согласуется с существующей в настоящее время и широко используемой гипотезой о форме эпюры  $E_{оп}$  [10—14].

Кроме того, полученные результаты находятся в соответствии с экспериментальными и теоретическими исследованиями, изложенными в работах [15, 16]. Для нижнего уступа эпюра оползневое давления имеет вид криволинейной трапеции, которая также может быть аппроксимирована прямолинейной.

Величина  $E_{оп}$  определяется как часть эпюры оползневое давления, действующего на сваю на участке, заключенном между дневной поверхностью и наиболее вероятной поверхностью разрушения.

Определяя площади этих частей (прямоугольные треугольники и трапеции), будем иметь величины  $E_{оп}$  для верхнего и нижнего уступов. При этом установлено, что величина оползневое давления для нижнего уступа больше, чем для верхнего, а также то, что  $E_{оп}$  возрастает с увеличением угла наклона борта карьера. Кроме того, известно [9], что положение наиболее вероятной поверхности разрушения зависит от трех составляющих напряжений, которые, в свою очередь, зависят от местоположения уступа и угла наклона откоса, коэффициента бокового давления  $\xi_0$  и параметра устойчивости  $\lambda_y$  [17]. Комбинации этих параметров будут определять величину  $E_{оп}$ . На рисунке 4 приведены графики зависимости  $\frac{E_{оп}}{\text{tg}\varphi\gamma h^2} = f(\xi_0; \lambda_y)$  для верхних уступов рассматриваемых откосов, аналогичные графики получены и для нижних уступов. Пользуясь полученными графиками, легко определить величину оползневое давления в рассматриваемом сечении.

Величины расстояния между осями свай определены, опираясь на исследования, изложенные выше. Для определения расстояния между осями свай используем формулу (3), из которой находим:

$$\lambda_c = \lambda_y + (K_{yk} - K)(b_2 - a_2\lambda_y)^{-1} \cdot \text{ctg}\varphi. \quad (7)$$

Далее, полагая в формуле (6), что  $\lambda_c^* = \lambda_c$ , после очевидных преобразований получаем формулу для определения расстояния между осями свай в свайном ряду:

$$l = \frac{\pi DA}{2} \left[ B + \sqrt{B^2 - 4AC} \right]^{-1}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \lambda_c h (\gamma_\delta - \gamma) (\text{tg}\varphi_\delta - \text{tg}\varphi); \\ B &= \lambda_c h [\text{tg}\varphi (\gamma_\delta - \gamma) + \gamma (\text{tg}\varphi_\delta - \text{tg}\varphi)] - 2(c_\delta - c); \\ C &= \lambda_c h \gamma \text{tg}\varphi - 2c. \end{aligned} \quad (9)$$

Поскольку нами рассматриваются как уступы, сложенные скальными и полускальными породами в равномерно трещиноватых массивах при хаотическом расположении трещин, так и уступы, сложенные мягкими глинистыми породами, склонными к пластическому течению, то выбор расстояния между сваями должен определяться с учетом этих особенностей горных пород.

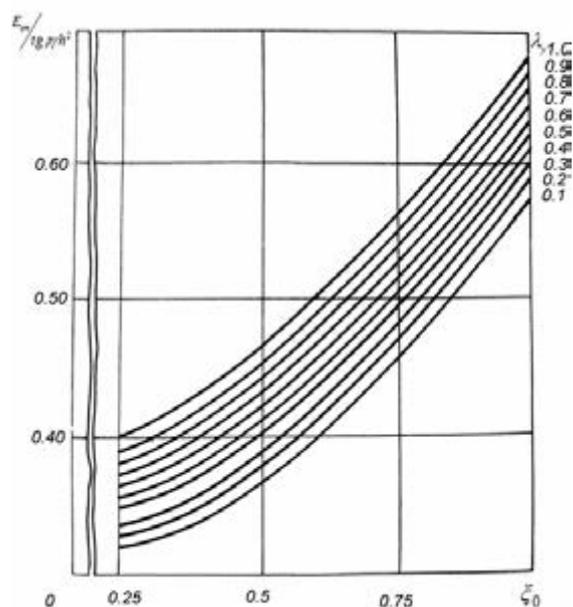


Рис. 4. График зависимости  $E_{\text{он}} / \text{tg } \varphi h^2$  от  $\xi_0$  и  $\lambda_y$  для верхнего уступа

Если в первом случае опасности обтекания свай горными породами нет (скальные и полускальные породы), то во втором случае выбранное расстояние должно гарантировать невозможность продавливания горной породы между сваями, то есть величина  $l$  должна проверяться по теории арочного эффекта. Согласно [11] критическое расстояние между осями удерживающих элементов:

$$l_{\text{кр}} = \frac{6\zeta^2 c h_0 \cos \alpha' - E_{\text{он}} (2\zeta - \text{tg} \varphi)}{0,2 E_{\text{он}} \zeta^2 \cos \alpha'}, \quad (10)$$

где  $\zeta$  определяется выражением:

$$\zeta = \frac{E_{\text{он}} + (E_{\text{он}}^2 - 2E_{\text{он}} h_0 \text{ctg} \varphi)^{1/2}}{4h_0 c}, \quad (11)$$

где  $h_0$  — толщина сползающего слоя горной породы в рассматриваемом сечении;  $\alpha'$  — угол наклона касательной в данной точке к поверхности разрушения. Графики зависимости  $h_0/h$  и  $\alpha$  от  $\xi_0$  и  $\lambda_y$  для верхних и нижних уступов рассматриваемых бортов приведены на рис. 5, 6.

Общая длина свай  $L$  состоит из двух участков (см. рис. 1):  $h_0$  (участок DB), расположенный ниже наиболее вероятной поверхности разрушения. Очевидно, что требуемая длина свай  $L_{\text{тр}}$  должна быть такой, чтобы обеспечивать прорезание призмы обрушения и надежно анкеровать в массиве ненарушенных грунтовых пород, лежащих ниже наиболее вероятной поверхности разрушения, то есть:

$$L_{\text{тр}} \geq h_0 + h_1. \quad (12)$$

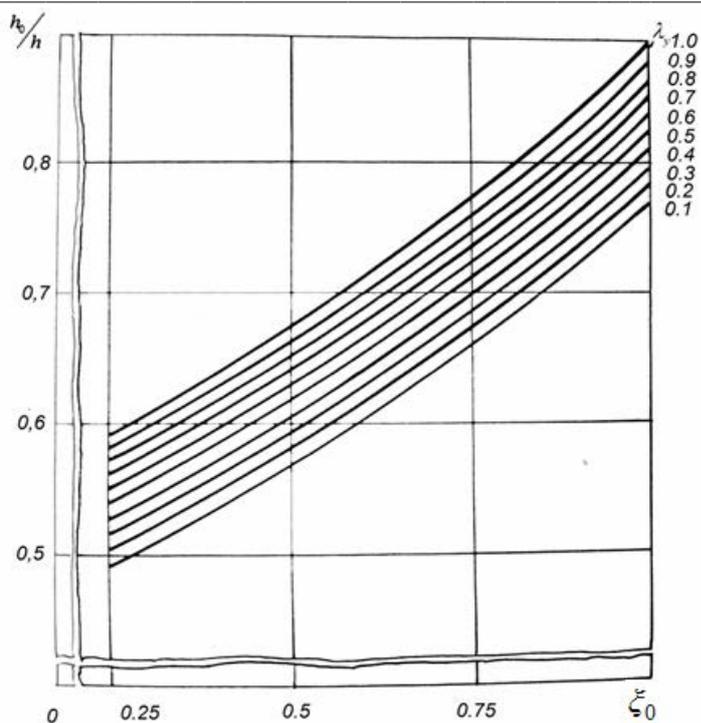


Рис. 5. График зависимости  $h_0/h$  от  $\xi_0$  и  $\lambda_y$  для верхнего уступа

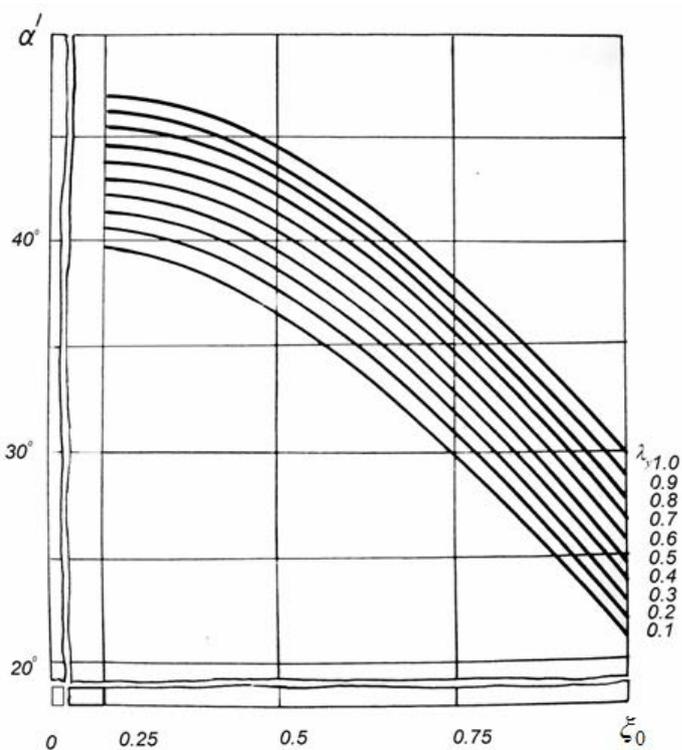


Рис. 6. График зависимости угла  $\alpha$  от  $\xi_0$  и  $\lambda_y$  для верхнего уступа

Если  $h_0$  находится непосредственно (графически) по разрезу укрепляемого участка (см. рис. 5), то для определения  $h_1$  (т. е. глубины заделки сваи) необходим специальный расчет. Глубину заделки  $h_1$  удерживающего элемента считаем целесообразным определять по формуле, приведенной в работе [8]:

$$h_1 \geq \frac{5Q_0 + (25Q_0^2 + 36M_0 b_p R_z)^{1/2}}{3b_p R_z}, \quad (13)$$

где  $M_0 = E_{\text{оп}} \cdot l_0$ , где  $l_0$  — плечо приложения равнодействующей оползневого давления, равное одной трети мощности оползневой толщи в укрепляемом сечении уступа  $l_0 = h_0/3$ ;  $b_p = D$  — расчетная ширина сечения сваи;

$$R_z = \frac{4}{\cos \varphi} (\gamma h_0 \operatorname{tg} \varphi + c); \quad Q_0 = E_{\text{оп}}.$$

Рассмотрим пример расчета.

Дан двухступенчатый откос высотой  $H = 20$  м ( $h = H/2 = 10$  м) с углами наклона  $\beta = 35^\circ$  и  $\alpha = 60^\circ$ , сложенный однородными глинистыми породами со следующими физико-механическими характеристиками: сцепление  $C = 2,84 \cdot 10^4$  Па; объемный вес  $\gamma = 1,75 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>; угол внутреннего трения  $\varphi = 18^\circ$ ; коэффициент бокового давления  $\xi_0 = 0,75$ . Проектная величина коэффициента устойчивости  $K = 1,3$ .

Необходимо, чтобы величины  $K$  нижнего и верхнего уступов были не ниже проектного коэффициента устойчивости.

Используя формулу (1), найдем параметр устойчивости откоса  $\lambda = 0,5$  (параметр устойчивости уступа  $\lambda_y = 1,0$ ). Зная  $\lambda$  и определив из [9] для  $\beta = 60^\circ$  коэффициенты  $a = 2,5$  и  $b = 1,4$ , а из графиков и формул [17]  $\beta$  и  $\alpha - e = 1,4$ , найдем коэффициенты устойчивости верхнего и нижнего уступов —  $K_{\text{в}} = 1,27$  и  $K_{\text{н}} = 1,02$ .

Поскольку нижний уступ имеет величину коэффициента устойчивости ниже проектного, то необходимо провести укрепительные мероприятия. Для укрепления будут применены буронабивные сваи, изготавливаемые из бетона марки М250.

Укрепление уступа рядом буронабивных свай должно повысить величину коэффициента устойчивости нижнего уступа до проектного.

Учитывая, что пределы прочности бетона марки М250 на растяжение и сжатие равны соответственно  $\sigma_p = 880$  кПа,  $\sigma_c = 11\,000$  кПа<sup>1</sup>, по известным формулам профессора В. В. Соколовского  $c_{\delta} = 0,5(\sigma_p \sigma_c)^{1/2}$  и  $\rho_{\delta} = \arcsin[(\sigma_c - \sigma_p)/(\sigma_c + \sigma_p)]$  определим сдвиговые характеристики бетона —  $c_{\delta} = 15,55 \cdot 10^2$  кПа,  $\varphi = 58^\circ$ . Поскольку объемный вес бетона марки М250  $\gamma_{\delta} \approx 2,5 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>, то параметр устойчивости сваи  $\lambda_c = 7,775$ .

Полагаем первоначально, что уступ укреплен «стеной в грунте», а не свайным рядом. Подбираем такую толщину «стенки», при которой величина коэффициента устойчивости укрепленного нижнего уступа  $K_{\text{ук}}$  будет равна

<sup>1</sup> СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01—2003. М. : НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, 2012. 212 с.

проектной — 1,3. Для этого по формуле (2) для трех значений диаметров свай  $D_1 = 0,01h$ ;  $D_2 = 0,05h$ ;  $D_3 = 0,1h$  определяем величины  $K_{ук}$ . Значения  $b_2$  и  $a_2$  для каждого из трех рассматриваемых случаев находим по графикам [17]. Для  $D_1 = 0,01h - b_2 = 0,07$ ;  $a_2 = 0,039$ ; для  $D_2 = 0,05h - b_2 = 0,13$ ;  $a_2 = 0,05$ ; Для  $D_3 = 0,1h - b_2 = 0,25$ ;  $a_2 = 0,066$ , тогда  $K_{1ук} = 1,09$ ,  $K_{2ук} = 1,19$ ,  $K_{3ук} = 1,42$ . Далее, построив график зависимости коэффициентов устойчивости укрепленных уступов от толщины «стенки»  $K_{ук} = f(D)$ , находим, что толщина «стенки» должна быть равной  $0,075h$ , то есть в этом случае  $K_{ук}$  будет равен 1,3.

При переходе к свайному ряду учитываем, что диаметр свай должен быть больше, чем толщина «стенки»  $D > 0,075h$ , в противном случае коэффициент устойчивости укрепленного уступа будет меньше 1,3. Принимаем диаметр свай, равным  $D = 0,1h$ .

Подставляя в формулу (7) значения  $K_{ук} = 1,3$ ;  $K_n = 1,02$ ;  $\lambda_y = 1,0$ ; а также коэффициенты  $b_2 = 0,25$ ;  $a_2 = 0,066$ , определенные по графикам [17] для  $D = 0,1h$ , найдем  $\lambda_c$  в расчете на то, что уступ укреплен не сплошной «стенкой», а свайным рядом —  $\lambda_y = 5,7$ .

Определив по формулам (9) значения  $A = 54,5$ ;  $B = -165,5$ ;  $C = 26,7$  и подставив их в формулу (8), найдем расстояние между сваями в ряду  $l = 4,38$  м.

Поскольку мы имеем дело с глинистыми грунтами, склонными к пластическому течению, то найденное расстояние необходимо проверить исходя из условия на продавливания горной породы между сваями. По графику рис. 4 определяем величину оползневое давление для заданных значений  $\xi_0, \beta, \lambda_y$  —  $E_{оп} = 0,7\gamma h^2 \text{tg}\rho = 390$  кН/м. Подставляя полученное значение  $E_{оп}$ , а также значения  $h_0/h = 0,8$  и  $\alpha' = 27,5^\circ$ , определенные по графикам рис. 5, 6, в формулы (10), (11), найдем коэффициент  $\zeta$  и критическое расстояние между осями свай:  $\zeta = 0,77$ ;  $l_{кр} = 4,74$  м.

Для определения глубины заделки сваи ниже поверхности разрушения используем формулу. Находим  $M_0 = 1466$  кНм;  $l_0 = h_0/3 = 2,67$  м;  $Q_0 = E_{оп} = 390$  кН;  $b_p = D = 1$  м;  $R_z = 311,4$  кН/м<sup>2</sup>. Подставив найденные значения в формулу (13), найдем  $h_1 = 5,9$  м, то есть общая длина сваи  $L \geq 13,9$  м.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На величину коэффициента устойчивости укрепленного уступа оказывает влияние угол наклона откоса и его местоположение, физико-механические характеристика материала, из которого изготовлена свая, а также ее диаметр. При этом установлено, что наличие в теле откоса свайной удерживающей конструкции увеличивает коэффициент устойчивости уступа в среднем на 30 %.

Определено, что влияние перераспределения напряжений в результате укрепления уступа буронабивной свайей на величину  $K$  незначительно. Увеличение же коэффициента устойчивости происходит за счет возрастания удерживающих сил в точках поверхности разрушения, проходящих через тело сваи. Получены формулы и графики для определения величин коэффициентов устойчивости укрепленных уступов.

2. Установлено, что величина оползневое давления зависит от угла наклона откоса, местоположения уступов на его откосе и является функцией коэффициентов бокового давления. Получены зависимости вида  $E_{оп} = f(\xi_0; \lambda)$  для различных значений  $\beta$ , которые позволяют легко определить величину оползневое давления в рассматриваемом сечении в зависимости от указанных факторов.

Зная величину  $E_{оп}$ , по известным формулам можно легко найти расстояние между сваями и глубину их заделки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полово Б. Д. Причины низкой эффективности искусственных укреплений уступов в карьерах // Безопасность труда в промышленности. 1979. № 11. С. 56—58.
2. Рахитов В. Р., Касотов З. Г., Морозов В. Д. Укрепление ослабленных участков откосов уступов бортов карьеров. Ташкент : Фан, 1983. 129 с.
3. Ревазов М. А. Проектирование искусственных укреплений бортов угольных разрезов. М. :1971. 51 с.
4. Анализ методов определения коэффициентов бокового давления грунта (аналитические методы) / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы III Международной науч.-техн. конф. Волгоград, 2012. С. 58—85.
5. Анализ методов определения коэффициентов бокового давления грунта (экспериментальные методы) / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы III Международной науч.-техн. конф. Волгоград, 2012. С. 33—57.
6. Калиновский С. А. Оценка влияния величины коэффициента бокового давления грунта на результаты расчетов грунтовых массивов по первому предельному состоянию : автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 28 с.
7. Туманов С. Л., Туманов Л. С. Исследование и расчет устойчивости откосов, укрепленных буронабивными сваями // Проблемы стр-ва, ремонта и содержания автомобильных дорог Юга Российской Федерации и пути их решения : матер. науч.-практ. конф. Волгоград : изд-во ВолгГАСУ. С. 36—39.
8. Цветков В. К., Туманов С. Л. Расчет устойчивости уступов, укрепленных буронабивными сваями // Известия вузов. Горный журнал. 1994. № 8. С. 50—54.
9. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижне-Волжское кн. изд., 1979. 238 с.
10. Гинзбург Л. К., Миничев В. С. Устойчивость оползневых склонов, укрепленных буронабивными сваями // Пром. стр-во и инж. Сооружения. 1974. № 3. С. 18—19.
11. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие средства. М. : Стройиздат, 1979. 81 с.
12. Гинзбург Л. К., Ищенко В. И. Расчет заанкеренной противооползневой свайной конструкции // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1982. № 5. С. 12—15.
13. Гинзбург Л. К. Величина коэффициента устойчивости склона при расчете удерживающих конструкций // Пром. стр-во и инж. сооружения. 1984. № 1. С. 30—31.
14. Гинзбург Л. К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневое давление. М. : ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1986. 124 с.
15. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. М. : Госстройиздат, 1956. 253 с.
16. Клейн Г. К. Расчет подпорных стен. М. : Высшая школа, 1964. 196 с.
17. Туманов С. Л. Разработки способа расчета устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом их взаимного влияния : дис... канд. техн. наук. Новосибирск, 1991. 229 с.

© Туманов С. Л., Калиновский С. А., Фетисов Ю. М., Рисунов А. Р., 2019

Поступила в редакцию  
в октябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Расчет величины оползневое давления, действующего на свайную удерживающую конструкцию / С. Л. Туманов, С. А. Калиновский, Ю. М. Фетисов, А. Р. Рисунов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 24—34.

*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

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

**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

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

**Sergei L. Tumanov, Sergei A. Kalinovskii, Yurii M. Fetisov, Andrei R. Risunov**

**Volgograd State Technical University**

### **CALCULATION OF THE VALUE OF THE LANDSLIDE PRESSURE ACTING ON THE PILE RETAINING STRUCTURE**

The size of the landslide pressure acting on pile retaining structures determined based on the analysis of the stress-strain state periodonal areas of the ledges, depending on their location on the slope of soil excavation and its angle and coefficient of lateral pressure. By determining the value of the landslide pressure depending on these factors, the known formulas can determine the distance between the axes of the retaining elements and the depth of their sealing.

**Key words:** landslide pressure, pile retaining structure, arch effect, distances between the axes of piles, depth of pile sealing, collapse prism, slope stability parameter, piles, inter-pile space.

*For citation:*

Tumanov S. L., Kalinovskii S. A., Fetisov Yu. M., Risunov A. R. [Calculation of the value of the landslide pressure acting on the pile retaining structure]. *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], 2019, iss. 4, pp. 24—34.

*About authors:*

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

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

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

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

УДК 624.131

**С. Л. Туманов, Ю. М. Фетисов, А. Р. Рисунев**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И УСТУПОВ ГРУНТОВЫХ ВЫЕМОК НА МОДЕЛЯХ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА**

Проведено экспериментальное исследование на моделях из эквивалентного материала. Установлено удовлетворительное соответствие результатов эксперимента и теоретических расчетов. Получено качественное и количественное подтверждение правильности теоретических выводов о том, что откос, имеющий два уступа, устойчивее, чем прямолинейный, а устойчивость уступа зависит от угла наклона откоса и его местоположения на откосе.

**Ключевые слова:** эквивалентный материал, прямолинейный и двухступенчатый откос, уступ, разрушающая нагрузка, коэффициент устойчивости, поверхность разрушения.

В работах [1—4] приводятся результаты исследований взаимного влияния выемок и уступов на устойчивость. Показано, что двухступенчатый откос имеет большую устойчивость, чем прямолинейный. Определим устойчивость уступов в зависимости от их расположения на откосе. Все исследования проводились для углов откоса  $25^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ , уступов  $35^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$ , для различных высот  $h$  и количества уступов  $n$ . В результате проведенных исследований получены удобные для расчетов формулы и графики, используя которые, можно определить величины коэффициентов устойчивости  $K$  как откоса, так и всех его уступов.

В предлагаемой статье приводятся результаты экспериментальных исследований устойчивости уступов и откосов грунтовых выемок на моделях из эквивалентного материала, а также приводятся качественные и количественные сопоставления результатов исследований как теоретических, так и экспериментальных. В качестве основного эквивалентного материала применялась смесь кварцевого песка (97 %) и технического масла (3 %). Характеристики смеси при уплотнении, обусловленном только действием ее собственного веса, следующие: объемный вес  $\gamma = 1,55 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , удельное сцепление 0,491 кПа, угол внутреннего трения  $\varphi = 24^\circ$ . Для определения коэффициента бокового давления использовался известный способ, основанный на протаскивании стальной ленты, ориентированной в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В работах [5—7, 8, 9] обосновывается существенное влияние коэффициента бокового давления грунта на устойчивость откосов. Экспериментальное определение коэффициента бокового давления [10] показало, что  $\xi_0 \approx 0,75$ . Стенд для моделирования представляет собой прямоугольный ящик ( $1,10 \times 0,95 \times 0,6$  м). Верхняя грань стенда — открытая, боковые грани выполнены из оргстекла толщиной  $7 \cdot 10^{-3}$  м, остальные — из дерева. Целью данных исследований являлось выяснение степени достоверности разработанного способа расчета устойчивости уступов и откосов грунтовых выемок.

#### **I. Экспериментальное исследование устойчивости уступов**

Для исследования устойчивости уступов в зависимости от их местоположения на откосе и его угла наклона рассмотрены четыре расчетные модели:

$\beta = 35^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $n = 2$ ;  $\beta = 35^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $n = 3$ ;  $\beta = 45^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $n = 2$ ;  
 $\beta = 45^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $n = 3$ .

Из песчано-глинистой смеси формировались откосы с фиксированной высотой  $H = 0,45$  м (высота уступов  $h = H/n$ ). На рисунке 1 показана модель откоса грунтовой выемки для исследования устойчивости уступов при  $\beta = 35^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $n = 3$ .

Суть эксперимента заключалась в определении и сравнении величин разрушающих нагрузок  $q$  для каждого уступа, а также в сопоставлении величин  $q$  для нижних уступов двух- и трехступенчатых откосов.

Нагружение уступов проводилось при помощи прямоугольного ящика шириной  $B = 0,15$  м, равномерно наполняемого сухим песком до разрушения, причем каждый разрушаемый уступ восстанавливался вновь. В каждом рассматриваемом случае ящик располагался на расстоянии, равном  $0,3h$  от верхней бровки.

Всего для каждой из рассматриваемых моделей проведено по 10 опытов. Средние значения разрушающих нагрузок для нижнего, среднего и верхнего уступов соответственно равны:  $q_n = 0,57$  кПа;  $q_c = 0,82$  кПа;  $q_b = 1,12$  кПа, то есть  $q_n \leq q_c \leq q_b$ . Для уступов двухступенчатого откоса:  $q_n = 0,59$  кПа;  $q_b = 0,84$  кПа ( $q_n \leq q_b$ ).

Аналогично определялись величины разрушающих нагрузок для уступов двух- и трехступенчатого откосов при  $\beta = 45^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ . Средние их значения равны:  $q_n = 0,42$  кПа;  $q_c = 0,73$  кПа;  $q_b = 1,12$  кПа и  $q_n = 0,59$  кПа;  $q_b = 0,84$  кПа ( $n = 2$ ).

Таким образом, установлено, что величины разрушающих нагрузок при переходе от нижнего уступа к верхнему увеличиваются, при этом  $q_n$ , требуемые для разрушения нижних уступов двух- и трехступенчатого откосов, практически одинаковые.

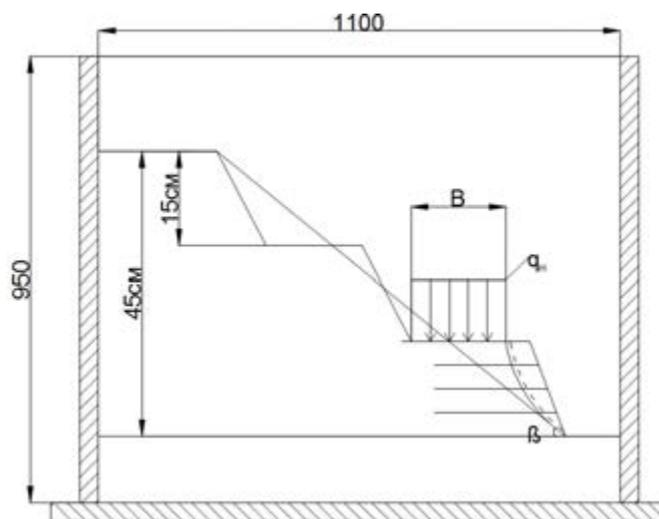


Рис. 1. Модель откоса при  $\beta = 35^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $n = 3$

Кроме того, по смещению цветных прослоек, изготовленных из этого же подкрашенного материала, определялось местоположение поверхностей разрушения. Их очертания переносились на кальку, наложенную на прозрачную боковую грань стенда, при этом поверхности разрушения в каждом из рассматриваемых случаев были близки друг к другу. На рисунке 1 пунктирной линией обозначена поверхность разрушения, полученная экспериментально для нижнего уступа, а сплошной — по методике [5], для уступа, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой  $q_n = 0,57$  кПа.

Проведенный эксперимент подтверждает правильность теоретических выводов о том, что устойчивость уступов не одинакова, а зависит от их местоположения на откосе и от верхнего к нижнему уменьшается, при этом устойчивость нижнего уступа при фиксированной высоте откоса практически постоянна, т. е. не зависит от их числа. Поверхности разрушения, полученные экспериментально и с помощью аналитических расчетов, практически совпадают.

Кроме того, полученные значения разрушающих нагрузок позволили количественно оценить достоверность полученных результатов. Для этого определялись величины коэффициентов устойчивости уступов от действия этих нагрузок по формулам [4]. Значения  $K_q$ , полученные при расчетах, изменились от 0,88 до 1,12, т. е. отличались от единицы менее чем на 12 %. Следовательно, имеет место удовлетворительная сходимость экспериментальных и теоретических результатов.

## **II. Экспериментальное исследование устойчивости откосов грунтовых выемок**

Далее было установлено, что откос с двумя уступами более устойчив, чем прямолинейный. С целью проверки достоверности полученного результата на моделях из песчано-масляной смеси исследовалась устойчивость прямолинейного ( $\beta = 60^\circ$ ) и двухступенчатого ( $\beta = 60^\circ, \alpha = 75^\circ$ ) откосов с одинаковой высотой.

Методика опытов состояла в следующем. Из песчано-масляной смеси формировались откосы с  $H = 0,3$  м, причем смесь засыпалась дождевым способом послойно. Слои толщиной 0,05 м отделялись прослойкой этого же подкрашенного материала толщиной 0,005 м. Откосы нагружались при помощи прямоугольного ящика шириной  $B = 0,15$  м, равномерно заполняемого песком. Нагружение проводилось до полного разрушения откоса, при этом в каждом рассматриваемом случае ящик располагался на расстоянии 0,1 м от верхней бровки откоса (рис. 2). Определялись величины разрушающих нагрузок —  $q$  на каждый из рассматриваемых откосов, кроме того, находилось местоположение поверхностей разрушения.

Всего для каждого случая было испытано по 10 моделей, средние значения разрушающих нагрузок следующие: для прямолинейного  $q_{пр} = 7,7075 \cdot 10^2$  Па; для двухступенчатого  $q_{дв} = 9,256 \cdot 10^2$  Па, то есть  $q_{пр} < q_{дв}$ .

Таким образом, установлено, что для разрушения двухступенчатого откоса требуется разрушающая нагрузка на 24 % больше, чем для одноступенчатого, что подтверждает правильность теоретических выводов о том, что устойчивость откоса с двумя уступами выше прямолинейного.

Очертания поверхностей разрушения определялись по смещению цветных прослоек относительно их равновесного положения и переносились на кальку, положенную на прозрачную боковую грань стенда. Поверхности разрушения в каждом из рассматриваемых случаев были близки друг к другу. На рисунке 2 сплошной линией обозначена поверхность разрушения, полученная экспериментально для одноступенчатого откоса, а пунктирной — по методике [5] для аналогичного откоса, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой  $q = 7,075 \cdot 10^2$  Па.

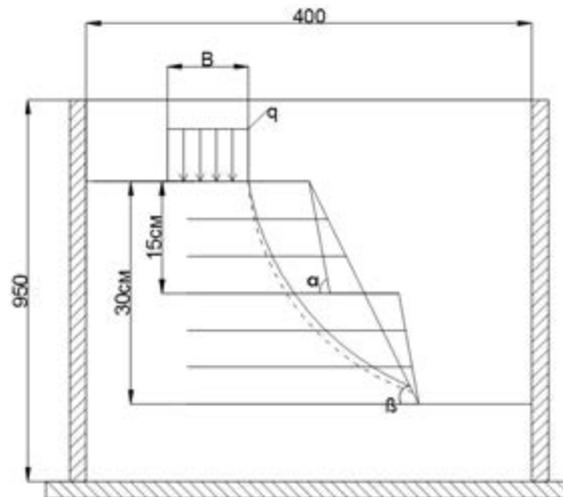


Рис. 2. Модель откоса при  $\beta = 60^\circ$ ,  $\alpha = 75^\circ$ ,  $n = 2$

Таким образом, в заключение можно отметить:

1. Экспериментальные исследования на моделях из эквивалентного материала показали удовлетворительное соответствие результатов эксперимента и теоретических расчетов.
2. Получено качественное подтверждение правильности теоретических выводов о том, что борт, имеющий два уступа, устойчивее, чем прямолинейный, а устойчивость уступов зависит от угла наклона борта карьера к местоположению уступов. При определении величин коэффициентов устойчивости от действия разрушающей нагрузки установлено, что они отличаются от единицы не более чем на 12 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туманов С. Л. К расчету устойчивости уступов и откосов грунтовых выемок и учетом их взаимного влияния // Ежегод. науч.-техн. конф. проф.-препод. состава и студентов ВолгГАСУ : материалы конф. : в 2 част. Волгоград : ВолгГАСУ. 2014. С. 73—74.
2. Туманов С. Л., Туманов Л. С. Исследование системы «откос-уступ» с учетом их взаимного влияния // Инженерные проблемы современного материаловедения и дорожного строительства : материалы науч.-проект. конф., г. Волгоград, 16—17 мая 2007 г. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. С. 142—143.
3. Туманов С. Л., Рагозин А. Ю. Исследование устойчивости двухступенчатых откосов // Градостроительство : тез. докл. по итогам науч.-техн. конф. ВолгГАСА. Волгоград : ВолгГАСА, 1996. С. 37.

4. Цветков В. К., Туманов С. Л. Взаимное влияние уступов и бортов карьеров на их устойчивость // ФТПРПИ. 1988. № 2. С. 103—108.
5. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижне-Волжское кн. изд., 1979. С. 238.
6. Влияние коэффициента бокового давления грунта на степень устойчивости однородного откоса / О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. Ю. Калашников и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 39—49.
7. Оценка величины коэффициента запаса устойчивости однородного нагруженного откоса на основе анализа напряженного состояния грунтового массива при различных значениях коэффициента бокового давления грунта / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 7—12.
8. Анализ методов определения коэффициента бокового давления грунта (экспериментальные методы) / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова и др. // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы III Международной науч.-техн. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. С. 33—57.
9. Калиновский С. А. Оценка влияния величины коэффициента бокового давления грунта на результаты расчетов грунтовых массивов по первому предельному состоянию : автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2013. 28 с.
10. Богомолов А. Н., Калиновский С. А. Расчет устойчивости откосов с учетом величины коэффициента бокового давления грунта // Международная научно-практическая конференция, посвященная 55-летию кафедры строительного производства и геотехники ПНИПУ и 60-летию кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ : матер. конф., 10—13 фев. 2015 г. Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. С. 80—97.

© Туманов С. Л., Фетисов Ю. М., Рисунев А. Р., 2019

Поступила в редакцию  
в октябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Туманов С. Л., Фетисов Ю. М., Рисунев А. Р. Экспериментальное исследование устойчивости откосов и уступов грунтовых выемок на моделях из эквивалентного материала // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 35—40.

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

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

**Sergei L. Tumanov, Yurii M. Fetisov, Andrei R. Risunov**

**Volgograd State Technical University**

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE STABILITY OF SLOPES AND LEDGES OF EXCAVATION ON MODELS OF EQUIVALENT MATERIAL

An experimental study was carried out on models of equivalent material. A satisfactory agreement between the experimental results and theoretical calculations was established. Qualitative and quantitative confirmation of the correctness of the theoretical conclusions that the slope having two ledges is more stable than the straight one, and the stability of the ledge depends on the slope angle and its location on the slope.

---

**Key words:** equivalent material, rectilinear and two-stage slope, ledge, breaking load, stability coefficient, fracture surface.

*For citation:*

Tumanov S. L., Fetisov Yu. M., Risunov A. R. [Experimental study of the stability of slopes and ledges of excavation on models of equivalent material]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 4, pp. 35—40.

*About authors:*

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

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

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

УДК 624.012.41:519.3

**В. Л. Харланов, С. В. Харланова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕОРИЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В МЕТОДЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ ИЗГИБАЕМОЙ БАЛКИ**

Моделирование бетона конечными элементами затруднено в связи с двумя факторами: наличием ниспадающей ветви диаграммы состояния и существенным различием пределов прочности при одноосном и трехосном сжатии. Авторами предложен алгоритм, позволяющий реализовать преодоление этих трудностей. Выполнено моделирование разрушения железобетонной балки. В качестве скелетной диаграммы выбрана диаграмма состояния с явным разделением пластических и упругих деформаций. Выявлены области разрушения бетона балки при достижении предельных деформаций. Предложенная модель эквивалентных напряжений наиболее полно отражает НДС бетона и может быть применена для численного анализа железобетонных конструкций методом конечных элементов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** бетон, теория прочности, диаграмма состояния, метод конечных элементов, эквивалентные напряжения, энергия деформирования, нелинейные уравнения статики, физическая нелинейность.

Связь между статическими нагрузками и перемещениями физически нелинейной строительной конструкции может быть выражена уравнением [1]:

$$\int_0^y \frac{d\mathbf{F}(y)}{dy} dy = \mathbf{P}, \quad (1)$$

где  $y$  — перемещения узлов,  $\mathbf{P}$  — вектор узловых нагрузок,  $\mathbf{F}$  — вектор узловых реакций,  $\frac{d\mathbf{F}(y)}{dy}$  — касательная матрица жесткости.

При линейной зависимости «реакция — перемещение»  $F(y) = R y$  уравнение (1) вырождается в известное уравнение статики. Уравнение (1) адекватно, если в процессе воздействия не происходит разрушение элементов. Если в процессе нагружения материал конструкции разрушается, то узловые реакции разрушенных элементов передаются как внешняя нагрузка и уравнение (1) преобразуется к виду:

$$\int_0^y \frac{d\mathbf{F}(y)}{dy} dy = \mathbf{P} + \mathbf{F}_p, \quad (2)$$

где  $\mathbf{F}_p$  — узловые реакции элементов в момент разрушения.

Для интегрирования уравнений (1) и (2) необходимо в явном виде представить функцию  $F(y)$ . Получить эту функцию можно из функции  $\sigma(\varepsilon)$  методом конечных элементов. Соотношение деформации — напряжения строится на основе диаграммы состояния одноосного напряженного состояния. Наиболее часто применяется диаграмма, в которой явно разделены упругие и пластические деформации [2—4]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_b} \left( 1 + \eta \left( \frac{\sigma}{R_b} \right)^m \right), \quad (3)$$

где  $\eta$  — доля пластической деформации;  $m$  — параметр нелинейности. Принципы определения этих параметров описаны в [2].

Для вычисления эквивалентных напряжений, соответствующих одноосному напряженному состоянию, используются различные модели, соответствующие определенной теории прочности. На основе этих моделей могут быть построены различные поверхности напряжений. Янг и Буржински [5, 6] предложили зависимость, описывающую все известные поверхности напряжений, удовлетворяющие постулату Друккера [7]:

$$\sigma_{\text{эк}} = I_1(\gamma_1 + \gamma_2)/2 \pm \sqrt{I_1^2(\gamma_1 - \gamma_2)^2/4 + 3(1 + \gamma_1)(1 + \gamma_2)J_2}, \quad (4)$$

где  $I_1$  — первый инвариант тензора напряжений;  $J_2$  — второй инвариант диватора напряжений;  $\gamma_1, \gamma_2 \in [0, 1]$  — параметры, зависящие от применяемой теории прочности;  $\sigma_{\text{эк}}$  — напряжение одноосного состояния, эквивалентное объемному напряженному состоянию.

Наиболее распространены следующие модели (теории прочности):

условие текучести Губера — Мизеса [8]:  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$  в формуле (4);

модель Баландина [9]:  $\gamma_1 = 1 - \chi, \gamma_2 = 0$ ;

модель Друккера — Прагера [10]:  $\gamma_1 = \gamma_2 = (1 - \chi)/2$ ;

модель полных деформаций:  $\gamma_1 = -\gamma_2$ .

В моделях Баландина и Друккера — Прагера:  $\chi = R_{br}/R_b$ .

Во всех существующих моделях (теориях прочности) не учитывается характер нелинейности диаграммы состояния. В лучшем случае учитываются разные пределы сжатия и растяжения. Для изотропных материалов наиболее адекватной является модель Мизеса [8], основанная на равенстве энергий упругих деформаций формоизменения одноосного и трехосного напряженных состояний. Но и эта модель не в полной мере учитывает эффект увеличения прочности бетона при трехосном сжатии.

Мы предлагаем определять эквивалентное напряжение из условия равенства энергий одноосного и трехосного напряженного состояний. При использовании зависимости (3) эквивалентное напряжение может быть определено из условия:

$$W_3 - W_v = \frac{\sigma_{\text{эк}}^2}{E} \left( \frac{1}{2} + \eta \frac{m+1}{m+2} \left( \frac{\sigma_{\text{эк}}}{R_b} \right)^m \right), \quad (5)$$

где  $W_3$  — энергия деформирования трехосного напряженного состояния, вычисляемая в процессе воздействия;  $W_v$  — энергия изменения объема при трехосном сжатии. Выражение в правой части является величиной полной энергии деформирования одноосного напряженного состояния.

Для проведения численных экспериментов была разработана программа, реализующая описанный алгоритм. Тело бетона моделируется четырехузловыми конечными элементами (тетраэдрами) с линейной функцией формы. Преимущества тетраэдра с линейной функцией перед другими формами заключены в двух аспектах. Первый — напряжения и деформации постоянны

в пределах конечного элемента, что позволяет весьма просто определять пластические деформации и момент разрушения. Второй аспект заключается в том, что значения коэффициентов функции формы могут быть достаточно просто получены в глобальной системе геометрических координат из матричного уравнения:

$$XA = E,$$

где  $A$  — матрица коэффициентов функций формы;  $X$  — координаты узлов в глобальной системе координат и единичным первым столбцом;  $E$  — единичная матрица. Размерность всех матриц  $4 \times 4$ .

Недостатком четырехузловых объемных элементов является большое их количество для получения приемлемой точности.

Предложенная модель позволяет наиболее полно учесть эффект увеличения прочности бетона при трехосном сжатии. На рисунке 1 представлены диаграммы деформирования куба и призмы, построенные в процессе деформационного нагружения с использованием зависимостей (2) и (5). Там же представлены диаграммы деформирования куба для различных теорий прочности. Характеристики бетона приняты по [2]. Мозаика эквивалентных напряжений по объему куба приведена в [11].

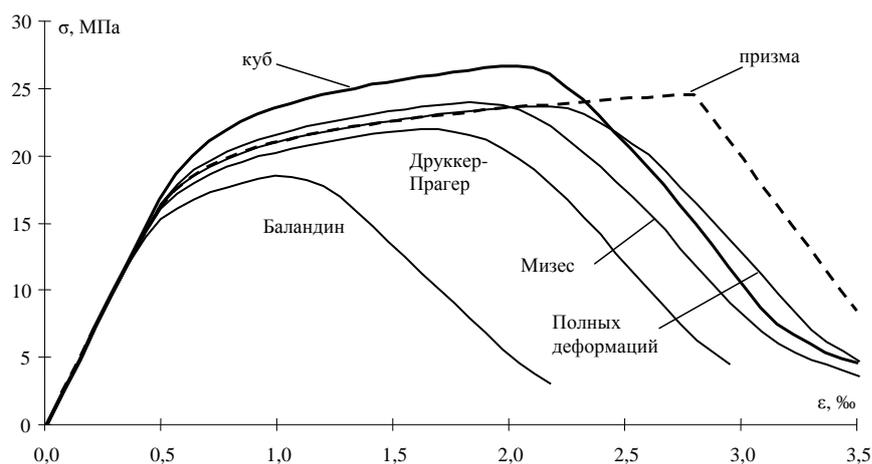


Рис. 1. Диаграммы состояния бетона для куба и призмы

Для проверки адекватности предложенной модели в условиях чистого изгиба проведен численный эксперимент, в процессе которого железобетонная балка, представленная на рис. 2, плавно нагружалась до разрушения. Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными [2].

Характеристики бетона:  $R = 27,8$  МПа,  $R_b = 24,5$  МПа,  $E_b = 33\,500$  МПа,  $R_{bt} = 2,3$  МПа.

Характеристики арматуры:  $A_s = 0,785$  см<sup>2</sup>,  $R_s = 370$  МПа,  $R_u = 548$  МПа,  $E_s = 212\,000$  МПа. Арматура моделировалась стержнем с двухлинейной диаграммой состояния<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01—2003. М. : ФАУ «ФЦС», 2012. 155 с.

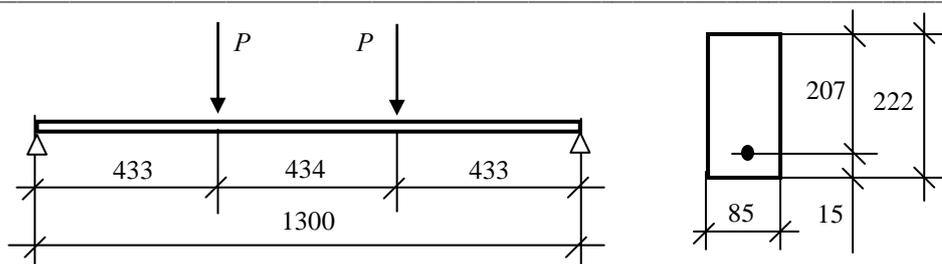


Рис. 2. Схема железобетонной балки

Тело балки моделировалось четырехузловыми конечными элементами (тетраэдрами). Частота разбиения балки на конечные элементы определена из равенства упругих перемещений системы КЭ и соответствующей балкой Тимошенко. Общее количество тетраэдров составило 61 440 элементов.

Процесс нагружения состоял из 50 шагов до величины силы  $P = 17$  кН, что соответствовало предельной несущей способности рассматриваемой балки, достигнутой в эксперименте [2].

В процессе воздействия построена зависимость «нагрузка — перемещение», представленная на рис. 3. Там же приведены зависимости для наиболее распространенных моделей.

Для двух характерных нагрузок 12 и 17 кН на рис. 4 приведена мозаика эквивалентных напряжений. В зоне чистого изгиба эквивалентные напряжения совпадают по модулю с нормальными напряжениями. В зоне развития сдвиговых деформаций эквивалентные напряжения выше нормальных на 5...10 %. В зонах опор балки наблюдается некоторое снижение эквивалентных напряжений по сравнению с нормальными.

При нагрузке  $P = 17$  кН напряжения в арматуре достигают предела текучести. Для нагрузки  $P = 12$  кН напряжения в арматуре находятся в зоне упругих деформаций. Напряжения в арматуре в зоне опор близки к нулю.

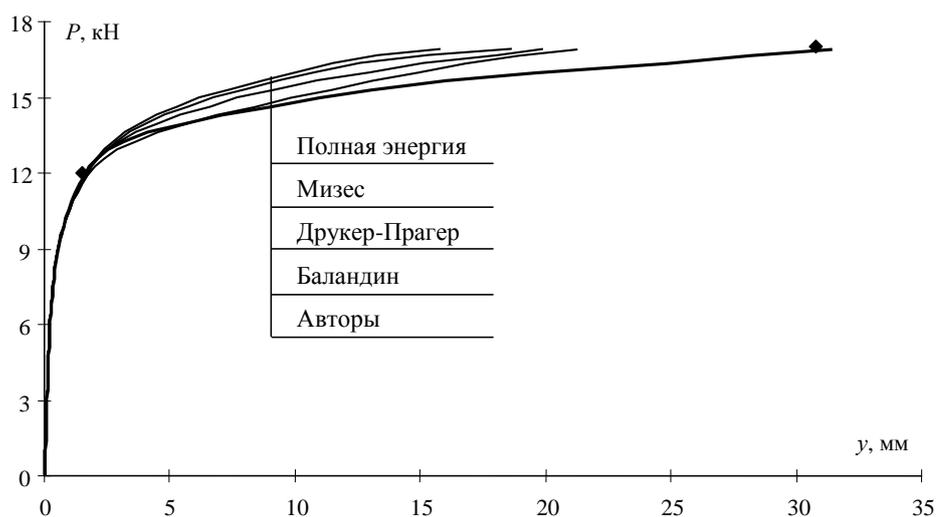


Рис. 3. Перемещение балки в процессе воздействия. Точками обозначены экспериментальные значения для нагрузок 12 и 17 кН

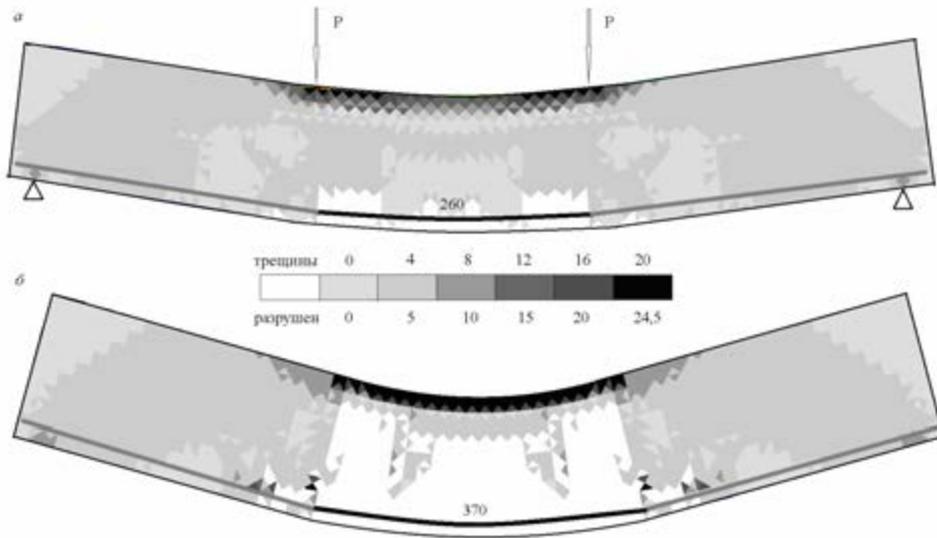


Рис. 4. Мозаика эквивалентных напряжений: *a* — для  $P = 12$  кН; *б* —  $P = 17$  кН

На рисунке 5 приведена энергия формоизменения, вычисленная в процессе расчета балки для наиболее сжатого бетонного участка. Там же построена диаграмма деформирования. Пунктиром обозначены зависимости, вычисленные по формулам (3) и (5), при изменении эквивалентных напряжений от 0 до 24,5 МПа. Для сравнения представлено значение энергии упругой деформации в процессе воздействия. Диаграммы деформирования бетона, вычисленные в процессе расчета и построенные по зависимости (3), практически совпадают.

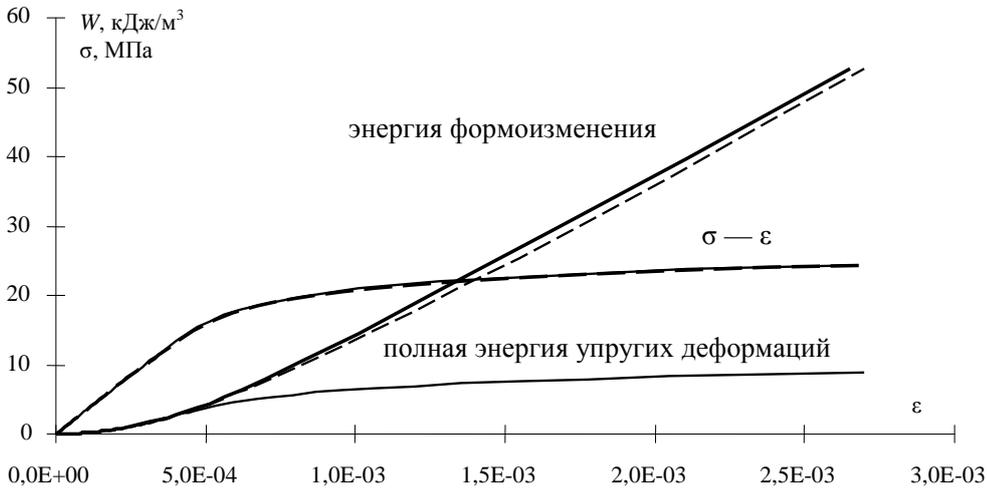


Рис. 5. Энергии и диаграммы деформирования, полученные в процессе анализа. Пунктиром показаны зависимости, полученные непосредственно по формулам (3) и (5)

### Выводы:

1. При чистом изгибе сечение находится в условиях одноосного напряженного состояния и для всех рассмотренных моделей  $\sigma_{эж} = \sigma_x$ , поэтому результаты совпадают в зоне упругого деформирования. Небольшие расхождения на участке пластического деформирования связаны с влиянием сдвиговых деформаций приопорных участков.

2. Наибольшие расхождения между различными моделями и экспериментом наблюдаются в зоне значительных пластических деформаций. Тем не менее разрушающая нагрузка во всех моделях близка к экспериментальной.

3. Предложенные модель и алгоритм расчета наиболее полно отражают поведение бетона в процессе статического нагружения и могут применяться для расчета железобетонных конструкций.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харланов В. Л., Харланова С. В. Численный метод интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений задач строительной механики // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2016. № 1. С. 62—65.
2. Бондаренко В. М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков : Харьковский ун-т, 1968. 323 с.
3. Васильев П. И. Вопросы развития теории железобетона // *Бетон и железобетон*. 1980. № 4. С. 26—27.
4. Фрайфельд С. Е., Пальчинский О. В. Практический метод расчета железобетонных конструкций с учетом реологических свойств материалов // *Сб. «Строительные конструкции»*. 1959. Вып. 3. Харьков : Книжн. изд-во.
5. Burzyński W. Über die Anstrengungshypothesen. Schweizerische Bauzeitung. № 94(21). Pp. 259—262.
6. Yang Yu. I. New methods of strength prediction // *Vestnik inzhenerov i tekhnikov*. № 6. Pp. 237—244.
7. Drucker D. C. On uniqueness in the theory of plasticity // *Quart. Appl. Math.* 1956. № 14. Pp. 35—42.
8. Von Mises R. Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand. Göttin. Nachr. Math. Phys. 1913. Vol. 1. Pp. 582—592.
9. Баландин П. П. К вопросу о гипотезах прочности // *Вестник инженеров и техников*. 1937. № 1.
10. Drucker D. C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis for limit design // *Quarterly of Applied Mathematics*. 1952. Vol. 10. № 2. Pp. 157—165.
11. Харланов В. Л., Харланова С. В. Моделирование бетона конечными элементами // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2017. № 4. С. 71—75.

© Харланов В. Л., Харланова С. В., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Харланов В. Л., Харланова С. В. Сравнение различных теорий прочности бетона в методе конечных элементов на примере изгибаемой балки // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 4(77). С. 41—47.

Об авторах:

**Харланов Владимир Леонтьевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Харланова Светлана Владимировна** — канд. техн. наук, доцент кафедры математики и информатики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Vladimir L. Kharlanov, Svetlana V. Kharlanova**

**Volgograd State Technical University**

## **COMPARISON OF DIFFERENT THEORIES OF CONCRETE STRENGTH IN THE FINITE ELEMENT METHOD ON THE EXAMPLE OF A BENT BEAM**

Modeling of concrete by finite elements is complicated due to two factors: the presence of a descending branch of the state diagram and a significant difference in the strength limits under uniaxial and triaxial compression. The authors propose an algorithm to implement the overcoming of these difficulties. The modeling of destruction of reinforced concrete beams is performed. A state diagram with an explicit separation of plastic and elastic deformations was chosen as a skeletal diagram. The areas of destruction of concrete beams when reaching the limit of deformation. The proposed model of equivalent stress best reflects VAT of concrete and can be applied for numerical analysis of reinforced concrete structures by finite element method.

**Key words:** concrete, strength theory, state chart, finite element method, equivalent stress, energy, deformation, nonlinear equations of static, the physical nonlinearity.

*For citation:*

Kharlanov V. L., Kharlanova S. V. [Comparison of different theories of concrete strength in the finite element method on the example of a bent beam]. *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], 2019, iss. 4, pp. 41—47.

*About authors:*

**Vladimir L. Kharlanov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Svetlana V. Kharlanova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Mathematic and Informatics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 625.73

**В. В. Корневский<sup>а</sup>, Е. А. Мордик<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Кубанский государственный технологический университет*

<sup>б</sup> *Тюменский индустриальный университет*

## **ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОРОГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕДВИЖНОЙ ДОРОЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

Любое сложное лабораторное оборудование требует соответствующей квалификации обслуживающего персонала. Успешно освоенный курс обучения оператора достаточен для большинства стандартных ситуаций, но не дает исчерпывающие представления об особенностях работы оборудования и программного обеспечения в сложных полевых условиях, что, в свою очередь, может вызвать затруднения в эксплуатации прибора и возрастание доли субъективных решений в получаемом результате. Полнее изучить работу сложного оборудования можно, только имея практический опыт его эксплуатации в разных условиях. Данная статья раскрывает особенности работы комплекса «Геометрия» передвижной дорожной лаборатории КП-514 СМП «Трасса».

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** геометрические параметры, геометрия дороги, транспортная развязка, графическое изображение обработки плана трассы, комплексная передвижная дорожная лаборатория.

### **Введение**

Комплексная передвижная дорожная лаборатория КП-514 СМП «Трасса» является современным средством диагностики автомобильных дорог и позволяет с нормируемой точностью определять параметры ровности покрытия, величины сцепления, прочности дорожной одежды, геометрических характеристик и т. д. [1]. Оператор дорожной лаборатории проходит обязательное обучение, которое направлено на формирование приемов работы с оборудованием для получения максимально объективного результата в оптимальное время. Кроме того, лаборатория комплектуется подробным руководством пользователя<sup>1</sup>.

Теоретических и практических знаний, получаемых операторами оборудования во время обучения, достаточно для большинства реальных условий использования прибора, однако зачастую возникают ситуации, когда аппаратное и программное обеспечение лаборатории должно быть особо точно настроено и взаимно согласовано для получения результата в границах отведенной точности. Такие настройки может обеспечить только опытный оператор. К примеру, работа модуля «Геометрия» на дороге низкой технической категории в горных условиях, когда радиусы закругления близки к минимальным [2], а отраженные сигналы GPS вносят существенные помехи, при использовании настроек по умолчанию может привести к совершенно неверным результатам: траектория проезда может пересечь сама себя.

Для получения правильного результата необходимы навыки работы с оборудованием, а именно правильные настройки программного обеспечения, получаемые по мере накопления опыта работы в пограничных с возможно-

<sup>1</sup> Программно-измерительный комплекс «Дорога-ПРО». Геометрия. Руководство пользователя. 2017. Саратов : ООО «Титул-2005».

стями оборудования условиях. Навыки, как правило, закрепляются индивидуально и передаются не строгими письменными инструкциями, а в результате общения более опытного сотрудника с менее опытным. Чем реже используется тот или иной измерительный комплекс, тем более длительное время накапливается производственный опыт и некоторые сведения фрагментарно утрачиваются за ненадобностью

Эксплуатация комплексной передвижной дорожной лаборатории КП-514 СМП «Трасса», принадлежащей ФГБОУ ВО «КубГТУ», а именно модуля «Геометрия», позволяет систематизировать полученный опыт, проанализировать его и сформулировать рекомендации.

#### **Материалы и методы**

В настоящее время измерение геометрических параметров регламентируется ГОСТ 33383—2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров»<sup>2</sup>, который предлагает несколько вариантов оборудования: геодезическое оборудование (нивелир, тахеометр), линейные измерители (рулетки, лазерные дальнометры), специализированные передвижные лаборатории, оснащенные гироскопическими датчиками. При этом ГОСТ оговаривает точность измерительного оборудования. Сертификат о метрологической поверке комплексной передвижной дорожной лаборатории подтверждает заявленную точность, что позволяет закрыть соответствующую позицию легитимности процесса измерения. Требуемая точность формируется из показателей гироскопических датчиков, акселерометров и данных спутниковой навигационной системы GPS. Совокупная обработка трех сигналов позволяет легко добиться заявленной точности, несмотря на неизбежное техническое рыскание автомобиля-лаборатории, субъективного выдерживания водителем траектории движения и прочее.

Также в составе передвижной дорожной лаборатории кроме аппаратной измерительной части присутствует программный сегмент — программно-измерительный комплекс «Дорога-ПРО», с использованием которого осуществляется завершающая стадия обработки информации.

Определение геометрических характеристик существующей автомобильной дороги решает целый ряд задач, среди которых:

- восстановление геометрии существующей дороги (при утрате проектной и иной документации);
- оценка соответствия выполненных работ проектной документации (осуществляется при сдаче объекта в эксплуатацию);
- оценка соответствия участка дороги требованиям безопасности движения [3] и т. д.

Наиболее актуальными параметрами являются:

- определение элементов плана трассы автомобильной дороги;
- определение параметров продольного профиля;
- определение параметров поперечного профиля и виража.

Кроме того, одной из основных характеристик, определяющей безопасное движение, является расстояние видимости, которое, в свою очередь, формируется геометрией дороги [4].

<sup>2</sup> ГОСТ 33383—2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135147>.

Изучению подверглась транспортная развязка на 73 км автомобильной дороги А-290 Новороссийск — Керченский пролив — граница с Украиной и 3 км основного хода [5]. В распоряжении имелись проектная и рабочая документация, а также геодезическая разбивка сооружения. Целью исследования явилось определение оптимальных режимов обработки данных плана трассы модуля «Геометрия» комплексной передвижной дорожной лаборатории КП-514СМП «Трасса». Исследовался участок протяженностью 3234 м, включающий 2504 м основного направления дороги (Iб техническая категория) и 730 м правоповоротного съезда к ст. Джигинка (см. рис. 1).

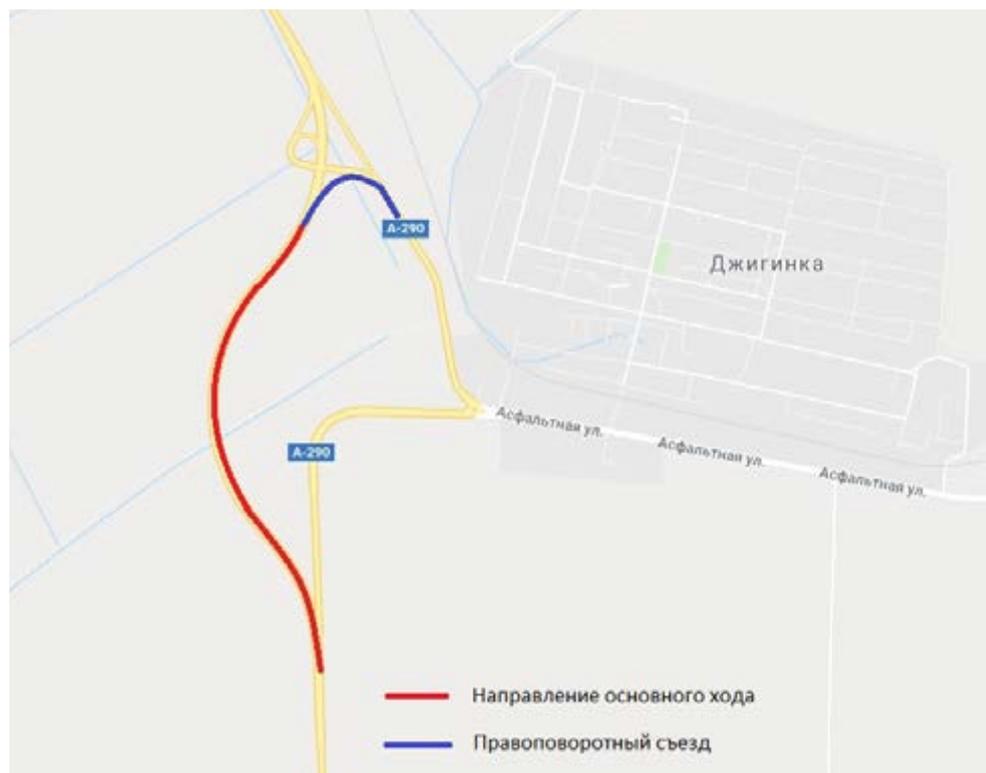


Рис. 1. Схема участка исследования

### Результаты

Проезд автомобиля лаборатории осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ 33383—2015<sup>3</sup> по ближайшей к оси полосе движения. Помехи движению отсутствовали, поскольку на момент исследований участок строительства еще не был сдан в эксплуатацию. Результаты обработки данных замеров при настройках по умолчанию для участка основного хода Iб категории и правоповоротного съезда в сравнении с проектными данными приведены в табл. 1.

Обращает на себя внимание существенное расхождение величин радиусов и угла поворота для участка съезда: 170 м по проекту и 254 м по измере-

<sup>3</sup> ГОСТ 33383—2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135147>.

ниям и  $127^\circ$  по проекту и  $101^\circ$  по измерениям. При этом сходимость параметров участка основного хода в пределах заявленного допуска. При настройках обработки по умолчанию для низкой технической категории, например пятой, значения радиуса закругления для съезда приближаются к проектным значениям (см. табл. 2, рис. 2), однако сопоставить угол поворота невозможно, поскольку одно закругление разбивается на несколько смежных. При этом измеренные радиусы участка основного хода изменились незначительно и также находятся в пределах заявленного допуска. На рисунке 2 приведено графическое сравнение различных режимов обработки трассы; при настройках для Ib и V категорий.

Т а б л и ц а 1

*Параметры плана трассы исследуемого участка дороги при настройках обработки для Ib технической категории*

№ угла	Величина угла, градусы		Радиус, м		Перех. кривые (проект)	Длина кривой, м		Длина прямой вставки, м	
	проект	измер.	проект	измер.		проект	измер.	проект	измер.
Участок основного хода									
1	83°01'	82°06'	830,00	856,00	120	1279,20	1228,00		
								0,00	32,00
2	-38°55'	-40°30'	1100,0	1123,0	120	683,28	795,00		
Участок съезда									
1	<b>127°9'</b>	<b>101°25'</b>	<b>170,0</b>	<b>254,0</b>	65	442,27	450,00		

Т а б л и ц а 2

*Параметры плана трассы исследуемого участка дороги при настройках обработки для V технической категории*

№ угла	Величина угла, градусы		Радиус, м		Перех. кривые (проект)	Длина кривой, м		Длина прямой вставки, м	
	проект	измер.	проект	измер.		проект	измер.	проект	измер.
Участок основного хода									
1	83°01'	82°24'	830,00	860,00	120	1279,20	1237,00		
								0,00	19,00
2	-38°55'	-40°55'	1100,0	1131,0	120	683,28	773,00		
Участок съезда									
1	127°09'	126°45'*	170,0	174,0	65	442,27			

\*Величина угла получена суммированием углов поворота трех смежных закруглений:  $14^\circ 31' + 90^\circ 48' + 20^\circ 36'$ .

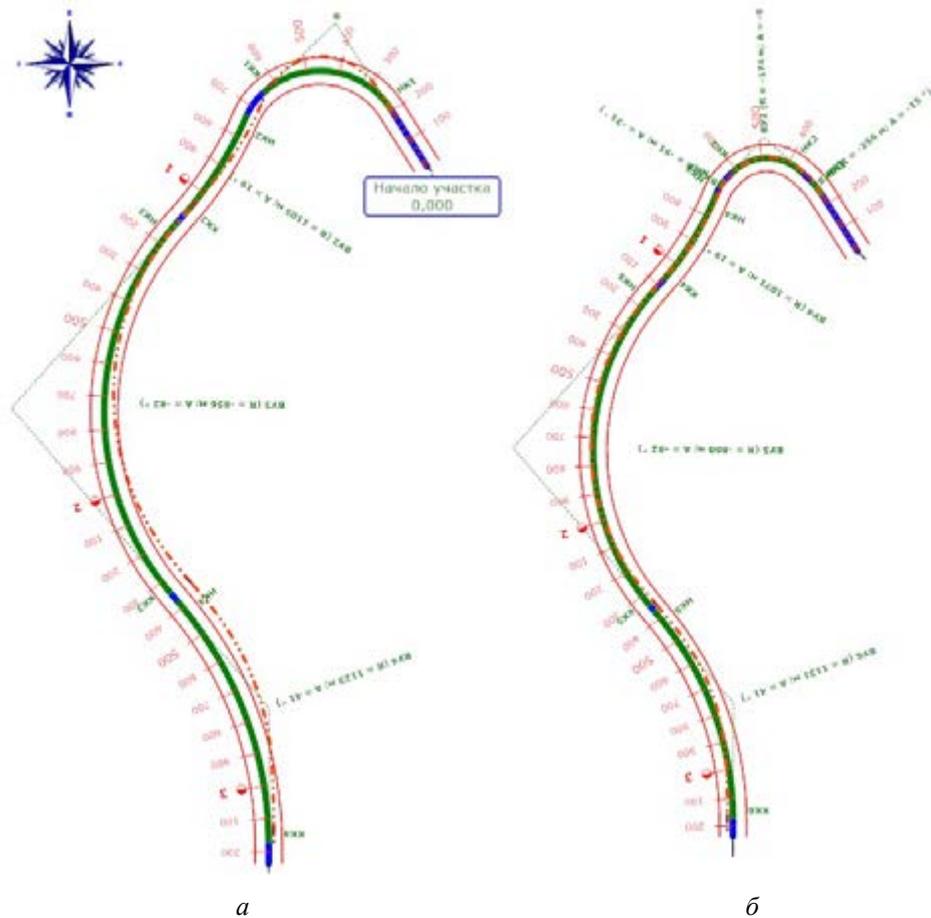


Рис. 2. Графическое сравнение режимов обработки плана трассы автомобильной дороги: *а* — обработка под Ib категорию; *б* — обработка под V категорию

Анализируя графическое изображение обработки плана трассы, обращает на себя внимание существенное различие в положении исходной траектории (красный штрих пунктир) и математически обработанной кривой: в режиме Ib категории расхождения существенны, в режиме V категории положение обеих кривых достаточно близкое.

Анализируя окно настроек параметров обработки (см. рис. 3), выявлено, что основное влияние на точность математического описания плана трассы оказывает позиция «Интервал сравнения». По умолчанию для настроек под Ib категорию интервал сравнения равен 100 м, для V категории — 30 м. Изменение других параметров окна настройки на точность аппроксимации исходной траектории в рассматриваемом примере несущественно.

Устанавливая значения «Интервала сравнения» 50 м, добиваемся промежуточного результата аппроксимации исходной траектории (см. рис. 4), при этом параметры плана основного хода меняются несущественно, в пределах заявленной точности измерений, а закругление на съезде по-прежнему демонстрирует значения радиуса и угла поворота, не соответствующие реальным параметрам закругления.

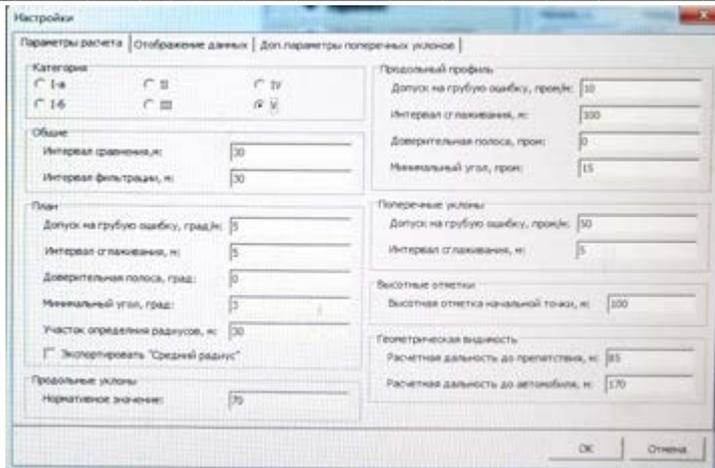


Рис. 3. Окно настроек режимов обработки данных о геометрии дороги

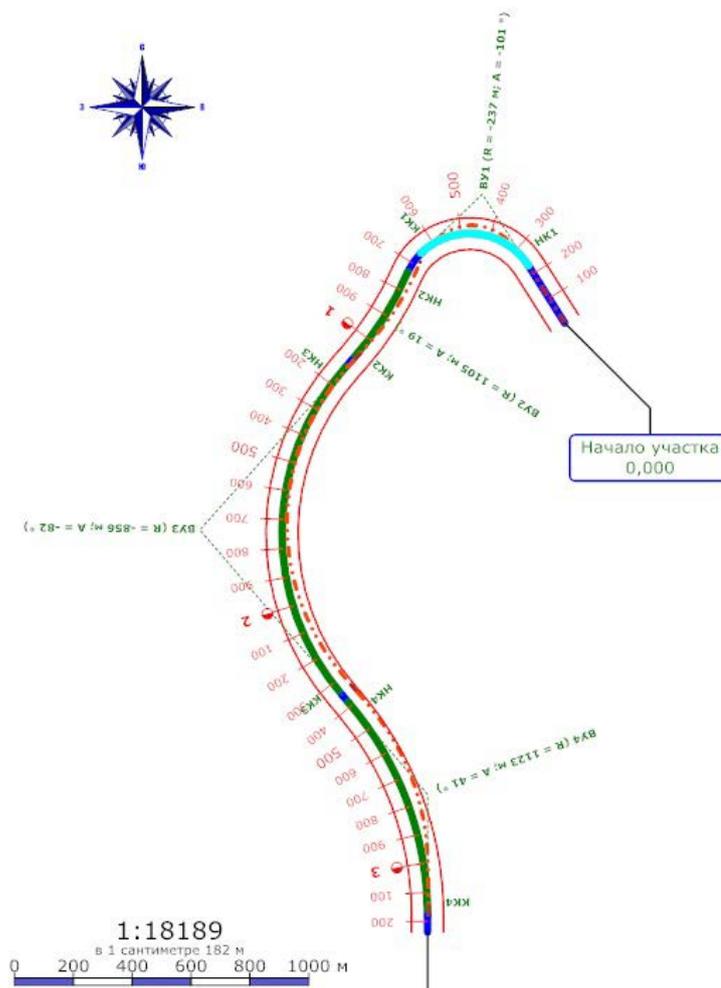


Рис. 4. Графическое изображение обработки плана трассы автомобильной дороги со значениями «Интервала сравнения» 50 м

### Выводы

Таким образом, в результате изучения режима работы модуля «Геометрия» комплексной передвижной дорожной лаборатории КП-514СМП «Трасса» на участке дороги с известными геометрическими характеристиками выявлено следующее:

1. Описание плана трассы не содержит информации о наличии и параметрах переходных кривых. Измеряется только радиус круговой кривой, в связи с чем подтверждение точности исполнения проекта с использованием КП-514СМП «Трасса» затруднительно, а для целей восстановления утраченных сведений о геометрии дороги и подтверждения безопасных условий движения модуль «Геометрия» достаточен.

2. Точность обработки исходной траектории зависит от настроек программного обеспечения и регулируется параметром «Интервал сравнения» окна «Настройки» программно-измерительного комплекса «Дорога-ПРО»: меньшие значения интервала сравнения (30 м) приводят к более точному повторению исходной траектории, излишней дискретизации трассы по элементам и подходят для малых радиусов закругления (менее 200 м); большие значения интервала сравнения (100 м) подтверждают достаточную точность для величин радиусов более 800 м и углов поворота менее 80°.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Близниченко С. С. Универсальная передвижная дорожная лаборатория // Автомобильные дороги. 1988. № 6. С. 17—18.
2. Близниченко С. С., Купин П. П., Игнатьев В. П. Проектирование кривых в плане на предгорных участках автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1984. № 6. С. 136—139.
3. Близниченко С. С. О влиянии вертикальных кривых на режимы и безопасность движения транспортных потоков // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1979. № 12. С. 102—105.
4. Мордик Е. А., Корневский В. В. Динамическое взаимодействие зон ограниченной видимости автомобиля и геометрических параметров автомобильной дороги // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции : материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции, 2014. С. 23—27.
5. Корневский В. В. Отчет о НИР № 3.36.05.94—18 от 23.11.2018 (ООО «Красноармейское ДРСУ»). Выполнение работ по проведению приемочной диагностики автомобильной дороги и обследованию мостовых сооружений до приемки в эксплуатацию объекта: «Реконструкция участков автомобильной дороги Новороссийск — Керченский пролив (на Симферополь). Строительство транспортной развязки на км 73 автомобильной дороги А-290 Новороссийск — Керченский пролив — граница с Украиной, Краснодарский край».

© Корневский В. В., Мордик Е. А., 2019

Поступила в редакцию  
в октябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Корневский В. В., Мордик Е. А. Оценка геометрических параметров дороги с использованием передвижной дорожной лаборатории // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 48—55.

Об авторах:

**Корневский Всеволод Валерьевич** — канд. техн. наук, заведующий кафедрой транспортных сооружений, Кубанский государственный технологический университет. Российская Федерация, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2

**Мордик Екатерина Александровна** — ассистент кафедры начертательной геометрии и графики, Тюменский индустриальный университет. Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Волodarского, 38

**Vsevolod V. Korenevskii<sup>a</sup>, Ekaterina A. Mordik<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Kuban State Technological University*

<sup>b</sup> *Industrial University of Tyumen*

## EVALUATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE ROAD USING A MOBILE ROAD LABORATORY

Any complex laboratory equipment requires appropriate qualification of service personnel. Successfully mastered operator training course is sufficient for most standard situations, but does not give an exhaustive idea of the features of the equipment and software in difficult field conditions, which, in turn, can cause difficulties in the operation of the device and an increase in the share of subjective decisions in the resulting result. It is possible to study more fully work of the difficult equipment only having practical experience of its operation in different conditions. This article reveals the features of the complex “Geometry” mobile road laboratory KP-514 SMP “Trassa”.

**Key words:** geometric parameters, road geometry, traffic interchange, graphic image of the route plan processing, complex mobile road laboratory.

*For citation:*

Korenevskii V. V., Mordik E. A. [Evaluation of geometric parameters of the road using a mobile road laboratory]. *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], 2019, iss. 4, pp. 48—55.

*About authors:*

**Vsevolod V. Korenevskii** — Candidate of Engineering Sciences, the Head of Transport Constructions Department, Kuban State Technological University. 2, Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation

**Ekaterina A. Mordik** — Assistant of Descriptive Geometry and Graphics Department, Industrial University of Tyumen. 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

УДК 624.21:331

**А. В. Макаров, Т. В. Ерещенко, А. В. Старов, И. Н. Захаров**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ**

Рассматривается проблема выбора форм продольных профилей мостовых сооружений с точки зрения минимизации объемов земляных работ при их строительстве. Проведены расчеты длин насыпей подхода в зависимости от их уклонов и профилей мостов. Анализ произведенных расчетов позволил выявить наиболее эффективную форму продольного профиля мостового сооружения. Предложен новый — интегральный подход к определению объемов насыпей подхода.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** продольный профиль мостового сооружения, уклон насыпи, эффективность, экономичность, поперечный профиль насыпи, длина насыпи, объем насыпи, интегральный подход.

Россия — страна с обширной, но неравномерно развитой дорожной сетью, которая находится в постоянном развитии. Европейская часть страны имеет удовлетворительное покрытие автодорожной сетью, но и она нуждается в постоянном ремонте и реконструкции. Что касается азиатской части, то имеющиеся дороги нельзя признать удовлетворительными ни по покрытию региона, ни по качеству, ни по надежности функционирования. Правительство России, региональные власти уделяют большое внимание дальнейшему развитию дорожно-транспортной инфраструктуры, что отмечается в принятых документах<sup>1</sup> [1]. Для этого из бюджета выделяются значительные финансовые средства, которые не решают поставленные задачи. Развитие дорожной сети в такой огромной стране, как Россия, требует гигантских капиталовложений<sup>2</sup>. Грамотное, экономное расходование средств — залог успешного выполнения планов по созданию качественной и надежной транспортной сети. Состояние автомобильных дорог влияет и на аварийность. Трещины и выбоины асфальтобетонного покрытия, узкие двухполосные дороги способствуют не только пробкам, но и увеличивают аварийность из-за выездов на встречную полосу. Особенно больших финансовых вложений требуют искусственные сооружения на дорогах, главным образом мосты. Функциональная надежность этих объектов не должна быть обеспечена за счет неоправданно высокой стоимости сооружений. Мостовые сооружения на дорогах должны быть эффективными при их проектировании [2—4], строительстве, эксплуатации и реконструкции. Именно реконструкция [5] и ремонт [6] при сравнительно небольших затратах способны продлить «жизнь» мостов и сэкономить денежные средства.

<sup>1</sup> Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. URL: [mintrans.ru/documents/3/1009](http://mintrans.ru/documents/3/1009).

<sup>2</sup> Федеральные и региональные транспортные стратегии. URL: [morproukt.ru/articles/materialy-po-tehnologii/programmy-razvitiya-transporta/federalnye-i-regionalnye-transportnye-strategii](http://morproukt.ru/articles/materialy-po-tehnologii/programmy-razvitiya-transporta/federalnye-i-regionalnye-transportnye-strategii).

В прошлые десятилетия в нашей стране в капитальном строительстве господствовал принцип использования типовых сборных железобетонных конструкций. Заводы, расположенные во всех регионах страны, изготавливали такие конструкции для пролетных строений, ригелей, опор, устоев, из которых впоследствии собирались мосты. Сооружения получались относительно дешевыми и быстровозводимыми. Проектировали такие мосты, как правило, прямолинейной формы. Применение балок прямолинейного профиля при соблюдении требований подмостового габарита влечет за собой сооружение высоких насыпей подхода к мосту, что особенно неприемлемо в городских условиях, где пространство ограничено.

На рисунке 1 представлен железобетонный путепровод, где отчетливо видно, что даже при строительстве такого небольшого сооружения потребовалось создать значительную насыпь.



Рис. 1. Железобетонный путепровод

С развитием железобетонного монолитного мостостроения, а также строительства металлических мостов появилась возможность конструирования не только прямолинейных, но и криволинейных форм, что позволяет уменьшить длину и объем насыпей подхода к ним. При разных формах продольного профиля мостового сооружения длины насыпей подхода и их объемы отличаются, что в случаях больших подмостовых габаритов при пересечении водных преград первого класса дает значительную разницу в объемах земляных работ, а значит, и различную стоимость сооружений в целом.

Примером применения такого конструктивного решения является Сторсезандетский мост на Атлантической дороге в Норвегии (рис. 2). Его конструкция позволила сэкономить не только значительное пространство под возведение насыпей подхода, но и большие денежные средства. Ко всему прочему, этот мост архитектурно выразителен и является украшением дороги.

При проектировании таких объектов применяется компьютерное моделирование. Построение 3D модели позволяет достичь совершенной формы, что, в свою очередь, обеспечивает расчетную прочность конструкций [7]. Одной из таких сред, позволяющих выполнить расчет и выявить зоны концентрации напряжений, является пакет Revit [8].



Рис. 2. Сторсезандетский мост в Норвегии

Анализируя эффективность использования криволинейного очертания, рассмотрены три формы продольного профиля мостового перехода: прямолинейная, круговая и параболическая.

Расчеты выполнены для мостового перехода через водную преграду первого класса с подмостовым габаритом  $H$ , равным 17 м при разных уклонах насыпи подхода.

В случае, когда используются стандартные балки прямолинейного профиля, длина насыпи составит  $13,712H$  условных единиц, что равно 233,1 м (рис. 3, *а*), при круговом профиле мостового сооружения длина насыпи существенно сокращается и составляет  $10,54H$  или 179,2 м (рис. 3, *б*). Как показали расчеты, самым экономичным профилем является параболический. При нем длина насыпи составляет всего  $8,5H$  или 144,5 м (рис. 3, *в*).

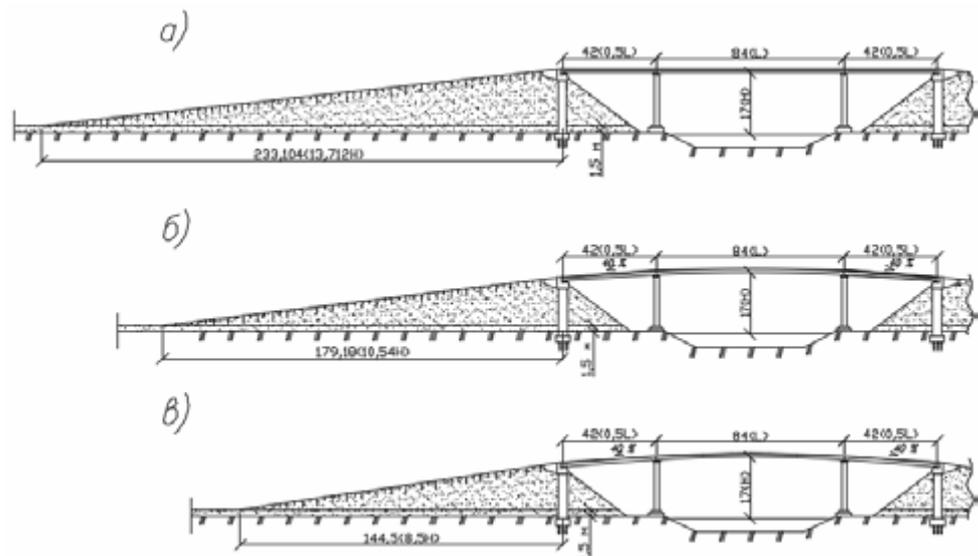


Рис. 3. Длина насыпи при различной форме продольного профиля моста: *а* — прямолинейная; *б* — круговая; *в* — параболическая

По требованиям безопасности и плавности профиля уклон насыпи подхода должен совпадать с углом наклона касательной к кривой профиля моста в точке сопряжения насыпи с пролетным строением.

Для вычислений геометрических параметров кругового профиля воспользуемся формулами строительной механики для радиуса окружности:

$$R = \frac{l^2 + 4f^2}{8f}, \text{ где } l \text{ — пролет моста, } f \text{ — стрела подъема и угла наклона касательной в точке сопряжения моста и насыпи подхода } \operatorname{tg}\varphi = \frac{l}{2(R-f)}.$$

При различных соотношениях  $l/f$  получена зависимость длины насыпи от ее продольного уклона.

Для определения параметров параболического профиля воспользуемся формулой параболы строительной механики [9]  $y = \frac{4f}{l^2}(l-x)x$  и угла наклона касательной к оси  $\operatorname{tg}\varphi = y' = \frac{4f}{l^2}(l-2x)$ , где  $l$  — длина пролета,  $f$  — стрела подъема параболы. Отсюда выражение для стрелы подъема имеет вид:

$$f = \frac{\operatorname{tg}\varphi l^2}{4(l-2x)}.$$

При заданных уклонах насыпи  $\operatorname{tg}\varphi$  получим уменьшение высоты насыпи на величину  $f$ , а значит, и ее длины.

На основе результатов расчета построен график (рис. 4) зависимости длины насыпи от продольного уклона насыпи подхода при различных профилях мостовых сооружений.

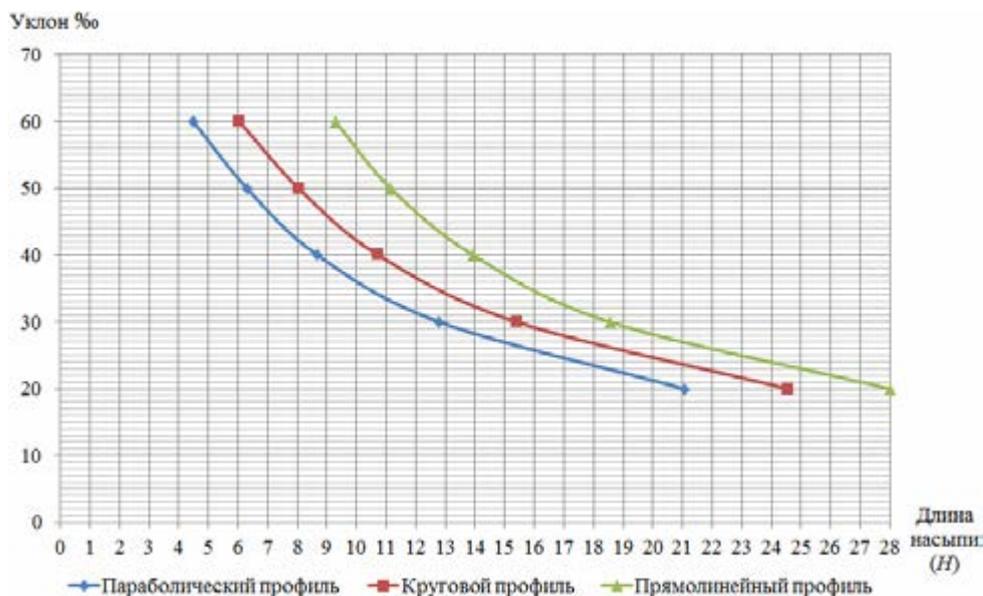


Рис. 4. График сравнения длины насыпи подхода для различных продольных профилей мостового сооружения

Поперечные профили грунтовых насыпей автомобильных дорог регламентируются нормативной литературой. Выбор конкретного вида профиля зависит от таких факторов, как высота насыпи, профиля и уклона местности, наличие зеленых насаждений и плодородных земель, а также уровень грунтовых вод. На подходах к мостовым сооружениям: путепроводам при пересечениях в разных уровнях и мостам через водные преграды высота насыпи увеличивается. В таких случаях уклон откосов насыпи меняется для обеспечения ее устойчивости. Насыпи до 6 м имеют постоянный уклон откосов, равный 1:1,5. Высокие насыпи до 14 м имеют широкое основание с откосами 1:2,5 и верхнюю часть с откосом 1:2. В случаях пересечения дорогой водных каналов в равнинной местности проектируют насыпи высотой 16 м и более. Ширина основания такой насыпи, имеющей четырехметровые бермы, — 103,5 м, а уклоны откосов увеличиваются от 1:1,5 до 1:2 (рис. 5).

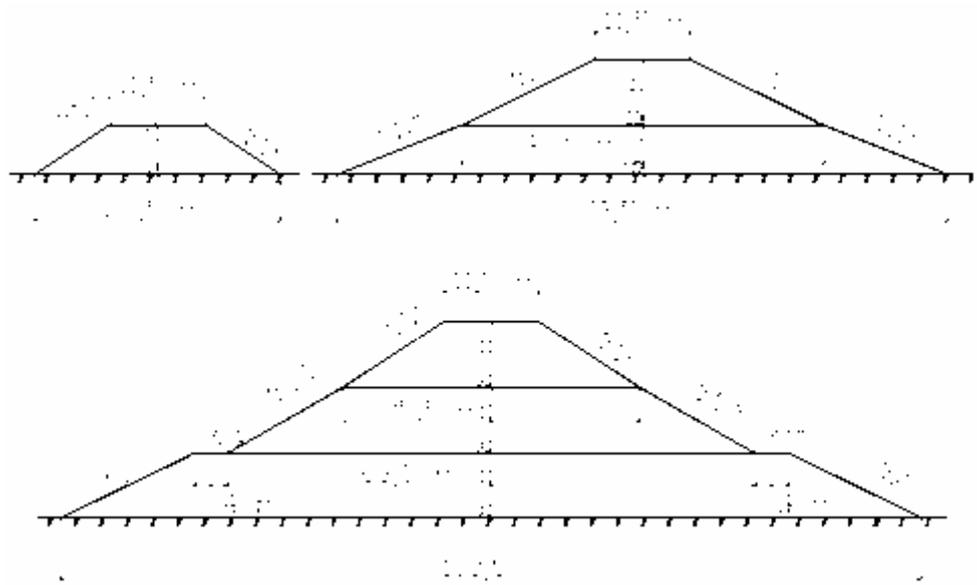


Рис. 5. Поперечные профили насыпи подхода к мосту с высотой до 8, 14 и свыше 16 м

Возведение таких земляных сооружений требует соответствующих затрат на разработку грунта в карьерах, перевозку и послойную отсыпку с уплотнением. При выборе оптимального продольного профиля моста и продольного уклона насыпи подхода можно существенно сократить трудовые и финансовые затраты. Обычно объем грунтовой насыпи определяют, используя черные и красные (проектные) отметки. Этот способ хотя и используется, но сопряжен с погрешностями. Авторы предлагают другой способ определения объемов — интегральный. Насыпь рассматривается как объем, ограниченный тремя наклонными плоскостями. Центральный объем, ограниченный плоскостью 1, определяется тройным интегралом  $V$ , а откос насыпи, ограниченный плоскостью 2, тройным интегралом  $V_1$ . Таким образом, полный объем возводимой насыпи подхода к искусственному сооружению равен сумме центрального и двух боковых объемов. Обозначения представлены на рис. 6.

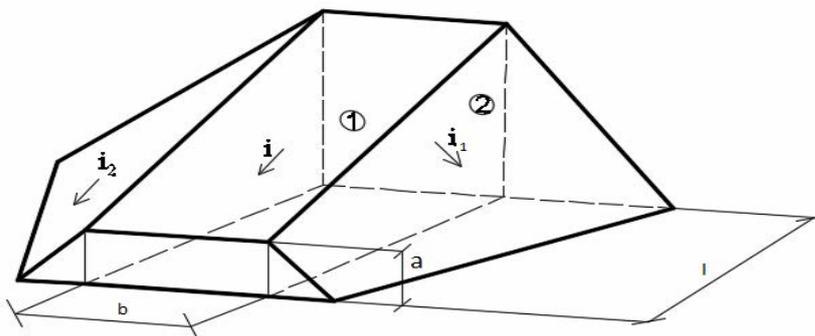


Рис. 6. Интегральный способ определения объемов

$$V = \int_0^l dx \int_0^b dy \int_0^{i-x+a} dz = \int_0^l dx \int_0^b (ix+a) dy = \int_0^l (ix+a) b dx = \left( i \frac{x^2}{2} + ax \right) b \Big|_0^l = \frac{bl(2a+il)}{2}. \quad (1)$$

$$V_1 = \int_0^l dx \int_b^{b+ai+ii_1x} dy \int_0^{\frac{b-y+ai+ii_1x}{i_1}} dz = \int_0^l dx \int_b^{b+ai+ii_1x} \frac{b-y+ai+ii_1x}{i_1} dy$$

$$= \int_0^l (a+ix)y + \frac{b}{i_1}y - \frac{1}{i_1} \frac{y^2}{2} \Big|_b^{\frac{b-y+ai+ii_1x}{i_1}} dx = \frac{i_1}{2} \left( a^2x + 2ai \frac{x^2}{2} + \frac{x^3 i^2}{3} \right) \Big|_0^l = \quad (2)$$

$$= \frac{i_1 l (3a^2 + 3ail + i^2 l^2)}{6}$$

В качестве примера приведен подсчет объема насыпи подхода к путепроводу параболического профиля. Высота путепровода — 7 м, ширина насыпи в вершине — 11,5 м, уклон — 50 промилле. Длина насыпи подхода в соответствии с графиком длин (рис. 4) составит:  $6,2 \cdot H = 6,2 \cdot 7 = 43,4$  м, при этом  $i = 1:20$ ,  $i_1 = 1:1,5$ ,  $i_2 = 1:1,5$ ,  $a = 1$  м. Выполнив расчет по формулам (1) — для центральной части насыпи и (2) — для откосов, просуммировав результаты, получим объем насыпи подхода:  $V = 1177,764$  м<sup>3</sup>.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Продольный профиль мостового сооружения существенно влияет на длину и объем насыпи подхода.
2. Приведенный график сравнения длины насыпи подхода для различных продольных профилей мостового сооружения (рис. 4) позволяет графически определять длину насыпи при любой высоте и продольном профиле моста.
3. Используя формулы, полученные при интегральном подходе к определению объемов, можно легко получить результат в любой расчетной среде.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетова Е. М. Механизмы финансирования дорожной инфраструктуры в России и в мире. История развития, современное состояние, лучшие мировые практики. Отдел. издан. НИУ ВШЭ, 2015. 552 с.
2. Makarov A. V., Kalinovsky S. A. Methods of regulating thrust in design of arch bridges. IOP Conference Series : materials Science and Engineering. Vol. 451. № 1. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018). 26—28 September 2018, South Ural State University, Russian Federation, 2018. Pp. 8. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012054/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012054/pdf).

3. Макаров А. В., Калиновский С. А., Синицын А. В. Оптимизация формы арочных пролетных строений мостов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 52(71). С. 117—127.

4. Макаров А. В., Купреценков А. Э. К вопросу о проектировании биметаллических мостов // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4961](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4961).

5. Рекунов С. С. Об оценке надежности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2016. Т. 3. № 2. URL: [t-s.today/07TS216.html](http://t-s.today/07TS216.html).

6. Кулаев Е. А., Воронкова Г. В. Реконструкция моста через реку Оленью Волгоградской области // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4168](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4168).

7. Langwich O. Bridge modeling — AutoDesck User Group International. 2016. URL: [augi.com/articles/detail/bridge-modeling](http://augi.com/articles/detail/bridge-modeling).

8. Zotkin S. P., Ignatova E. V., Zotkina I. A. The Organization of Autodesk Revit Software Interaction with Applications for Structural Analysis. Science Direct. 2016 URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323736](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323736).

9. Дарков. А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика : учебник. 12-е изд., стер. СПб. : Лань, 2010. 656 с.

© Макаров А. В., Ерещенко Т. В., Старов А. В., Захаров И. Н., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Анализ экономической целесообразности мостовых сооружений различных продольных профилей / А. В. Макаров, Т. В. Ерещенко, А. В. Старов, И. Н. Захаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 56—63.

Об авторах:

**Макаров Александр Владимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Ерещенко Татьяна Владимировна** — канд. техн. наук, доцент кафедры цифровой экономики и технологий управления в городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Старов Александр Васильевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Захаров Игорь Николаевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, пр. Ленина, 28, [sopromat@vstu.ru](mailto:sopromat@vstu.ru)

**Aleksandr V. Makarov, Tatiana V. Ereshchenko, Alexandr V. Starov, Igor N. Zakharov**

**Volgograd State Technical University**

## **ANALYSIS OF ECONOMIC FEASIBILITY OF BRIDGE STRUCTURES OF DIFFERENT LONGITUDINAL PROFILES**

The problem of choosing the forms of longitudinal profiles of bridge structures from the point of view of minimizing the volume of earthworks during their construction is considered. Calculations of approach embankments lengths depending on their slopes and bridge profiles are carried out. Analysis of the calculations revealed the most effective form of the longitudinal profile of the bridge structure. A new integral approach to determining the volume of embankments is proposed.

**Key words:** longitudinal profile of bridge, the slope of the mound, effectiveness, efficiency, cross-section of embankment length embankment volume embankment, integral approach.

*For citation:*

Makarov A. V., Ereshchenko T. V., Starov A. V., Zakharov I. N. [Analysis of economic feasibility of bridge structures of different longitudinal profiles]. *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], 2019, iss. 4, pp. 56—63.

*About authors:*

**Aleksandr V. Makarov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Tatiana V. Ereshchenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Digital Economy and Urban Management Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Alexandr V. Starov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor of Construction Mechanics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Igor N. Zakharov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Resistance Materials Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Av., Volgograd, 400005, Russian Federation, [sopromat@vstu.ru](mailto:sopromat@vstu.ru)

УДК 625.712.63

**Н. В. Сапожкова, А. С. Кубахова, М. А. Федина, В. А. Барышников**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **УСТРОЙСТВО ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ И МНОГОУРОВНЕВЫХ ПАРКОВОК КАК МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЗАГРУЖЕННОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Изучены особенности перехватывающих и многоуровневых парковок. Предложены места для обустройства парковочного пространства на территории Волгограда с целью снижения загруженности улично-дорожной сети города.

**Ключевые слова:** парковочное пространство, уличная дорожная сеть, снижение загруженности улично-дорожной сети, перехватывающие парковки, многоуровневые парковки.

В последнем десятилетии в связи с быстрым увеличением численности легковых автомобилей в крупных городах вырос и объем перевозок на них. Повысилась численность культурно-бытовых поездок в центр города из пригородной зоны и близлежащих городов. В связи с этим увеличилась нагрузка улично-дорожной сети автомобильным транспортом и особенно в центре города, где появились заторы в уличном движении, а застройка оказалась в условиях повышенной зашумленности и загазованности [1].

В городах и других населенных местах большинства стран используются различные способы кратковременного паркирования транспортных средств. Согласно КТС и Генплану г. Волгограда разгрузка центра города от легковых автомобилей возможна путем отвода транзитного движения, создания перехватывающих парков у въездов в центр и в город.

Перехватывающие парковки — это автомобильная стоянка, расположенная вблизи станции метро или остановки другого общественного транспорта и предназначенная для водителей, которые хотят оставить свой автомобиль и продолжить путь к месту назначения на общественном транспорте.

Например, перехватывающая парковка в Москве на 132 парковочных места у станции метро «Бульвар Дмитрия Донского» в Юго-Западном административном округе (рис. 1).



Рис. 1. Перехватывающая парковка в Москве на 132 парковочных места у станции метро «Бульвар Дмитрия Донского» в Юго-Западном административном округе

Перехватывающие парковки (Park & Ride) следует рассматривать не только как место для хранения автомобильного транспорта, но и как комплекс, который может включать в себя следующие сооружения:

- парковки большой вместимости (200—300 легковых автомобилей, 100—150 грузовых автомобилей);
- гостиничный комплекс (гостиницы, мотели, кемпинги и др.);
- топливные заправки (обычного вида или ориентированные на грузовой транспорт);
- пункты кратковременного пребывания и отдыха (комнаты отдыха и релаксации, туалеты, душевые);
- пункты питания (кафе, рестораны);
- магазины продуктов питания, промтоварные магазины и магазины автозапчастей.

Примеры схем перехватывающих парковок представлены на рис. 2.

Для большей привлекательности парковок Р & R в зоне их расположения рекомендуется устраивать торговые и развлекательные комплексы с большими парковками. Таким образом, парковки Р & R будут стимулировать поездки населения города в поперечном направлении (от центра к периферии), а не в продольном, что также создает дополнительную возможность для снижения нагрузки на транспортные потоки и снижает внутригородские перемещения.

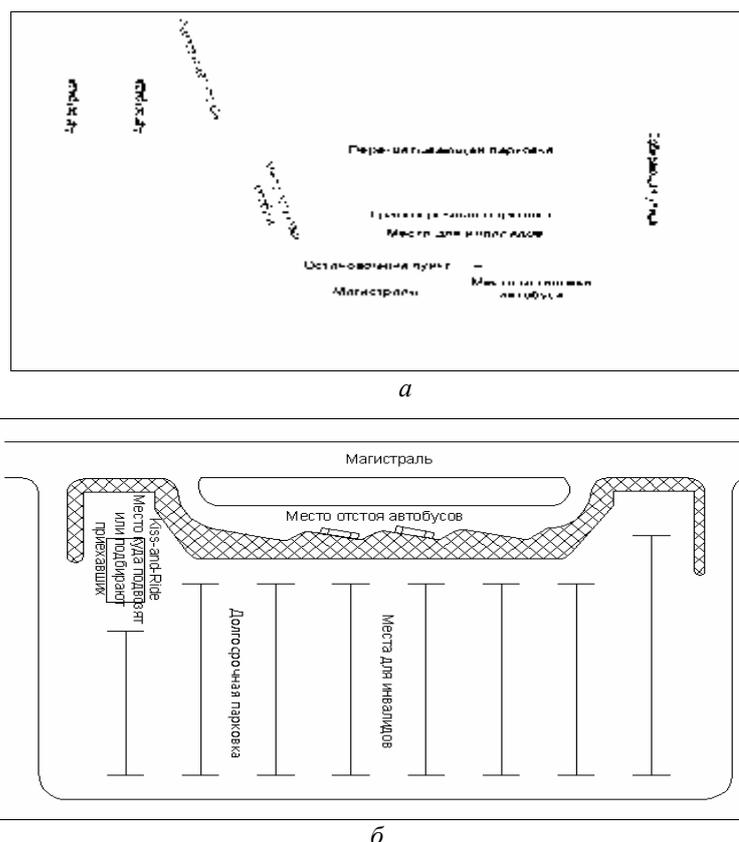


Рис. 2. Примеры схем перехватывающих парковок: *а* — площадка для пересадки у автострады; *б* — парковка, прилегающая к магистрали

Перехватывающие парковки уже несколько лет успешно используются в крупнейших российских городах, таких как Москва, Санкт-Петербург, Краснодар и других. ГИБДД в правилах дорожного движения предусмотрела новый отдельный дорожный знак в форме табличек 8.21.1—8.21.3 «Вид маршрутного транспортного средства», которые устанавливаются у перехватывающих парковок и подсказывают водителям, на чем ехать дальше (рис. 3)<sup>1</sup>.

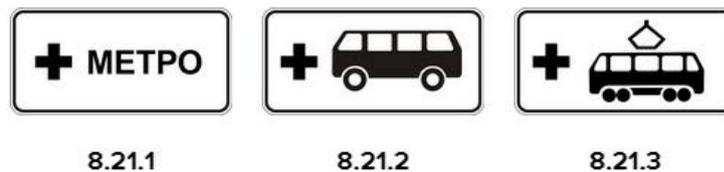


Рис. 3. Таблички «Вид маршрутного транспортного средства»

По обслуживанию общественным транспортом перехватывающие парковки подразделяются на следующие: обслуживаемые и необслуживаемые. К последним относятся так называемые «собирающие парковки» (специально организованные либо появившиеся стихийно), на которых водители, приезжающие каждый на своей машине, кооперируются и продолжают свой путь сообща.

Обслуживаемые, в свою очередь, разделяют по используемому общественному транспорту:

- парковка, основанная на использовании метрополитена (как глубокого, так и мелкого заложения);
- на использовании автобусов (обычно с выделенной полосой движения);
- на использовании ТПУ (2—3 вида общественного транспорта).

При проектировании парковок у торговых центров вместимость их также должна определяться по данным обследования с выявлением целей поездки и видов удовлетворения услуг. Соответствующим образом должно быть увязано их проектирование с учетом удовлетворения максимального числа потребностей.

В рамках выполнения научно-исследовательской работы на кафедре ИПТС ВолгГТУ<sup>2</sup> проведен анализ территории г. Волгограда, который позволил выделить места размещения перехватывающих парковок P & R совместно с транспортно-пересадочными узлами.

Перехватывающая парковка со стороны московского направления предлагается на пересечении ул. им. Землячки — пр-т Маршала Жукова — 3-я Продольная магистраль (Самарский разъезд). На этом участке находятся остановочные пункты трамвая, троллейбуса и автобуса (рис. 4).

Перехватывающая парковка со стороны северного направления (Саратов, Волжский) располагается на пл. Дзержинского в Тракторозаводском районе. На этом участке находятся конечные остановочные пункты электропоезда, скоростного трамвая, а также остановочные пункты автобусов и троллейбусов (рис. 5).

<sup>1</sup> Виды парковок для автомобилей в 2019 году. URL: <https://autolab24.ru/vidy-parkovok/>.

<sup>2</sup> Разработка отдельных разделов комплексных схем организации дорожного движения городского округа город-герой Волгоград, включая проведение натурных обследований пассажирских потоков на территории городского округа город-герой Волгоград. НИР — дог. № КС0711-2018/В, 1613/18-н ИАиС ВолгГТУ от 07.11.2018, Волгоград.

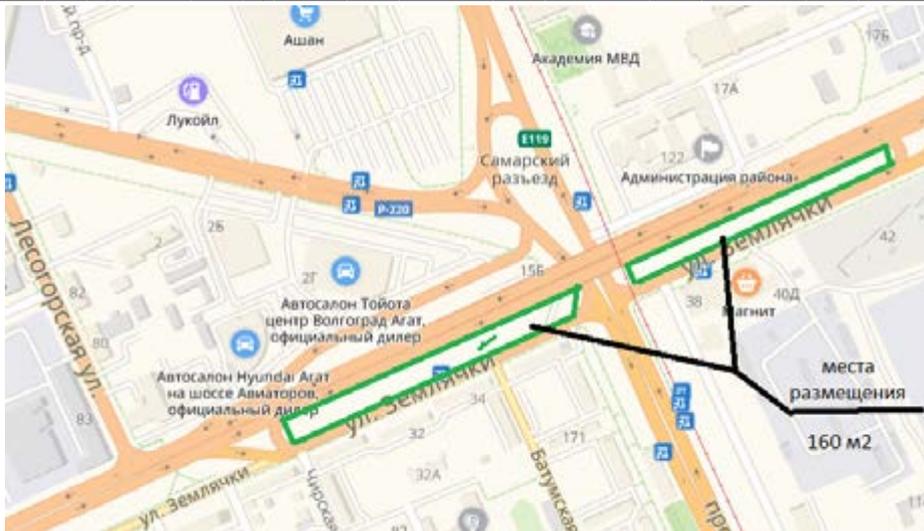


Рис. 4. Перехватывающая парковка на ул. им. Землячки

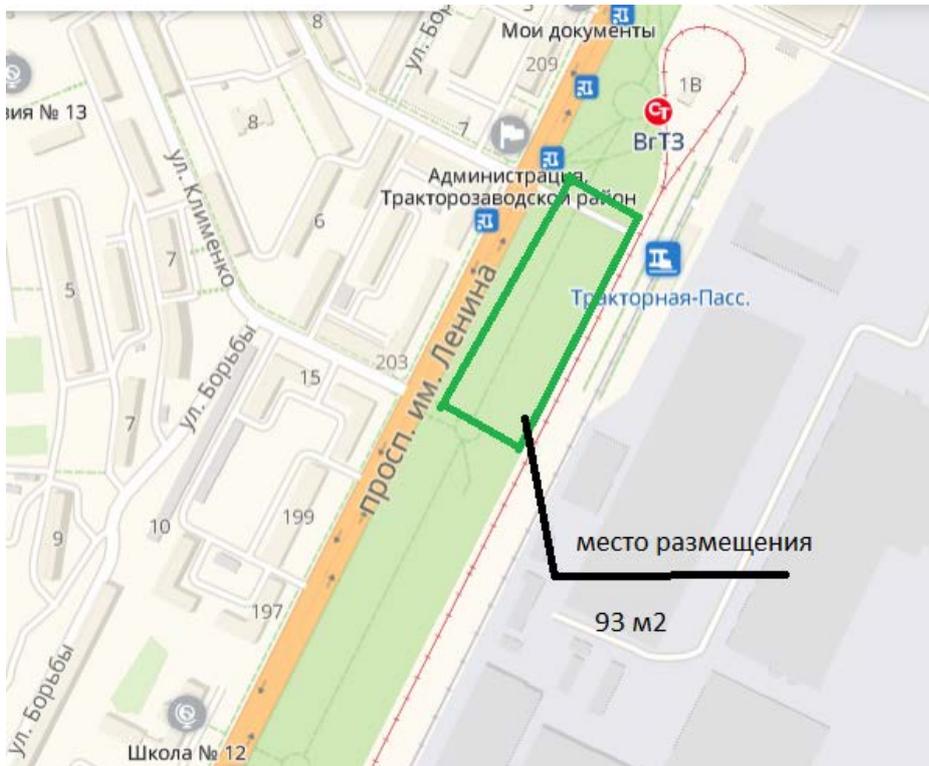


Рис. 5. Перехватывающая парковка в Тракторозаводском районе г. Волгограда

Перехватывающая парковка со стороны южного направления (г. Элиста) на ул. Удмуртской в Красноармейском р-не г. Волгограда. На этом участке находятся конечные остановочные пункты трамваев, а также остановочные пункты электропоездов, автобусов и троллейбусов (рис. 6).

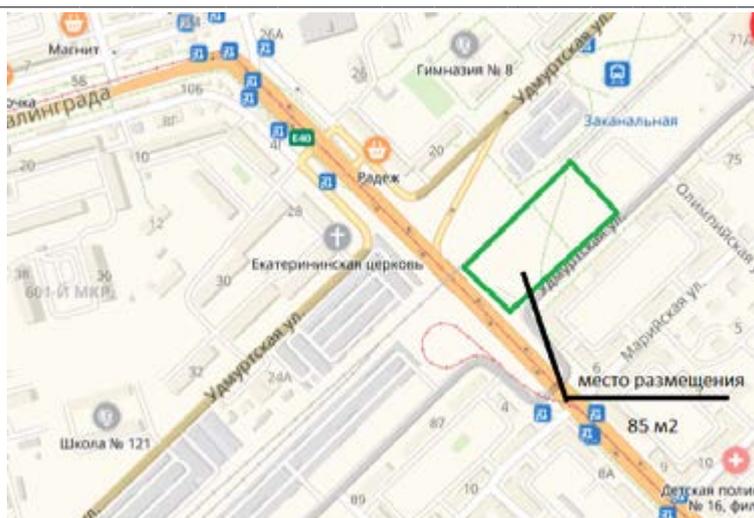


Рис. 6. Перехватывающая парковка в Красноармейском районе г. Волгограда

Ниже представлена схема предлагаемых участков для перехватывающих парковок на территории г. Волгограда (рис. 7).



Рис. 7. Предлагаемые перехватывающие парковки г. Волгограда: 1 — ул. им. Землячки; 2 — пл. Дзержинского; 3 — ул. Удмуртская; 4 — Центральный автовокзал; 5 — аэропорт

Насыщение транспортными и общественными функциями близлежащих зон транспортно-пересадочных узлов в радиусе массовой пешеходной доступности вокзалов, станций, остановочных пунктов условно, в пределах до 1000 м приводит к образованию многофункциональных пространственно развитых общественно-транспортных центров или узлов. Пространственное объединение различных видов и форм обслуживания на территории, непосредственно примыкающей к узлам пересадки, или их включение в транспортные объекты способствует комплексному освоению городской территории, высокому уровню ее благоустройства и инженерного оснащения<sup>3</sup>.

Еще одним мероприятием по уменьшению загруженности города транспортными средствами является строительство многоуровневых парковок.

Многоуровневые парковки — это помещение, которое предоставляет возможность временно распределить транспортные средства поэтажно. Благодаря этому на небольшом участке можно расположить немалое число машин<sup>4</sup>.

Многоуровневые парковки классифицируются:

1. По расположению относительно уровня земли:

- **Подземный.** Это паркинг, который организован под зданием, площадью (пустырем), проезжей частью или речным руслом. Его строительство требует использования усиленных несущих конструкций и специальных мер по обеспечению безопасности работ, что делает проект дорогостоящим. Если возводить несколько подземных ярусов на большое количество машино-мест, проект окупится скорее. Поэтому подземные паркинги часто делают под жилыми и общественными зданиями, где гарантирован спрос на размещение автомобилей.

- **Надземный.** Более простой и недорогой вид паркинга. Часто строится в дополнение к подземному — например для жилых новостроек. Два подземных этажа плюс надземный паркинг неподалеку дают возможность сэкономить всем — девелоперу на строительных работах, жильцам — на стоимости машино-места.

2. Паркинг можно сделать частью здания или отдельно расположенным сооружением:

- **Отдельно расположенный.** Подземные паркинги часто подобным образом обустраивают на пустующих участках земли. Надземные — это сооружения самых разных конфигураций, вплоть до моста над проезжей частью. В них помимо машино-мест могут находиться офисы, склады и другие помещения.

- **Часть здания.** Если для обслуживания здания требуется больше машино-мест, чем по объективным причинам вместил бы подземный паркинг, под размещение автомобилей может быть отдана часть здания. Такие архитектурные решения можно увидеть в торговых центрах.

3. По способу размещения автомобилей выделяются:

- **Автоматизированный паркинг.** Организован по принципу камеры хранения. Водителю требуется завести машину в специальный приемный отсек и задать место, куда она будет перемещена, с помощью пульта управления. Это быстро, удобно и позволяет сэкономить на площадях.

<sup>3</sup> Госстрой России ЦНИИП градостроительства. Рекомендации по проектированию общественно-транспортных центров (узлов) в крупных городах.

<sup>4</sup> URL: <https://prokolesa24.ru/mnogourovnevaja-parkovka/>.

• Неавтоматизированный паркинг. Традиционный, но требует больше места. Водитель сам заезжает на парковочное место. Если в паркинге несколько этажей, для перемещения между ними оборудуются пандусы.

Пример — многоуровневая парковка в Санкт-Петербурге (рис. 8).

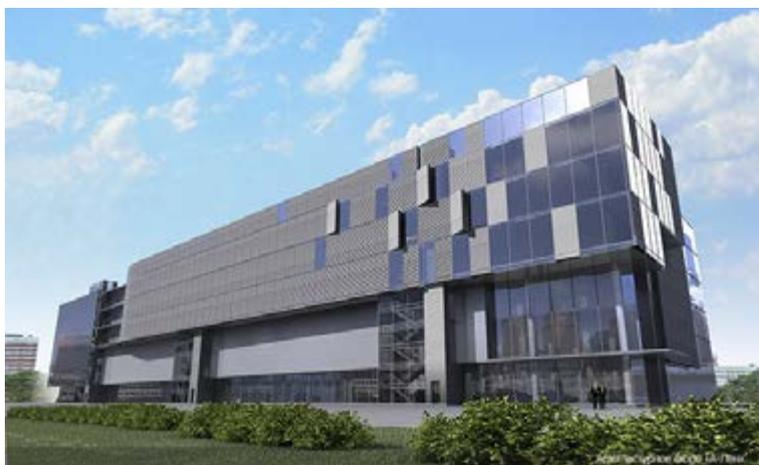


Рис. 8. Многоуровневая парковка в Санкт-Петербурге

Для совершенствования транспортной инфраструктуры и оптимизации городских транспортных потоков в г. Волгограде предлагается возможное размещение объектов для осуществления многоуровневых парковок автомобильного транспорта.

Перечень предлагаемых мест строительства многоуровневых парковок:

- 1) ул. Пархоменко;
- 2) пересечение ул. им. Володарского и ул. Глубокоовражной;
- 3) ул. Байкальская;
- 4) пересечение ул. Огарева и ул. Изюмской.

На ул. Пархоменко и на пересечении ул. Глубокоовражной с ул. им. Володарского предполагается внедрение многоуровневых парковок, с увеличением уровня автомобилизации спрос на них будет расти (рис. 9).

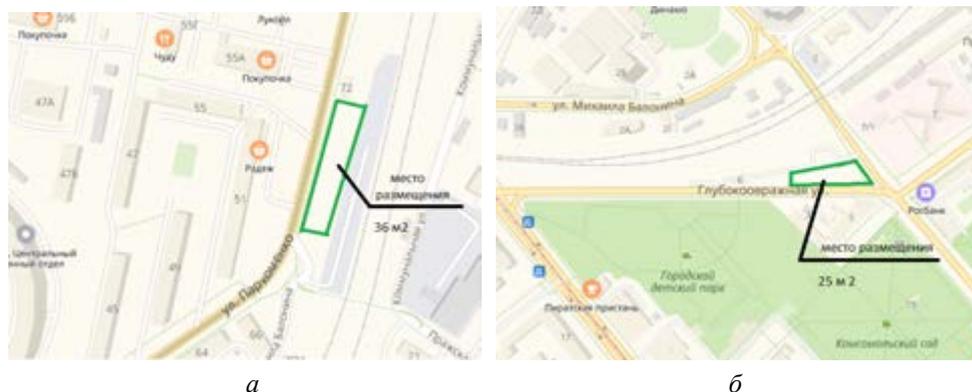


Рис. 9. Многоуровневая парковка: *а* — на ул. Пархоменко; *б* — на пересечении ул. им. Володарского и ул. Глубокоовражной

Многоуровневая парковка на ул. Байкальской в районе развязки с мостового перехода на ул. Маршала Рокоссовского также будет пользоваться, так как в шаговой доступности находится масштабный бизнес-центр «Волгоград-Сити» и Памятник-ансамбль «Героям Сталинградской битвы» на Мамаевом Кургане (рис. 10).

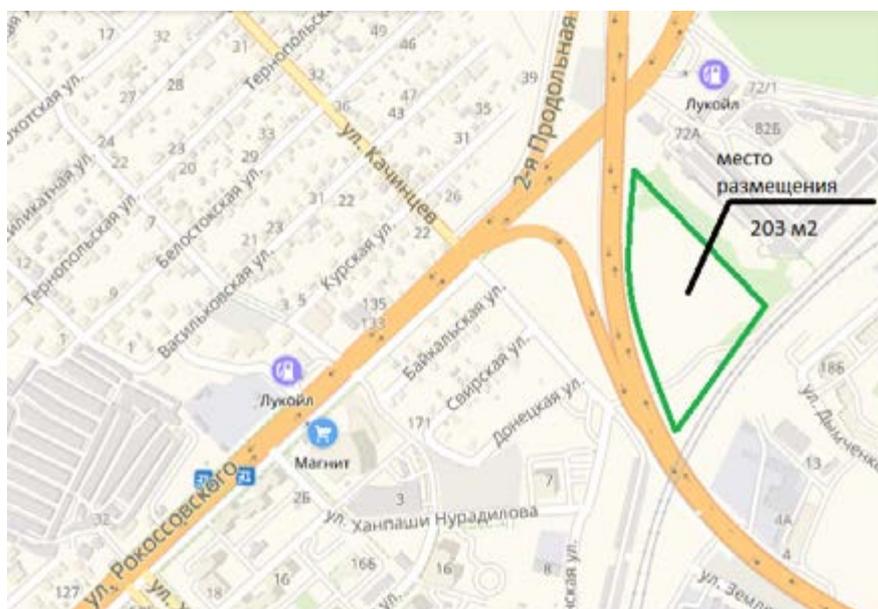


Рис. 10. Многоуровневая парковка на ул. Байкальской

На пересечении ул. Огарева и ул. Изюмской из-за жилой застройки, парка и рядом расположенного Института архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета многоуровневая парковка будет популярна среди населения (рис. 11).

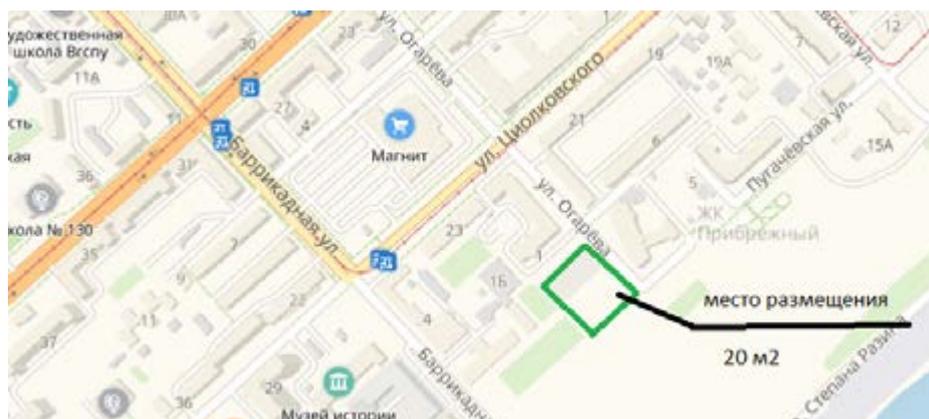


Рис. 11. Многоуровневая парковка на пересечении ул. Огарева и ул. Изюмской

Все предлагаемые многоуровневые парковки на территории г. Волгограда указаны на рис. 12.



Рис. 12. Расположение предлагаемых многоуровневых парковок на территории г. Волгограда

Многоуровневые парковки позволяют:

- снизить загруженность улиц автомобилями;
- увеличить количество парковочных мест, вместе с тем снизить уровень стресса автомобилистов;
- разнообразить ландшафт.

Подводя итог по выполненной работе, отметим:

1. Строительство перехватывающих и многоуровневых парковок позволит снизить загруженность улично-дорожной сети города, водителям больше не придется искать место для парковки, а в его отсутствие оставлять машину где попало, и вследствие этого увеличится пропускная способность УДС и сократятся транспортные задержки при перевозке пассажиров и грузов.

2. Разнообразив ландшафт парковочным сооружением и озеленив его, повысится внимательность водителей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Менделев Г. А. Транспорт в планировке городов : учеб. пособие. М. : Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет), 2005. URL: <http://dis.konflib.ru/metodichki-stroitelstvo/30008542-14-gamendelev-transport-planirovke-gorodov-uchebnoe-posobie-moskva-2005-moskovskiy-avtomobilno-dorozhniy-institut-gosudarst.php>.

© Сапожкова Н. В., Кубахова А. С., Федина М. А., Барышников В. А., 2019

Поступила в редакцию  
в июне 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Устройство перехватывающих и многоуровневых парковок как метод снижения загруженности улично-дорожной сети / Н. В. Сапожкова, А. С. Кубахова, М. А. Федина, В. А. Барышников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 64—73.

*Об авторах:*

**Сапожкова Наталья Васильевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [sapozhkovanv@mail.ru](mailto:sapozhkovanv@mail.ru)

**Кубахова Анжелика Сабировна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [kilala76@yandex.ru](mailto:kilala76@yandex.ru)

**Федина Марина Алексеевна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [Mrs\\_kolgushkina@inbox.ru](mailto:Mrs_kolgushkina@inbox.ru)

**Барышников Василий Алексеевич** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [vasyabar29@mail.ru](mailto:vasyabar29@mail.ru)

***Natal'ya V. Sapozhkova, Angelica S. Kubakhova, Marina A. Fedina, Vasily A. Barishnikov***

***Volgograd State Technical University***

## **PARK-AND-RIDE AND MULTI-LEVEL PARKING AS A METHOD OF REDUCING CONGESTION ON THE ROAD NETWORK**

Studied the characteristics of park and ride and multi-level parking lots, and suggested locations for their construction in the city of Volgograd with the goal of reducing congestion on the road network of the city.

**Key words:** car, parking, road network, events, park and ride facilities, multi-level parking.

*For citation:*

Sapozhkova N. V., Kubakhova A. S., Fedina M. A., Barishnikov V. A. [Park-and-ride and multi-level parking as a method of reducing congestion on the road network]. *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], 2019, iss. 4, pp. 64—73.

*About authors:*

**Natal'ya V. Sapozhkova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [sapozhkovanv@mail.ru](mailto:sapozhkovanv@mail.ru)

**Angelica S. Kubakhova** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [kilala76@yandex.ru](mailto:kilala76@yandex.ru)

**Marina A. Fedina** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [Mrs\\_kolgushkina@inbox.ru](mailto:Mrs_kolgushkina@inbox.ru)

**Vasily A. Barishnikov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [vasyabar29@mail.ru](mailto:vasyabar29@mail.ru)

УДК 691

**Б. Р. Исакулов<sup>а</sup>, Б. Б. Кульшаров<sup>б</sup>, А. М. Сартова<sup>б</sup>, Ж. О. Конысбаева<sup>б</sup>,  
С. И. Шалабаева<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Баишев Университет, Казахстан*

<sup>б</sup> *Ивановский государственный политехнический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ АРБОЛИТОВЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ**

В статье рассматриваются вопросы по исследованию прочностных и деформативных характеристик серосодержащих арболитовых композитов с использованием вторичных ресурсов, которые являются актуальными в регионах с жарким и резко континентальным климатом. Это один из самых легких строительных материалов, обладающий низкой теплопроводностью и хорошей звукоизоляционной способностью. Целью данного исследования является определение механизма формирования прочности и разрушения серосодержащих арболитовых композитов при различных длительных нагрузках и обоснование эффективности их использования в жилищном строительстве. Методологической основой исследования послужили современные положения теории и практики создания, разработки высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных серосодержащих вяжущих. При проведении научных исследований использовались стандартные средства измерений и методы анализа физико-механических характеристик арболитовых композитов, полученных с применением современных методов рентгенофазового, дифференциально-термического, микроскопического анализа и испытательного оборудования. Свойства серосодержащих арболитовых образцов изучали в 7-, 28-, и 90-суточном возрасте в различных условиях и нагрузках. Установлено, что разрушение серосодержащего арболита происходит последовательно: вначале происходит разрушение растворной составляющей, а затем органического заполнителя. Полученные результаты можно использовать при изготовлении эффективного стенового материала для зданий гражданского назначения, в том числе для сейсмических районов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** серосодержащие арболитовые композиты, прочность, фаза твердения, длительная нагрузка, модуль деформации, растворная составляющая, разрушения.

В связи с бурным развитием строительной отрасли и расширением промышленного и гражданского строительства в регионах Казахстана с каждым днем возрастает потребность в строительных материалах и конструкциях, в связи с чем создание конструкционно-теплоизоляционных материалов с применением вторичных ресурсов является актуальным. Особое место в производстве строительных материалов в регионах с жарким климатом занимает арболитобетон, который сочетает в себе легкость, экологичность, высокие теплоизоляционные качества и может содержать в своем составе растительные отходы сельского хозяйства, которыми богаты степные районы. Также в регионах Казахстана имеются огромные сырьевые ресурсы в виде многотоннажных отходов металлургической, нефтехимической, горнодобывающей и топливно-энергетической промышленности, утилизация их в составе строительных материалов является первоочередным решением народного хозяйства страны. Широкая область применения арболитов, характеризующихся низкой плотностью (600...650 кг/м<sup>3</sup>) и довольно высокой прочностью (3,0...6,0 МПа) при минимальном расходе сырьевых материалов, обусловлена целым рядом их положительных качеств. Это один из самых легких строительных материалов, обладающий низкой теплопроводностью

(0,7...0,19 Вт/мК) и хорошей звукоизоляционной способностью. Благодаря способности поддерживать нормальный микроклимат в помещении, исключая образование конденсата на поверхности ограждающих конструкций, арболит является одним из лучших стеновых материалов.

Однако возросшие требования к качеству арболита ставят задачу по дальнейшему повышению его строительно-эксплуатационных, технологических и прочностных показателей. Использование отходов промышленности в качестве серосодержащих вяжущих, обладающих высокой активностью и приводящих к возникновению структурообразующих элементов, должно привести к повышению прочностных и деформативных характеристик, долговечности и биостойкости арболита.

Целью проведенных исследований является разработка высокоэффективных арболитобетонов на основе композиционных серосодержащих вяжущих, разработка научных основ формирования их структуры, состава и свойства при использовании в качестве органического заполнителя стеблей травянистых растений. Для достижения цели исследованы влияния добавок серосодержащих отходов нефтехимической промышленности на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих, влияния их основных компонентов на физико-механические свойства серосодержащего арболита с использованием стеблей тростника, механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита в зависимости от вида и способа нагружения, проведен анализ использования арболита в строительных конструкциях.

Исследования показали, что использование органических целлюлозных заполнителей приводит к увеличению деформативности арболита, что требует постановки дополнительных опытных и экспериментальных работ по увеличению его жесткости и твердости [1—4].

Анализ [5—7] показывает, что в отличие от обычного арболита на основе древесной дробленки, где органический целлюлозный заполнитель чаще всего является наименее прочной составляющей, серосодержащие компоненты растворной части оказывают существенное влияние на его прочностные и деформативные характеристики. Формирование макро- и микроструктуры серосодержащего арболита в процессе дальнейшего твердения, связанное с конструктивными и деструктивными явлениями, имеющими место в бетоне, косвенно оценивалось по результатам измерений деформации растворной части, контактной зоны и целлюлозного органического заполнителя.

С целью применения серосодержащего арболита в несущих и ограждающих конструкциях были проведены исследования изменения его прочностных характеристик при различных сжимающих напряжениях ( $0,15R_{пр}$ ,  $0,45R_{пр}$ ,  $0,75R_{пр}$ ), где  $R_{пр}$  — призмная прочность серосодержащего арболита.

Исследования проводились на образцах серосодержащего арболита в 7-, 28- и 90-суточном возрасте. Изучение влияния возникающих деформаций на предел прочности при сжатии серосодержащего арболита основывалось на определенных моделях структуры бетона. Серосодержащей арболит рассматривался как двухкомпонентная система, состоящая из фибры измельченного тростника и серосодержащей растворной составляющей, при этом прочность растворной части была величиной переменной. Для проведения исследования были изготовлены четыре серии образцов из серосодержащего

арболита, а пятая серия для сравнения — из серосодержащего керамзитобетона. Каждая серия состояла из шести образцов призм размером  $150 \times 150 \times 600$  мм, три из которых (модель I) состояли только из серосодержащей растворной части (отношение серы к пиритному огарку 1:3), а в трех других призмах (модель II) в середину помещались фибры измельченного тростника диаметром около 18...20 мм. Все образцы после тепловой обработки до испытаний хранились в естественных условиях лаборатории. Регистрация продольных и поперечных деформаций в процессе нагружения образцов выполнялась тензорезисторами с базой 10...50 мм, наклеенными с помощью быстротвердеющего клея «Циакрин ЭО». Все изучаемые образцы пароизолировались с целью исключения наложения процесса усадки на процесс ползучести. Боковые поверхности призм-образцов изолировали от потери влаги, по торцам призм устанавливали стальные плитки для передачи сжимающей нагрузки таким образом, чтобы удаление влаги из образцов-призм могло происходить только через торцы. Процесс усадки накладывался на процесс ползучести, что осложняло анализ полученных результатов. При длительных испытаниях постоянную нагрузку на испытываемые образцы создавали с помощью специально изготовленных пружинных установок (рис. 1).

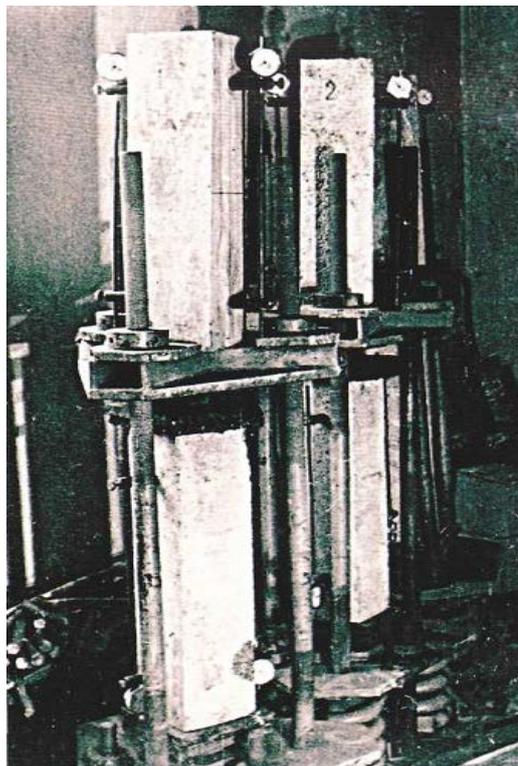


Рис. 1. Установка для испытания серосодержащих арболитовых призм-образцов под длительной нагрузкой

Интервал максимальной нагрузки на испытываемые образцы варьировался от 60 до 120 кН, что определялось предельным уровнем нагружения образцов, равным  $0,75R_{пр}$  ( $R_{пр}$  — призмная прочность серосодержащего арболита).

Известно [8—15], что ползучесть серосодержащего керамзитобетона в основном определяется ползучестью геля, входящего в состав цементного камня, поэтому было сделано предположение, что эти закономерности применимы и к серосодержащему арболиту. Составы серосодержащего арболита и серосодержащего керамзитобетона для изготовления опытных образцов приведены в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

*Состав серосодержащих арболитовых призм-образцов*

№ серий образцов	Состав бетона (по массе), %	Водоцементное отношение, В/Ц	Расход цемента на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг
1	Цемент 33,3 % : измельченный тростник 22,4 % : добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8 % : вода 33,5 %	1,34	321
2	Цемент 34,4% : измельченный тростник 21,4 % : добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8 % : вода 33,4 %	1,37	335
3	Цемент 34,9 % : измельченный тростник 20,6 % : добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,94 % : вода 33,56 %	1,4	345

Т а б л и ц а 2

*Состав серосодержащих керамзитовых призм-образцов*

№ серий образцов	Состав бетона (по массе), %	Водоцементное отношение, В/Ц	Расход цемента на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг
1	Цемент 37,8 % : керамзит 20,9 % : добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8 % : вода 30,5 %	0,97	390
2	Цемент 38,2 % : керамзит 21,8 % : добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8 % : вода 29,2 %	1,2	400
3	Цемент 38,6 % : керамзит 22,7 % : добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8 % : вода 27,9 %	1,1	410

Испытание призм-образцов производилось этапами, соответствующими приращению напряжения от 0,1 до 0,15 МПа, после каждой ступени нагрузки образцы выдерживали в течение пяти минут. Отсчеты по индикаторам (с точностью измерения 0,01 мм) брались после приложения каждой ступени нагрузки и перед приложением новой нагрузки. Такая методика испытаний позволяла выделить упругие мгновенные деформации и определить величину

начального модуля упругости серосодержащих легких бетонов. Нагрузку на призмы-образцы передавали через небольшую стальную пластинку площадью в  $1 \text{ см}^2$ , расположенную в центре призмы. Центровку образцов производили по четырем граням призм пробными нагрузками таким образом, чтобы ее деформации к концу нагружения были одинаковыми. По тем же граням производили измерения деформации уменьшения размера образца при длительной нагрузке. База измерения деформаций составляла 500 мм. Одновременно с измерением деформаций образцов, установленных под длительную нагрузку, производили измерение деформаций незагруженных изолированных и неизолированных от влагопотерь призм-образцов. Ползучесть определяли вычитанием из общих деформаций нагруженных образцов усадочных деформаций, измеренных на незагруженных и изолированных от влагопотерь образцах. Результаты исследования показали, что деформации, возникающие при приложении нагрузки, растут ей пропорционально. Результаты испытаний серосодержащих и керамзитобетонных образцов-призм на длительную нагрузку при различных уровнях напряжений показаны на рис. 2, 3.

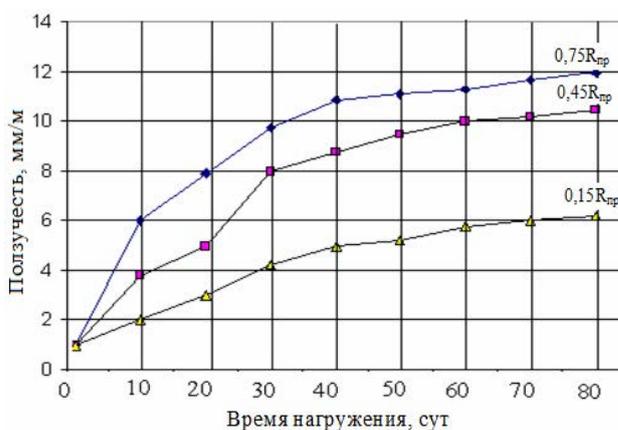


Рис. 2. Изменение ползучести серосодержащего арболита в зависимости от уровня и времени нагружения:  $\blacklozenge$  — серия I;  $\blacksquare$  — серия II;  $\blacktriangle$  — серия III

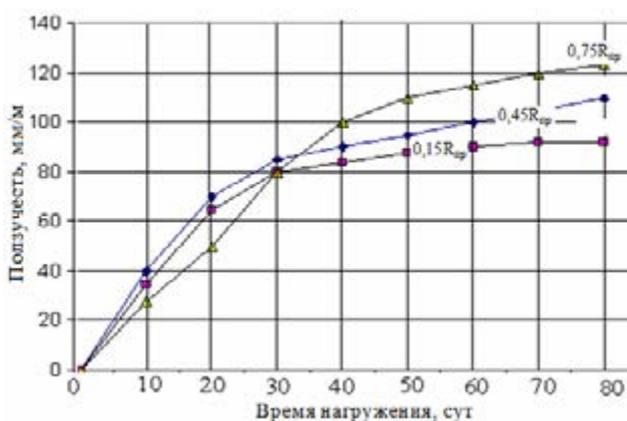


Рис. 3. Изменение ползучести серосодержащего керамзитобетона в зависимости от уровня и времени нагружения:  $\blacktriangle$  — серия IV;  $\blacksquare$  — серия V;  $\blacklozenge$  — серия VI

Анализ роста деформаций призм-образцов серосодержащего арболита на основе тростника во времени указывает на некоторые отклонения от общей закономерности. Так, деформация образцов под напряжением  $0,15R_{np}$  из серосодержащего арболита происходила медленнее, чем такая же деформация образцов под более высоким напряжением. Это, по-видимому, объясняется большой неоднородностью серосодержащего арболитобетона на основе измельченного тростника. В образцах из серосодержащего керамзитобетона таких отклонений не наблюдалось. Установлено, что по сравнению с серосодержащим керамзитобетоном ползучесть серосодержащего арболита оказывается значительно ниже.

Деформативные свойства образцов серосодержащего арболита изучались в 7-, 28-, и 90-суточном возрасте после тепловой обработки и в естественных условиях. Как показали исследования, в 7-суточном возрасте деформативность серосодержащей растворной части оказывается наименьшей, этот период может быть отнесен к первой фазе твердения арболита. К 28-суточному возрасту характер деформаций несколько меняется, наблюдается уменьшение деформаций растворной части в связи с ростом прочностных характеристик серосодержащего арболита. По-видимому, рост прочности серосодержащего материала во второй фазе твердения объясняется изменением модуля деформации составляющих компонентов серосодержащего арболита при нагружении с различными уровнями напряжений. На графиках (рис. 2, 3) видно, что модуль деформации серосодержащей растворной части и материала с возрастанием напряжения уменьшается, а для органического заполнителя в определенном диапазоне относительного напряжения он возрастает. Можно предположить, что в нагруженном состоянии мерсеризованный целлюлозный заполнитель в виде измельченного тростника упрочняется и может воспринимать большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии. Упрочение целлюлозного органического заполнителя в изучаемом диапазоне напряжений до  $0,8R_3$  ( $R_3$  — прочность органического заполнителя) происходит за счет уменьшения внутрестеблевой пористости в фибрах измельченного тростника и возникновения эффекта «обоймы» в структуре данного материала. Установлено, что причиной более высокой прочности серосодержащего арболита, по сравнению с низкопрочным органическим заполнителем, является кольматация его пор серосодержащим цементным раствором, который, затвердевая, вызывает повышение прочности измельченного тростника. Эти эффекты наблюдались в серосодержащих арболитах плотного строения, а в серосодержащих материалах пористого и крупнопористого строения (с плотностью  $450...500 \text{ кг/м}^3$ ) проявляются в меньшей степени или практически совсем не проявляются. Проведенные исследования позволяют направленно планировать получение серосодержащего арболита различной прочности в зависимости от фракции зерна или длины фибры органического заполнителя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Легкие бетоны на основе безобжиговых цементов: монография / К. А. Бисенов, И. К. Касимов, А. А. Тулаганов и др. Алма-Ата, 2005. 300 с.
2. Баженов Ю. М., Демьянова С. В., Калашиников И. В. Модифицированные высококачественные бетоны : учеб. для вузов. М. : АСВ, 2006. 368 с.
3. Композиты на основе низкоосновных доменных шлаков / Ю. И. Гончаров, М. Ю. Гончарова, В. Г. Клименко и др. // Современные проблемы строительного материаловедения : материалы пятых акад. чтений РААСН. Воронеж : ВГАСА, 1999. С. 94—104.

4. Дворкин Л. И. Высокопрочные бетоны с активированным зольным наполнителем // Бетон и железобетон. М., 1993. № 6. С. 4—6.
5. Баженов Ю. М. Технология сухих строительных смесей : учеб. пособие для вузов. М. : АСВ, 2003. 95 с.
6. Высоцкий С. А., Царик А. М. Оценка эффективности и классификация многокомпонентных цементов // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 4—8.
7. Волженский А. В., Чистов Ю. Д. О перспективах дальнейшего развития производства экономичных бетонов // Бетон и железобетон. 1991. № 2. С. 10—11.
8. Щербаков А. С. Влажностные деформации арболита // Бетон и железобетон. 1976. № 10. С. 51.
9. Яшин А. В. Прочность и деформации бетона при кратковременной и длительной нагрузках // Структура и строительные свойства гидротехнического бетона : тр. ин-та НИИЖБ. 1972. Вып. 73. С. 148—152.
10. Исакулов Б. Р. Прочность и деформативность поризованного арболита. Актобе, 2007. 132 с.
11. Ваганов А. И. Зависимость прочности легкого бетона от свойств раствора и заполнителей // Строительная промышленность. 1950. № 5.
12. Разработка и исследование свойств вяжущих на основе отходов промышленности / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев и др. // Вестник РААСН. Курск ; Воронеж, 2013. С. 256—260.
13. Разработка состава и исследование характера формирования прочности арболитовых композитов на основе различных отходов промышленности и растительного сырья / Ю. А. Соколова, М. В. Акулова, Б. А. Имангазин и др. // Научное обозрение. 2017. № 2. С. 6—15.
14. Isakulov B. R., Zhiv A. S. Resource-saving technologies for the production and research of the properties of wood concrete based on a sulfur-containing binder //Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture, 2014. № 3(23). С. 61—74.
15. Light concrete on the base of industrial and agricultural waste / B. R. Issakulov, A. S. Zhiv, Yu. A. Zhiv, A. S. Strelnikova // 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. 2010.

© Исакулов Б. Р., Кульшаров Б. Б., Сартова А. М., Коньсбаева Ж. О., Шалабаева С. И., 2019

Поступила в редакцию  
в ноябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование деформативности серосодержащих арболитовых композитов при различных длительных нагрузках / Б. Р. Исакулов, Б. Б. Кульшаров, А. М. Сартова, Ж. О. Коньсбаева, С. И. Шалабаева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 74—81.

Об авторах:

**Исакулов Баизак Разакович** — д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой дизайна и строительства, Баишев Университет (Казахстан). Республика Казахстан, г. Актобе, ул. Бр. Жубановых, 302а, mr.baizak@mail.ru

**Кульшаров Берикбай Балтабаевич** — аспирант кафедры строительного материаловедения и технологий, Ивановский государственный политехнический университет. Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, 21, berikbai\_79@mail.ru

**Сартова Асима Мусаевна** — аспирант кафедры строительного материаловедения и технологий, Ивановский государственный политехнический университет. Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, 21, akkete86@mail.ru

**Коньсбаева Жанна Онгаровна** — аспирант кафедры строительного материаловедения и технологий, Ивановский государственный политехнический университет. 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, 21, zhankon7@mail.ru

**Шалабаева Сауле Изтлеуовна** — аспирант кафедры строительного материаловедения и технологий, Ивановский государственный политехнический университет. 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, 21, w.saule88@mail.ru

**Baizak R. Isakulov<sup>a</sup>, Berikbai B. Kulsharov<sup>b</sup>, Asima M. Sartova<sup>b</sup>, Zhanna O. Konysbayeva<sup>b</sup>,  
Saule I. Shalabayeva<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Baishiev University (Kazakhstan)*

<sup>b</sup> *Ivanovo State Polytechnic University*

## **STUDY OF DEFORMATION OF SULPHUR-CONTAINING ARBOLYTE COMPOSITES AT VARIOUS LONG-TERM LOADS**

The article discusses the study of the strength and deformation characteristics of sulfur-containing arbolite composites using secondary resources, which is relevant in regions with a hot and sharply continental climate. This is one of the lightest building materials with low thermal conductivity and good sound insulation ability. The aim of this study is to determine the mechanism of strength formation and the destruction of sulfur-containing arbolite composites under various long-term loads and to substantiate the effectiveness of their use in housing construction. The methodological basis of the study was the current provisions of the theory and practice of creating, developing high-strength concrete concrete based on composite sulfur-containing binders. When conducting scientific research, standard measuring instruments and methods for analyzing the physicomechanical characteristics of arbolite composites obtained using modern methods of X-ray diffraction, differential thermal, microscopic analysis and testing equipment were used. The properties of sulfur-containing arbolite samples were studied at 7, 28, and 90 days old under various conditions and loads. It was established that the destruction of sulfur-containing arbolite occurs sequentially: first the destruction of the solution component occurs, and then the organic aggregate. The results can be used in the manufacture of effective wall material for civil buildings, including seismic areas.

**Key words:** sulfur-containing arbolite composites, strength, hardening phase, long-term load, deformation modulus, mortar component, fracture.

### *For citation:*

Isakulov B. R., Kulsharov B. B., Sartova A. M., Konysbayeva Zh. O., Shalabayeva S. I. [Study of deformation of sulphur-containing arbolite composites at various long-term loads]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 4, pp. 74—81.

### *About authors:*

**Baizak R. Isakulov** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, the Head of the Design and Construction Department, Baishiev University (Kazakhstan). 302a, Zhubanov Brothers St., Aktobe, Kazakhstan, mr. Baizak@mail.ru

**Berikbai B. Kulsharov** — Postgraduate student of Building Materials Science and Technology Department, Ivanovo State Polytechnic University. 21, Sheremetevskii Ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation, berikbai\_79@mail.ru

**Asima M. Sartova** — Postgraduate student of Building Materials Science and Technology Department, Ivanovo State Polytechnic University. 21, Sheremetevskii Ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation, akkete86@mail.ru

**Zhanna O. Konysbayeva** — Postgraduate student of Building Materials Science and Technology Department, Ivanovo State Polytechnic University. 21, Sheremetevskii Ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation, zhankon7@mail.ru

**Saule I. Shalabayeva** — Postgraduate student of Building Materials Science and Technology Department, Ivanovo State Polytechnic University. 21, Sheremetevskii Ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation, w.saule88@mail.ru

УДК 666.972

**А. В. Положнов, К. С. Торколенкова, С. М. Хуторной**

*Волгоградский государственный технический университет*

**ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПОЗИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ  
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Проанализированы направления комплексного использования вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения в производстве строительных композитов.

Проведена оценка влияния вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения на процессы структурообразования и свойства при формировании строительного композита.

Сделан вывод о перспективности строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов машиностроения как в направлении решения вопросов экологической безопасности, так и в направлении прогнозирования и повышения эксплуатационных характеристик.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительный композит, вторичные полимерные материалы, отходы инструментального машиностроения, структурообразование.

По объему использования и видам композиционных материалов строительная индустрия является самой востребованной.

Исследования по разработке строительных материалов на основе вторичных материалов и промышленных отходов являются неотъемлемой частью концепции энерго- и ресурсосбережения правительства России [1].

Необходимо отметить, что разработка модифицированных строительных композитов с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения обусловлена как экономическими, так и экологическими факторами:

- значительным ростом цен на природные материалы, применяемые в качестве заполнителей и наполнителей;
- значительным ростом цен на полимерное связующее;
- ухудшением экологической обстановки за счет накопления промышленных отходов.

Снижение потребностей строительного материаловедения в природном сырье будет способствовать созданию и применению строительных композитов с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения на таких направлениях, как изготовление сборных элементов и устройства износостойких покрытий и конструкций сооружений; облицовочных изделий; штукатурных растворов в помещениях с агрессивной средой; бесшовных полов в производственных помещениях.

Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий является важнейшим направлением развития современной строительной отрасли, которое предусматривает широкое применение промышленных отходов, а также местного сырья и в конечном итоге обеспечивает рациональное использование энергетических и сырьевых ресурсов [1—16].

Развитие строительства и, в частности, строительного материаловедения связано с непрекращающимся поиском новых технологий и материалов с новыми уникальными свойствами. Работы отечественных ученых и технологов В. Т. Ерофеева, В. А. Худякова, М. Ю. Баженова [2—4] непосредственно связаны с этим направлением.

Процессы разработки и формирования строительных композитов с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения, обладающих высокими физико-химическими и физико-механическими свойствами, постоянно находятся в стадии технологического совершенствования [10—13, 17, 18].

Создание, разработка и внедрение в производство строительных композитов с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения непосредственно связано с проведением комплексных физико-химических и физико-механических исследований.

Проведенный научно-технический литературный обзор позволяет сделать вывод о том, что создание строительных композитов с введением в их состав вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения открывает перспективу получения изделий с повышенными физико-механическими показателями.

Развитие теоретических (научных) и практических (технологических) положений строительного материаловедения идет в направлении комплексного накопления экспериментальных данных и их анализа, развития технологий производства композиционных строительных материалов [10, 11, 14—20].

В развитии науки и практики о строительных материалах различают три периода (рис. 1).

Именно на этапе третьего периода разрабатывалась полиструктурная теория Соломатова.

Сущность теории, разработанной В. И. Соломатовым, в представлении композиционного строительного материала полиструктурным, заключается в выделении в единой структуре многих взаимозависимых структур — от атомного уровня до грубых составных структур цельных строительных элементов — прорастающих одна в другую («структура в структуре» или «композит в композите») [21, 22].

Основные структурообразующие факторы впервые определены и закреплены в теории Соломатова для каждого структурного уровня композитов, и получены количественные зависимости свойств композитов от этих факторов [23, 24].

Структура композиционного строительного материала технологами рассматривается на двух уровнях: микроструктура и макроструктура.

Анализ микро- и макроструктур позволяет не только установить закономерности процесса структурообразования и формирования свойств композита в целом, но и выйти на необходимые технологические параметры его производства [23—26].

Именно управление процессами структурообразования и межфазного взаимодействия позволит выйти на создание строительных материалов высокого качества.

В связи с этим при разработке, формировании и производстве строительного композиционного материала необходимо накопить знания как о

технологическом процессе, так и о процессе структурообразования под действием эксплуатационных факторов.

*Цель работы* — изучение влияния вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения на процессы структурообразования и свойства при формировании строительного композита.

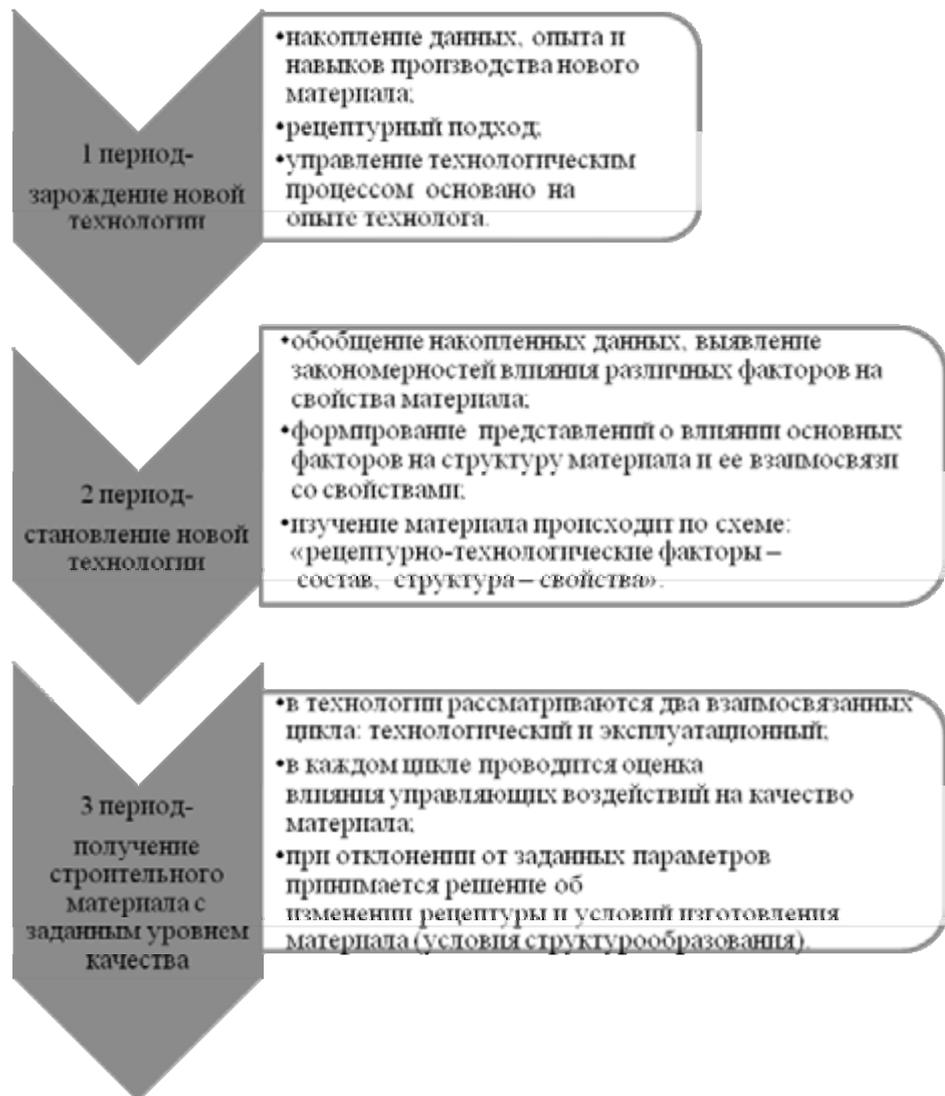


Рис. 1. Периоды в развитии науки и практики о строительных материалах

Авторами исследовался строительный композит, сформированный с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения.

В качестве компонентов строительного композиционного материала применялись:

- местное сырье: природный кварцевый песок (КП) Орловского месторождения Волгоградской области, фракция 600...300 мкм;

- вторичный полимерный материал, образующийся в процессе нанесения антикоррозионных покрытий на металлические поверхности, который представляет собой полимерный порошок, на 99 % состоящий из эпоксидной смолы;

- инструментальные отходы машиностроения в виде порошкообразного материала, дисперсностью менее 40 мкм. Отходы образуются в результате механической обработки абразивного инструмента. Отходы являются инертным материалом и в своем составе содержат: SiC, SiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

- модификатор полимерного связующего, феноло-формальдегидная смола новолачного типа (ФФСНТ) промышленного выпуска (СФП — ТУ 6-05751768-35-94) с заданным содержанием уротропина.

Для изучения свойств исходных материалов и композита, сформированного с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения, использовались физико-химические методы анализа: макроструктурный и микроструктурный анализ с применением оптических микроскопов.

Использовались методики, в том числе авторские, регламентированные действующими стандартами. Образцы-кубики полимерного строительного композита готовились методом сухого формования с последующей тепловой обработкой до 200 °С.

Исследования проводили на шлифах, изготовленных из образцов композита, сформированного с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения, с использованием металлографического микроскопа METAM RB.

**Испытания образцов на коррозионную стойкость.** Химическая стойкость материала в агрессивных средах определяется по изменению веса после выдержки образцов в течение определенного периода времени в жидких агрессивных средах.

Определение физико-механических характеристик композита, сформированного с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения, проводилось по стандартным методикам испытаний строительных материалов.

К исследуемому композиту правомерен подход как к композиту с полимерной матрицей.

Напряженное состояние исследуемого строительного композита как композита с полимерным связующим под действием внешних или собственных усилий следует рассматривать как интегральный результат воздействия на уровне микро- и макроструктуры.

Свойства микроструктуры определяются граничными явлениями жидкой и твердой фаз. Свойства макроструктуры определяются количественным соотношением связующих и заполнителей.

Инертность строительных композиций на полимерном связующем по отношению к агрессивным воздействиям является одним из определяющих качеств среди общего перечня их положительных свойств. Особо важна их инертность по отношению к химическим средам различного характера [18, 27—29].

Воздействие агрессивных сред на материалы и, в частности, на полимерный композит проявляется в изменении его структуры и свойств без нарушения целостности или с разрушением материалов.

Представляем зависимости кинетики массопоглощения полимерного связующего от времени экспонирования в трансформаторном масле, в растворах соли, кислот и щелочи.

Графическая зависимость коррозионных характеристик полимерного связующего от времени экспонирования представлена на рис. 1—5.

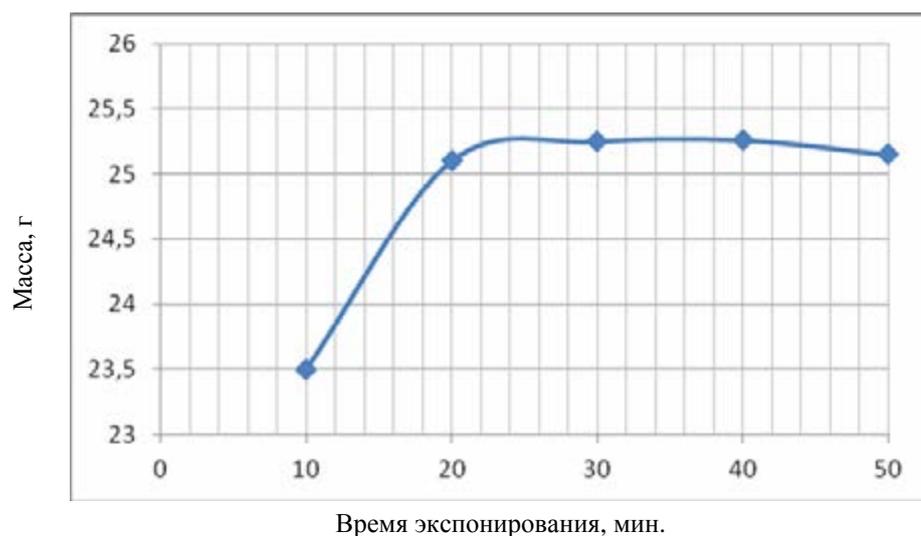


Рис. 1. Кинетика массопоглощения полимерного связующего в трансформаторном масле

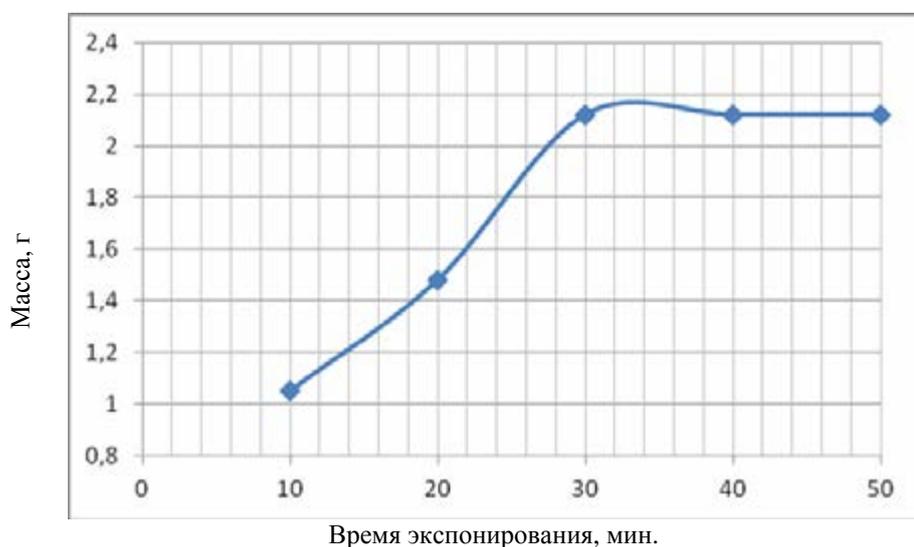


Рис. 2. Кинетика массопоглощения полимерного связующего в насыщенном растворе NaCl



Рис. 3. Кинетика массопоглощения полимерного связующего в 5 % растворе HCl

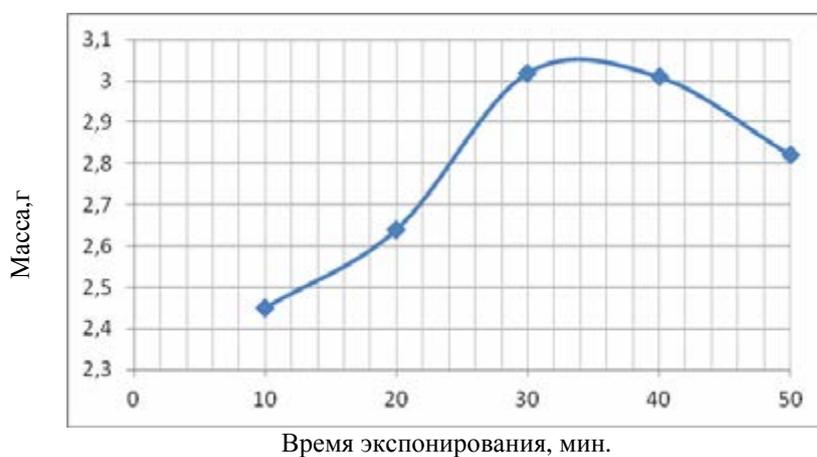


Рис. 4. Кинетика массопоглощения полимерного связующего в 3 % растворе HNO<sub>3</sub>

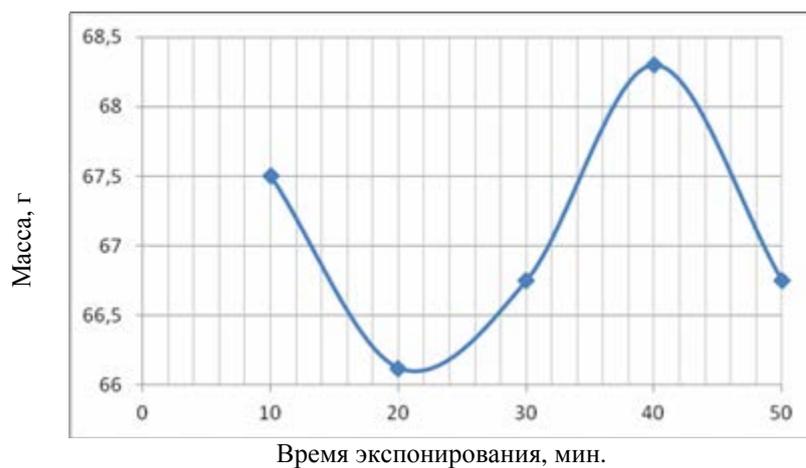


Рис. 5. Кинетика массопоглощения полимерного связующего в 10 % растворе NaOH

Различный характер изменения массопоглощения при действии агрессивных сред может быть обусловлен различными скоростями химических превращений, возникающих при их взаимодействии с полимерным связующим.

Химические процессы в полимерном связующем при действии агрессивных сред протекают как продолжение процесса отверждения, что проявляется в изменении массы образцов в сторону их увеличения и дальнейшей стабилизации.

При химическом воздействии агрессивных сред в композитах происходят глубокие структурные изменения, ухудшающие их эксплуатационные свойства, а также деструкция полимерного связующего и нарушение адгезионных связей, что и приводит к понижению прочности строительных композиций.

Приготовление смесей строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения является в большей мере физико-химическим, чем технологическим процессом. Это предъявляет повышенные требования к качеству и составу исходных материалов, точности дозировок и соблюдению технологического режима и последовательности операций.

При микроскопических исследованиях образцов строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения наблюдается гетерофазная структура материала, в матрице которого распределены включения-фазы различного размера и формы.

Структура композиции дисперсно-упрочненная и формируется при соединении (вторичного полимерного материала) эпоксидной смолы с модифицирующей добавкой и армирующими компонентами при достижении оптимальной контактной зоны между ними.

Результаты микроскопического анализа представлены на рис. 6.

Процесс формирования соединения (контакта) в граничной зоне в значительной степени определяется площадью контактов — фактического и максимального (молекулярного). Формирование контакта ускоряется повышением давления и времени контакта, а также снижением вязкости адгезива.

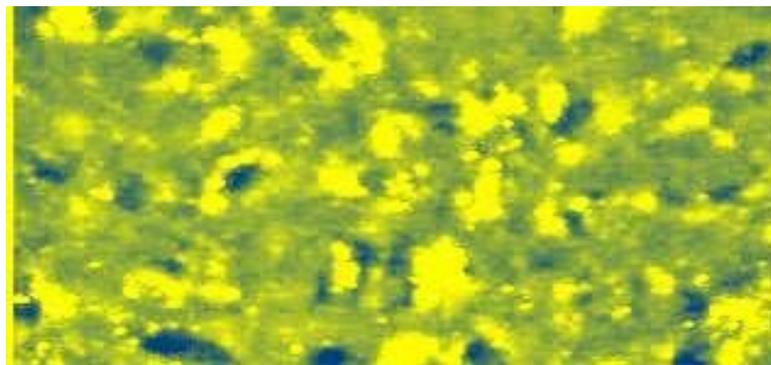


Рис. 6. Структура образца строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения

Процессы структурообразования при формировании строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения характеризуются проявлением сил межмолекулярного взаимодействия между контактирующими молекулами компонентов гетерофазной и многокомпонентной системы композита. Выявленные процессы структурообразования при формировании строительного композита с коррозионностойкой полимерной матрицей и прочностью дисперсно-упрочненной системы в целом обеспечивают получение повышенных физико-механических свойств.

Повторяем сказанное ранее, что основные структурообразующие факторы впервые определены и закреплены в теории Соломатова [23, 24].

В работах [10—12] отмечены структурообразующие факторы строительного полимерного композита.

Авторами представленной работы приняты структурообразующие параметры строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения:

- соотношение по массе полимерного связующего и армирующих компонентов;
- соотношение кварцевого песка и инструментальных отходов;
- содержание отвердителя (уротропина) в полимерном композите.

Проведены физико-механические исследования строительного композиционного материала исходя из принятых структурообразующих параметров.

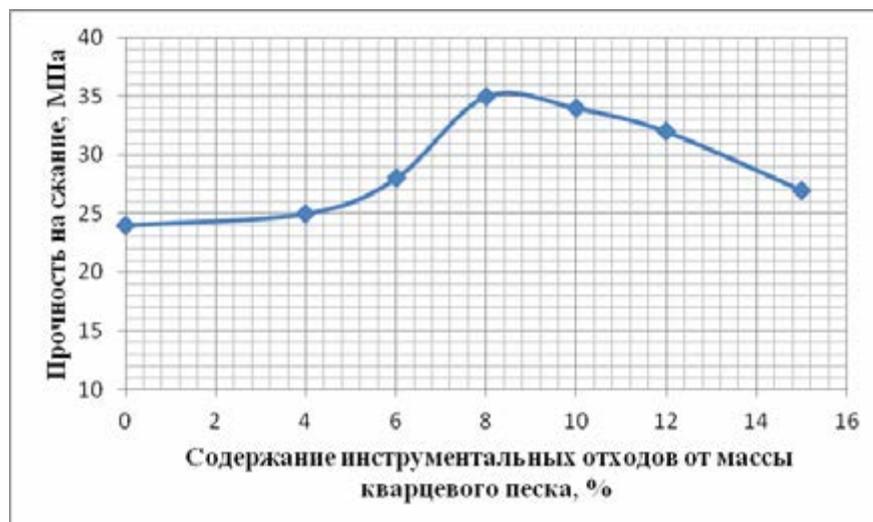


Рис. 7. Прочностные характеристики строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения

Максимальных величин прочностные характеристики композита достигают при содержании инструментальных отходов — 8...10 % от массы кварцевого песка, что превышает аналогичные показатели для полимерно-песчаных строительных композитов до 1,5 раз.

**Заключение.** Проанализированный и выявленный характер процессов структурообразования при формировании исследованного композита с одно-

временной оценкой физико-химических и физико-механических свойств позволяет сделать вывод о перспективности строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов машиностроения как в направлении решения вопросов экологической безопасности, так и в направлении прогнозирования и повышения эксплуатационных характеристик.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Потапова И. Ю., Астафьева О. Е.* Российское и зарубежное государственное регулирование и стимулирование ресурсосбережения // *Науковедение*. 2015. Т. 7. № 5. URL: <http://naukovedenie.ru>
2. *Ерофеева А. А., Морозов Е. А., Шишкин В. Н.* Каркасные полимербетоны на основе модифицированных эпоксидных вяжущих // *Строительные материалы*. 2006. № 6. С. 96—98.
3. *Боженев Ю. М.* Основное направление в развитии промышленности строительных материалов использование техногенного сырья // *Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии*. Белгород, 1991. С. 10—12.
4. *Худяков В. А., Левицкая Л. В.* Химически стойкие эпоксидные композиты // *Строительные материалы*. 2004. № 7. С. 40—41.
5. *Соломатов В. И., Ерофеев В. Т.* Структурообразование и свойства композитов на основе боя стекла // *Известия вузов. Строительство*. 2000. № 9. С. 16—22.
6. *Корнеев А. Д.* Структурообразование свойства и технология полимерных композиционных материалов : дис... докт. техн. наук. Липецк, 1995. 411 с.
7. *Павлов В. Ф.* Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // *Строительные материалы*. 2003. № 8. С. 28—30.
8. *Ильичев В. А., Карпенко Н. И., Ярмаковский В. Н.* О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 34—38.
9. *Газиев У. А., Акрамов Х. А.* Отходы промышленности в производстве строительных материалов и изделий : учеб. пособие. Ташкент : ТАСИ, 2003. 112 с.
10. *Волченко Е. Ю., Акчури Т. К.* Оптимизация формирования композитов строительного назначения на основе техногенных отходов металлургии и инструментального производства // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2012. № 27(46). С. 63—67.
11. Формирование керамического композита при использовании компонентов — продуктов вторичного сырья / И. В. Надеева, Е. Ю. Волченко, Т. К. Акчури и др. // *Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы II науч.-техн. конф., г. Волгоград, 24—25 окт. 2009 г.* Волгоград : ВолГАСУ, 2009. С. 113—117.
12. *Баранникова О. Е., Надеева И. В.* Комплексный подход к исследованию полимерного композита на основе техногенных отходов // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура*, 2011. Вып. 21 (40). С. 82—86.
13. *Бондарев Б. А., Корнеев К. А., Ивашкин А. Н.* Композиционные строительные материалы на основе местных песков и отходов. // *Вестн. ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура*. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. Вып. 26(45). С. 96—101.
14. *Kodama K.* Study on utilisation of blast-furnace slag in Concrete // *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers*. 1981. Vol. 12. Pp. 278—279.
15. *Crank G. S., Park W. R.* Diffusion in Polymers. London : Academic, 1969.
16. *Kunze I., Nowak I.* Erosionkorrosion Untersuchungen in Einer Nabdampfversuchsstrecke // *Werkstoffe und Korrosion*. 1982. № 33. Pp. 14—22.
17. Комплексная оценка строительных композитов на основе техногенных отходов / О. Ю. Пушкарская, Т. Н. Клавдиева, А. А. Груздев, О. Е. Баранникова // *Инженерные проблемы современного материаловедения : внутривуз. науч.-техн. конф. : сб. ст.* Волгоград : ВолГАСУ, 2009. С. 16—19.
18. *Волченко Е. Ю., Акчури Т. К.* Аналитическая оценка полимерной композиции на химическую стойкость // *Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию строит. образования и 40-летию архитектур. образования Волгогр. обл., 6—10 сент.* Волгоград : ВолГАСУ, 2010. С. 228—290.
19. *Звягина А. И.* Вторичные сырьевые ресурсы и технологии их использования для производства строительных материалов // *Технология машиностроения*. 2007. № 4. С. 50—51.

20. *Berry J. P.* Fracture of polymeric glass // *Jn Fracture*. 1972. Vol. 7. Pp. 38—60.
21. *Соломатов В. И.* Полиструктурная теория композиционных строительных материалов // Новые композиционные материалы в строительстве : сб. статей. Саратов, 1981. С. 3—5.
22. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. / *В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, А. К. Бобрышев, А. П. Прошин* и др. Ташкент : ФАН, 1991. 345 с.
23. *Соломатов В. И., Выровой В. Н.* Физические особенности формирования структуры композиционных материалов // *Известия вузов. Сер.: Строительство и архитектура*. 1984. № 8. С. 59—64.
24. *Ребиндер П. А., Урьев Н. Б., Щукин Е. Д.* Физико-химическая механика дисперсных структур // Избранные труды. Физикохимия. М. : Наука в химической технологии, 1979. 371 с.
25. *Бобрышев А. Н., Прошин А. П., Соломатов В. И.* Параметр порядка структуры дисперсно-наполненных композитов // *Вест. отд. строит. наук. М.*, 1996. Вып. 1. С. 65—69.
26. *Соломатов В. И.* Влияние химического и минералогического состава наполнителей на свойства эпоксидных композитов // *Строительные материалы*. 1997. № 1. С. 24—26.
27. *Соломатов В. И., Селяев В. П.* Химическое сопротивление материалов. М. : Стройиздат, 1987. 264 с.
28. *Строганов В. Ф., Строганов И. В.* Эпоксидные адгезивы строительного и конструкционного назначения // Сб. науч. тр. Вторых Воскресных чтений. Казань : КГАСА, 2004. С. 54—60.
29. *Худяков В. А., Левицкая Л. В.* Химически стойкие эпоксидные композиты // *Строительные материалы*. 2004. № 7. С. 40—41.

© *Положнов А. В., Торколенкова К. С., Хуторной С. М.*, 2019

*Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Положнов А. В., Торколенкова К. С., Хуторной С. М.* Оценка процессов структурообразования и формирования строительного композита с использованием вторичных полимерных материалов и отходов инструментального машиностроения // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 4(77). С. 82—92.

*Об авторах:*

**Положнов Антон Валериевич** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Торколенкова Ксения Сергеевна** — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [kseiya\\_tork@mail.ru](mailto:kseiya_tork@mail.ru)

**Хуторной Станислав Михайлович** — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [stasxytornoi@gmail.com](mailto:stasxytornoi@gmail.com)

***Anton V. Polozhnov, Ksenia S. Torkolenkova, Stanislav M. Khutornoy***

***Volgograd State Technical University***

## **ASSESSMENT OF PROCESSES OF STRUCTURAL FORMATION AND FORMATION OF CONSTRUCTION COMPOSITION USING SECONDARY POLYMERIC MATERIALS AND WASTE OF INSTRUMENTAL MACHINERY**

The directions of the integrated use of secondary polymeric materials and wastes of instrumental engineering in the production of building composites are analyzed.

The influence of secondary polymeric materials and instrumental engineering waste on the processes of structure formation and properties during the formation of a building composite is assessed.

It is concluded that the construction composite is promising using secondary polymeric materials and mechanical engineering waste, both in the direction of resolving environmental safety issues and in the direction of forecasting and improving operational characteristics.

**Key words:** building composite, secondary polymeric materials, wastes of instrumental mechanical engineering, structure formation.

*For citation:*

Polozhnov A. V., Torkolenkova K. S., Khutornoy S. M. [Assessment of processes of structural formation and formation of construction composition using secondary polymeric materials and waste of instrumental machinery]. *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], 2019, iss. 4, pp. 82—92.

*About authors:*

**Anton V. Polozhnov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Ksenia S. Torkolenkova** — Master's Degree student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [kseiya\\_tork@mail.ru](mailto:kseiya_tork@mail.ru)

**Stanislav M. Khutornoy** — Master's Degree student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [stasxytornoi@gmail.com](mailto:stasxytornoi@gmail.com)

УДК 666.972

**А. В. Положнов, С. М. Хуторной, К. С. Торколенкова**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОТХОДАМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Проанализированы современные направления формирования мелкозернистого бетона на основе промышленных отходов.

Сделан вывод о том, что введение шламов — отходов инструментальной промышленности на различных этапах процесса производства мелкозернистого бетона — позволяет управлять процессами структурообразования и прогнозировать физико-механические свойства бетонной композиции.

Установлена и подтверждена возможность использования компонентов шламовых отходов инструментального производства (ШОИП) в качестве модифицирующей добавки мелкозернистого бетона, что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик мелкозернистого бетона.

Приведены результаты оценки прочностных свойств модифицированного мелкозернистого бетона шламами — отходами инструментальной промышленности.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, шламы, отходы инструментальной промышленности, модифицирование, пористость, прочность.

Актуальным направлением строительного материаловедения является создание новых строительных композиционных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками [1—18].

Последнее десятилетие характеризуется созданием на основе новых технологических приемов ряда новых дисперсно-упрочненных композиционных материалов с участием промышленных отходов, обладающих повышенным уровнем свойств.

Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий производства и с максимальным использованием местного сырья и промышленных отходов является современной и важной задачей строительной индустрии, решаемой путем расширения производства строительных материалов и изделий на основе вторичных минеральных ресурсов.

Многочисленные научные работы отечественных и зарубежных авторов [1—4, 7, 8] посвящены использованию в технологии производства строительных материалов отходов промышленных предприятий.

Эффективность применения в составах мелкозернистого бетона промышленных отходов предприятий показана в работах П. И. Баженова, А. В. Волженского и др. [1, 5, 6, 12, 13, 17].

Использование дисперсных шламов как промышленных отходов в качестве наполнителей и для активации процесса твердения при формировании многофункциональных композиционных строительных материалов отмечено авторами работ [7, 8, 10, 15, 16, 18] как перспективное направление в строительстве.

В производстве строительных композиционных материалов, включая мелкозернистый бетон, перспективным и рациональным направлением явля-

ется применение тонкодисперсных компонентов, в частности шламов для модификации и активации процессов твердения и формообразования.

Проведенный научно-технический обзор работ [2, 7, 8, 10, 17] позволяет сделать однозначный вывод о том, что введение шламов на различных этапах процесса производства мелкозернистого бетона позволяет управлять процессами структурообразования и прогнозировать физико-механические свойства композита.

Управление процессами формирования структуры и свойств возможно и в связи с многокомпонентностью мелкозернистого бетона как композиции.

В настоящей работе представлено направление создания мелкозернистого бетона, сочетающего в себе высокоплотную и высокопрочную матрицу с возможностью использования в качестве армирующих элементов отходов промышленных предприятий.

*Цель работы* — анализ возможности модифицирования мелкозернистого бетона отходами инструментальной промышленности и процессов формирования структуры и свойств.

Предлагается использование в процессе формирования мелкозернистого бетона в качестве модификаторов шламов инструментальной промышленности (производства абразивных материалов и инструмента), представляющих собой [7, 8] дисперсные системы (от грубодисперсной до коллоидной).

Дисперсная система формируется в результате следующих технологических этапов подготовки:

- физико-химический метод очистки — коагуляция (образуются нерастворимые осадки — агрегаты);
- открытая сушка (частицы шлама связываются в пространственный каркас);
- отверждение шлама.

Итогом прохождения названных этапов является формирование коагуляционно-кристаллизационных структур шламов — отходов инструментального производства (ШОИП), содержащих  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ , гипс и других фаз, близких по составу к продуктам гидратации цементов.

Шлам как отход инструментального производства рассматривается как многофункциональная модифицирующая добавка мелкозернистых бетонов, выполняющая двойную функцию:

- армирующего наполнителя;
- активного компонента системы.

В качестве исходных материалов для формирования мелкозернистого бетона, модифицированного отходами инструментальной промышленности, применялись:

- шламы — отходы инструментального производства (ШОИП);
- кварцевый песок (модуль крупности — 2,6) ЗАО «Орловский песчаный карьер»;
- портландцемент марки М500 ОАО «Себряковцемент».

Для изучения свойств исходных материалов и мелкозернистого бетона, модифицированного ШОИП, использовались физико-химические методы анализа, в частности макроструктурный и микроструктурный анализ с применением оптических микроскопов. Использовались методики, в том числе авторские, регламентированные действующими стандартами, поверенного оборудования.

Образцы модифицированного мелкозернистого бетона подвергались физико-механическим исследованиям на предмет определения пористости, плотности и прочности.

Определение пористости производится согласно ГОСТ 12730.4—78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости».

В настоящей работе для определения пористости как наиболее точный использовался метод структурного анализа согласно ГОСТ 9391—80 «Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры».

Исследования проводили на шлифах, изготовленных из образцов мелкозернистого бетона, с использованием металлографического микроскопа, при этом для исследования брали несколько (до 5) шлифов с разных участков.

Прочность бетона определялась по ГОСТ 10180—2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Проведенные комплексные физико-химические исследования, а именно: микроскопический и рентгенофазовый анализы исходных материалов и образцов модифицированного ШОИП мелкозернистого бетона, подтверждают и дополняют теоретические основы процессов структурообразования бетонов.

За счет введения предлагаемой модифицирующей добавки (ШОИП) формируются активные центры кристаллизации, что непосредственно влияет на процессы структурообразования максимальным проявлением сил физико-химического взаимодействия связующего композита с поверхностью частиц модификатора.

Максимальное проявление сил физико-химического взаимодействия связующего композита с поверхностью частиц модификатора объясняется высокой удельной поверхностью частиц шлама-модификатора в сочетании со свободной поверхностной энергией частиц связующего (цемента) за счет усиления адгезионного взаимодействия.

Нами проанализированы структуры мелкозернистого бетона, модифицированного отходами инструментальной промышленности — шламом.

На первоначальном этапе структурообразования формируется условно-коагуляционная и кристаллизационная структуры с образованием зародышей новых фаз. Далее, исходя из классической теории кристаллизации, идет стадия роста кристаллов образующих фаз и окончательное формирование каркаса бетонной композиции с активным участием армирующего модификатора.

Неоспоримым фактом итогов технологии производства бетонной композиции является то, что дисперсные и высокодисперсные заполнители и наполнители за счет большой удельной поверхности оказывают на бетонную смесь комплексное воздействие:

- физико-химическое взаимодействие составляющих наполнителя и связующего;
- участие в организации структуры связующего.

Комплексный физико-химический анализ образцов мелкозернистого бетона, модифицированного отходами инструментальной промышленности — шламами, показал правильность выводов об активном влиянии модификатора на процессы структурообразования бетонной композиции.

Для подтверждения наших теоретических предположений, подтвержденных результатами физико-химического анализа, и установления зависимости интенсивности адгезионного взаимодействия связующего — цементной матрицы со шламами проведена оценка пористости мелкозернистого бетона с модификатором и без (рис. 1).

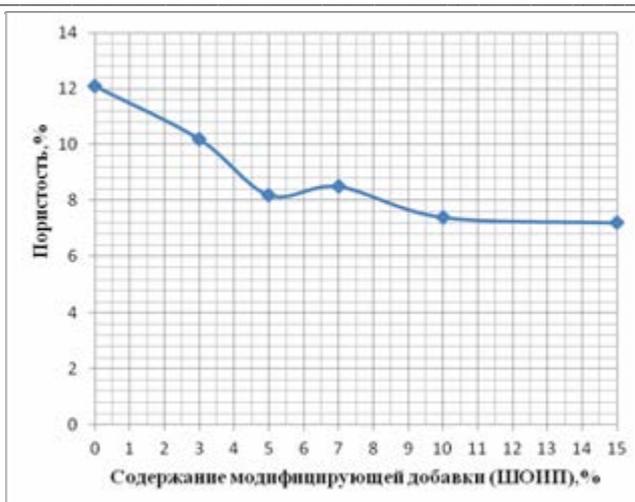


Рис. 1. Изменение пористости модифицированного мелкозернистого бетона от содержания модифицирующей добавки (ШОИП): 0 %, 3 %, 5 %, 7 %, 10 %, 15 %

И по нашим данным эксперимента наблюдаем уменьшение пористости от 12,1 % до 7,2 %.

Известно, что прочность цементного камня является функцией его пористости. Использование модифицирующей добавки уплотняет структуру бетонной цементной системы, уменьшая количество и размер пор и капилляров.

Проведем сравнительную оценку свойств мелкозернистых бетонов с модификатором и без него, что позволит провести анализ процессов формирования композиции мелкозернистого бетона.

Комплексное воздействие компонентов модификатора ШОИП за счет армирования бетона компонентами ШОИП и усиления адгезионного взаимодействия цементной матрицы с поверхностью, компонентов ШОИП проявляется в изменении свойств модифицированного бетона (рис. 2).



Рис. 2. Прочность на сжатие мелкозернистого бетона, модифицированного отходами инструментальной промышленности

Наблюдается изменение показателей бетона в сравнении с эталонным составом без компонентов ШОИП: в среднем прочность при сжатии увеличилась на 25,2 %.

Результаты авторских исследований и технологических практик [7, 8] позволяют сделать вывод о том, что процессы структурообразования непосредственно изменяют свойства строительного композита, в частности мелкозернистого бетона, за счет:

- модификации структуры;
- введения новых структурных элементов;
- дисперсного армирования.

**Заключение.** Подтверждена эффективность использования отходов инструментальной промышленности, в частности шлама, в качестве модификатора для мелкозернистого бетона:

- активация процессов структурообразования;
- повышение физико-механических свойств.

Итогом формирования бетонной композиции с введением в ее состав компонентов шламовых отходов инструментального производства (ШОИП) является получение бетона с повышенными физико-механическими свойствами.

Таким образом, на основании проведенного обзора научных публикаций и собственных проведенных исследований установлена и подтверждена возможность использования компонентов шламовых отходов инструментального производства (ШОИП) в качестве модифицирующей добавки мелкозернистого бетона, что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик мелкозернистого бетона.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелкозернистые бетоны из вторичного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / Ю. М. Баженов, Д. К.-С. Батаев, С.-А. Ю. Муртазаев и др. Грозный, 2011. 342 с.
2. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья / С.-А. Ю. Муртазаев, Д. К.-С. Батаев, З. Х. Исмаилова и др. М. : Комтехпринт, 2009. 142 с.
3. Высококачественные бетоны на техногенном сырье для ответственных изделий и конструкций / Л. А. Сулейманова, Р. В. Лесовик, Е. С. Глаголев, Д. М. Сопин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород, 2008. № 4. С. 34—37.
4. Решение проблемы утилизации техногенного сырья КМА. / А. М. Гридчин, Г. А. Лесовик, Е. Н. Авилова, Е. С. Глаголев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород, 2009. № 4. С. 7—11.
5. Баженов Ю. М. Технология бетона. М. : Ассоциация строительных вузов, 2011. 528 с.
6. Баженов Ю. М. Новому веку — новые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. 2000. № 2. С. 10—11.
7. Груздев А. А., Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю. Минерально-абразивные шламы — эффективные наполнители бетонов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2010. № 20(39). С. 58—62.
8. Комплексная оценка строительных композитов на основе техногенных отходов / О. Ю. Пушкарская, А. А. Груздев, Т. Н. Клавдиева, О. Е. Баранникова // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы II науч.-техн. конф., г. Волгоград, 24—25 окт. 2009 г. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 16—19.
9. Ohama Y., Miyake T., Nishimura M. Properties of SBR-Modified Concrete (in Japanese), Nihon-Kenchiku-Gakkai Kanto-shibu Kenkyu-Hokokushu. 1980. Pp. 289—292.
10. Краснов А. М. Высоконаполненный мелкозернистый песчаный бетон повышенной прочности // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 36—37.
11. Макарова Н. Е., Соломатов В. И. Прогнозирование свойств и изучение наполненных цементных композитов с позиции синергетики // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. № 6. С. 28—29.

12. *Баженов Ю. М.* Технология бетона. М. : Ассоциация строительных вузов, 2011. 528 с.
13. *Волженский А. В.* Минеральные вяжущие вещества. М. : Стройиздат, 1979. 476 с.
14. *Кирсанова А. А.* К вопросу о долговечности бетонов с комплексными добавками, включающими метакралин // *Фундаментальные и прикладные науки — основа современной инновационной системы.* 2015. С. 198—203.
15. Влияние дисперсности минеральных добавок на прочность цементного камня / *Л. В. Ильина, Г. И. Бердов, М. А. Раков, А. В. Мельников* // *Новые технологии в строительном материаловедении.* 2012. С. 68—71.
16. *Кузьмин Д.* Мелкозернистый бетон модифицированный. М. : LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 152 с.
17. *Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин В. В.* Модифицированные бетоны двойного структурообразования. М. : Ассоциация строительных вузов, 2017. 110 с.
18. *Алфимова Н., Строкова В., Федель Аугусто Наваретте Велос.* Мелкозернистые бетоны на основе вулканического сырья. М. : LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 104 с.

© *Положнов А. В., Хуторной С. М., Торколенкова К. С., 2019*

*Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Положнов А. В., Хуторной С. М., Торколенкова К. С.* Анализ формирования мелкозернистого бетона, модифицированного отходами инструментальной промышленности // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2019. Вып. 4(77). С. 93—99.

*Об авторах:*

**Положнов Антон Валериевич** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Хуторной Станислав Михайлович** — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [stasxytornoi@gmail.com](mailto:stasxytornoi@gmail.com)

**Торколенкова Ксения Сергеевна** — магистрант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [kseiya\\_tork@mail.ru](mailto:kseiya_tork@mail.ru)

***Anton V. Polozhnov, Stanislav M. Khutornoy, Ksenia S. Torkolenkova***

***Volgograd State Technical University***

## **ANALYSIS OF FORMATION OF FINE-CONCRETE CONCRETE MODIFIED BY WASTE INSTRUMENTAL INDUSTRY**

The modern directions of the formation of fine-grained concrete based on industrial waste are analyzed.

It is concluded that the introduction of sludge — waste from the tool industry at various stages of the production of fine-grained concrete allows you to control the processes of structure formation and to predict the physico-mechanical properties of the concrete composition.

The possibility of using the components of sludge waste of tool production (SIPP) as a modifying additive for fine-grained concrete, which leads to an improvement in the operational characteristics of fine-grained concrete, has been established and confirmed.

The results of assessing the strength properties of modified fine-grained concrete by sludge — waste from the tool industry are presented.

**Key words:** fine-grained concrete, sludge, tool industry waste, modification, porosity, strength.

*For citation:*

Polozhnov A. V., Khutornoy S. M., Torkolenkova K. S. [Analysis of formation of fine-concrete concrete modified by waste instrumental industry]. *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], 2019, iss. 4, pp. 93—99.

*About authors:*

**Anton V. Polozhnov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [gnomis@yandex.ru](mailto:gnomis@yandex.ru)

**Stanislav M. Khutornoy** — Master's Degree student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [stasxytormoi@gmail.com](mailto:stasxytormoi@gmail.com)

**Ksenia S. Torkolenkova** — Master's Degree student of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [kseiya\\_tork@mail.ru](mailto:kseiya_tork@mail.ru)

УДК 691.328:54

**Е. В. Ткач<sup>а</sup>, В. И. Соловьев<sup>б</sup>, Р. И. Темирканов<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Московский государственный строительный университет*

<sup>б</sup> *EUROASIAMS*

## **ЦЕМЕНТНЫЙ БЕТОН С УЛУЧШЕННЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО МИКРОКРЕМНЕЗЕМА**

В данной работе рассматриваются вопросы применения микрокремнезема и способы его активации для модифицирования структуры цементного камня и бетона на его основе. В отношении любого вида наполнителя, в частности микрокремнезема, актуальными являются вопросы: как и сколько вводить, какие механизмы включаются в процесс структурообразования, во сколько обходится достигаемый эффект модифицирования структуры и другие. Формирование ответов на поставленные вопросы требует системного подхода к видению проблемы. Поэтому роль микродисперсных наполнителей в процессах модифицирования структуры цементного камня и бетона на его основе должна рассматриваться совместно с другими размерными включениями на разных масштабных уровнях.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** химически активированный микрокремнезем, комплексная органоминеральная добавка, гетерогенный процесс фазообразования, прочность при сжатии, бетонная смесь, химическая активация, щелочная среда.

### **Введение**

Актуальность данной работы связана с поиском путей повышения свойств бетонов и качественных характеристик изделий на их основе. Одним из простых и эффективных приемов является модифицирование структуры цементного камня за счет инициирования активности вводимых в бетон минеральных добавок. В настоящей работе ставилась задача снизить расход микрокремнезема и повысить его эффективность в цементных бетонах за счет химической активации. Целью исследования является разработка технологии бетона с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения химически активированного микрокремнезема в составе комплексной органоминеральной добавки. Методологической основой исследования послужили основные положения строительного материаловедения в области структурообразования цементных бетонов, а также положения современной химии, касающиеся способов перевода частиц микрокремнезема в активную форму.

### **Материалы и методы**

В исследованиях по разработке составов бетонных смесей использовали материалы со следующими характеристиками: в качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства АО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп», соответствующий ГОСТ 31108—2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» и ГОСТ 30515—2013 «Цементы. Общетехнические условия». В качестве мелкого заполнителя применяли природный песок карьера «Капылиха», расположенный в пос. Балакирево Владимирской области, с модулем крупности 2,5. Свойства песка определяли методами в соответствии с ГОСТ 8735—88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний». Ус-

тановлено, что предлагаемый песок по содержанию глинистых, пылевидных и органических примесей, гранулометрическому составу соответствует стандартным требованиям ГОСТ 8376—2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень (ООО «ДорНерудРесурс» г. Саратов) фракции от 5 до 20 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 8267—93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ». Вода затворения соответствует ГОСТ 23732—2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». Содержание сульфатов не превышает более 2700 мг/л (в пересчете на  $SO_4$ ) и всех солей более 5000 мг/л. В качестве суперпластификатора использовали продукцию ООО «НПО СИНТЕЗ» — суперпластификатор «Пластилит РК». По своим потребительским свойствам добавка «ПЛАСТИЛИТ РК» соответствует требованиям для пластифицирующих и водоредуцирующих добавок ГОСТ 24211—2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». В качестве реакционно-химической пуццоланической добавки использовали пылевидный отход микрокремнезем МК-85 ферросплавного производства ОАО «Кузнецкие смеси ферросплавы», добавку с размером частиц 5...50 мкм.

В данной работе исследовали процессы физико-химической активации микрокремнезема, а также изучали процессы твердения, структурообразования цементного камня и различных составов бетонов на его основе, модифицированных полученными добавками. Экспериментально определяли количество и размер продуктов диспергирования микрокремнезема, полученных при химической активации методом лазерной дифракции (анализатор размера частиц «Analyzette 22») и фазовый состав полученной добавки методами рентгенофазового анализа (дифрактометр «ARL X'TRA») и ИК-спектроскопии (ИК-спектрометр Varian 640-IR).

Эффективность пластифицирующей способности добавок оценивали по изменению удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона предлагаемого состава по сравнению с контрольным составом. Обработку результатов испытания прочности бетона на сжатие выполняли по ГОСТ 10180—2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

### **Литературный обзор**

Теоретическими основами работы стали исследования отечественных и зарубежных ученых, посвященные структуре цементных композитов и проблемам модифицирования гидратационных систем твердения за счет минеральных и химических добавок. Основываясь на работах Р. Айлера, С. С. Каприелова [1, 2], касающихся поведения аморфного кварца в воде, кислой и щелочной средах, а также учитывая сведения по вопросу модифицирования бетонов, где наиболее оптимальными являются комплексные добавки, содержащие родственные по кристаллохимическому строению частицы  $SiO_2$ , можно полагать, что химическая активация микрокремнезема является недорогим и перспективным направлением для модифицирования структуры цементного камня и бетона на его основе. Анализ литературных источников показал, что одной из эффективной пуццолановой активной минеральной добавкой для цементных матриц и бетонов на ее основе является микрокремнезем — пылевидный отход ферросплавного производства, содержащий  $SiO_2$  не менее 91 % [3—6, 18—21]. Эффект действия повышения качества бетонов микрокремнеземом значительно усиливается, если в состав бетонной смеси

микрокремнезем вводится в комплексе с суперпластификаторами или с дополнительными органоминеральными добавками, что дает предпосылки химической активации микрокремнезема такими добавками [1, 9]. В работах ученых химии и геологии экспериментально установлено, что аморфный кремнезем можно растворить в кислоте и перевести в ортокремневую кислоту ( $H_4SiO_4$  или  $Si(OH)_4$ ), а в щелочной среде перевести в соль натрия или калия ортокремниевой кислоты [1, 9, 22]. Одной из предпосылок выбора активации микрокремнезема в данной работе явился химический способ, выраженный в обработке воды затворения бетонов методом электролиза.

При химической активации кислотами или солями, уменьшающими pH среды, усиливается коррозия стальной арматуры в железобетонных изделиях и конструкциях. По этой причине после обработки заполнителей и наполнителей кислотами требуется промывка водой, что экономически невыгодно. Таким образом, на основании вышеизложенного в работе было принято решение проводить химическую активацию микрокремнезема в щелочной среде. Основываясь на данные исследования Р. Айлера, Г. Д. Чукина, G. Quercia, T. Oertel [1, 8, 15—17] по поведению аморфного кремнезема в щелочной среде, можно полагать, что химическая активация микрокремнезема является перспективным направлением для модифицирования цементного камня и бетона на его основе в составе комплексной добавки. Данное применение микрокремнезема может решить несколько задач как для повышения экологии Российской Федерации (микрокремнезем — отход производства), так и для частных организаций (сравнительно низкий расход активированного микрокремнезема).

#### Результаты

Эффективность применения добавок оценивали по улучшению механических и физико-химических свойств модифицируемых материалов. Для установления оптимального содержания микрокремнезема в бетонной смеси, предназначенной для производства эффективных железобетонных шпал высокоскоростных магистралей, использовали диапазон в количестве 5 % от массы цемента. Оптимальное содержание добавок определяли по изменению предела прочности при сжатии образцов-кубов размером  $15 \times 15 \times 15$  см после 28 суток нормального твердения.

Результаты испытания, представленные в табл. 1 и рис. 1, свидетельствуют о том, что оптимальное содержание микрокремнезема составляет 15 %, увеличение прочности относительно контрольного образца — 33,39 %.

Т а б л и ц а 1

Состав и результаты испытаний бетона

№ п/п	Материалы	Состав, кг/м <sup>3</sup>				
		Контрольный	№ 1 (10 % МК)	№ 2 (15 % МК)	№ 3 (20 % МК)	№ 4 (25 % МК)
1	ЦЕМ I 42,5Н	420	378	357	336	315
2	Вода	147	147	147	147	147
3	Гранитный щебень	950	950	950	950	950
4	Песок	845	845	845	845	845

№ п/п	Материалы	Состав, кг/м <sup>3</sup>				
		Контрольный	№ 1 (10 % МК)	№ 2 (15 % МК)	№ 3 (20 % МК)	№ 4 (25 % МК)
5	Суперпластификатор «Пластидит РК»	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
6	Микрокремнезем МК-85	—	42	63	84	105
7	В/Т (Ц + МК)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
8	Предел прочности при сжатии на 28 сут., МПа	47,04	53,17	62,76	45,03	30,81



Рис. 1. Зависимость предела прочности бетона при сжатии от расхода добавки

С помощью спектроскопии, представленной на рис. 2, показаны инфракрасные (ИК) спектры микрокремнезема (МК): в сухом состоянии и обработанного активированными водами типов «кислая вода (КВ)» и «щелочная вода (ЩВ)», а также ИК спектр кварцевого стекла, который был взят в качестве эталонного образца.

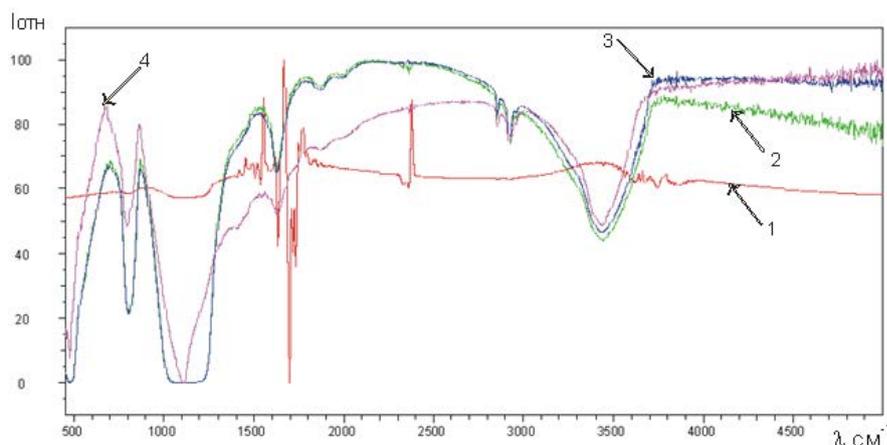


Рис. 2. ИК спектры образцов: 1 — МК; 2 — МК, обработанный типа КВ; 3 — МК, обработанный типа ЩВ; 4 — кварцевое стекло

По ИК спектрам видно (рис. 2), что произошло совпадение области колебания кварцевого стекла с микрокремнеземом, смешанным с водой, обработанной методом электролиза с  $\text{pH} = 2,1 \dots 3$ , обогащенной ионами оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$  (тип КВ), и с водой, обработанной методом электролиза с  $\text{pH} = 10 \dots 11$ , обогащенной ионами гидроксилон  $\text{OH}^-$  (тип ЩВ).

Таким образом, можно сделать вывод, что при обработке микрокремнезема водами типов КВ и ЩВ мы получили димеры ортокремниевой кислоты  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , что является доказательством химической активации микрокремнезема. После того как было выяснено, что на процесс диспергирования микрокремнезема до состояния ортокремниевой кислоты  $\text{Si}(\text{OH})_4$  и ее димеров влияют: в кислой среде ионы оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ , а в щелочной среде — ионы гидроксилон  $\text{OH}^-$ , в дальнейшем было решено осуществлять обработку микрокремнезема водой, полученной методом электролиза с  $\text{pH} = 10 \dots 11$ . Известно, что для модифицирования цементного камня наиболее оптимальна комплексная добавка, содержащая родственные по кристаллохимическому строению неорганические частицы, например  $\text{SiO}_2$ . Однако применение дисперсного модификатора на основе кремнезема может быть технологически затруднено, так как необходимо обеспечить предварительное диспергирование частиц и равномерное распределение их по объему материала. Данная проблема может быть решена в том случае, если добавку получают в водной среде, которая является водой затворения в присутствии суперпластификатора (СП). При этом СП, вводимый в комплексную добавку, выполняет двойную функцию: с одной стороны, стабилизирует рост коллоидных агрегатов кремнезема, а в дальнейшем решает технологическую проблему равномерного распределения комплексной добавки в цементной системе. В наших опытах комплексную добавку получали путем изначального смешивания микрокремнезема с водой, обработанной методом электролиза с  $\text{pH} = 10 \dots 11$  и выдержкой в течение 10 минут, далее добавляли суперпластификатор, количественные соотношения компонентов представлены в табл. 1. Для активации микрокремнезема использовали: предварительно обработанную воду методом электролиза с  $\text{pH} = 10 \dots 11$ , суперпластификатор «ПЛАСТИЛИТ РК» и микрокремнезем марки МК-85.

Количество и размер коллоидных частиц кремнезема, полученных при химической активации МК, определяли методом лазерной дифракции (анализатор размера частиц «Analyzette 22»). Фазовый состав полученной добавки определяли методом рентгенофазового анализа (дифрактометр «ARL X'TRA») и ИК-спектры регистрировали на ИК Фурье-спектрометре марки «ФСМ 1201» с разрешением 4 см<sup>-1</sup>. На рисунке 3 представлена рентгенограмма комплексной добавки, которая показала, что добавка является рентгеноаморфной и состоит из коллоидных агрегатов сферической формы (рис. 4).

Для повышения качества матрицы, полученной из разработанного оптимального состава бетонной смеси (табл. 1), были изготовлены и испытаны на прочность образцы. Опытные составы приготавливали путем дозирования по массе компонентов с последующим смешением всех компонентов, но микрокремнезем смешивали с водой, обработанной методом электролиза и обогащенной ионами гидроксилон  $\text{OH}^-$  с  $\text{pH} = 10 \dots 11$  до теста с последующей выдержкой в течение 10 минут.

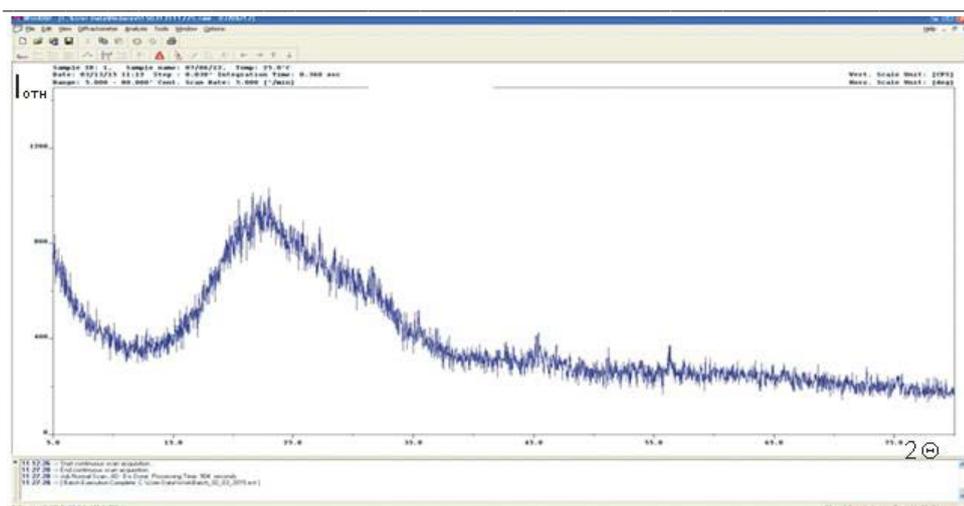


Рис. 3. Рентгенограмма комплексной добавки (микрокремнезем — суперпластификатор «ПЛАСТИЛИТ РК»)



Рис. 4. Данные исследования системы комплексной добавки методом лазерной дифракции через 12 ч после синтеза: *а* — модель формы частиц гидрозоля кремния; *б* — график распределения размера частиц гидрозоля кремния в объеме системы

Для повышения качества матрицы, полученной из разработанного оптимального состава бетонной смеси (табл. 1), были изготовлены и испытаны на прочность образцы. Опытные составы приготавливали путем дозирования по массе компонентов с последующим смешением всех компонентов, но микрокремнезем смешивали с водой, обработанной методом электролиза и обогащенной ионами гидроксидов  $\text{OH}^-$  с  $\text{pH} = 10 \dots 11$  до теста с последующей выдержкой в течение 10 минут. В таблице 2 показано соотношение компонентов вяжущего (матрицы) с количеством активатора и результаты испытаний (рис. 4).

При сопоставительном анализе количественного состава контрольной матрицы и опытной с применением предварительной активации микрокремнезема при одинаковом качественном составе можно сделать следующие выводы:

1) предварительная щелочная активация микрокремнезема позволяет увеличить прочность матрицы (состав № 6) по отношению к составу без применения активации микрокремнезема (контрольный) на 19,09 %.

2) повышение прочности разработанного состава матрицы осуществилось за счет дополнительной активации микрокремнезема водой, обработанной методом электролиза с  $pH = 10...11$ , обогащенной ионами гидроксидов  $OH^-$  в комплексе с суперпластификатором.

Таблица 2

*Разработанные составы матриц с применением активированного микрокремнезема (вода, обработанная методом электролиза и обогащенная ионами гидроксидов  $OH^-$  с  $pH = 10...11$ )*

№ п/п	Материалы	Состав, кг/м <sup>3</sup>				
		Контрольный	№ 5 (10 % МК)	№ 6 (15 % МК)	№ 7 (20 % МК)	№ 8 (25 % МК)
1	ЦЕМ I 42,5Н	357	378	357	336	315
2	Вода с $pH = 10...11$ , обогащенная ионами $OH^-$	—	147	147	147	147
3	Вода	147	—	—	—	—
4	Гранитный щебень	950	950	950	950	950
5	Песок	845	845	845	845	845
6	Суперпластификатор «Пластилит РК»	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
7	Микрокремнезем МК-85	63	42	63	84	105
	В/Т (Ц + МК)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	Предел прочности при сжатии на 28 сут., МПа	62,76	59,11	69,98	50,39	34,78

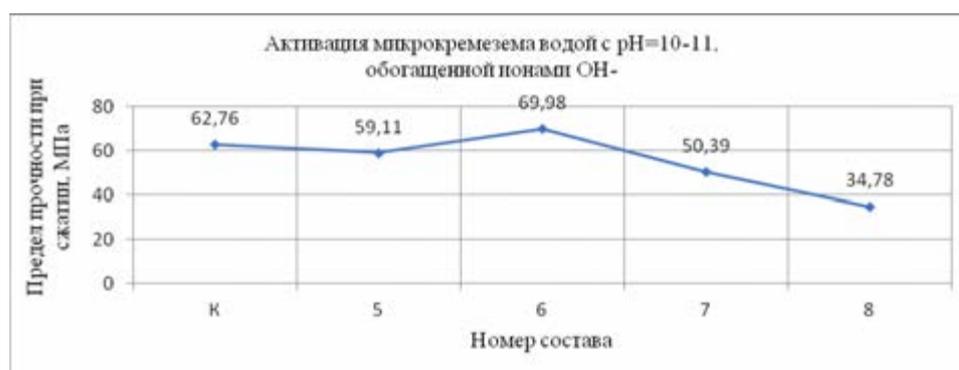


Рис. 5. График изменения прочности бетона в возрасте 28 суток в зависимости от состава

«Пластилит РК». С применением оптимального состава разработанной матрицы с прочностью 57,5 МПа был получен эффективный бетон с повышенными эксплуатационными характеристиками.

### Обсуждение

1. Раскрыта сущность физико-химической активации неорганического микронаполнителя, и установлено положительное влияние предлагаемой предварительной подготовки на процессы структурообразования гидратационной системы твердения.

2. Обоснованы научные и практические пути эффективного использования полученной комплексной добавки в цементных бетонах.

Методологической основой исследования послужили основные положения строительного материаловедения в области структурообразования цементных бетонов, а также положения современной химии, касающиеся способов перевода частиц микрокремнезема в активную форму.

Технология замещения цементногвяжущего микрокремнеземом хорошо раскрыта в работе [11], где исследователи вводят в бетонную смесь микрокремнезем и коллоидный нанокремнезем, при этом уменьшают расход цемента. Авторами был сделан вывод, что 6 % микрокремнезема и 1,5 % нанокремнезема улучшают прочностные характеристики, электрическое сопротивление и снижают капиллярное поглощение. Результаты наших исследований действительно совпадают с исследованиями других ученых [10—15]. Уменьшение расхода цемента путем замещения его микрокремнеземом положительно сказывается на физико-механических характеристиках бетона.

### Заключение

1. С помощью ИК-спектроскопии подтвержден эффект активации микрокремнезема в кислой среде ( $\text{pH} = 2,1$ ), обогащенной ионами оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ , обеспечивают катионы  $\text{H}^+$ , а в щелочной среде ( $\text{pH} = 10 \dots 11$ ), обогащенной гидроксильными группами  $\text{OH}^-$  — анионы  $\text{OH}^-$ , с получением димеров ортокремниевой кислоты  $\text{Si}(\text{OH})_4$ .

2. Применение химической активации микрокремнезема водой, обработанной методом электролиза и обогащенной ионами гидроксидов  $\text{OH}^-$  с  $\text{pH} = 10 \dots 11$ , вводимого в состав матрицы бетонной смеси, при сопоставительном анализе показал увеличение прочности на 58,8 % в сравнении с контрольным образцом заводского состава (без применения микрокремнезема в составе комплексной добавки).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айлер Р. Коллоидная химия кремнезема и силикатов // Химия кремнезема. М. : Мир, 1959.
2. Каприелов С. С., Гольденберг А. Л. Свойства высокопрочного бетона, подвергнутого периодическому воздействию температуры // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 60—66.
3. Ghanei A., Eskandari-Naddaf H., Davoodi A. Corrosion behavior and optimization of air-entrained reinforced concrete, incorporating microsilica // Structural Concrete. 2018. Vol. 19. Iss. 5. Pp. 1472—1480.
4. Effect of Undensified Silica Fume on the Dispersion of Carbon Nanotubes within a Cementitious Composite / S. Alrekabi, A. Cundy, R. L. D. Whitby, A. Lampropoulos, I. Savina // Journal of Physics : Conference Series. 2017. Vol. 829. № 1.
5. Synergistic effects of microsilica and nanosilica on strength and microstructure of mortar / L. G. Li, Z. H. Huang, J. Zhu, A. K. H. Kwan, H. Y. Chen // Construction and Building Materials, 2017. Vol. 140. Pp. 229—238.

6. Influence of nano and microsilica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete / J. Massana, E. Reyes, J. Bernal, N. León, E. Sánchez-Espinosa // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 165. Pp. 93—103.
7. Сафронов В. Н., Щетинов Е. Ю., Петров Г. Г. Влияние активированной цикловой технологии магнитной обработки воды затвердения с добавкой жидкого пластификатора на свойства бетонной смеси и мелкозернистого бетона : материалы Международной науч.-техн. конф. 2011. С. 56—60.
8. Баженев Ю. М. Пути развития нового строительного материаловедения: новые бетоны // *Технологии бетонов*. 2012. № 3—4(68—69). С. 12—13.
9. Чукин Г. Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема. М. : Типография Паладин, ООО «Принта», 2008.
10. Research on Mechanochemical of Silica and Composite Powders / J. J. Zhu, H. Z. Gu, B. H. Sun, T. X. Peng // *Advanced Materials Research*. 2014. 881—883. Pp. 1487—1491.
11. Nili M., Ehsani A., Shabani K. Influence of Nano-SiO<sub>2</sub> and Microsilica on Concrete Performance // *Coventry University and The University of Wisconsin Milwaukee Centre for Byproducts Utilization : Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 2010.
12. Amorphous silica in ultra-high performance concrete: First hour of hydration / T. Oertel, F. Hutter, U. Helbig, G. SEXTL // *Cement and Concrete Research*. 2014. Vol. 58. Pp. 131—142.
13. Wille K., Naaman A. E., Parra-Montesinos G. J. Ultra-high Performance Concrete with Compressive Strength Exceeding 150 MPa (22 ksi): a simpler way // *ACI Structural and Materials*. 2011. Vol. 108. Pp. 46—54.
14. Beneficial role of nanosilica in cement based materials — A review / L. P. Singh, S. R. Karade, S. K. Bhattacharyya, M. M. Yousuf, S. Ahalawat // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 47. Pp. 1069—1077.
15. Characterization of morphology and texture of several amorphous nanosilica particles used in concrete / G. Quercia, A. Lazaro, Geus, H. J. H. Brouwers // *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 44 Pp. 77—92.
16. Quercia G., Huesken G., Brouwers H. J. H. Water demand of amorphous nanosilica and its impact on the workability of cement paste // *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42. Pp. 344—357.
17. Influence of amorphous silica on the hydration in ultra-high performance concrete / T. Oertel, U. Helbig, F. Hutter, H. Kletti, G. SEXTL // *Cement and Concrete Research*. 2014. Vol. 58. Pp. 121—130.
18. Баженев Ю. М. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой // *Вестник МГСУ*. 2013. № 2. С. 94—100.
19. Ткач Е. В. Технологические аспекты создания высокоэффективных модифицированных бетонов заданных свойств // *Технологии бетонов*. 2011. № 7—8. С. 44—47.
20. Изотов В. С., Соколова Ю. А. Химические добавки для модификации бетона. М. : Палейтип, 2006, 244 с.
21. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В. Влияние состава органоминеральный модификаторов бетона серии «МБ» на их эффективность // *Бетон и железобетон*. 2002. № 1. С. 11—15.
22. Duval R., Kadri E. H. Influence of silica fume, on the workability and the compressive strength of high-performance concretes // *Cem. and Concr. Res.* 1998. Vol. 28. № 4. Pp. 533—547.

© Ткач Е. В., Соловьев В. И., Темирканов Р. И., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Ткач Е. В., Соловьев В. И., Темирканов Р. И. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 4(77). С. 100—109.

Об авторах:

**Ткач Евгения Владимировна** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов и материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 29337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Соловьев Владимир Иванович** — д-р техн. наук, профессор, генеральный директор органа по сертификации «EUROASIAMS». Республика Казахстан, 050060, г. Алматы, ул. Радостовца, 154/4

**Темirkanов Руслан Ильясovich** — аспирант кафедры строительных материалов и материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 29337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

**Evgenia V. Tkach<sup>a</sup>, Vladimir I. Soloviev<sup>b</sup>, Ruslan I. Temirkanov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Moscow State University of Civil Engineering*

<sup>b</sup> *EUROASIAMS*

## **CEMENT CONCRETE WITH IMPROVED PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES BASED ON THE USE OF ACTIVATED SILICAFUME**

This paper discusses the use of silica fume and methods of its activation for modifying the structure of cement stone and concrete based on it. With regard to any type of filler, in particular silica fume are relevant questions: how and how much to enter, what mechanisms are included in the process of structure formation, how much it costs to achieve the effect of modifying the structure and others. The formation of answers to these questions requires a systematic approach to the vision of the problem. Therefore, the role of microdisperse fillers in the processes of modifying the structure of cement stone and concrete on its basis should be considered in conjunction with other dimensional inclusions at different scale levels.

**Key words:** chemically activated micro silica, complex organic-mineral additive, heterogeneous formation, compressive strength, concrete mix, chemical activation, alkaline environment.

*For citation:*

Tkach E. V., Soloviev V. I., Temirkanov R. I. [Cement concrete with improved physico-mechanical properties based on the use of activated silicafume]. *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], 2019, iss. 4, pp. 100—109.

*About authors:*

**Evgenia V. Tkach** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Building Materials and Materials Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). 26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

**Vladimir I. Soloviev** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, CEO of the certification body EUROASIAMS. 154/4, Radostovt'sa St., Almaty, 050060, Republic of Kazakhstan

**Ruslan I. Temirkanov** — Postgraduate student of Building Materials and Materials Department, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). 26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

УДК 628.349.08:663.97

**Д. О. Игнаткина<sup>а</sup>, А. П. Поздняков<sup>а</sup>, А. В. Москвичева<sup>а</sup>, Е. В. Москвичева<sup>а</sup>, А. А. Войтюк<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *ООО «Лэндстрой»*

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ТАБАЧНОЙ ИНДУСТРИИ РФ**

В настоящее время перспективным методом очистки сточных вод (СВ) от органических и неорганических веществ является сорбция. Процессы адсорбции могут осуществляться в статическом или динамическом режимах.

Авторами статьи были изучены процессы адсорбции загрязняющих веществ, входящих в состав СВ предприятия табачной индустрии РФ с использованием гранулированного композитного сорбента (ГКС), способ получения которого разработан сотрудниками кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГТУ, а также произведена математическая оценка достоверности полученных экспериментальных данных согласно уравнению Ленгмюра.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сточные воды, табачная индустрия, сорбционная очистка, сорбент.

Перспективным на нынешнем этапе развития технологий глубокой очистки и доочистки сточных вод (СВ) от растворенных органических веществ является метод сорбции [1]. В широком понимании сорбция представляет собой процесс поглощения веществ из той или иной среды с помощью других веществ, называемых поглотителями или сорбентами. Различают три разновидности сорбции: адсорбцию, абсорбцию и хемосорбцию. При адсорбции поглощение осуществляется поверхностью твердого или жидкого сорбента, при абсорбции — всей массой жидкого сорбента. Сорбция (адсорбция, абсорбция), сопровождаемая химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется хемосорбцией. Для очистки промышленных СВ основное практическое значение имеет адсорбция [2].

Процессы адсорбции могут осуществляться в статическом или динамическом режимах. В статических условиях обрабатываемая вода интенсивно перемешивается с сорбентом в течение определенного времени, а затем отделяется от него отстаиванием или фильтрацией. Последующим введением в отделяемую воду новых порций сорбента можно достичь практически любой заданной степени очистки или концентрацией извлекаемого компонента [3].

Основой расчета подобных адсорбционных аппаратов, в которых осуществляется сорбция в статическом режиме с перемешивающими устройствами, является балансовое уравнение:

$$m a + Q C = Q C_0, \quad (1)$$

где  $m$  — масса однократно введенного сорбента;  $a$  — удельная адсорбция;  $Q$  — объем обрабатываемой воды;  $C_0$  и  $C$  — исходная и равновесная концентрация примеси соответственно.

Для инженерных расчетов при динамической адсорбции из водных растворов часто используют формулу (2), предложенную Н. А. Шиловым для адсорбции газов и паров:

$$T = KH - t, \quad (2)$$

где  $T$  — время защитного действия фильтра;  $H$  — высота слоя сорбента;  $K$  — коэффициент защитного действия;  $t$  — потеря времени защитного действия.

Динамический вариант адсорбции в сравнении со статическим имеет большие технологические, эксплуатационные и экономические преимущества: более полно используется обменная емкость адсорбента, уменьшается количество его регенераций, упрощается аппаратное оформление процесса и его автоматизация [4, 5]. Адсорбционная очистка в данном варианте может осуществляться в аппаратах периодического или непрерывного действия, с движущимся или стационарным, а также с псевдооживленным (кипящим) слоем сорбента [6].

Адсорбенты, применяемые для очистки производственных СВ, должны обладать высокой адсорбционной способностью, инертностью по отношению к адсорбату и растворителю (воде), механической прочностью, способностью к регенерации и низкой стоимостью. Адсорбенты характеризуются размером пор и удельной поверхностью. Различают микропоры (до 3...7 нм), мезопоры (до 200 нм) и макропоры. В микропорах адсорбция протекает в основном за счет капиллярной конденсации, в мезопорах происходит моно- или полимолекулярная адсорбция, макропоры выполняют преимущественно транспортные функции [7].

Существует общепринятая классификация сорбентов, в соответствии с которой по их природе, происхождению и свойствам материалы разделяют на следующие виды [4]: ионообменные смолы, неорганические и органические сорбенты.

В качестве адсорбентов применяют различные природные и искусственные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, активные глины, силикогели, алюмогели, активированные угли (АУ). Наибольшее распространение для извлечения органических веществ из водных растворов получили гидрофобные углеродные материалы — АУ, так как энергия взаимодействия органического вещества с атомами углерода намного больше энергии взаимодействия этих атомов с молекулами воды [8, 9].

Основными факторами, влияющими на адсорбционную способность АУ, являются молярная масса и растворимость сорбата<sup>1</sup> [10, 11]. Адсорбция понижается с увеличением молярной массы и растворимости сорбата. Исследование адсорбции низших жирных кислот и ароматических аминов показало, что на АУ лучше сорбируются недиссоциированные молекулы [10].

На сегодняшний день изыскиваются различные пути очистки СВ с использованием новых сорбентов. Последние годы для очистки водных сред все чаще находят применение неуглеродных сорбентов естественного и искусственного происхождения. Выбор данных сорбентов обусловлен их достаточно высокой активностью и избирательностью.

В настоящей статье представлены результаты изучения процесса адсорбции загрязняющих веществ, входящих в состав СВ предприятия табачной индустрии РФ гранулированным композитным сорбентом (ГКС), способ по-

---

<sup>1</sup> Adsorption: progress in fundamental and application research: selected reports at the 4th pacific basic conference on absorption science and technology // World scientific Publishing company incorporated. 2007. 281 p.

лучения которого разработан сотрудниками кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГТУ [12, 13]. Исследования проводились в статических и динамических условиях, а также рассмотрена возможность применимости математического описания полученных экспериментальных закономерностей процесса сорбционной очистки.

Для подтверждения эффективности доочистки СВ предприятия табачной индустрии, предварительно прошедших механическую очистку и электрохимическую обработку, сорбционным методом с использованием разработанного ГКС проводили исследования по выявлению остаточного содержания загрязнений, превышающих допустимые концентрации (ДК)<sup>2</sup> в фильтрате в статических и динамических условиях на модельных растворах, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

*Состав модельных растворов, имитирующих загрязняющие компоненты, для изучения сорбционной доочистки соединений в статических и динамических условиях*

№ мод. раствора	Загрязняющий компонент	Используемое вещество	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
1	БПК <sub>полн</sub>	Глюкоза	180
2	ХПК	Углеводороды ароматические (смесь бензола, трет-бутилбензола имксилола в соотношении 1:1:1 по массе)	210
3	АПАВ	Додецилсульфат натрия	1
4	Активный хлор	Смесь в соотношении по массе 1:1 (гипохлорита натрия (NaClO · H <sub>2</sub> O) и смеси хлорфенола, 2,4-дихлорфенола и 2,4,6-трихлорфенола в соотношении 1:1:1 по массе)	1000

Для определения возможности и эффективности извлечения техногенных компонентов из модельных растворов (табл. 1) с применением ГКС изучалась кинетика сорбции и на основании этого были построены зависимости сорбционной емкости от концентрации конкретного загрязнителя.

Исследование этих характеристик проводилось в статических условиях путем контактирования модельных растворов № 1—4 (по 0,2 дм<sup>3</sup>) с навесками ГКС (от 0,5 до 10 г) при постоянном перемешивании в течение четырех часов на аппарате Шуттеля. Затем растворы отделялись от гранул сорбента фильтрованием через бумажный фильтр, и в них определялась равновесная концентрация соответствующего загрязняющего компонента. По разности исходных и равновесных концентраций определялась поглощающая емкость ГКС по рассматриваемым загрязняющим веществам и строились изотермы сорбции. Время контакта (4 часа) определено на основании опыта по динамике изменения содержания в модельных растворах № 1—4 основных загрязни-

<sup>2</sup> Постановление Администрации Волгограда от 18 июня 2015 г. № 840 «Об утверждении нормативов водоотведения (сброса) по составу и свойствам сточных вод, отводимых в окружающую природную среду через централизованные системы водоотведения Волгограда». URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/volga/633238/>.

телей при сорбции ГКС во времени (рис. 1—3), согласно которым очевидно, что сорбционное равновесие наступает через 120—180 минут контактирования модельных растворов с сорбентом.

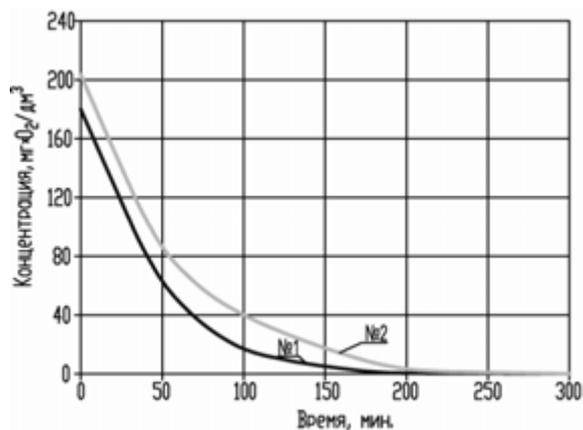


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации загрязняющих веществ от времени контакта модельного раствора и навески ГКС: 1 — модельный раствор № 1; 2 — модельный раствор № 2

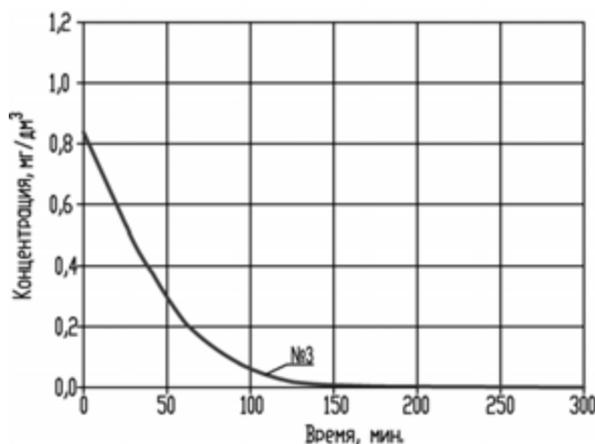


Рис. 2. Зависимость остаточных концентраций загрязняющих компонентов ГКС во времени (модельный раствор № 3)

После контактирования модельных растворов в течение времени, достаточного для установления равновесия и разделения твердой и жидкой фаз, по убыли концентраций загрязняющих компонентов исследуемого материала определялись сорбционные емкости по формуле (3) и строились изотермы адсорбции (рис. 4—6), которые свидетельствовали об эффективности материала по извлечению загрязняющих веществ до уровня ДК согласно<sup>3</sup>:

<sup>3</sup> Постановление Администрации Волгограда от 18 июня 2015 г. № 840 «Об утверждении нормативов водоотведения (сброса) по составу и свойствам сточных вод, отводимых в окружающую природную среду через централизованные системы водоотведения Волгограда». URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/volga/633238/>.

$$A = (C_0 - C_p) \frac{V}{m}, \quad (3)$$

где  $C_0$  и  $C_p$  — начальная и равновесная концентрации компонента ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ );  
 $V$  — объем раствора (л);  $m$  — масса сорбента (г).

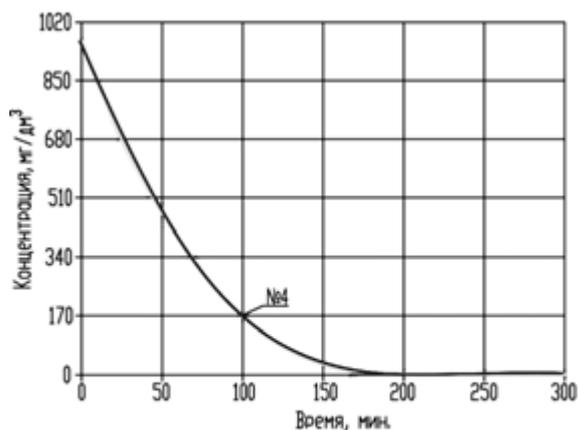


Рис. 3. Зависимость остаточных концентраций загрязняющих компонентов ГКС во времени (модельный раствор № 4)



Рис. 4. Изотермы сорбции загрязнений с применением ГКС из модельных растворов № 1, № 2

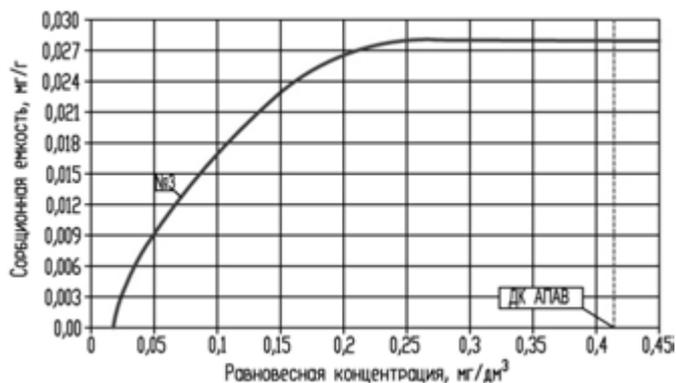


Рис. 5. Изотерма сорбции загрязнений с применением ГКС из модельного раствора № 3

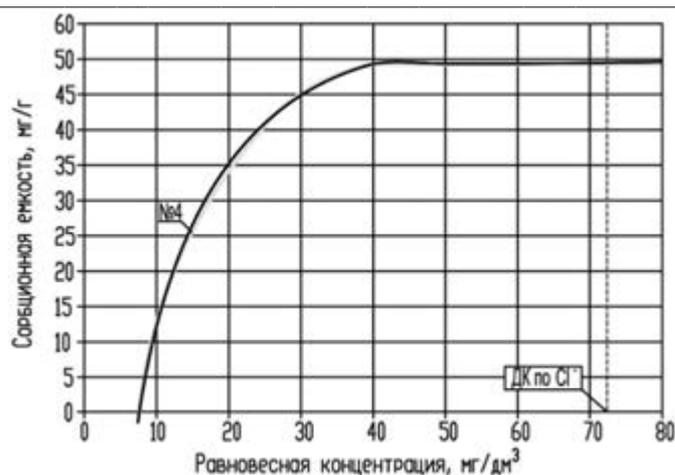


Рис. 6. Изотерма сорбции загрязнений с применением ГКС из модельного раствора № 4

Приведенные на рис. 4—6 изотермы сорбции загрязняющих компонентов из модельных растворов № 1—4 с применением ГКС говорят о том, что с повышением равновесной концентрации рассматриваемых загрязнителей в растворе сорбционная емкость увеличивается. В областях низких концентраций поглотительная способность растет медленно для АПАВ, в то время как у активного хлора наблюдается резкий рост.

Таким образом, опыты с применением ГКС продемонстрировали возможность достижения нормативов ДК по значениям БПК<sub>полн</sub>, ХПК, АПАВам, активному хлору для СВ предприятия табачной индустрии РФ, что делает возможным сброс их в канализационную сеть города. Статическая сорбционная емкость для БПК<sub>полн</sub> составляет 27,1 мг/г, ХПК — 33,4 мг/г, АПАВ — 0,028 мг/г, активного хлора — 49,8 мг/г, при равновесных концентрациях, не превышающих ДК согласно<sup>4</sup>.

Исследования в динамических условиях проводились на проточной модели сорбционного фильтра в течение двух месяцев. За этот период через фильтр с загрузкой ГКС пропущено ~ 120 л каждого модельного раствора (табл. 1). Общая масса сорбента в фильтре составляла 197 г.

Лабораторная установка (рис. 7) состояла из фильтрующей колонки 1, выполненной из оргстекла диаметром 25 мм и высотой 400 мм, загруженной сорбентом. Подача модельных растворов осуществлялась снизу регулируемым перистальтическим насосом 3 из резервуара 2. Отведение очищенной воды осуществлялось через линию 4 в резервуар 5. Отбор проб очищенной воды из фильтра осуществлялся в точке 6. Пробоотборник 6 располагался на высоте 400 мм.

Исследование проводилось следующим образом: в модельную установку (рис. 7) с постоянным расходом — 2,5...4 л/сутки подавались модельные рас-

<sup>4</sup> Постановление Администрации Волгограда от 18 июня 2015 г. № 840 «Об утверждении нормативов водоотведения (сброса) по составу и свойствам сточных вод, отводимых в окружающую природную среду через централизованные системы водоотведения Волгограда». URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/volga/633238/>.

твторы № 1—4, представленные в табл. 1, со скоростью фильтрования 0,45...0,58 м/ч, при этом время пребывания в колонке составляло в среднем 3,5 ч. При проведении опытов два раза в сутки отбирались пробы фильтрата после прохождения его через колонку, в котором определялась остаточная концентрация каждого загрязняющего компонента и эффективность его удаления. Результаты экспериментов приведены в виде выходных кривых поглощения загрязняющих компонентов из модельных растворов № 1—4 на рис. 8—10.

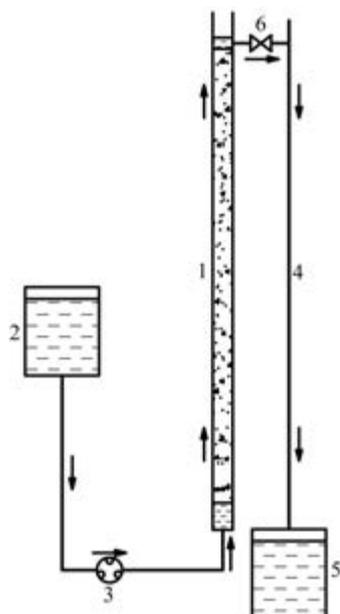


Рис. 7. Схема лабораторной модели сорбционного фильтра: 1 — сорбционная колонка; 2 — резервуар исходной воды; 3 — регулируемый перистальтический насос; 4 — линия отвода очищенной воды; 5 — резервуар очищенной воды; 6 — устройства для отбора проб

На рисунке 8 представлены изотермы сорбции по БПК<sub>полн</sub> (модельный раствор № 1) и ХПК (модельный раствор № 2) на ГКС, полученные в динамических условиях.

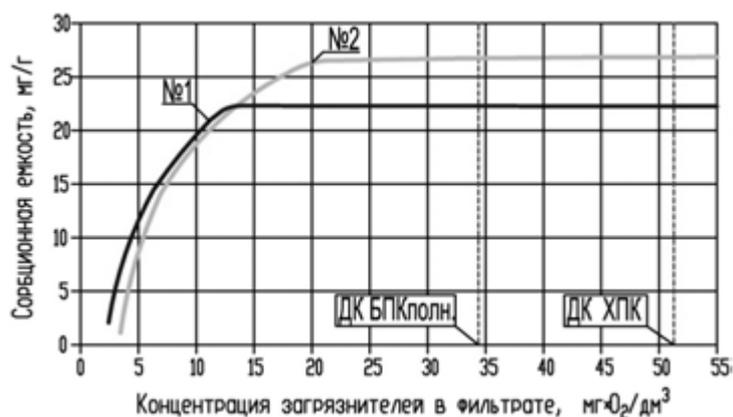


Рис. 8. Зависимость динамической сорбционной емкости от концентраций БПК<sub>полн</sub> (1 — модельный раствор № 1) и ХПК (2 — модельный раствор № 2) в фильтрате

Практически с начала эксперимента происходит значительное снижение исходных концентраций БПК<sub>полн</sub> и ХПК из модельных растворов. Таким образом, в фильтрате концентрация БПК<sub>полн</sub> составляла 13 мг · О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, ХПК — 22 мг · О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Эффективность сорбции БПК<sub>полн</sub> и ХПК на фильтрующей колонке достигала 92,8 и 89,5 % соответственно.

На рисунке 9 представлена изотерма сорбции АПАВ на ГКС, полученная в динамических условиях.

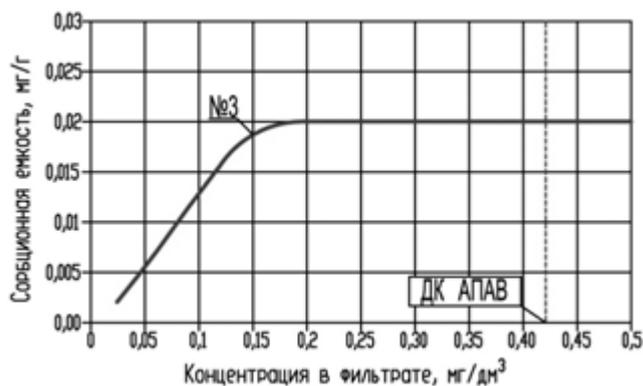


Рис. 9. Зависимость динамической сорбционной емкости от концентрации АПАВ (модельный раствор № 3) в фильтрате

При фильтровании модельного раствора № 3, содержащего в среднем АПАВ — 1 мг/дм<sup>3</sup>, в фильтрате концентрация рассматриваемого загрязнителя в среднем составляла 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация АПАВ в фильтрате постепенно нарастает со временем. Эффективность задержания АПАВ на ГКС в целом в фильтрующей колонке составила в среднем 80 %.

На рисунке 10 представлена изотерма сорбции активного хлора (хлоридов) на ГКС, полученная в динамических условиях.

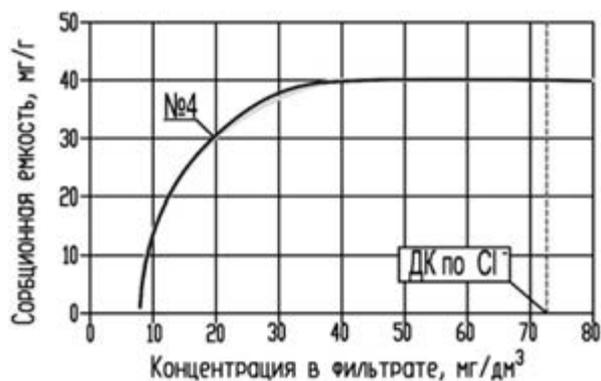


Рис. 10. Зависимость динамической сорбционной емкости от концентрации активного хлора на модельном растворе № 4 в фильтрате

При фильтровании модельного раствора № 4 начальная концентрация активного хлора составляла 1000 мг/дм<sup>3</sup>, в фильтрате концентрация рассматриваемого загрязнителя — 42 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 10). Эффективность задержания

активного хлора на ГКС в целом в фильтрующей колонке составила в среднем 95,8 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что вид полученных экспериментальных изотерм адсорбции из модельных растворов в статических и динамических условиях (рис. 4—6 и рис. 8—10 соответственно) согласно классификации Гильза и Смита относится к классу изотерм Ленгмюра (тип «L-2»), которые описываются уравнением вида [14, 15]:

$$a = \frac{a_m k p}{1 + k p}, \quad (4)$$

где  $a$  — величина адсорбции (сорбционная емкость);  $p$  — равновесная концентрация загрязнителей;  $a_m$  и  $k$  — константы, имеющие следующий физический смысл:  $a_m$  — величина адсорбции, соответствующая полному заполнению поверхности (емкость монослоя),  $k$  — константа, зависящая от энергии адсорбции и температуры.

Приведем значения констант  $a_m$  и  $k$ , входящих в уравнение Ленгмюра (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Значения констант  $a_m$  и  $k$ , входящих в уравнение Ленгмюра

Коэффициенты	Статические условия (№ модельного раствора)				Динамические условия (№ модельного раствора)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
$a_m$	29	35	0,034	55	23,5	29	0,021	43
$k$	1,3	0,6	15	0,16	0,5	0,3	60	0,22

На рисунках 11, 12 приведен сравнительный анализ экспериментальных кривых зависимости величины адсорбции от равновесной концентрации загрязнителей и теоретической зависимости, описываемой формулой (4).

Из приведенных графиков на рис. 11, 12 можно сделать вывод: хотя экспериментальные зависимости и имеют схожий вид с теоретической кривой, однако характер их поведения зачастую не совпадает.

Для проверки предположения о том, что полученные в ходе эксперимента результаты описываются уравнением (4), необходимо преобразовать его к линейному виду следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{a}{p} &= \frac{a_m k}{1 + k p}; \\ \frac{p}{a} &= \frac{1 + k p}{a_m k}; \\ \frac{p}{a} &= \frac{1}{a_m k} + \frac{1}{a_m} p. \end{aligned} \quad (5)$$

В случае выполнимости уравнения Ленгмюра экспериментальные точки должны укладываться на прямую линию. На рисунках 13, 14 приведены зависимости  $\frac{P}{a}(p)$ , полученные для статических и динамических условий.

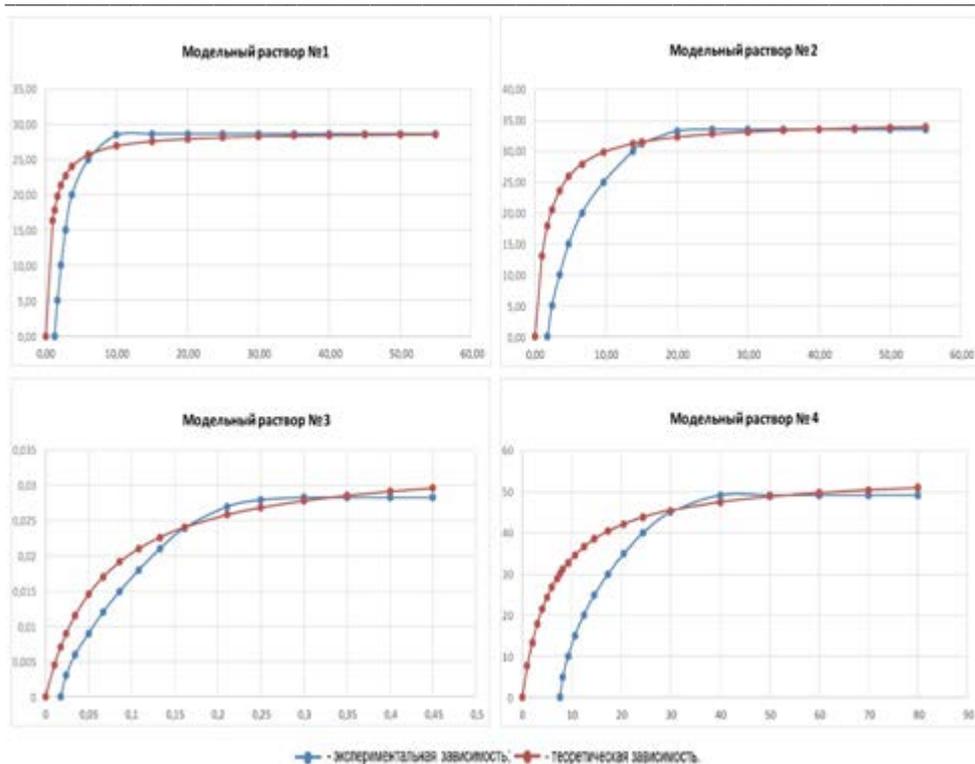


Рис. 11. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических кривых зависимости величины адсорбции от равновесной концентрации в статических условиях

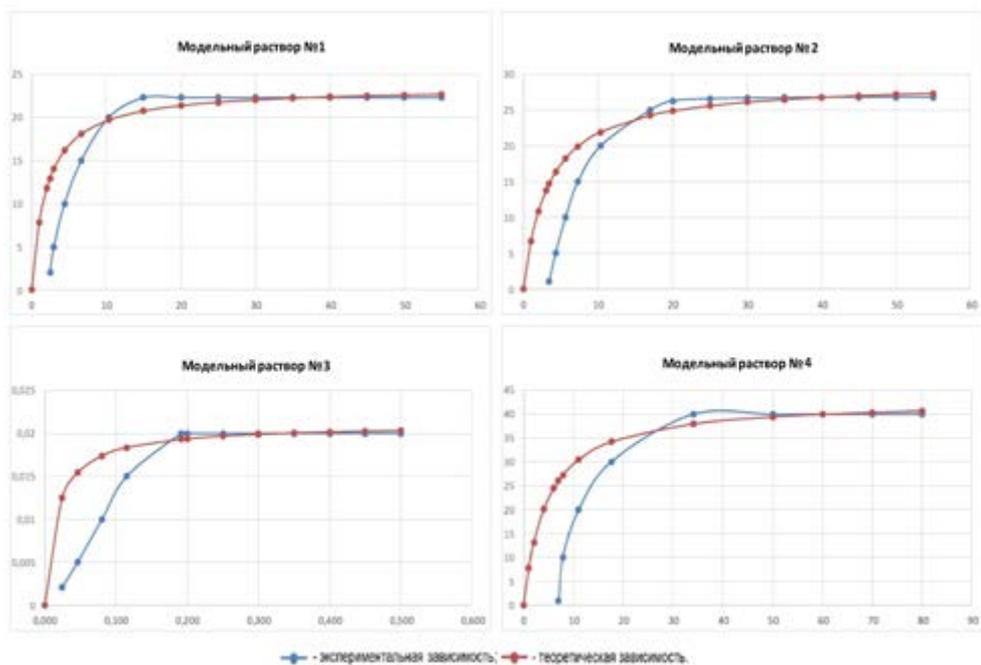


Рис. 12. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических кривых зависимости величины адсорбции от равновесной концентрации в динамических условиях

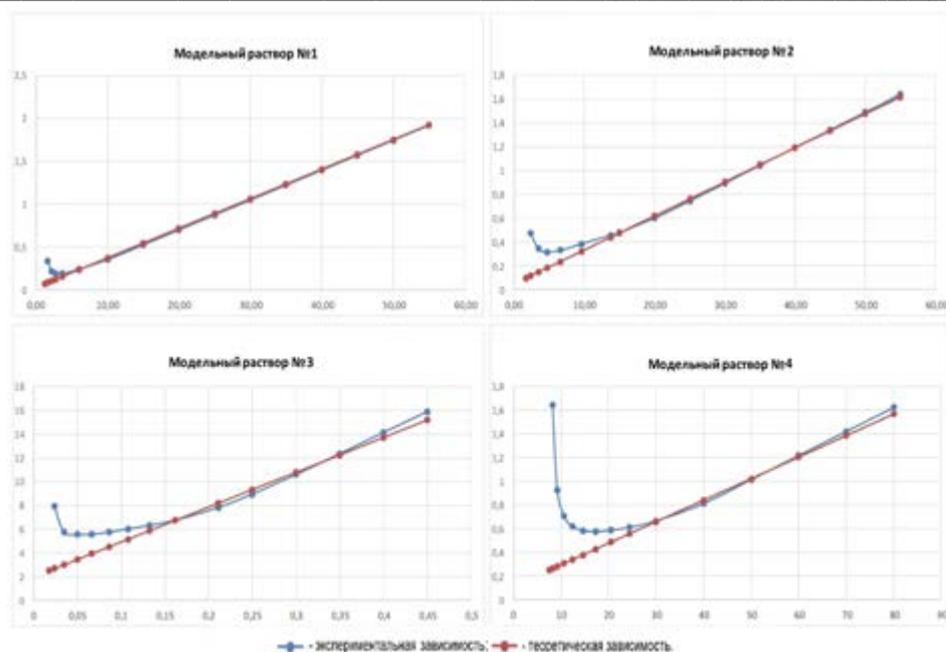


Рис. 13. Сравнительный анализ экспериментальной и теоретической кривых зависимости величины адсорбции от равновесной концентрации загрязнителей, имеющий вид  $\frac{P}{a}(p)$  в статических условиях

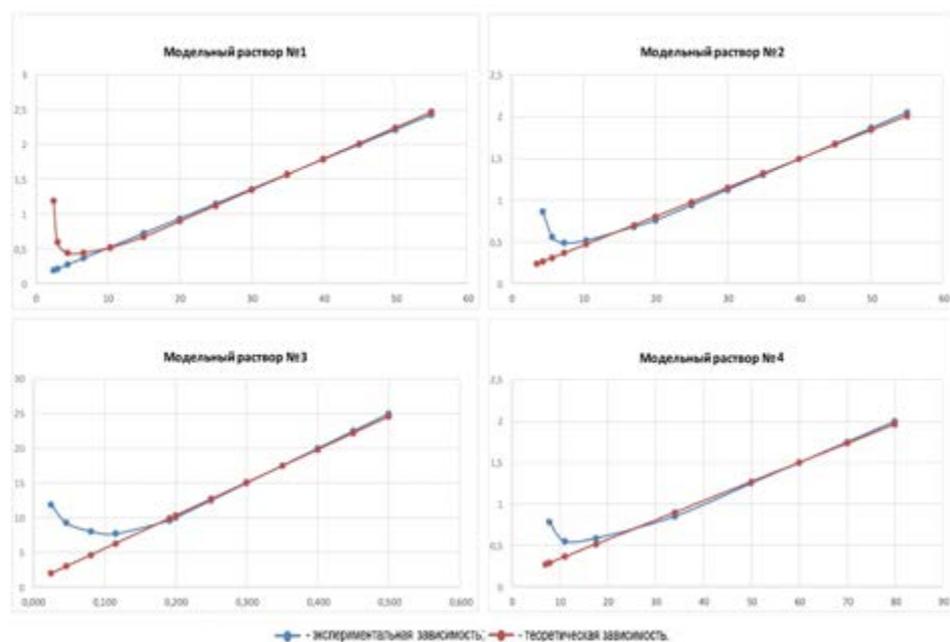


Рис. 14. Сравнительный анализ экспериментальной и теоретической кривых зависимости величины адсорбции от равновесной концентрации загрязнителей, имеющий вид  $\frac{P}{a}(p)$  в динамических условиях

Как видно из рис. 12, 13, экспериментальные точки в основном хорошо ложатся на теоретическую прямую, что подтверждает выдвинутую гипотезу о применимости теории Ленгмюра к полученным в лабораторных условиях экспериментальным данным. Различие кривых наблюдается лишь в областях, где равновесная концентрация загрязнителей ( $p$ ) мала. Это может свидетельствовать о том, что в теории Ленгмюра приняты допущения об отсутствии взаимодействия адсорбированных молекул, а именно в том, что адсорбция вещества происходит не на всей поверхности, а только на активных центрах, причем, когда все активные центры заняты и поверхность адсорбента покрыта слоем толщиной в одну молекулу (мономолекулярный слой), наступает адсорбционное равновесие и дальнейшее увеличение адсорбции невозможно. Однако в действительности поверхность большинства адсорбентов неоднородна, молекулы адсорбата взаимодействуют друг с другом на поверхности адсорбента, и адсорбция часто не заканчивается образованием мономолекулярного слоя.

Таким образом, представленные экспериментальные зависимости сорбционной емкости от концентраций загрязняющих веществ на ГКС в статических и динамических условиях подтверждают возможность математического описания полученных экспериментальных закономерностей процесса сорбционной очистки на основании теории, описанной Ленгмюром.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев С. В., Карелин Я. А. Очистка производственных сточных вод : учеб. пособие. М. : Стройиздат, 1985. 216 с.
2. Практикум по физической химии / под ред. С. В. Горбачева. М. : Высш. шк., 1974. 496 с.
3. Климов Е. С., Бузаева М. В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / под общ. ред. Е. С. Климова. Ульяновск : УлГТУ, 2011. 201 с.
4. Адсорбционная технология очистки сточных вод / А. М. Когановский и др. Киев : Техника, 1981. 175 с.
5. Ахмадеев В. Я., Савина Н. В. Физико-химические методы и основные теоретические принципы адсорбционной очистки сточных вод от органических соединений. М. : ЦНИИ «Электроника», 1975. 60 с.
6. Woolard C. D., Strong J., Erasmus C. R. Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams // *Applied Geochemistry*. 2002. Vol. 17. № 8. Pp. 1159—1164.
7. Новиков А. В., Женихов Ю. Н. Улучшение качества природных и очистка сточных вод : учеб. пособие. Тверь : ТГТУ, 2006. 112 с.
8. Турский Ю. И., Филиппов И. В. Очистка производственных сточных вод : учебник. Ленинград : Химия, 1967. 327 с.
9. Якимова Т. И., Мамченко А. В., Когановский А. М. Исследование адсорбции растворенных веществ промышленными АУ // *Химия и технология воды*. 1978. № 1. С. 26.
10. Jisti D. M., Conway R. A. Activated Carbon Adsorption of Petrochemicals // *J. Water Poll. Control fed.* 1974. V. 46. P. 947.
11. Zuckerman M. M., Molof A. H. Activated Carbon Adsorption of organic from Aqueous Phase // *Water Poll. Control fed.* 1970. V. 42. P. 43.
12. Способ получения сорбента для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений : пат. № 2017108520 Рос. Федерации / Д. О. Игнаткина и др. ; заявл. 14.03.2017 ; опубл. 14.02.2018, Бюл. № 5.
13. Технология получения гранулированного сорбционно-фильтрующего композитного материала на основе отхода производства (на примере предприятия табачной индустрии РФ) / Д. О. Игнаткина и др. // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2017. Вып. 49(68). С. 110—121.
14. Букалов Г. Э. Исследование возможности очистки многокомпонентных сточных вод сорбцией на углеродном сорбенте // *Теория. Практика. Инновации*. 2017. № 6(18). С. 192—197.

15. Математическая модель определения извлекаемой в процессе сорбционной очистки загрязняющих веществ / С. Ю. Андреева и др. // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 1(30). С. 118—123.

© Игнаткина Д. О., Поздняков А. П., Москвичева А. В., Москвичева Е. В., Войтюк А. А., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Математическое описание экспериментальных закономерностей процесса сорбционной доочистки сточных вод на примере предприятия табачной индустрии РФ / Д. О. Игнаткина, А. П. Поздняков, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Войтюк // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 110—123.

Об авторах:

**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](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Поздняков Андрей Петрович** — канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры математики и информатики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto: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](mailto: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](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Войтюк Александр Андреевич** — главный архитектор, ООО «Лэндстрой». Российская Федерация, 400007, г. Волгоград, ул. им. Петра Гончарова, 2, оф. 1, [voityuk.1987@list.ru](mailto:voityuk.1987@list.ru)

**Dar'ya O. Ignatkina<sup>a</sup>, Andrey P. Pozdnyakov<sup>a</sup>, Anastasia V. Moskvicheva<sup>a</sup>,  
Elena V. Moskvicheva<sup>a</sup>, Aleksandr A. Voityuk<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *"Landstroy" LLC*

#### **MATHEMATICAL DESCRIPTION OF EXPERIMENTAL REGULARITIES OF THE PROCESS OF SORPTION PURIFICATION OF SEWAGE ON THE EXAMPLE OF ENTERPRISES IN THE TOBACCO INDUSTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Currently, sorption is promising at the current stage of development of technologies for deep treatment of waste (CB) from organic and inorganic substances. Adsorption processes can be carried out in static or dynamic variants. In this article, the authors studied the processes of adsorption of pollutants that are part of the CB enterprises of the tobacco industry of the Russian Federation using granular composite sorbent (GCS) developed at the Department of water Supply and sanitation VSTU in static and dynamic conditions, as well as a mathematical assessment of the reliability of the experimental data according to the Langmuir equation.

**Key words:** wastewater, tobacco industry sorption purification, sorbent.

*For citation:*

Ignatkina D. O., Pozdnyakov A. P., Moskvicheva A. V., Moskvicheva E. V., Voityuk A. A. [Mathematical description of experimental regularities of the process of sorption purification of sewage on the example of enterprises in the tobacco industry of the Russian Federation]. *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], 2019, iss. 4, pp. 110—123.

*About authors:*

**Dar'ya O. Ignatkina** — Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Andrey P. Pozdnyakov** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Docent of Mathematics and Informatics Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Anastasia V. Moskvicheva** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Elena V. Moskvicheva** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Aleksandr A. Voityuk** — Chief Architect, "Landstroy" LLC. 2, Petra Goncharova St., Volgograd, 400007, Russian Federation, [voityuk.1987@list.ru](mailto:voityuk.1987@list.ru)

УДК 66.045.54

**Н. А. Меренцов<sup>а</sup>, В. Н. Лебедев<sup>б</sup>, А. В. Персидский<sup>в</sup>, А. С. Шилихин<sup>г</sup>,  
А. Б. Голованчиков<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *филиал ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ВолгоградНИПИморнефть*

<sup>в</sup> *Титан-Баррикады*

<sup>г</sup> *Волгоградская академия МВД РФ*

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ АППАРАТОВ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ**

В работе представлены схема и алгоритм автоматического управления режимами работы аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды локальных систем оборотного водоснабжения. Приведен принцип регистрации параметров и режим автоматической калибровки на стадии пусконаладочных работ и в процессе работы теплообменного технологического оборудования. Представлена классифицирующая методика  $\lambda = f(\text{Re}_m)$  обработки экспериментальных данных при проведении гидравлических экспресс-исследований, позволяющая дать ориентир промышленного применения насадочным материалам, ориентированным на теплообмен процесс испарительного охлаждения промышленной оборотной воды. Приведен новый подход к использованию отходов металлообрабатывающих станков в виде спрессованных блоков металлической стружки, поддающихся объемному упругому деформированию, что позволяет осуществлять автоматическую регулировку режимов работы и частично решить серьезнейшую проблему утилизации промышленных отходов машиностроительных предприятий.

**Ключевые слова:** испарительное охлаждение, теплообменные насадки, малогабаритные градирни, автоматическое управление режимами, оборотное водоснабжение, утилизация отходов, отходы металлообрабатывающих станков, гидродинамические режимы.

Отвод низкопотенциального тепла от оборотной воды путем ее охлаждения воздухом широко используется в различных технических устройствах и технологических системах. Этот способ охлаждения оборотной воды широко применяется во многих отраслях промышленности, на предприятиях химической, нефтехимической, нефтегазовой, атомной, металлургической, строительной, пищевой и многих других смежных отраслях. В локальных системах оборотного водоснабжения широко используются малогабаритные аппараты испарительного охлаждения (градирни) [1]. Поэтому разработка конструкций аппаратов испарительного охлаждения, обладающих при малых габаритах и энергетических затратах относительно высокой тепловой производительностью, является актуальной инженерной задачей. Основным конструктивным элементом аппаратов испарительного охлаждения, отвечающим за качественную работоспособность, является теплообменная насадка (ороситель). Основное назначение теплообменных насадочных контактных устройств — это развитие поверхности контакта между контактирующими фазами, однако есть еще более важные характеристики, такие как способность развития интенсивных гидродинамических режимов работы, удерживающая способность и т. д. Работа над развитием указанных характеристик и интенсификацией теплообменных процессов всегда граничила с невероятно заманчивой перспективой управления гидродинамическими режимами

ми работы насадочных теплообменных аппаратов и создания насадочных контактных устройств, способных автоматически подстраиваться под эталонные режимы работы вне зависимости от колебаний расходов контактирующих фаз и сезонных условий эксплуатации оборудования.

Известно огромное количество теплообменных насадочных устройств, ориентированных на широкий спектр технологических задач и видов технологического оборудования [2—19]. Однако, несмотря на несомненную высокую эффективность многих из них, они обладают рядом существенных недостатков, таких как высокая стоимость, трудоемкость и технологичность при изготовлении, отсутствие возможности регулирования основных геометрических и технологических параметров, узкая направленность под требования конкретного технологического процесса. Работа над устранением указанных выше недостатков привела нас к перспективному направлению по изучению и разработке новых теплообменных контактных насадочных устройств, которые могут поддаваться автоматическому регулированию под требования конкретного процесса и аппарата, обладают естественными структурными и поверхностными эффектами интенсификации, связанными с особенностями изготовления и очень низкой стоимостью, так как использование данных насадочных материалов сопряжено с утилизацией промышленных отходов широкого спектра предприятий (машиностроительных, оборонной и других отраслей промышленности), образующихся в огромных количествах на металлообрабатывающих предприятиях [20, 21]. И самое главное, использование такого рода насадочных материалов в сочетании с разработанными системами автоматического регулирования позволит управлять гидродинамическими режимами работы теплообменных аппаратов испарительного охлаждения и осуществлять текущую автоналадку технологических параметров теплообменных аппаратов. Речь идет о металлической стружке, то есть отходах металлообрабатывающих станков, которые образуются в ходе механической обработки нержавеющей высоколегированных марок сталей, именно они представляют для нас особый интерес, так как обладают в зависимости от состава устойчивостью к атмосферным воздействиям, химической стойкостью, коррозионной стойкостью, кислотостойкостью, достаточно высокой механической прочностью и высокими показателями упругости. Помимо доступности и устойчивости к агрессивным средам у данного насадочного материала (металлической стружки) есть два основных преимущества: естественные эффекты интенсификации, связанные со спиральной структурой насадочных элементов и образованием микрооребреной поверхности, и возможность упругого механического регулирования объема насадочного материала, что дает возможность управлять гидродинамическими режимами, а соответственно, интенсифицировать теплообменные процессы в аппаратах испарительного охлаждения промышленной оборотной воды и при необходимости снижать капельный унос воды из аппарата, тем самым снизить потери и требуемое восполнение оборотных промышленных циклов. Нужно иметь в виду, что в качестве упруго-деформируемых насадочных блоков испарительного охлаждения, подлежащих автоматическому регулированию, могут выступать любые материалы, проявляющие объемно-упругие свойства, несмотря на то, что особое внимание мы уделяем спрессо-

ваным блокам металлической стружки (отходам металлообрабатывающих станков) как наиболее доступным и перспективным.

Автоматизированная система управления аппарата испарительного охлаждения, представленная на рис. 1, предназначена для автоматизированного поиска и поддержания режима работы аппарата, позволяющего обеспечить заданную температуру охлажденного теплоносителя (воды) при наименьших энергетических затратах.

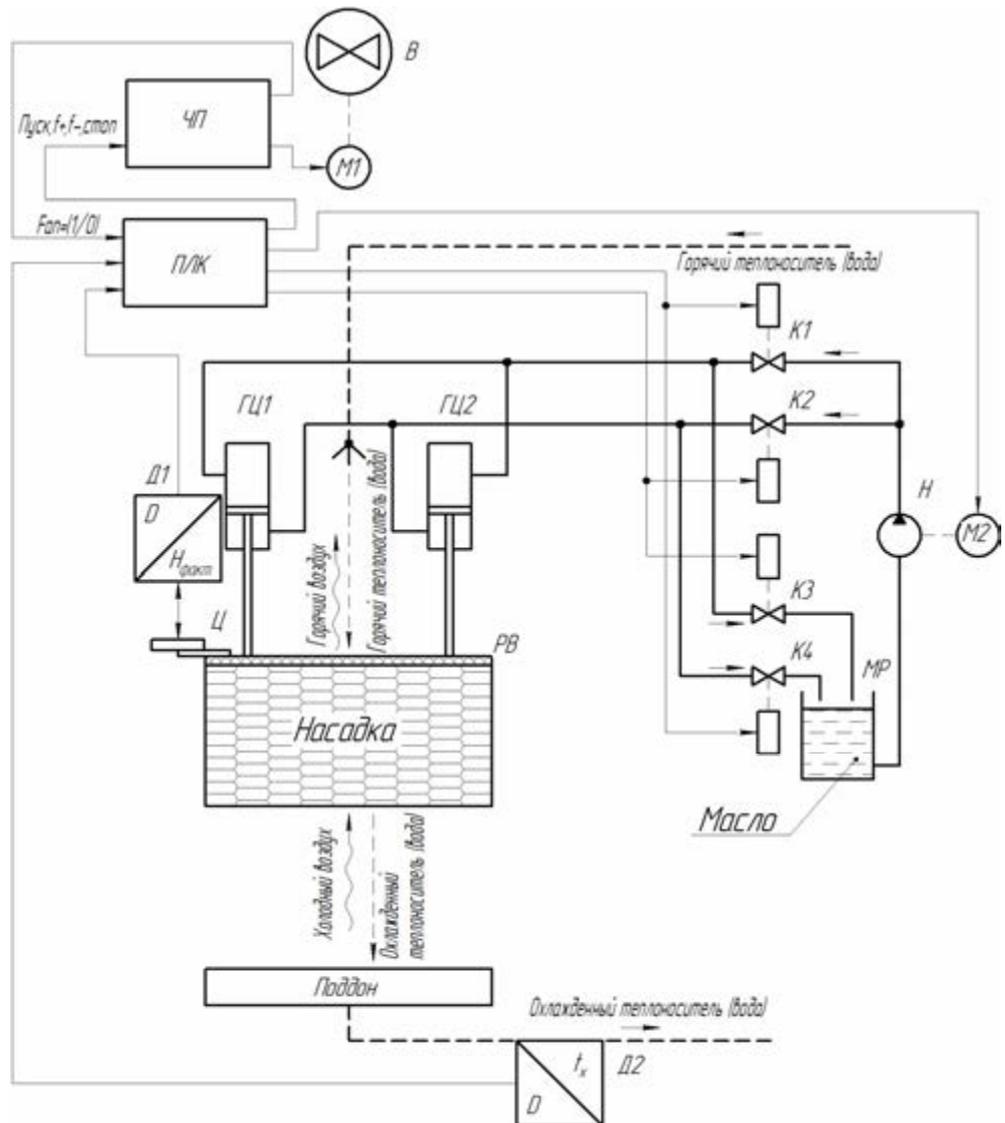


Рис. 1. Автоматизированная система управления аппарата испарительного охлаждения

Система управления состоит из гидравлических цилиндров ГЦ1 и ГЦ2, перемещающих вертикально решетку РВ, что вызывает упругую деформацию (сжатие) насадки, когда решетка опускается, и разжатие, когда решетка

поднимается. На корпусе одного из гидроцилиндров закреплен ультразвуковой датчик расстояния, измеряющий расстояние до цели  $C$  — металлической пластины, закрепленной на решетке. В выводном трубопроводе установлен датчик температуры, измеряющий температуру теплоносителя, прошедшего через аппарат. Информация с датчиков передается в программируемый логический контроллер  $ПЛК$ , в котором циклически выполняется управляющая программа. Согласно программе контроллер выдает сигналы управления на гидравлические клапаны  $K1...K4$ , причем клапаны  $K1$  и  $K2$  служат для нагнетания масла соответственно в верхние и нижние камеры гидроцилиндров, а  $K3$  и  $K4$  — для сброса масла из камер в масляный резервуар  $MP$ . Масляный насос  $H$  служит для создания давления масла в гидросистеме. Его приводной электродвигатель  $M2$  запускается и останавливается по командам  $ПЛК$ .

Электродвигатель  $M1$  осевого вентилятора  $B$  получает питание через частотный преобразователь  $ЧП$ , при этом  $ПЛК$  передает на  $ЧП$  управляющие команды на запуск, остановку электродвигателя, а также на увеличение ( $f+$ ) или уменьшение ( $f-$ ) частоты питающего напряжения электродвигателя  $M1$ . При этом от  $ЧП$  на входы  $ПЛК$  приходит сигнал о том, что электродвигатель вентилятора запущен ( $Fan = (0$  или  $1)$ ).

На рисунке 2 представлен алгоритм управляющей программы. На первом шаге оператор вводит значение необходимой температуры теплоносителя на выходе из аппарата  $t_{\text{треб}}$ . Затем программа получает из памяти контроллера значения постоянных, зависящих от конкретного аппарата. Время реакции градирни  $T_p$  — это время, проходящее от момента изменения параметра работы аппарата до соответствующего изменения температуры теплоносителя. Погрешность контроля температуры определяет пределы отклонения фактической температуры выходящего теплоносителя от  $t_{\text{треб}}$ , считающиеся допустимыми. Нижняя  $H_{\text{max}}$  и верхняя  $H_0$  предельные координаты решетки — это расстояние по датчику  $Д1$ , соответствующее крайним нижнему и верхнему положению решетки. Эти значения вводятся в память  $ПЛК$  во время пусконаладочных работ и определяются экспериментально. Также инициализируется переменная — «флаг»  $Fan$ , показывающая, что вентилятор аппарата запущен.

Далее программа определяет минимум  $t_{\text{min}}$  и максимум  $t_{\text{max}}$  интервала температуры, в котором необходимо удерживать температуру выходящего теплоносителя.

Затем программа получает с датчика  $Д1$  фактическое расстояние до цели на решетке, то есть фактическую координату решетки  $H_{\text{факт}}$ . Дальнейшее выполнение программы происходит в два потока.

В первом потоке происходит получение температуры теплоносителя  $t_r$  с датчика  $Д2$ , а затем получение статуса электродвигателя вентилятора  $Fan$ . Далее программа сравнивает фактическую температуру выходящего из аппарата теплоносителя с предельными значениями диапазона допустимых температур  $t_{\text{min}}$  и  $t_{\text{max}}$ . Если охлажденный теплоноситель холоднее минимальной температуры диапазона, программа уменьшает требуемую координату решетки на один шаг, равный  $1/100$  величины хода решетки. Это вызывает подъем решетки и разжатие насадки. Далее программа проверяет одновременное выполнение условий: рассчитанная требуемая координата решетки равна координате крайнего верхнего положения или выше нее и рабочий вен-

тилятор аппарата. Если условия выполняются, ПЛК передает на частотный преобразователь команду уменьшить частоту вращения вентилятора на один шаг, а если вентилятор вращался с минимальной частотой — остановить его. Затем программа принудительно присваивает переменной требуемой координаты решетки значение крайней верхней координаты. Если одно из условий не выполнялось, программа не изменяет режим работы вентилятора.

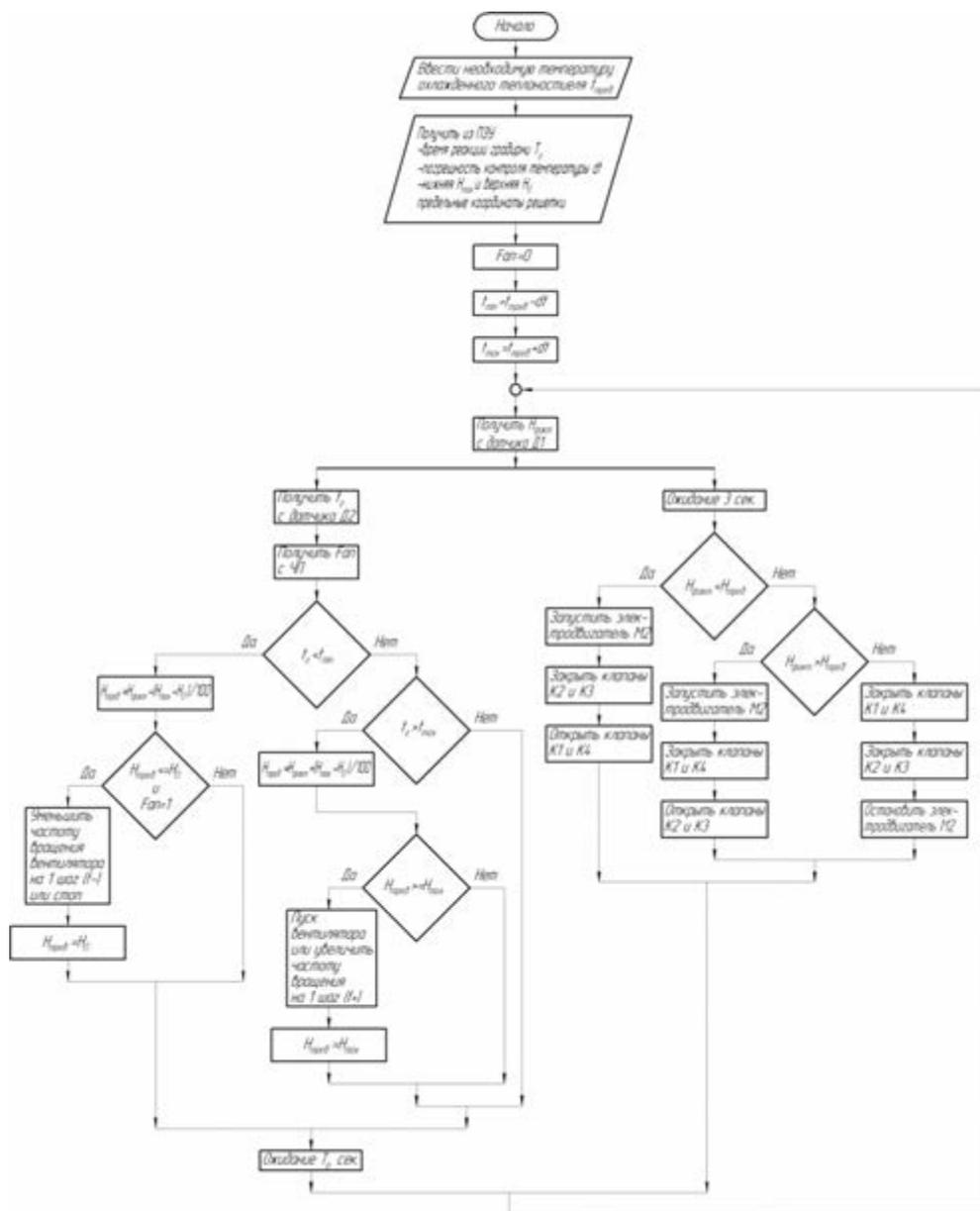


Рис. 2. Алгоритм автоматического управления режимами работы аппаратов испарительного охлаждения

Если охлажденный теплоноситель горячее максимальной температуры диапазона, программа увеличивает требуемую координату решетки на один шаг. Это вызывает опускание решетки и сжатие насадки. Далее программа проверяет выполнение условия: рассчитанная требуемая координата решетки равна координате крайнего нижнего положения или выше нее. Если это условие выполняется, ПЛК выдает на частотный преобразователь команду увеличить частоту вращения на один шаг, а если вентилятор не работал — запустить его на минимальной частоте. После этого программа принудительно присваивает переменной требуемой координаты решетки значение, соответствующее ее нижнему предельному положению.

Если ни одно из условий сравнения с предельными значениями диапазона температур не выполнилось, значит, температура теплоносителя находится в допустимых пределах, и изменять режим работы аппарата не требуется.

Далее программа ожидает в течение времени, соответствующего времени отклика, а затем повторяет описанные действия, начиная с момента получения фактической координаты решетки.

Во втором потоке программа управляет гидравлической системой для достижения решеткой вычисленных требуемых координат. После получения с датчика Д1 фактической координаты решетки  $H_{\text{факт}}$  программа ожидает в течение 3 секунд, чтобы алгоритм первого потока выполнялся полностью минимум один раз. Программа проверяет, находится ли решетка в данный момент выше требуемой координаты. Если это условие выполняется, контроллер выдает команду на запуск электродвигателя М2 привода гидронасоса. После этого ПЛК выдает команду на закрытие клапанов К2 и К3 и открытие клапанов К1 и К4. Масло начинает нагнетаться в верхние камеры цилиндров и сбрасываться из нижних, что приводит к опусканию решетки.

Если условие не выполняется, программа проверяет, находится ли решетка в данный момент ниже требуемой координаты. Если это условие выполняется, ПЛК выдает команду на запуск электродвигателя М2 привода гидронасоса. После этого ПЛК выдает команду на закрытие клапанов К1 и К4 и открытие клапанов К2 и К3. Масло начинает нагнетаться в нижние камеры цилиндров и сбрасываться из верхних, что приводит к подъему решетки.

Если ни одно из условий не выполнилось, решетка находится в требуемом положении. В этом случае контроллер выдает команду на закрытие всех клапанов К1—К4, что приводит к фиксации решетки, после чего останавливает электродвигатель М2.

Выполнение этого алгоритма также циклически повторяется, тем самым обеспечивается постоянный контроль температуры выходящего теплоносителя и адаптация режима работы аппарата для обеспечения достаточного охлаждения теплоносителя при минимальных энергетических затратах.

То есть в самых неблагоприятных сезонных условиях работы теплообменного аппарата испарительного охлаждения будет автоматически настраиваться и переходить на интенсивный гидродинамический режим работы, при густой спрессованной насадке и высоких скоростях омывания воздушным потоком эти условия способствуют интенсификации процессов тепло- и массопередачи. Режим автоматической калибровки параметров позволит аппарату настраиваться на эталонные режимы работы. В процессе изменения погодных сезонных условий тепловая производительность будет снижаться и аппарат

автоматически перестроится на плавные энергосберегающие режимы с увеличением порозности насадочных блоков и снижением интенсивности воздушного потока вплоть до полного отключения вентилятора.

На рисунке 3 приведен теплообменный аппарат испарительного охлаждения оборотной воды с автоматическим регулированием режимов работы насадочного блока.

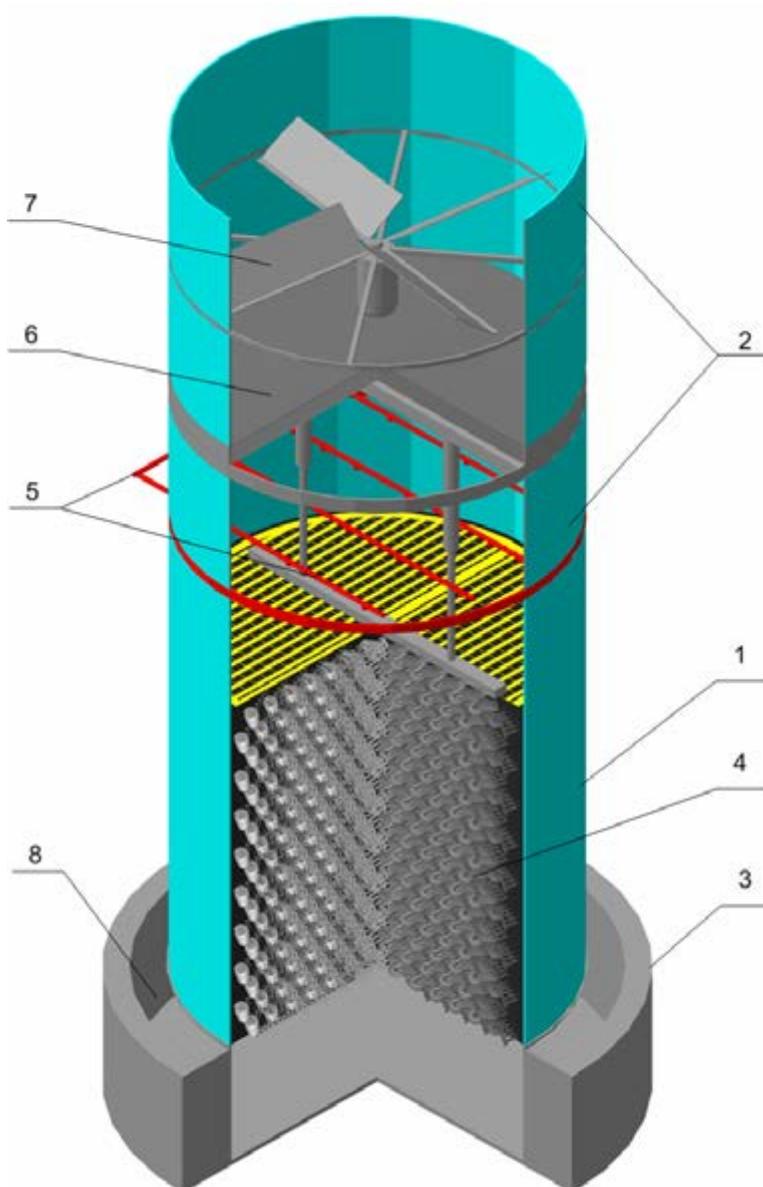


Рис. 3 Теплообменный аппарат испарительного охлаждения оборотной воды с автоматическим регулированием режимов работы насадочного блока: 1 — корпус аппарата; 2 — верхние секции; 3 — водосборная емкость; 4 — упруго-деформируемый насадочный блок; 5 — оросительные устройства; 6 — каплеотбойник; 7 — вентилятор; 8 — воздухозаборные окна

Разработана классифицирующая методика обработки экспериментальных данных  $\lambda = f(Re_m)$ , подробно описанная в работах [22—25], позволяющая после гидродинамических экспресс-исследований насадочных материалов дать ориентир их промышленного применения, в частности для процесса испарительного охлаждения оборотной воды, и спрогнозировать показатели насадочного материала с точки зрения энергоэффективности в процессе эксплуатации. Классифицирующая фильтрационная кривая  $\lambda = f(Re_m)$  представлена на рис. 4. Согласно классифицирующей критериальной зависимости  $\lambda = f(Re_m)$  насадочные материалы, применимые для процесса испарительного охлаждения оборотной воды, лежат в диапазоне от 1 до 100 по модифицированному критерию Рейнольдса  $Re_m$  и от 1 до 4 по коэффициенту гидравлического сопротивления для дискретной модели  $\lambda$ . Разработанная классифицирующая методика обработки экспериментальных данных  $\lambda = f(Re_m)$  открывает уникальные возможности в обобщении огромных массивов информации по фильтрационным кривым насадочных материалов и существенно упрощает работу по распознаванию промышленных отходов металлообработки, представляющих определенный интерес в качестве их дальнейшего промышленного применения в качестве блоков испарительного охлаждения оборотной воды промышленных предприятий.

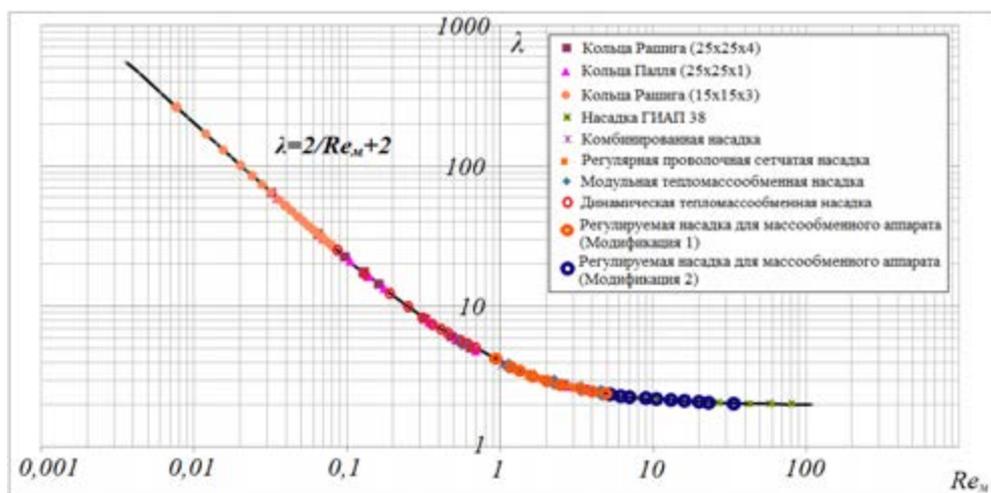


Рис. 4. Классифицирующая критериальная зависимость  $\lambda = f(Re_m)$  образцов насадочных материалов согласно спектру технологических процессов

### Заключение

Разработанная система автоматического регулирования режимов работы насадочных теплообменных аппаратов испарительного охлаждения оборотной воды локальных систем оборотного водоснабжения позволяет осуществлять автоналадку гидродинамических режимов, тем самым автоматически настраиваться на наилучшую тепловую производительность при наименьших показателях уноса, и все это в совокупности с комплексной системой регистрации параметров, нивелирующей сезонные условия эксплуатации аппаратов испарительного охлаждения.

Представлен режим автоматической калибровки технологических параметров аппаратов испарительного охлаждения, позволяющий распознать и поддерживать в ходе работы эталонные теплофизические показатели работы, с учетом гидродинамических особенностей конкретного насадочного материала (насадочного блока испарительного охлаждения) и других важнейших факторов, оказывающих определяющее воздействие на работоспособность аппаратов, таких как масштабный перенос, сезонные особенности эксплуатации и т. д.

Использование в качестве автоматически регулируемых насадочных блоков испарительного охлаждения спрессованной металлической стружки за счет реализации эталонных гидродинамических режимов и возможности тонкого автоматического регулирования с учетом комплексной системы регистрации параметров, не говоря о стоимости и технологии получения, обязывает нас развивать данное перспективное направление. Экспериментальные данные показали, что по всем основным гидравлическим характеристикам секционное регулирование насадочного материала позволяет осуществлять работу в очень широком режимном диапазоне, то есть позволит эффективно заменить большое количество промышленных насадочных устройств [20, 21].

Разработанная методика классификации насадочных материалов  $\lambda = f(\text{Re}_m)$  позволяет очень быстро и точно дать ориентир промышленного применения данного образца насадочного материала в качестве блока испарительного охлаждения промышленных аппаратов либо убедиться в том, что исследуемый насадочный материал интереса не представляет. Для этого лишь нужно провести простейшие гидродинамические экспресс-испытания насадочных материалов и обработать полученные данные при помощи разработанной методики [22—25].

Не следует забывать о том, что в качестве насадочного материала автоматически регулируемых блоков испарительного охлаждения может выступать не только упруго-деформируемая металлическая стружка в виде отходов, которая заведомо ставит нас, как исследователей и проектировщиков технологического оборудования, в определенные рамки, но и насадочный материал для блоков испарительного охлаждения может быть получен целенаправленно путем механической обработки заготовок, обладающих требуемыми химическими и физико-механическими характеристиками, и при определенных режимах резания для придания насадочным материалам требуемых геометрических и поверхностных характеристик, отвечающим акцентированным требованиям аппаратов испарительного охлаждения оборотной воды и сопутствующим наилучшим теплофизическим показателям их работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Автономные системы оборотного водоснабжения для малотоннажных химических производств // Известия ВолгГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. Волгоград, 2011. № 1. С. 102—104.
2. Насадки массообменных колонн / Б. А. Сокол и др. ; под ред. Д. А. Баранова. М. : Инфохим, 2009. 358 с.
3. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / А. М. Каган и др. ; под ред. А. Г. Лаптева. Казань : Отечество. 2013. 454 с.
4. Study of Fluid Dynamics of Mass-Transfer Apparatuses Having Stream-Bubble Contact Devices / I. N. Madyshv, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 52. № 5-6. Pp. 299—304.

5. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N. Optimal Designing of Mass Transfer Apparatuses with Jet-Film Contact Devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. № 7-8. Pp. 430—434.
6. Gorodilov A. A., Pushnov A. S., Berengarten M. G. Improving the Design of Grid Packing // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014. Vol. 50/ № 1-2. Pp. 84—90.
7. Efficiency of the Contact Stage of a Jet-Film Device During Rectification of Ethylbenzene–Styrene Mixture / A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, I. N. Madyshev, A. N. Nikolaev // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53/ № 7-8. Pp. 501—507.
8. Совершенствование конструкций нерегулярных металлических насадок / А. М. Каган и др. // *Химическая промышленность сегодня*. 2008. Т. 85. № 1. С.45—48.
9. Assessment of Change in Torque of Stream-Bubble Contact Mass Transfer Devices / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51. № 5-6. Pp. 383—387.
10. Тепломассообменная насадка испарительного охлаждения с развитым капельным режимом орошения (в порядке обсуждения) / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, А. Б. Голованчиков и др. // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2019. № 5. С. 4—14.
11. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляторной градирни с капельным орошением // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2012. № 28(47). С. 171—178.
12. Heat and Mass Exchange Packing for Desinfection of Circulation Water in Electric Field / N. Merentsov, A. Persidskiy, V. Lebedev, N. Prokhorenko, A. Golovanchikov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 983. Pp. 547—559.
13. Экспериментальное исследование модульной тепломассообменной насадки градирен / Н. А. Меренцов, Е. Э. Нефедьева, В. Н. Лебедев, Е. А. Циркунова и др. // *Вестник Казанского гос. технол. ун-та*. 2017. Т. 20, № 24. С. 141—144.
14. Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Balashov V. A. Modeling and analysis of a mechanical-draft cooling tower with wire packing and drip irrigation // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48. № 9-10. С. 595—601.
15. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Моделирование и расчет вентиляторной градирни с проволочной насадкой и капельным орошением // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2012. № 10. С. 3—6.
16. Моделирование гидромеханических и тепло- и массообменных процессов в вентиляторной градирне с капельным орошением и проволочной насадкой / А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, Я. А. Орлянкина // *Известия ВолГТУ. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах*. 2012. № 10(97). С. 22—28.
17. Регулярная блочная сетчатая насадка для локальных систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, И. А. Хижняков, В. А. Балашов и др. // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2017. № 50(69). С. 80—87.
18. Experimental assessment of heat and mass transfer of modular nozzles of cooling towers / N. A. Merentsov, V. N. Lebedev, A. B. Golovanchikov, V. A. Balashov, E. E. Nefed'eva // *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 115. № 012017. Pp. 9.
19. Экспериментальное исследование характеристик тепломассообменных насадочных устройств: учеб. пособие / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов. Волгоград : ВолГТУ, 2018. 94 с.
20. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Моделирование тепломассообменных насадочных устройств с развитым капельным режимом течения : монография. Волгоград : ВолГТУ, 2019. 140 с.
21. Modelling and Calculation of Industrial Absorber Equipped with Adjustable Sectioned Mass Exchange Packing / N. Merentsov, A. Persidskiy, V. Lebedev, M. Topilin, A. Golovanchikov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 983. Pp. 560—573.
22. Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A. The filtration equation for packing material // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. № 1-2. Pp. 10—13.
23. Method for experimental data processing in the sphere of hydrodynamics of packed heat and mass exchange apparatuses / N. A. Merentsov, V. A. Balashov, D. Y. Bunin, V. N. Lebedev etc. // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 243.
24. Меренцов Н. А., Балашов В. А., Орлянкина Я. А. Критериальное уравнение для расчета гидравлического сопротивления сухой насадки // *Известия ВолГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии*. 2013. № 1(104). С. 112—114.

25. Голованчиков А. Б., Балаиов В. А., Меренцов Н. А. Уравнение фильтрации для насадочных контактных устройств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2017. № 1. С. 8—10.

© Меренцов Н. А., Лебедев В. Н., Персидский А. В., Шилихин А. С., Голованчиков А. Б., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Автоматическое управление режимами работы аппаратов испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, А. С. Шилихин, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 124—135.

Об авторах:

**Меренцов Николай Анатольевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, [steerle@mail.ru](mailto:steerle@mail.ru), [rahp@vstu.ru](mailto:rahp@vstu.ru)

**Лебедев Виталий Николаевич** — инженер, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг Волгоград-НИПИморнефть». Российская Федерация, Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 96, [oilproject@lukoilvmn.ru](mailto:oilproject@lukoilvmn.ru)

**Персидский Александр Владимирович** — инженер-конструктор, АО ФНПЦ «Титан-Баррикады». Российская Федерация, 400071, г. Волгоград, [a-persidsky@yandex.ru](mailto:a-persidsky@yandex.ru)

**Шилихин Александр Сергеевич** — преподаватель кафедры физической подготовки, Волгоградская академия МВД РФ. 400089, г. Волгоград, ул. Историческая, 130, [aleksandr\\_strong5@mail.ru](mailto:aleksandr_strong5@mail.ru)

**Голованчиков Александр Борисович** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, [rahp@vstu.ru](mailto:rahp@vstu.ru)

**Nikolai A. Merentsov<sup>a</sup>, Vitalii N. Lebedev<sup>b</sup>, Aleksandr V. Persidskiy<sup>c</sup>,  
Aleksandr S. Shilikhin<sup>d</sup>, Aleksandr B. Golovanchikov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft*

<sup>c</sup> *Titan-Barrikady*

<sup>d</sup> *Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*

## **AUTOMATIC ADJUSTMENT FLOW MODES OF EVAPORATION COOLING APPARATUSES OF INDUSTRIAL WATER SUPPLY**

The paper presents the scheme and algorithm for automatic adjustment of flow modes of the evaporative cooling apparatus of industrial circulating water of local circulating water supply systems. The principle of registration of parameters and the mode of automatic calibration at the stage of commissioning and during the operation of heat and mass transfer process equipment are given. A classification method  $\lambda = f(Re_m)$  for processing experimental data during hydraulic express studies is presented, which allows us to provide a guideline for industrial application of packed materials oriented to heat and mass transfer process of evaporative cooling of industrial circulating water. A new approach to the use of waste metal-processing machines, in the form of compacted metal chips, amenable to volumetric elastic deformation, which allows automatic adjustment of operating modes and partially solve the serious problem of recycling industrial waste engineering enterprises.

**Key words:** evaporative cooling, heat and mass transfer packed, small-sized cooling towers, automatic adjustment of modes, circulating water supply, waste disposal, waste of metalworking machines, hydrodynamic modes.

*For citation:*

Merentsov N. A., Lebedev V. N., Persidskiy A. V., Shilikhin A. S., Golovanchikov A. B. [Automatic adjustment flow modes of evaporation cooling apparatuses of industrial water supply]. *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], 2019, iss. 4, pp. 124—135.

*About authors:*

**Nikolai A. Merentsov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, [steeple@mail.ru](mailto:steeple@mail.ru), [pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

**Vitalii N. Lebedev** — Engineer, branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft. 96, Lenina Ave., Volgograd, Russian Federation, [oilproject@lukoilmn.ru](mailto:oilproject@lukoilmn.ru)

**Aleksandr V. Persidskiy** — Design engineer, Titan-Barrikady. Volgograd, 400071, Russian Federation, [a-persidsky@yandex.ru](mailto:a-persidsky@yandex.ru)

**Aleksandr S. Shilikhin** — Lecturer, Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. 130, Istoricheskaya St., Volgograd, 400089, Russian Federation, [aleksandr\\_strong5@mail.ru](mailto:aleksandr_strong5@mail.ru)

**Aleksandr B. Golovanchikov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, [pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

УДК 62-82:69.002.5

**Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, Ю. М. Фетисов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРИВОД РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

В дорожно-строительных машинах, стационарном и мобильном оборудовании широко используют объемный гидравлический привод рабочих органов, который в эксплуатации из-за неисправности рукавов высокого давления приводит к несанкционированному выбросу в атмосферу рабочей жидкости, к ухудшению экологической безопасности окружающей среды. Для борьбы с указанными последствиями разработаны организационные и технические средства, которые предполагают устранение причин, вызывающих эксплуатационные потери рабочей жидкости. Однако исследования показывают, что современные технические средства не всегда обеспечивают надежную защиту окружающей среды. Авторами проведен анализ технических решений способов защиты гидропривода и предложена принципиально новая конструкция системы защиты гидропривода от аварийного выброса рабочей жидкости в атмосферу.

**Ключевые слова:** дорожно-строительные машины, гидрофицированное оборудование, гидравлический привод, устройство запорное, плунжер, торонд, клапан конический, «гидравлическая подушка», рукав высокого давления, сливная линия.

Рабочий технологический процесс дорожно-строительных и промышленных машин, оснащенных объемным гидравлическим приводом рабочих органов, как правило, сопровождается знакопеременными динамическими нагрузками. Многократное переключение гидрораспределителем направления силового потока рабочей жидкости исполнительного механизма гидропривода приводит к усталостному разрушению рукавов высокого давления и, как следствие, к несанкционированному выбросу в атмосферу рабочей жидкости.

При 6-секундной цикличности нагружения рабочего органа бульдозера число включений гидрораспределителя составляет около 200 тыс. раз, что вызывает усталостное повреждение рукавов высокого давления.

Увеличение мощности гидропривода и номинального рабочего давления в гидравлической системе также приводит к преждевременному разрушению рукавов высокого давления и несанкционированному выбросу рабочей жидкости в атмосферу.

При наличии перечисленных эксплуатационных факторах средние потери рабочей жидкости отдельных энергонасыщенных машин составляют до 300 л за один выброс, что наносит существенный ущерб экологической безопасности окружающей среды [1] и увеличивает эксплуатационные затраты.

Как отмечалось выше, наиболее уязвимым местом машин, оснащенных гидроприводом, являются гибкие рукава высокого давления.

С целью снижения вероятности разрушения рукавов высокого давления гидропривода установлено регламентированное рабочее давление, равное 20 МПа, что позволяет сохранить их работоспособность в рамках заданного ресурса машины.

Однако, как показывают наблюдения, ограничение рабочего давления гидропривода не всегда предотвращает разрушение рукавов высокого давления и выброс в атмосферу рабочей жидкости.

Поэтому сохраняется необходимость поиска новых технических решений по совершенствованию конструкции систем защиты гидроприводов дорожно-строительных машин и разработки экологически безопасных для окружающей среды рабочих жидкостей, применяемых в гидроприводах машин.

Замена нефтехимических рабочих жидкостей гидроприводов машин на биологические продукты растительного происхождения из-за высоких эксплуатационных затрат и себестоимости производства не снимает проблему защиты окружающей среды.

В этой связи приоритетной задачей повышения надежности защиты гидропривода от несанкционированного выброса рабочей жидкости в атмосферу из гидроприводов машин является широкое использование металлических трубопроводов гидравлических систем. Однако такие цельнометаллические трубопроводы с шарнирными соединениями, имеющими повышенный запас прочности, не всегда обеспечивают их герметичность. Кроме того, усложняется конструкция трассы, повышается материалоемкость и себестоимость изготовления.

С ростом рабочего давления в гидравлической системе сохраняется тенденция применения оплеточных или навивочных гибких рукавов высокого давления, которые, как и металлические, не гарантируют их надежность.

Конструкция [2] гибкого рукава высокого давления с газовой оболочкой обеспечивает снижение циклических динамических нагрузок на несущую стенку рукава, однако, как и упомянутые выше рукава, не гарантирует разрушение их в эксплуатации.

Эффективной защитой гидропривода можно считать применение пневмогидравлических, электрогидравлических и гидромеханических систем защиты, которые при срабатывании блокирующих поврежденные гидролинии гидравлической системы существенно ограничивают потери рабочей жидкости. Исследования [3—5] показывают, что из перечисленных выше способов наиболее простым является гидромеханический способ защиты гидропривода, который способствует снижению потерь рабочей жидкости при его срабатывании до 0,17 л, однако низкая чувствительность реагирования при разрушении рукавов высокого давления провоцирует рост потерь рабочей жидкости.

Недостатком данной системы защиты гидропривода является то, что при разрыве рукавов высокого давления, при срабатывании запорного устройства возникает гидравлический удар, время затухания которого длится от 10 до 12 циклов, приводящий к знакопеременным ударным нагрузкам на контактную поверхность клапана и седла осевого канала плунжера, к колебательному процессу плунжера в период затухания ударной волны и снижению надежности перекрытия выходной полости запорного устройства системы защиты гидропривода.

Для нейтрализации негативных последствий гидравлического удара в исполнительном механизме запорного устройства применена газовая камера, которая поглощает энергию ударной волны и сглаживает динамическое воздействие на контактную поверхность клапана (рис. 1) [6]. Одновременно газовая камера имеет гидравлический подпор от насоса. Газовая камера при разрыве рукавов высокого давления выполняет функцию гасителя энергии гидравлического удара и устраняет колебание плунжера в период затухания ударной волны. Несмотря на такое преимущество запорного устройства, конструкция газовой камеры имеет собственный недостаток.

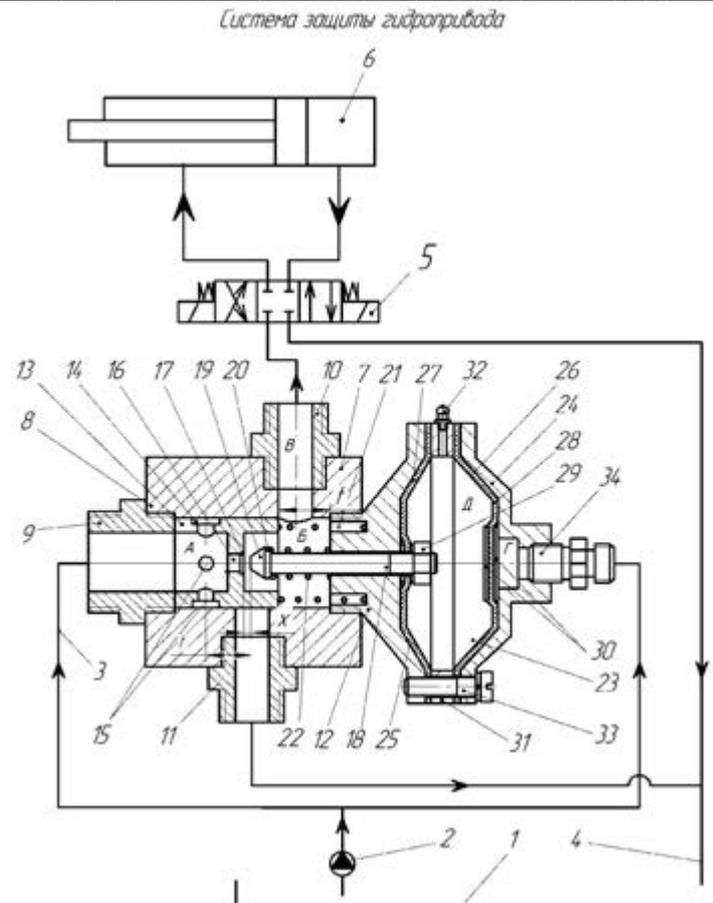


Рис. 1. Запорное устройство гидропривода с пневмокамерой и гидроподпором: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — плунжер; 14 — кольцевая проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — осевой канал; 17 — коническое седло; 18 — подпружиненный клапан; 19 — конус клапана; 20 — буртик клапана; 21, 22 — пружина; 23 — газовая камера; 24 — крышка; 25 — полусфера упора; 26 — полусфера крышки; 27, 28 — мембрана; 29 — резьбовое соединение; 30 — пластина; 31 — кольцо; 32 — ниппель нагнетательный; 33 — винт; 34 — штуцер

Недостаток этой системы защиты гидропривода заключается в том, что равновесие подпружиненного клапана осуществляется дублирующими друг друга системами: пружиной, газовой камерой, поглощающей энергию ударной волны при срабатывании запорного устройства, и гидравлическим подпором со стороны напорной гидролинии, соединяющей гидронасос с полостью, размещенной в газовой камере. При этом усложняется конструкция за счет наличия напорной гидролинии, штуцера, мембраны газовой камеры, проставки, ниппеля для заполнения камеры газом, что повышает материалоемкость и себестоимость изготовления запорного устройства.

Учитывая сложность конструкции запорного устройства (рис. 1), в котором газовая камера дублирует подпружинивание клапана, предлагается исключить гидравлический подпор (рис. 2) [7].

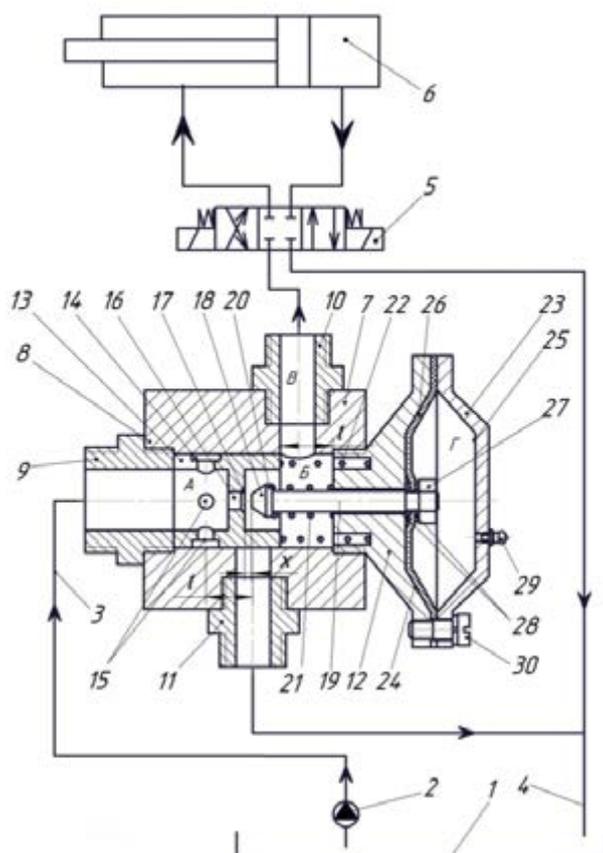


Рис. 2. Запорное устройство гидропривода с пневмокамерой: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — напорная гидролиния; 4 — линия слива; 5 — распределитель; 6 — гидродвигатель; 7 — запорное устройство; 8 — корпус; 9 — входной штуцер; 10 — выходной штуцер; 11 — сливной штуцер; 12 — упор; 13 — подпружиненный плунжер; 14 — проточка; 15 — радиальные отверстия; 16 — канал плунжера; 17 — седло плунжера; 18 — клапан; 19 — конус клапана; 20 — упор клапана; 21, 22 — пружина; 23 — крышка; 24, 25 — полусфера; 26 — мембрана; 27 — резьбовое соединение; 28 — пластина; 29 — ниппель; 30 — крепление крышки

Общими элементами системы защиты гидропривода (рис. 1, 2) являются: гидробак, подающий насос, соединенный напорной гидролинией с гидродвигателем через распределитель, линию слива в гидробак и запорное устройство, установленное в напорной гидролинии, содержащее корпус с выходной полостью, соединенной с распределителем, входной, выходной и сливной штуцеры с каналами, подпружиненный плунжер с входной полостью, с осевым каналом, соединенным с насосом, сообщающиеся с выходной полостью и радиальными отверстиями, подпружиненный клапан, размещенный в выходной полости и выполненный с возможностью перекрытия осевого канала подпружиненного плунжера, упор с эластичной мембраной, снабженный крышкой, при этом упор и крышка выполнены в виде полусферических поверхностей, образующих между собой герметичную камеру для поглощения энергии ударной волны при гидравлическом ударе, и нагнетательный ниппель, предназначенный для заполнения герметичной камеры газом.

Недостаток заключается в том, что при неисправности нагнетательного ниппеля произойдет утечка газа в атмосферу и, как следствие, падение давления в газовой камере, потеря демпфирующих свойств и эффективности поглощения энергии гидравлического удара, что препятствует снижению колебательного процесса плунжера, надежному перекрытию канала выходного штуцера запорного устройства во время разрушения рукавов высокого давления и приведет к утечке рабочей жидкости из выходной полости устройства в атмосферу.

Также в случае усталостного разрушения мембраны в газовой камере произойдет потеря ее функционального назначения, то есть поглощения газовой камерой энергии гидравлического удара при срабатывании запорного устройства системы защиты гидропривода и, как следствие, сохранение колебательного процесса плунжера, что негативно отразится на надежности перекрытия выходного канала запорного устройства. Потеря амортизационных свойств газовой камеры как упругого элемента приведет к исключению клапана из рабочего процесса и неустойчивому положению плунжера в момент перекрытия канала выходного штуцера и утечки рабочей жидкости в атмосферу.

К недостатку следует отнести также то обстоятельство, что в момент срабатывания запорного устройства в конце хода плунжера образуется «гидравлическая подушка», то есть замкнутый несжимаемый объем рабочей жидкости, образующийся между упором и плунжером в конце его хода и препятствующий перемещению плунжера и надежному перекрытию выходного канала.

Замкнутый несжимаемый объем рабочей жидкости приведет к колебательному процессу, вызванному гидравлическим ударом, возникающим во время срабатывания запорного устройства, и неустойчивому положению плунжера в момент перекрытия канала выходного штуцера и, как следствие, приведет к утечке рабочей жидкости в атмосферу.

К недостатку рассматриваемых систем защиты гидропривода необходимо отнести также сложность конструктивного исполнения, обусловленная наличием резьбового крепления клапана к мембране, крышки к упору и ниппеля для нагнетания газа в полость камеры.

Для устранения упомянутых недостатков разработана конструкция запорного устройства (рис. 3).

Сущность конструкции заключается в том, что в упоре запорного устройства выполнена полость, герметично закрытая резьбовой крышкой, в которой размещены упругий элемент из эластичного материала, имеющий форму тороида, заполненного инертным газом, например воздухом или азотом, и предохранительная нажимная пластина, находящаяся в контакте с клапаном, при этом упругий элемент обеспечивает поглощение энергии гидравлического удара, возникающего во время срабатывания запорного устройства системы защиты гидропривода, снижение колебательного процесса плунжера и, как следствие, устойчивое положение плунжера во время перекрытия канала выходного штуцера, а в плунжере дополнительно выполнен канал, сообщающий входную и выходную полости запорного устройства системы защиты гидропривода, предназначенный для вытеснения замкнутого несжимаемого объема рабочей жидкости, образующей между плунжером и упором в конце хода плунжера, во входную полость, препятствующего движению

плунжера в конце его хода, что также обеспечивает ускорение движения плунжера и устойчивое положение его во время перекрытия канала выходного штуцера.

Предлагаемое техническое решение позволяет упростить конструкцию и сохранить функциональное назначение запорного устройства системы защиты гидропривода, обеспечить экологическую безопасность использования гидрофицированных машин.

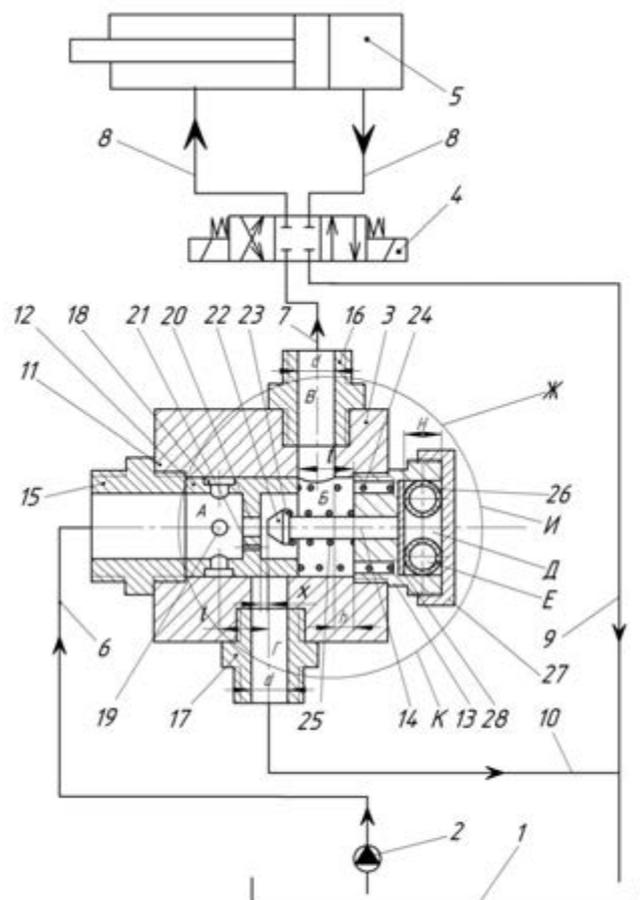


Рис. 3. Запорное устройство гидропривода с упругим тороидом: 1 — гидробак; 2 — насос; 3 — запорное устройство; 4 — гидрораспределитель; 5 — гидродвигатель; 6—8 — напорная гидролиния; 9, 10 — сливная гидролиния; 11 — корпус; 12 — плунжер; 13 — упор; 14 — клапан; 15—17 — штуцер; 18 — радиальное отверстие; 19 — проточка; 20 — осевой канал; 21 — отверстие; 22 — конус; 23 — буртик; 24, 25 — пружина; 26 — тороид; 27 — крышка; 28 — пластина

Система защиты гидропривода содержит гидробак 1, насос 2, запорное устройство 3, гидрораспределитель 4, гидродвигатель 5, напорную цельнометаллическую гидролинию высокого давления 6, напорные гибкие рукава высокого давления 7 и 8, сливную гидролинию 9 гидрораспределителя 4, сливную гидролинию 10 запорного устройства 3.

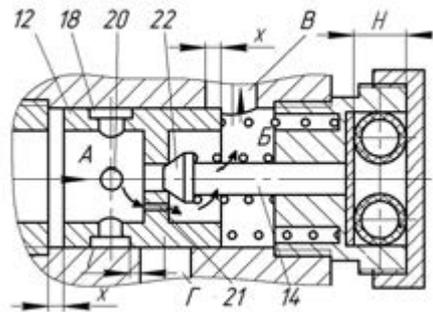


Рис. 4. Сечение *Ж* положения плунжера в фазе перекрытия клапаном осевого канала плунжера

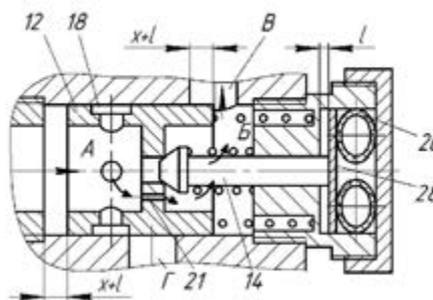


Рис. 5. Сечение *И* положения плунжера в фазе начала вытеснения «гидравлической подушки»

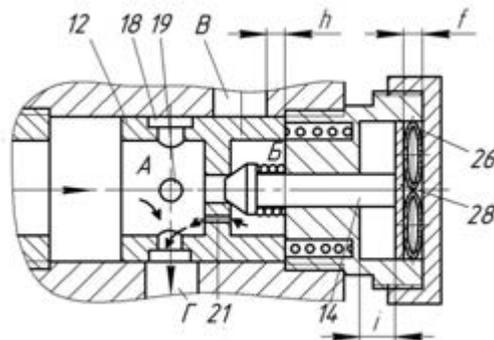


Рис. 6. Сечение *К* положения плунжера в фазе полного перекрытия выходного канала

Запорное устройство 3 включает в себя корпус 11, плунжер 12, упор 13, клапан 14, который свободно перемещается в сквозном отверстии упора 13, штуцеры с входным 15, выходным 16 и сливным 17 каналами.

Внутри корпуса 11 запорного устройства размещен подпружиненный плунжер 12, в котором на расстоянии  $t$  от оси сливного штуцера 17, равном полному ходу подпружиненного плунжера 12, выполнены кольцевая проточка 12, радиальные отверстия 19, осевой канал 20 и дополнительный 21. Осе-

вой канал 20 сообщает входную  $A$  и выходную  $B$  полости запорного устройства 3 и во время срабатывания запорного устройства перекрывается конусом 22 с буртиком 23 клапана 14, имеющего возможность свободного перемещения его штока в сквозном отверстии упора 13, а канал 21 служит для вытеснения из полости  $B$  в полость  $A$  замкнутого объема несжимаемой рабочей жидкости, образованной между упором 13 и плунжером 12 в конце его хода, препятствующего движению плунжера на участке  $h$ , равном расстоянию от торца упора 13 до цилиндрической образующей поверхности канала  $B$  выходного штуцера 16, причем выходная полость  $B$  сообщается через канал  $B$  выходного штуцера 16 с напорной гидролинией 7, а входная полость  $A$  сообщается через сливной канал  $\Gamma$  штуцера 17 со сливной гидролинией 10.

В открытом положении запорного устройства 3 между торцами плунжера 12 и конуса 22 клапана 14 образуется проходное сечение  $x$ .

Плунжер 12 снабжен пружиной 24, расположенной между торцом плунжера 12 и упором 13, а конический клапан 14 снабжен пружиной 25, расположенной между буртиком 23 клапана 14 и упором 13.

В полости  $D$  упора 13 размещен упругий элемент 26, выполненный из эластичного материала в форме тороида, полость  $E$  которого заполнена инертным газом, например воздухом или азотом.

Высота  $H$  упругого элемента 26 равна соответственно сумме  $j + f$ , разнице  $t - x$  и сумме  $d + h$ , где  $j$  — деформация упругого элемента в конце хода плунжера 12 и клапана 14;  $f$  — высота газовой «подушки» после деформации упругого элемента 26 в конце хода плунжера 12 и клапана 14;  $t$  — расстояние, равное полному ходу плунжера 12 до торца упора 13, а также расстоянию между осями сливного штуцера 17 проточки 18 и радиальных отверстий 19 плунжера 12;  $x$  — проходное сечение между торцами плунжера 12 и конуса 22 клапана 14 в открытом положении запорного устройства 3;  $d$  — диаметр каналов  $B$  выходного штуцера 16 и  $\Gamma$  сливного штуцера 17;  $h$  — расстояние от торца упора 13 до образующей поверхности выходного канала  $B$ .

Для исключения механического повреждения упругого элемента 26 во время его деформации в герметично закрытой резьбовой крышкой 27 полости  $D$  упора 13 между торцом клапана 14 и упругим элементом 26 установлена предохранительная нажимная пластина 28, находящаяся в контакте с клапаном 14, который передает усилие на предохранительную нажимную пластину 28 и упругий элемент 26 соответственно.

При разрыве рукавов высокого давления 7 или 8 давление рабочей жидкости в выходной полости  $B$  запорного устройства 3 мгновенно падает и возникнет перепад давления во входной  $A$  и выходной  $B$  полостях, в результате чего плунжер 12, двигаясь на встречу клапану 14 и преодолевая сопротивление пружины 20 плунжера 12, пружины 25 клапана 14 и упругого элемента 26, перекрывает выходной канал  $B$  штуцера 16, при этом процесс перекрытия выходного канала  $B$  протекает в три фазы.

Во время первой фазы (рис. 4) плунжер 12, преодолевая расстояние проходного сечения  $x$ , достигнет поверхности конуса 22 клапана 14 и закроет канал 20 плунжера 12, при этом клапан 14 сохранит свое первоначальное положение, а проточка 18 плунжера 12 сместится в сторону образующей поверхности  $\Gamma$  сливного канала  $\Gamma$  и займет положение  $l$ , а плунжер 12 частично на величину  $x$  перекроет канал  $B$  выходного штуцера 16. При закрытом положе-

нии осевого канала плунжера 12 рабочая жидкость по дополнительному каналу 21 поступает из полости А в полость Б, при этом возрастает сопротивление истечения рабочей жидкости через дополнительный канал и, как следствие, давление в полости А, что способствует ускорению движения плунжера 12.

Во время второй фазы (рис. 5) проточка 18 плунжера 12, преодолевая расстояние  $l$ , достигнет границы сливного канала штуцера 17, а плунжер 12 перекроет канал В выходного штуцера 16 на величину  $x + l$ , при этом в полости А на входе в дополнительный канал 21 возрастает сопротивление рабочей жидкости и давление на плунжер 12, усилие которого передается на шток клапана 14, предохранительную нажимную пластину 28, сжимающую упругий элемент 26, на величину  $l$ , что будет соответствовать началу вытеснения рабочей жидкости из выходной Б во входную А полость запорного устройства.

Во время начала третьей фазы (рис. 6) давление во входной полости А возрастет и, ускоряя движение, плунжер 12 вместе с клапаном 14 передает усилие на предохранительную нажимную пластину 28, которая сжимает упругий элемент 26 до величины остаточной деформации  $f$ , при этом ось симметрии проточки 18 и оси радиальных отверстий 19 плунжера 12 совпадут с осью сливного канала Г, и замкнутый несжимаемый объем рабочей жидкости, образованный в полости Б между упором 13 и плунжером 12 в конце его хода, равного  $h$ , полностью вытесняется через дополнительный канал 21 в полость А и далее через радиальные отверстия 19 и проточку 18 плунжера 12, по сливному каналу Г штуцера 17, сливной гидролинии 10 запорного устройства 3 в гидробак 1.

При этом плунжер 12 надежно перекроет выходной канал В запорного устройства 3, и рабочая жидкость, минуя поврежденную гидролинию высокого давления 7 или 8, будет циркулировать между насосом 2 и гидробаком 1 через напорную гидролинию 6, полость А, проточку 18, радиальные отверстия 19 плунжера 12, сливной канал Г и сливную гидролинию 10 запорного устройства 3.

Таким образом, за счет тороида, заполненного инертным газом, и дополнительного канала в плунжере повышается эксплуатационная надежность системы защиты гидропривода от несанкционированного выброса в атмосферу рабочей жидкости и обеспечивается экологическая безопасность использования гидрофицированных машин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоменко В. Н. Разработка систем защиты гидроприводов механизмов навесных тяговых и специальных транспортных машин : дисс... канд. техн. наук. Волгоград, 2000. С. 166.
2. Фоменко Н. А., Богданов В. И., Фоменко В. Н. Трубопровод высокого давления : пат. № 2511926 Рос. Федерации ; заявл. 20.02.2014 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 5.
3. Система защиты гидропривода : описание изобретения к авт. св. № 1813937 Рос. Федерации / Н. А. Фоменко, С. В. Дубинский, Г. И. Голобута, Г. П. Лышко.
4. Гидравлическая система : пат. RU15764U1 / В. Н. Фоменко, В. И. Перельмитер и др.
5. Система защиты гидропривода : пат. № 2556835 / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, С. В. Алексиков и др. Рос. Федерации ; заявл. 12.08.2014 ; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.
6. Система защиты гидропривода: пат. № 2571240 / Н. А. Фоменко, В. И. Богданов, С. В. Алексиков и др. Рос. Федерации ; заявл. 26.05.2014 ; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.
7. Система защиты гидропривода: пат. № 2634996 / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. В. Алексиков ; заявл. 31.05.2016 ; опубл. 08.11.2017, Бюл. № 31.

© Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М. Гидравлический привод рабочих органов дорожно-строительных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 136—145.

*Об авторах:*

**Фоменко Николай Александрович** — канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.ru

**Бурлаченко Олег Васильевич** — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, info@vgasu.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

**Nikolai A. Fomenko, Oleg V. Burlachenko, Yurii M. Fetisov**

**Volgograd State Technical University**

## HYDRAULIC DRIVE OF WORKING BODIES OF ROAD-BUILDING MACHINES

In road-building machines, stationary and mobile equipment, widely used three-dimensional hydraulic drive of the working bodies, which in operation due to the failure of high-pressure hoses leads to unauthorized release into the atmosphere of the working fluid, to the deterioration of environmental safety. To combat these consequences, organizational and technical means have been developed that involve the elimination of the causes that cause operational losses of the working fluid. However, studies show that modern technology does not always provide reliable protection of the environment. The authors analyzed the technical solutions of the hydraulic drive protection methods and proposed a fundamentally new design of the hydraulic drive protection system against accidental release of the working fluid into the atmosphere.

**Key words:** road-building machines, hydraulic equipment, hydraulic drive, locking device, plunger, toroid, conical valve, hydraulic cushion, high pressure hose, drain line.

*For citation:*

Fomenko N. A., Burlachenko O. V., Fetisov Yu. M. [Hydraulic drive of working bodies of road-building machines]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 4, pp. 136—145.

*About authors:*

**Nikolai A. Fomenko** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

**Oleg V. Burlachenko** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Director for Scientific Work, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, info@vgasu.ru

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

УДК 69.05:658

**С. А. Чебанова, А. В. Азаров, М. Е. Беккер**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Показана актуальность научного внимания к системе организационно-технологических решений строительства в стесненных промышленных условиях, рассмотрены некоторые особенности и проблемы. Представлен обзор литературных источников, где рассмотрены основы организации строительных работ в стесненных условиях сложившихся городской и промышленной ситуаций. Обосновывается актуальность выбранной темы и ее практическая значимость.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** строительство, стесненные условия на действующих промышленных предприятиях, организационно-технологическое проектирование, технологические процессы, организация строительства, строительные технологии, строительно-монтажные работы.

Снижение стоимости выхода продукта, увеличение маржи, объема производства с меньшими трудозатратами — то, к чему стремится любая компания.

На сегодняшний день информационный и технологический прогресс позволяет в разы сократить затраты на формирование продуктов и оказание услуг. Услуги в строительной сфере являются одними из самых энергоемких. Ситуация усложняется, когда возведение объектов строительства осуществляется в стесненных условиях, в уже сложившейся городской обстановке или на территории действующего промышленного предприятия со сложными технологическими процессами производства.

Организационно-технологические решения строительства — предмет непрерывного изучения, модернизации, реструктуризации и внедрения инновационных решений. Такое внимание обособлено стремлением снизить трудозатраты на осуществление строительных работ, а если речь идет о работах в стесненных промышленных условиях, то к данному вопросу нужен особый подход.

Исследования в данной области имеют достаточно большой объем, существует немалое количество предложенных, наиболее выгодных структур и моделей организации строительства, но активное развитие научно-технического прогресса позволяет непрерывно внедрять продукты науки, что делает данную тему актуальной и на сегодняшний день.

При подготовке данной работы был выполнен обзор литературных источников<sup>1</sup> [1—6], который позволил установить, что приоритет в области развития организационно-технологических процессов принадлежит строительству в стесненных условиях городской застройки. Область промышленного строительства на действующих предприятиях имеет меньшую популярность и несколько обделена научным вниманием.

---

<sup>1</sup> Промышленное и гражданское строительство (ПГС) // Понятие капитального строительства: нового строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий URL: <http://pgs-student.blogspot.com/2014/02/novoye-stroitelstvo-rasshireniya-rekonstruktsiya-i-tehnicheskogo-perevooruzheniya.html>

Цель работы — обосновать востребованность научного внимания к организационно-технологическим процессам строительства в стесненных промышленных условиях и показать актуальность внедрения инновационных решений в существующие модели.

На 2019 год в России насчитывается около 14 тысяч промышленных предприятий, производств, фабрик, заводов и ферм. Внешняя и внутренняя политика страны и связанные с ними социально-экономические изменения, неоспоримо, оказывают немалое влияние на развитие производств и предприятий. Оценивая динамику развития отдельных компаний за последние 10 лет, средняя составляющая говорит о том, что у промышленности страны есть небольшие успехи и перспективы на дальнейшее увеличение объема чистой прибыли путем внедрения инновационных решений<sup>2</sup>.

Аналитики промышленной индустрии утверждают, что в ближайшее время не произойдет мощных заводообразующих явлений или экономических всплесков, мало того, чтобы остаться на плаву промышленная составляющая страны, неоспоримо, будет подвержена реструктуризации и оптимизации процессов производства с целью понижения стоимости изготовления продукта<sup>3</sup>.

Так, на 2019 год подвержены реконструкции десятки градообразующих заводов<sup>4</sup>, вот некоторые из них:

- Чусовский металлургический завод (ЧМЗ) является одним из старейших предприятий Урала — это крупнейшее производство черной металлургии с полным технологическим циклом выпуска металла и феррованадия с полным металлургическим циклом.
- Себряковский цементный завод (СЦ) — один из главных заводов цементной промышленности.
- Черноморский судостроительный завод (реконструкция и переход к крупноблочной сборке).
- Московский эндокринный завод — организация производства лиофилизированных и жидких инъекционных препаратов, глазных капель во флаконах, а также шприцев однократного применения.
- Волгоградский завод «Химпром» — проект восстановления единственного в России карбидного производства. Как подчеркивают на предприятии, возобновленное производство будет отвечать современным экологическим требованиям и нормам безопасности. В связи с этим специалистам предстоит провести техническое перевооружение карбидных цехов.

Модернизация заводов может осуществляться следующими отдельными направлениями или их комбинациями: новое строительство, расширение, реконструкция и техническое перевооружение<sup>5</sup>.

<sup>2</sup> Производство России // Промышленная карта России. URL: <https://productcenter.ru/map>

<sup>3</sup> Тринити, прогнозная аналитика // Прогнозная аналитика в промышленности, статья № 7. URL: <http://analytics.trinitygroup.ru/blogs/article/analitika-promishlennost>

<sup>4</sup> Модернизация России: Топ статей // Реконструкция заводов. С. 1—15. URL: <http://www.moderniz.ru/>

<sup>5</sup> Промышленное и гражданское строительство (ПГС) // Понятие капитального строительства: нового строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий URL: <http://pgs-student.blogspot.com/2014/02/novoye-stroitelstvo-rasshireniya-rekonstruktsiya-i-tekhnicheskogo-perevooruzheniya.html>

Новое строительство — это строительство зданий и сооружений, осуществляемое на новых площадках по первоначально утвержденному проекту. Если во время строительства до ввода в действие объектов вносятся изменения, то продолжение строительства предприятия (здания, сооружений) по измененному проекту также относится к новому строительству.

Расширение действующего предприятия — это строительство по новому проекту вторых и последующих очередей действующего предприятия, дополнительных или новых производственных комплексов и производств, расширение существующих цехов основного производственного назначения.

Реконструкция действующего предприятия — это полное или частичное переоборудование производства без строительства новых и расширения действующих цехов основного производственного назначения, но со строительством (при необходимости) новых и расширением действующих объектов вспомогательного и обслуживающего назначения с заменой морально устаревшего и физически изношенного оборудования.

Техническое перевооружение действующего предприятия — это осуществление комплекса мероприятий (без расширения производственных площадей) по повышению технического уровня производства.

Каждое из них, за исключением первого, подразумевает организацию строительных процессов на территории уже сформированного генерального плана, а это, в свою очередь, усложняет технологию строительства и обеспечение охраны труда, что требует особого подхода к решению данных вопросов.

Исследованию проблем организационно-технологических процессов строительства в стесненных условиях, их влияния на окружающую среду посвятили свои труды многие авторы [1—12].

В работе [1] отмечается, что при строительстве зданий и сооружений в уже сложившейся среде оказывают влияние факторы, характеризующие условия его организации.

К ним можно отнести:

- совмещение во времени и в пространстве строительных процессов, выполняемых в районе застройки, с функционированием размещаемого в них оборудования;

- стесненность строительной площадки и зоны производства работ;

- специфические условия, связанные с ограниченной возможностью механизации строительных процессов и необходимостью выполнения особых видов строительного-монтажных работ.

Так, в работах [2, 9] уточняются некоторые из этих процессов и подчеркивается необходимость непрерывного совершенствования технологий: «Технологические решения конструкций зданий».

Производство бетонных работ зависит от уровня стесненности строительной площадки, глубины заложения и конструкции запроектированных фундаментов, геологических условий, высоты помещения, ширины пролета, шага колонн, несущих стен, доступности высотной отметки и оси при бетонировании. Важным при этом является постоянное совершенствование технологии работ, в том числе организация: централизованной доставки на объекты с растворобетонного узла (РБУ) бетонной смеси и раствора; снижение трудоемкости опалубочных работ, основными направлениями механизации

опалубочных работ является применение полносборной опалубки, что позволяет свести до минимума операции по ее монтажу и демонтажу.

### **Особенности монтажных работ**

Методы организации монтажных работ подразделяют по признакам: последовательность монтажа; направление монтажа; способ подачи конструкций в рабочую зону; этапы монтажных работ; степень совмещения монтажных работ со смежными строительными работами. Выбор способа перемещения и перестановки конструкций, материалов, изделий рациональных методов производства монтажных работ существенно зависит от условий внутренней стесненности строительного объекта. Важнейшими показателями применяемых средств механизации, в том числе малой механизации и методов производства монтажных работ, являются условия внешней стесненности строящегося объекта, зависящие от размещения объекта и плотности застройки ситуационного плана приобъектной территории.

Проводя оценку стесненности строительной инфраструктуры, в работе [3] обращается внимание на разработку строительного генерального плана (стройгенплан), в котором рассчитываются и размещаются все объекты временной строительной инфраструктуры: грузопотоки материалов, изделий и конструкций с выбором и обоснованием параметров горизонтального транспорта; строительный объем (его вес и габариты) вертикального транспорта с размещением и привязкой к объекту кранов, подъемников, лифтов; склады и площадки для резервного складирования материалов и изделий; дороги, сети энергоснабжения, водоснабжения, канализации, теплоснабжения и связи. Также на стройгенплане предусматриваются административно-бытовые помещения, санитарные узлы, душевые, поливочный водопровод, пункт мойки колес. Размещение и компоновка перечисленного выше предусматривается на основе календарных планов производства работ. При этом взаимоувязка элементов строительной инфраструктуры осуществляется с учетом непрерывности, ритмичности, прямоточности и специализации. Тем самым подтверждается явное усложнение процессов строительства и удорожание работ: «Расчет стройгенплана с ограниченной существующей инфраструктурой города (дороги, тротуары, здания, инженерные сооружения, зеленые насаждения, парки и т. п.) усложняется стесненными условиями производства строительных работ. Усложняется задача объемно-планировочных решений зданий, технологии строительства и организации их возведения, размещение временной строительной инфраструктуры при ограничениях по нормативным срокам строительства. Особенности осуществления строительства объекта капитального строительства в условиях стесненной городской застройки обязательно должны учитываться в соответствии с Приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 1443/пр от 20 октября 2017 года. Коэффициент стесненности и организация строительных генеральных планов значительно влияют на экономические показатели производства».

Строительство в стесненных условиях неизбежно обусловлено увеличением дополнительных работ, что влияет на стоимость и сроки возведения конструкций. В работе [1] обособляются некоторые проблемы с обеспечением противопожарных мероприятий, охраны труда и техники безопасности ведения строительного-монтажных работ. На сегодняшний день нормативная

база для вышеперечисленных факторов отсутствует. Однако проблемы, возникающие в процессе возведения здания, могут привести не только к финансовым потерям, но и к закрытию строительства. Причиной этому может стать невозможность обеспечения инженерных и санитарных требований по обустройству строительной площадки. Обязательным является наличие эвакуационных проездов по строительной площадке, подготовленных к использованию пожарных гидрантов и средств экстренного тушения пожара; ограждения строительной площадки и опасных зон; навесов над пешеходными зонами, прилегающими к стройплощадке.

В данных условиях сложностью является также размещение кранов, в работе [1] даны некоторые рекомендации по этому вопросу.

Строительство в стесненных условиях требует подбора комбинаций элементов строительного производства и вариантов возведения зданий не только в стесненных условиях строительной площадки, но и в стесненных условиях временной инфраструктуры.

Существующие модели организационно-технологических решений строительства в стесненных промышленных условиях имеют некую постоянную «универсальную» основу простых принципов решения несложных задач. Но стремление строительных компаний предложить лучший продукт, обусловленный более низкой стоимостью работ и менее продолжительным сроком их выполнения, порождает спрос на более модернизированные способы решения поставленных задач с использованием современного информационного и технического оборудования.

Поэтому исследование, направленное на выявление устаревших методов организационно-технологических решений и их последующую замену более рациональными и технологичными, является актуальной научной задачей. Ее совершенствование позволит снизить затраты на дополнительные, подготовительные и неучтенные работы, ускорить темп выполнения строительных объемов, сократить численность рабочей и машинной сил, повысить маржинальность строительных услуг компаний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гаджинов А. Т.* Особенности возведения жилых зданий в стесненных условиях исторически сложившейся застройки города // Технические и математические науки. Студенческий научный форум : электр. сб. ст. по мат. III Международной студ. науч.-практ. конф. № 3(3). URL: [https://nauchforum.ru/archive/SNF\\_tech/3\(3\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/SNF_tech/3(3).pdf)
2. *Чебанова С. А., Поляков В. Г., Ступницкий В. С.* Организационно-технологические решения в стесненных городских условиях // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4015](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4015)
3. *Горячев О. М.* Организационно-технологическая подготовка строительства многоэтажных зданий в стесненных условиях : автореф. дис... канд. техн. наук. М., 2004. 22 с.
4. *Поляков В. Г., Чебанова С. А., Ступницкий В. С.* Повышение экологической безопасности при строительстве зданий в стесненных городских условиях // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 205—211.
5. *Chebanova, S. A., Poljakov V. G., Erohin D. A.* Engineering Systems of Heat Supply and Working on Coal as Sources of Air Pollution by Finely Dispersed Dust // Procedia Engineering : 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). 2016. Vol. 150. Pp. 1989—1995. URL: [core.ac.uk/download/pdf/82536603.pdf](http://core.ac.uk/download/pdf/82536603.pdf)
6. Влияние организационно-технологических решений строительства в стесненных городских условиях на окружающую среду / С. А. Чебанова, В. Н. Азаров, А. В. Азаров, В. Г. Поляков // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790)

7. Поляков В. Г., Чебанова С. А., Дубовская Е. А. Обеспечение застройщика информацией о зонах с особыми условиями использования территорий при выборе участка под строительство // Вестник ВолгГАСУ. 2018. № 51(70). С. 198—204.

8. Чебанова С. А., Бурлаченко О. В., Поляков В. Г. Организационно-технологические решения строительства в стесненных городских условиях // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4802>

9. Чебанова С. А., Сеимова Г. В., Николенко М. А. Исследование значений  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  для выбросов промышленной пыли в атмосферу городов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 37(56). С. 178—184.

10. Поляков В. Г., Чебанова С. А., Ступницкий В. С. Повышение экологической безопасности при строительстве зданий в стесненных городских условиях // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 51(70). С. 205—211.

11. Чебанова С. А. Исследование влияния тепловых энергетических предприятий городской инфраструктуры на состояние воздушной среды урбанизированных территорий : автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2014. 17 с.

12. Zhukova N. S., Dobrinsky D. R., Azarov A. V. Reduction of pollutant concentrations under adverse weather conditions with optical dynamic measurement systems // Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM-2017), Saint Petersburg, Russia, 16—19 May : International Conference. 2017. 3 p. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8076488/>

© Чебанова С. А., Азаров А. В., Беккер М. Е., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Чебанова С. А., Азаров А. В., Беккер М. Е. Особенности и проблемы организационно-технологических решений строительства в стесненных условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 146—152.

Об авторах:

**Чебанова Светлана Александровна** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [sveta\\_nes@mail.ru](mailto:sveta_nes@mail.ru)

**Азаров Артем Викторович** — канд. техн. наук, заведующий научной лабораторией кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [artazarov@mail.ru](mailto:artazarov@mail.ru)

**Беккер Михаил Евгеньевич** — магистрант кафедры технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [mihail.bekker.ru@gmail.com](mailto:mihail.bekker.ru@gmail.com)

**Svetlana A. Chebanova, Artem V. Azarov, Michael E. Bekker**

**Volgograd State Technical University**

## FEATURES AND PROBLEMS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF CONSTRUCTION IN CRAMPED CONDITIONS

The urgency of scientific attention to the system of organizational and technological solutions of construction in cramped industrial conditions is shown, some features and problems are considered. The review of literature sources is presented, where the basics of the organization of construction works in cramped conditions of the current urban and industrial situations are considered. The relevance of the chosen topic and its practical significance are substantiated.

**Key words:** construction, constrained conditions at the operating industrial enterprises, organizational and technological design, technological processes, the organization of construction, construction technologies, construction and installation works.

*For citation:*

Chebanova S. A., Azarov A. V., Bekker M. E. [Features and problems of organizational and technological solutions of construction in cramped 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], 2019, iss. 4, pp. 146—152.

*About authors:*

**Svetlana A. Chebanova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [sveta\\_nes@mail.ru](mailto:sveta_nes@mail.ru)

**Artem V. Azarov** — Candidate of Engineering Sciences, Head of University Laboratory of Health and Safety in Construction and Municipal Services Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [artazarov@mail.ru](mailto:artazarov@mail.ru)

**Michael E. Bekker** — Masters Degree student of Construction Technologies Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [mihail.bekker.ru@gmail.com](mailto:mihail.bekker.ru@gmail.com)

УДК 69.331.438

**В. А. Сенченко<sup>а</sup>, Т. Т. Каверзнева<sup>б</sup>, С. Л. Пушенко<sup>в</sup>, Е. В. Стасеев<sup>в</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком»*

<sup>б</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

<sup>в</sup> *Донской государственный технический университет*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОБЩИХ ОПОРАХ**

В энергетической отрасли России отмечается рост спроса на электрическую энергию. Выгодным способом предоставления услуг связи и электроснабжения является прокладка воздушных линий связи и электропередач на общих опорах. В узлах пересечения линий связи и электропередач формируется «клубок» проводов, затрудняющий проведение монтажных и ремонтных работ. Для снижения трудоемкости и повышения безопасности обслуживания в узловых местах пересечения линий связи и электропередач предложено конструктивное решение в виде траверсы.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** опора, линии связи, линия электропередач, траверса, безопасность.

### **Введение**

Рост спроса на электрическую энергию является основной тенденцией развития электросетевого комплекса России и в мире. Запрос на потребление электрической энергии в крупных городах растет наряду со значительным снижением в сельских регионах из-за оттока трудоспособного населения в районы с лучшими условиями работы: промышленное, для строительства объектов офисной и коммерческой недвижимости, зоны жилой застройки. Все они существенно отличаются друг от друга<sup>1</sup> [1].

Основные актуальные проблемы энергетики нашей страны при эксплуатации электрических сетей — это большие потери электроэнергии и высокая степень износа последних. В соответствии с данными «Стратегии развития электросетевого комплекса России» [2] средний уровень потерь в отечественных сетях составляет около 11 % от полезного отпуска энергии. Значительная часть потерь связана с хищением электроэнергии при коммерческом потреблении: ежегодно в России разворовывается до 10—12 млрд кВт·ч электроэнергии<sup>2</sup>. Больше всего потерь происходит в распределительных сетях, так как они имеют большую протяженность и разветвленность, а также характеризуются неравномерностью загрузки фаз и низким напряжением передаваемой электрической энергии. На данный момент времени практически половина распределительных сетей выработали свой нормативный срок работы, а общий износ мощностей в секторе оценивается в 70 % [2, 3]. Приведенные данные делают весьма актуальной замену голых проводов воздушных линий электропередач (ЛЭП) 0,4 кВ на самонесущие изолированные провода

<sup>1</sup> Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации: распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р (ред. от 29.11.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

<sup>2</sup> Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации: распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р (ред. от 29.11.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

(СИП), представляющие собой многожильный провод для воздушных линий электропередачи, который содержит изолированные жилы и несущий элемент, предназначенный для крепления или подвески провода<sup>3</sup>.

Вырос спрос услуг связи и коммуникаций, а также потребителей этих услуг. В условиях большого города прокладка кабелей связи в существующих канализационных сооружениях — дело сложное из-за их перегруженности, высокой арендной платы. Строительство собственных канализационных сооружений трудоемко, дорого, не везде осуществимо из-за сложившейся плотной структуры строений и коммуникаций. Проще подключить абонента через воздушные линии связи (ВЛС). В плотной застройке городской черты, как правило, уже установлены опоры, по которым проложены воздушные линии электропередач (ВЛЭ). Экономически выгоднее подключить абонента, проложив линию связи на общих опорах с ВЛЭ [1, 3, 4].

В условиях отсутствия планомерного, конструктивно проработанного подхода к подключению новых линий связи на общих опорах с воздушными ЛЭП в густонаселенных районах на опорах в узловых местах пересечения воздушных линий связи и воздушных линий электропередач образуется клубок хаотично закрепленных линий связи и линий электропередач. Масштабность этой проблемы такова, что в местах узловых пересечений линий связи и ЛЭП проведение работ, связанных с обслуживанием линий, монтажом, ремонтом, становится небезопасным. Причем эта ситуация развивается и в ряде других стран мира [1, 5].

#### **Постановка задачи**

Задачей проводимого исследования является решение проблемы хаотично закрепленных воздушных линий связи и воздушных линий электропередач на опорах в узловых местах пересечения. Решение необходимо для уменьшения трудоемкости обслуживания и повышения безопасности при эксплуатации, монтаже и обслуживании ВЛС и ВЛЭ в узловых местах пересечения воздушных линий.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- выявить проблему несоблюдения требований к совместному подвесу ВЛС и ВЛЭ на общих опорах;
- проанализировать риски, вызванные несоблюдением требований к совместному подвесу ВЛС и ВЛЭ на общих опорах;
- предложить техническое решение, позволяющее обеспечить безопасность при эксплуатации, монтаже и обслуживании ВЛС и ВЛЭ в узловых местах пересечения линий.

#### **Методы и алгоритм решения**

Критический анализ имеющихся технических способов крепления линий связи и линий электропередач к опоре. Критический анализ мероприятий организационного и технического характера по совместному подвесу на одной опоре ВЛС и ВЛЭ. Конструкторские работы по техническому решению.

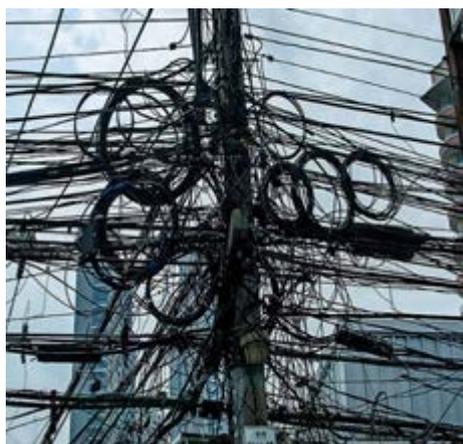
#### **Аналитическая часть**

Отсутствие правил и соответствующих технических решений по надлежащей организации совмещенной прокладки ВЛС на общих опорах с ЛЭП

<sup>3</sup> ГОСТ Р 52373—2005. Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. М. : Стандартинформ, 2005. 20 с.

ГОСТ 839—80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. М. : Изд-во стандартов, 2005. 19 с.

приводит к возникновению на опорах в узловых местах линий пересечения клубков из проводов (рис. 1). Такие клубки из проводов линий связи и электропередач не только непривлекательны с эстетической точки зрения, но и являются проблемой обеспечения безопасности при обслуживании, ремонте и монтаже линий. С увеличением потребления электроэнергии и услуг связи, ростом мощности и количества абонентов связи неорганизованное подключение новых абонентов требует решения возникшей проблемы, которая наблюдается не только в Российской Федерации, но и в ряде других стран мира (рис. 2).



Россия, г. Красноярск<sup>4</sup>

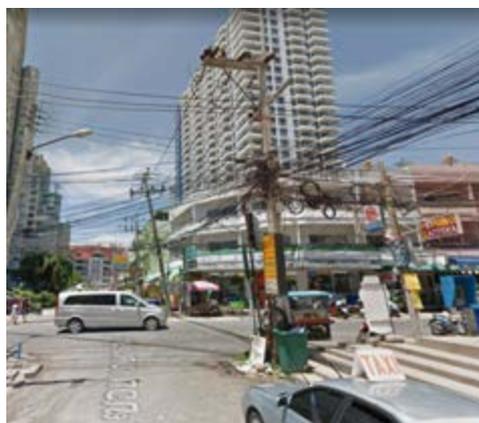


Россия, г. Иваново<sup>5</sup>

Рис. 1. Внешний вид опоры линий электропередач в России



Адрес места: Soi Pattaya 9  
Muang Pattaya, Amphoe Bang Lamung  
Chang Wat Chon Buri 20150, Таиланд



Адрес места: Soi Kasetsin 5  
Muang Pattaya, Amphoe Bang Lamung  
Chang Wat Chon Buri 20150, Таиланд

Рис. 2. Внешний вид опоры линий электропередач в г. Паттайе (Таиланд)

<sup>4</sup> URL: <https://ksonline.ru/284334/provoda-provajderov/>.

<sup>5</sup> URL: <https://www.mkivanovo.ru/economics/2018/11/11/meriya-ivanovo-ostavit-gorozhan-bez-interneta.html>.

Техническое обслуживание и ремонт ВЛС и ВЛЭ является обязательным эксплуатационным процессом. В большинстве случаев работа по обслуживанию ВЛС и ВЛЭ осуществляется на высоте и относится к травмоопасным работам со стабильно высокой долей тяжелого и смертельного травматизма<sup>6</sup> [6]. Правила по охране труда при работе на высоте<sup>7</sup> подразумевают ряд мероприятий организационного и технического характера, выполнение которых должно минимизировать количество несчастных случаев, связанных с работами на высоте.

Рассмотрим техническое решение по обеспечению безопасности работ на высоте. Данная система состоит из следующих компонентов [7]: а) анкерного устройства; б) привязи (страховочной, для удержания, для позиционирования, для положения сидя); в) соединительно-амортизирующей подсистемы (стропы, канаты, карабины, амортизаторы, средство защиты втягивающегося типа, средство защиты от падения ползункового типа на гибкой или на жесткой анкерной линии). Требования к совместному подвесу ВЛС и ВЛЭ на общих опорах в Российской Федерации изложены в Правилах устройства электроустановок (Глава 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ). Существуют требования для ВЛС и ВЛЭ по обеспечению безаварийной работы при передаче электроэнергии по ВЛЭ и передаче сигнала электросвязи по ВЛС. Требования направлены на обеспечение электробезопасности работников во время проведения работ по монтажу, ремонту и техническому обслуживанию линий связи и электропередач.

Анализируя состояние и масштабность клубков проводов на опорах, приходим к выводу, что застраховаться с соблюдением необходимых правил безопасности выше места проведения работ в данной ситуации невозможно. Использование автоподъемника не решает проблему доступности к точкам крепления. Таким образом, при монтаже, ремонте и техническом обслуживании опор с клубками проводов существует риск поражения электрическим током, риск падения с высоты работников, риск выхода из строя оборудования связи [6]. Дерево наступления событий (аварийной ситуации, несчастного случая) при несоблюдения требований к совместному подвесу ВЛС и ВЛЭ на общих опорах приведено на рис. 3.

Монтаж ВЛЭ посредством провода СИП осуществляют с использованием линейной арматуры для СИП. На опорах ВЛС применяются различные схемы крепления СИП по функциональному назначению. В производстве выпускается линейная арматура для крепления СИП. Если на опоре ВЛЭ или ВЛС располагать до десяти точек крепления, ничего страшного нет. Но количество точек крепления ограничено, крепление анкерного кронштейна требует места, и сама опора имеет конечные размеры. Зная высоту опоры, минимальное допустимое расстояние СИП от земли и ширину анкерных кронштейнов, можно рассчитать, сколько максимально можно повесить проводов на одну опору ВЛС. Затем нужно сделать корректировку на учет реальных условий монтажных работ. Монтажник может закрепить анкерный кронштейн не вплотную к другому,

<sup>6</sup> Причины травматизма и травмоопасные факторы. URL: [http://ohranabgd.narod.ru/proizv\\_19.html](http://ohranabgd.narod.ru/proizv_19.html).

<sup>7</sup> Приказ Минтруда России от 28.03.2014 № 155н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» // Консультант плюс: Региональный информационный центр. URL: <http://www.infocom.su>.

направления проводов могут отличаться от идеального сценария, доступность места крепления СИП для монтажника с каждым новым СИП уменьшается. Поэтому на узловых пересечениях возникают проблемы в местах крепления проводов СИП, приведенные на рис. 1 и 2 [8, 9].

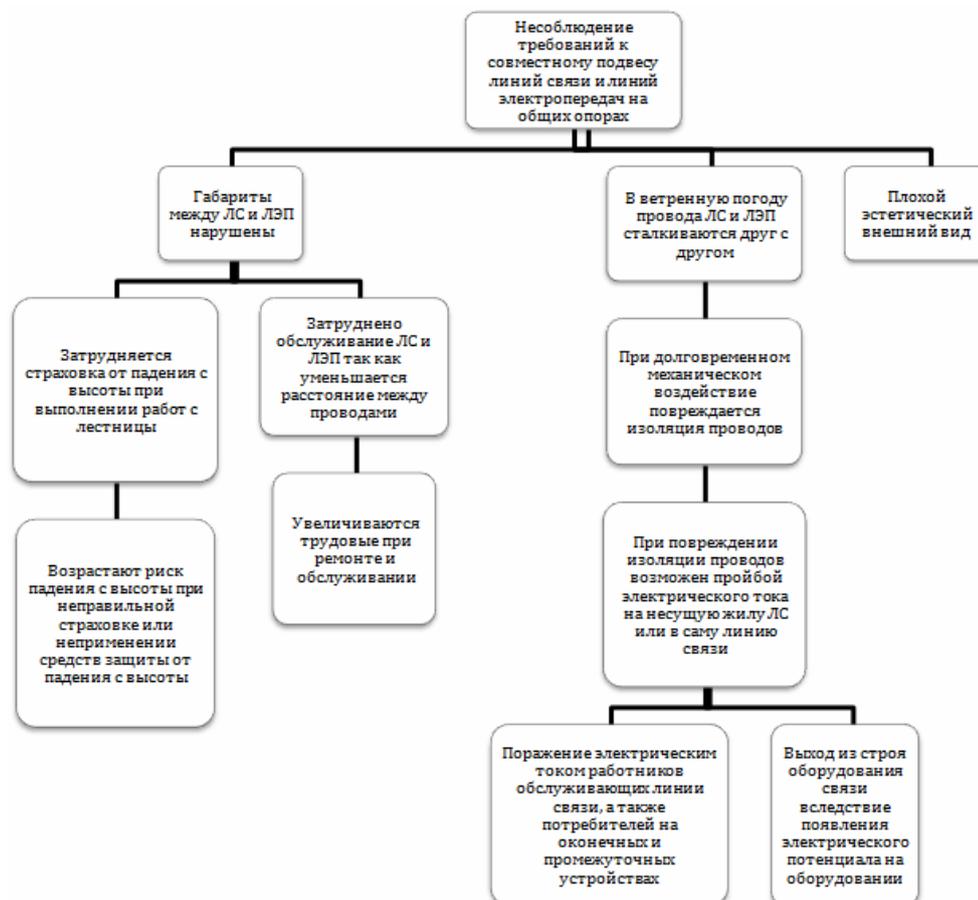


Рис. 3. Дерево наступления событий (аварийной ситуации, происшествия несчастного случая) при несоблюдении требований к совместному подвесу ВЛС и ВЛЭ на общих опорах

На опоре в одной плоскости в теоретическом плане имеется возможность прикрепить четыре кронштейна в четырех точках крепления. Но не всегда направления передачи кабеля совпадают с имеющимися направлениями. Количество точек крепления ограничивает малый периметр. Если увеличить периметр места крепления, то увеличится количество точек крепления в одной плоскости.

Предлагается конструкция двурусной траверсы различной геометрической формы, которая увеличивает количество точек крепления в одной плоскости, и за счет добавления второй рамы в конструкцию траверсы появляется возможность одновременно крепить на данную траверсу ВЛС и ВЛЭ (рис. 4). Предлагается устанавливать такие траверсы в узловых местах пересечения воздушных линий связи и воздушных линий электропередач.

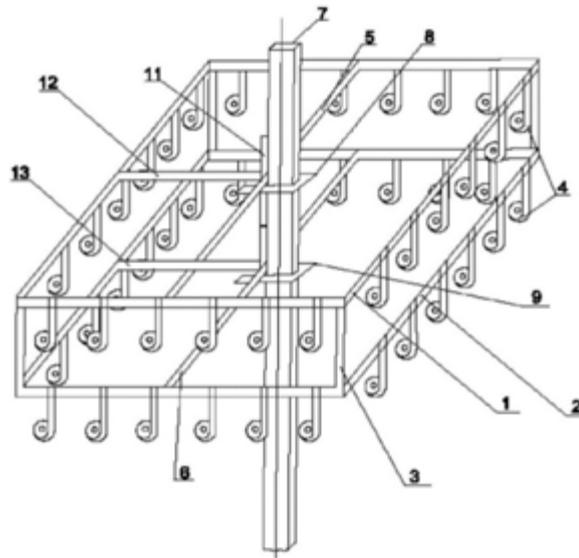


Рис. 4. Двухъярусная траверса

Двухъярусная траверса на опору (рис. 4) состоит из двух рам (верхней 1 и нижней 2) прямоугольной формы, соединенных по углам перемычками 3 и выполненных из углового профиля. По периметру рам 1 (верхней) и 2 (нижней) неподвижно закреплены анкерные кронштейны 4 для крепления арматуры ВЛС и ВЛЭ. Внутри каждой из рам 1 и 2 посередине неподвижно закреплены перекладины (соответственно 5 и 6), выполненные из углового профиля, предназначенные для крепления траверсы к опоре 7. Каждая рама 1 и 2 крепится к опоре 7 хомутами 8 и 9 с помощью болтов 10. Посередине перекладин 5 и 6 перпендикулярно и неподвижно прикреплены направляющие 11 по обе стороны опоры 7, выполненные из углового профиля и предназначенные для устойчивости крепления двухъярусной траверсы к опоре 7. Внутри рам 1 и 2 установлены ребра жесткости (соответственно 12, 13), выполненные из углового профиля, соединяющие конструкции рам 1 и 2 с перекладинами 5, 6.

Устройство работает следующим образом. Две одинаковые рамы прямоугольной формы, расположенные между собой на расстоянии 0,5 метра или 1,5 метра (в зависимости от крепления проводов ВЛ и ЛС). Наличие двух параллельно расположенных рам обеспечивает возможность крепить на одной траверсе ВЛС и ВЛЭ, что в конечном итоге упорядочивает эти линии. Двухъярусная траверса на опору устанавливается на вершине опоры 7. Крепление траверсы к опоре осуществляется хомутами 8 и 9 через перекладины 5 и 6. Хомуты 8 и 9 закрепляются к перекладинам 5 и 6 с помощью болтов 10. Рамы 1 и 2 имеют в своем составе перекладины 5 и 6 и ребра жесткости 12, 13. В каждой раме к перекладинам 5 и 6 перпендикулярно крепятся направляющие 11 по обе стороны опоры 7. Наличие металлических связей внутри рам обеспечивает жесткость всей конструкции каждой рамы и устойчивость всей двухъярусной траверсы на опоре в горизонтальной плоскости. Наличие множества анкерных кронштейнов 4 на каждой раме (верхней 1 и нижней 2) позволяет данной траверсе крепить к ней множество проводов ВЛС в одной плос-

кости и ВЛЭ в другой плоскости, что дает возможность на одной опоре крепить линии связи и линии электропередач и увеличивает пропускную способность на одной опоре 7. Анкерные кронштейны 4 позволяют крепить различные виды зажимов проводов. Конструкция траверсы позволяет прокладывать через нее провода в любом направлении (транзитном, угловом, перпендикулярном).

Качественный отличительный признак двурусной траверсы на опоре от других траверс — возможность крепить к двурусной траверсе одновременно ВЛС и ВЛЭ: к одной раме — линии связи; к другой раме — линии электропередач. Множество точек крепления позволяет ставить траверсу в узловых местах пересечения и прохождения проводов ВЛС и ВЛЭ. Конструкция траверсы упорядочивает в одной плоскости место крепления проводов к опоре, что обеспечивает доступ к техническому обслуживанию и ремонту опоры и проходящих через нее проводов. Свободный доступ к каждому месту крепления провода создает безопасные условия труда при прокладке новых линий, ремонте и техническом обслуживании проводов. Применение данной траверсы в общественных местах создает более эстетичный вид [10].

Чтобы траверса могла вписаться в любой архитектурный облик города, она может быть разных геометрических размеров и форм: двухрусной, трехрусной и так далее. Траверса в зависимости от места установки может иметь декоративный элемент, характерный для данного места. Траверсу можно выполнить так, что она не только не будет портить внешний вид, но и за счет разнообразных декоративных и символических элементов сможет быть полезной в общественных местах города.

#### **Анализ результатов**

Выявлена проблема, характерная для густонаселенных районов, состоящая в том, что на воздушных опорах в узловых местах пересечения ВЛС и ВЛЭ образуется клубок хаотично закрепленных проводов. С увеличением клубка проводов эксплуатация совместно подвешенных проводов становится небезопасной, возрастает трудоемкость обслуживания и ремонта ВЛС и ВЛЭ, ухудшается эстетичный вид.

Анализ безопасности проведения работ при монтаже, ремонте и техническом обслуживании опор с клубками проводов показал, что существует риск поражения электрическим током, риск падения с высоты работников, риск выхода из строя оборудования связи. Построено дерево наступления событий (аварийной ситуации, происшествия несчастного случая) при несоблюдении требований к совместному подвесу линий связи и линий электропередач на общих опорах. Решение проблемы возможно в применении геометрической конструкции траверсы, обеспечивающей большее количество точек крепления и разнесения ВЛС и ВЛЭ по разным плоскостям. Причем геометрическая форма траверсы может иметь разнообразные элементы дизайна. Применение конструктивного решения реализует современный международный подход непрерывного совершенствования состояния условий труда в практику и отвечает принципам надежности [11] и эффективности мероприятий охраны труда [12].

#### **Выводы**

Разработанная конструкция траверсы может обеспечить большее количество точек крепления и разнесения ВЛС и ВЛЭ по разным плоскостям. Это

дает возможность соблюдения требований безопасности к совместному подвесу ВЛС и ВЛЭ на общих опорах. Геометрическая форма траверсы может быть различной и иметь элементы дизайна, которые будут вписываться в окружающий вид города и общественных мест.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хатунцева Е. А., Хатунцев А. Б. Анализ основных тенденций развития сетей связи на телекоммуникационном рынке России // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 7. С. 71—74.
2. Козлей С. В., Хацевский К. В. Проблемы эксплуатации кабельных линий 10/0,4 КВ // Актуальные вопросы энергетики : материалы Международной науч.-практ. конф. Омск : Омский государственный технический университет, 2017. С. 56—60.
3. Попов Р. В. Вопросы проектирования волоконно-оптических сетей на базе существующих воздушных линий электропередач / под ред. Н. В. Савина // Сборник трудов VIII Международной науч.-техн. конф. Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Благовещенск : Амурский государственный университет, 2015. С. 469—471.
4. Моисеева В. Д. Применение СИП в сельских электрических сетях // Сборник материалов I Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Введение в энергетику. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2014. 56 с.
5. Khatuntseva E. A., Khatuntsev A. B. Analysis of major trends of communication networks development in Russia // T-Comm. 2016. Vol. 10. № 7. Pp. 71—74.
6. Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Анализ и профилактика производственного травматизма при возведении высотных зданий и выполнении работ на высоте // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2016. № 44-2(63). С. 157—165.
7. Сенченко В. А. Безопасность на высоте: воздушные линии связи // Санэпидконтроль. Охрана труда. 2016. № 3. С. 37—42.
8. Каверзнева Т. Т., Сенченко В. А. Траверса опоры воздушной линии электропередач : пат. № 2016126926 Рос. Федерации ; заявл. 04.07.2016 ; опубл. 27.12.2016, Бюл. № 36.
9. Совершенствование технических средств безопасности при выполнении работ на высоте / В. А. Сенченко, С. А. Карауш, Т. Т. Каверзнева, С. Л. Пушенко и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 50(69). С. 98—106.
10. Двурядная траверса на опору : пат. № 2018133254 Рос. Федерации / В. А. Сенченко, С. Л. Пушенко, Е. В. Стасева, А. В. Сенченко ; заявл. 20.09.2018 ; опубл. 19.11.2018, Бюл. № 32.
11. Analysis of tools for assessing the terms of working environment of foreigners / A. Svetlakov, T. Kaverzneva, D. Tarkhov, N. Belina // EEC-2018. MATEC Web of Conferences 245, 12004 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824512004>.
12. Increasing the efficiency of labor protection in the enterprise / J. I. Idrisova, V. N. Myasnikov, A. I. Uljanov, N. V. Belina // The 32nd International Conference on Information Networking (Chiang Mai, Thailand), IEEE-2018. Pp. 585—588.

© Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т., Пушенко С. Л., Стасева Е. В., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Обеспечение безопасности обслуживания линий связи и электропередач на общих опорах / В. А. Сенченко, Т. Т. Каверзнева, С. Л. Пушенко, Е. В. Стасева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 153—161.

Об авторах:

**Сенченко Владимир Александрович** — ведущий специалист по охране труда, Волгоградский филиал ПАО «Ростелеком». Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Гоголя, 6, [vladimir.senchenko@rambler.ru](mailto:vladimir.senchenko@rambler.ru)

**Каверзнева Татьяна Тимофеевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; [kaverzt@mail.ru](mailto:kaverzt@mail.ru)

**Пушенко Сергей Леонардович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности технологических процессов и производств, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, [psl@rgsu.ru](mailto:psl@rgsu.ru)

**Стасева Елена Владимировна** — канд. техн. наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств, Донской государственной технической университет. Российская Федерация, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, [elena\\_staseva@mail.ru](mailto:elena_staseva@mail.ru)

**Vladimir A. Senchenko<sup>a</sup>, Tat'yana T. Kaverzneva<sup>b</sup>, Sergei L. Pushenko<sup>c</sup>, Elena V. Staseva<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd branch of PAO Rostelekom*

<sup>b</sup> *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

<sup>c</sup> *Don State Technical University*

## ENSURING THE SAFETY OF COMMUNICATION LINES AND POWER TRANSMISSION SERVICE ON COMMON SUPPORTS

In the energy sector of Russia there is an increase in demand for electric energy. An advantageous way of providing communication and power supply services is the laying of overhead communication lines and power transmission on common supports. In the nodes of the intersection of communication lines and power is formed "tangle" of wires, complicating the installation and repair work. To reduce the complexity and improve the safety of service, at the junctions of communication lines and power lines, a constructive solution in the form of a traverse is proposed.

**Key words:** support, communication lines, power line, traverse, safety.

*For citation:*

Senchenko V. A., Kaverzneva T. T., Pushenko S. L., Staseva E. V. [Ensuring the safety of communication lines and power transmission service on common supports]. *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], 2019, iss. 4, pp. 153—161.

*About authors:*

**Vladimir A. Senchenko** — Leading Expert in Labour Safety, Volgograd branch of PAO Rostelekom. 6, Gogolya St., Volgograd, 400131, Russian Federation, [vladimir.senchenko@rambler.ru](mailto:vladimir.senchenko@rambler.ru)

**Tat'yana T. Kaverzneva** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Health and Safety Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 29, Polytechnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation, [kaverztt@mail.ru](mailto:kaverztt@mail.ru)

**Sergei L. Pushenko** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya st., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, [psl@rgsu.ru](mailto:psl@rgsu.ru)

**Elena V. Staseva** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Engineering Processes and Productions Safety Department, Don State Technical University. 162, Sotsialisticheskaya st., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation, [elena\\_staseva@mail.ru](mailto:elena_staseva@mail.ru)

УДК 712

**В. Н. Анопин, С. И. Махова, Е. А. Степанова**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ВОЛГОГРАДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

Приведены результаты анализа природных факторов Волгоградской агломерации, осложняющих проведение мероприятий по преобразованию ее деградированных ландшафтов в озелененные культурные. Изложены материалы оценки проявления в сложившихся условиях функций защитных зеленых насаждений, обеспечивающих достижение комфортности окружающей городской среды. Дано обоснование направлений необходимых научных исследований в области зеленого строительства.

Ключевые слова: урболандшафт, экологические условия, зеленое строительство, лесорастительные условия, шумозащитная, антисмоговая, ионизационная, фитонцидная, средоочистительная и кислородопроизводительная функции зеленых насаждений, устойчивость деревьев к загрязнению среды.

В настоящее время озелененные пространства городских территорий являются такими же полноправными конструктивными составляющими, как здания, сооружения и другие архитектурные элементы [1]. Зеленые зоны, представляя систему обслуживающих город территорий, входят в комплекс градостроительных объектов.

Целью городского зеленого строительства является обеспечение благоприятных экологических и эстетических условий жизнедеятельности населения. Создаваемый в процессе зеленого строительства культурный урболандшафт должен повышать как комфортность природных условий окружающей среды, так и ее визуальные ландшафтно-архитектурные показатели. В связи с этим научные исследования в области зеленого строительства должны быть направлены на решение следующих задач:

1) разработка теории преобразования в разной степени деградированных в процессе урбанизации естественных ландшафтов, обеспечивающей наиболее полное использование зональных природных ресурсов без необратимого ухудшения показателей взаимодействия составляющих геокомплексы элементов, т. е. их естественного состояния;

2) определение для каждого элемента ландшафта метода преобразования для достижения наиболее комфортных условий жизни городского населения;

3) применение методов ландшафтной архитектуры, обуславливающих максимальное удовлетворение эстетических показателей озелененных пространств.

Экологические вопросы озеленительных мероприятий должны прорабатываться с учетом планов оптимизации условий развития городского хозяйства, промышленности, транспорта и других объектов коммуникации, а также рекреации. При этом мероприятия по улучшению состояния экологических условий урболандшафтов в первую очередь должны быть направлены не на консервацию и охрану отдельных ценных участков природного ландшафта, а на создание системы гармоничных взаимоотношений и взаимодей-

ствия результатов деятельности человека и природы. Это обеспечит создание комфортных условий для населения при одновременном максимально возможном сохранении в процессе проведения преобразований экологического равновесия природной среды [2].

К сожалению, следует констатировать, что деятельность природоохранных учреждений и предприятий Волгоградской агломерации практически полностью направлена на предотвращение деградации и восстановление нарушенных естественных ландшафтов пригородных территорий, в первую очередь водно-болотных и некоторых других угодий Волго-Ахтубинской поймы. Из областных и городских бюджетов практически не выделяется средств на восстановление в значительной степени распавшихся лесонасаждений зеленого кольца Волгограда, преобразование находящихся в неудовлетворительном состоянии древесно-кустарниковых насаждений примыкающих к плотине Волжской ГЭС лесопарков Волгограда и Волжского, лесопарка Волго-Донского судоходного канала и других объектов.

В населенных пунктах агломерации и на прилегающем к ней участке Волго-Ахтубинской поймы очень мало озелененных благоустроенных пляжей. В районе Волгограда только вблизи двух из них официально разрешено купание.

Достижение комфортных условий проживания и отдыха населения может быть осуществлено только при условии хорошего состояния древесной, кустарниковой и травянистой растительности. Важнейшим фактором его обеспечения является плодородие почвы. В процессе биологического круговорота происходит поступление в растения химических элементов верхней части земной коры, синтез органических веществ с закреплением в растениях и последующее поступление их в почву при перегнивании листьев и древесины [3]. Почва является обязательным звеном цепи кругооборота: почва — растения — опад — почва, ее плодородие — фактором, лимитирующим эффективность функционирования зеленых насаждений. В связи с этим важнейшим направлением достижения качественного зеленого строительства является улучшение состояния почв.

Актуальность научно обоснованного планирования мероприятий мелиорации почв на территории Волгоградской агломерации возрастает в связи с общим низким их эффективным плодородием. Преобладающие зональные светло-каштановые почвы характеризуются солонцеватостью, а местами и засоленностью, низким содержанием питательных веществ, неблагоприятным водным режимом (большим дефицитом влаги на склонах и переувлажненностью на участках с близким к поверхности земли залеганием грунтовых вод), тяжелым гранулометрическим составом значительной части почвообразующих горных пород.

Рекомендуемые в технической литературе методы улучшения лесорастительных условий почв путем внесения химических мелиорантов, структурообразователей, минеральных и органических удобрений в аридных условиях агломерации часто недостаточно эффективны. Необходимы детальные исследования и разработки по выявлению эффективности мелиоративных приемов для различных категорий насаждений с разными древесными породами в различных почвенно-геоморфологических условиях агломерации.

При проектировании объектов зеленого строительства за основу целесообразно принимать возможность повышения комфортности городской при-

родной среды в результате проявления зелеными насаждениями средоулучшающих функций.

Функция поглощения шума приобретает наибольшее значение в уличных посадках, расположенных между проезжими частями улиц с интенсивным движением транспорта и жилыми зданиями. В Волгограде в первую очередь это Первая, Вторая и Третья продольные магистрали, проспекты Жукова, Авиаторов, Героев Сталинграда и ряд других улиц. В лиственных насаждениях в наибольшей степени она проявляется в течение вегетационного периода, в хвойных — круглогодично. В обеих категориях насаждений интенсивность снижения шума зависит от видового состава древостоев, их высоты, густоты ветвей в кронах, состояния и плотности листвы и хвои. Объем исследований по данному направлению в природных условиях сухостепной зоны незначителен. В научной литературе в основном приводятся данные о шумозащитной способности широкополосных лесных насаждений. Необходимы детальные исследования эффективности зеленых насаждений различной ландшафтной архитектуры в аридных условиях.

Антисмоговая функция зеленых насаждений Волгоградской агломерации проявляется преимущественно в форме аккумуляции пыли. Принято считать, что площадь шероховатой поверхности листвы зеленого насаждения равна десятикратной площади занимаемого им земельного участка [1]. Интенсивность задержания пыли древесными насаждениями зависит от характера поверхности листьев — увеличивается при наличии ворсинок, складок и других шероховатостей. При этом листья с войлочным опушением аккумулируют пыль интенсивнее чем морщинистые, но слабее очищаются от нее во время дождя. Наиболее пылеемкими древесными породами, успешно произрастающими в зеленых насаждениях Волгоградской агломерации, являются вяз обыкновенный (*Ulmus laevis*), вяз приземистый (*Ulmus pumila*), робиния лежачая (*Robinia pseudoacacia*), сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), ива белая (*Salix alba*), тополь канадский (*Populus canadensis*), шелковица белая (*Morus alba*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), ясень ланцетный (*Fraxinus lanceolata*), клен полевой (*Acer campestre*), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*) [1, 2, 4]. Аккумулятивная способность насаждений каждой из этих древесных пород сильно варьирует в зависимости от высоты, густоты крон и площади листовой поверхности, определяемых лесорастительными условиями, возрастом, характером насаждения (чистое или смешанное) и т. д. В связи с этим целесообразны исследования по уточнению имеющихся литературных данных для различных категорий земель агломерации.

Ионизационная функция состоит в положительном воздействии на окислительно-восстановительные процессы в тканях человека ионов отрицательного заряда, выделяемых древесными растениями в воздух города. В результате в организме происходит интенсификация обмена веществ, обеспечивающая улучшение его состояния при заболевании гипертонией, бронхиальной астмой, катаром верхних дыхательных путей, а также достигается ускорение лечения трудно заживающих ран, ожогов и язв. По нашей оценке, в условиях агломерации эффективность этой функции ограничена.

Для условий Волгограда наибольшую значимость имеют фитонцидные функции зеленых насаждений. Производимые растениями для самозащиты от болезнетворных микроорганизмов фитонциды уничтожают многие бактерии,

вызывающие болезни людей, и подавляют развитие насекомых, являющихся их переносчиками. При выполнении работ зеленого строительства следует учитывать, что фитонциды разных видов деревьев и кустарников вследствие отличий их химического состава оказывают неодинаковое воздействие на различные виды микроорганизмов. Летучие выделения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) очень эффективны против туберкулеза, можжевельников (*Juniperus*) — при брюшных заболеваниях, дуба черешчатого (*Quercus robur*) — против дизентерии, рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*) — против кровососущих насекомых.

Из других древесных пород наибольший фитозащитный эффект проявляется в насаждениях робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia*), каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum*), березы повислой (*Betula pendula*), ивы белой (*Salix alba*), липы мелколистной (*Tilia cordata*), тополя белого (*Populus alba*), ели колючей (*Pice pungens*), клена остролистного (*Acer platanoides*), ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), можжевельника козацкого (*Juniperus sabina*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), смородины золотой (*Ribes aureum*), жимолости татарской (*Lonicera tatarica*) [2, 5].

Важной положительной фитонцидной функцией зеленых насаждений является очистка воздуха от поллютантов промышленных предприятий и транспорта. Фитонциды вступают в химические реакции с токсичными газами, частицами сажи и другими веществами и превращают их в менее вредные для организма людей соединения [4, 6].

Приведенные материалы важны при подборе ассортимента деревьев и кустарников зеленых насаждений. Но при этом нельзя не учитывать, что они получены в результате исследований в природных зонах со значительно более благоприятными лесорастительными условиями. В насаждениях Волгоградской агломерации фитонцидный эффект одних древесных пород может проявляться значительно слабее, других — наоборот усиливаться. Так, по данным Г. П. Мухи [4], в насаждениях сельских населенных пунктов Волгоградской области значительная гигиеническая эффективность имеет место у ряда других пород: клена ясенелистного (*Acer negundo*), клена татарского (*Acer tataricum*), ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata*), туи западной (*Thuja occidentalis*), боярышников (*Crataegus*). В литературе практически отсутствуют данные о динамике изменения выделения фитонцидов в разные периоды вегетации растений, нет результатов исследований о возможном отрицательном воздействии фитонцидов на организм человека, хотя известно, что у некоторых растений большое их выделение может быть губительным и для млекопитающих (мышей). Необходимы дополнительные более глубокие исследования по этим направлениям.

Не менее значимой функцией городских зеленых насаждений является непосредственное поглощение ими вредных выбросов промышленных предприятий и автомобильного транспорта. После поступления токсичных веществ через устьица листьев происходит поглощение их тканями растений. В результате при прохождении загрязненного воздуха в непосредственной близости от листьев древесная растительность очищает его от примесей, являясь фитофильтром.

Следует учитывать, что при этом состояние деревьев и кустарников может значительно ухудшаться. Так, вблизи коксохимических промышленных

предприятий содержание фенола в листьях робинии лжеакация может достигать 0,3 г/кг их сухой биомассы, шелковицы белой — 0,28 г/кг, бирючины обыкновенной — 0,06 г/кг, при количестве на контроле 0,05, 0,02, 0,03 г/кг соответственно [7, 8].

По результатам анализа и обобщения литературных данных, выполненных А. Левиттом, устойчивость организма растения к отрицательному воздействию вредоносных факторов складывается из «способности избежать стресса» и «устойчивости к стрессу» [9]. Способность избежать стресса обусловливается действием механизмов, обеспечивающих снижение для конкретного растения степени токсичности загрязнителя и интенсивности его поглощения. Устойчивость к стрессу определяется потенциальной возможностью растения противостоять воздействию токсиканта. Воздействие поллютантов промышленности и транспорта на деревья и кустарники выражается в изменении хода процессов ассимиляции — диссимиляции, происходящих в результате накопления в тканях токсичных веществ, и проявляется сначала в изменении их внешнего вида, а затем общего состояния и состава растительных сообществ [10].

Наиболее сильное отрицательное воздействие на зеленые насаждения Волгоградской агломерации оказывают выбросы предприятий химии, нефтехимии, металлургии и автотранспорта: сернистого газа, окиси углерода, сероводорода, азотистых и хлористых соединений, а также копоти и смолистых жирных веществ дыма. Сочетание нескольких токсикантов может вызывать не просто аддитивный, а синегетический эффект. Наиболее выраженный синергизм возникает при сочетании  $SO_2$  и  $HCl$ ,  $SO_2$  и  $NO_2$  и некоторых других веществ. В результате заполнения сажей и пылью устьичных щелей снижается интенсивность фотосинтеза, возрастают потери углерода на дыхание, происходит нарушение образования зеленых пигментов листьев. Так, по данным Л. И. Абакумовой [11], в произрастающих в непосредственной близости от Волгоградского нефтеперерабатывающего завода насаждениях вяза приземистого количество пигментов было ниже по сравнению с контролем в 2—3 раза и составило: хлорофилла *a* — 0,744 мг/г, хлорофилла *b* — 0,343 мг/г, каротиноидов — 0,494 мг/г, ксантофилла — 0,45 мг/г.

Следствием значительного загрязнения атмосферного воздуха является преждевременное старение, суховершинность и усыхание городских зеленых насаждений. Особенно интенсивно они идут в неблагоприятных для зеленых насаждений природных условиях сухостепной зоны, так как состояние ослабленных вредными эмиссиями древесных растений еще более ухудшается в экстремальных для них почвенных и климатических условиях. При средних дозах систематического загрязнения воздуха у отстающих в росте и развитии деревьев нарушаются процессы питания, проявляется предрасположенность к поражению энтомологическими вредителями и фитопатологическим заболеваниям, что ослабляет их фитонцидные функции. Высокие дозы вызывают массовые заболевания растений вплоть до распада биоценоза.

В сравнительных орографических и эдафических условиях молодые насаждения устойчивее старовозрастных, большинство лиственных пород устойчивее хвойных, кустарники, как правило, устойчивее деревьев. Избирательна и устойчивость древесных пород к различным газам. Так, липа мелколистная мало подвержена воздействию соединений аммиака, но значительно

сильнее повреждается хлористым водородом, оксидами серы и азота, к которым устойчивы вязы. Жимолость татарская относительно стойка к соединениям серы и азота, но подвержена воздействию хлора и аммиака.

Из адаптированных к природным условиям Волгоградской агломерации древесных пород в целом наиболее устойчивыми к загрязнению воздуха принято считать тополь пирамидальный, тополь канадский, тополь бальзамический, робинию лжеакацию, гледичию трехколючковую, вяз обыкновенный, вяз приземистый, ясень ланцетный, клен ясенелистный, шелковицу белую, ель колючую, можжевельник казацкий, бирючину обыкновенную, жимолость татарскую [2, 12].

Нашими исследованиями установлено, что в условиях агломерации важнейшими факторами устойчивости древесных пород к загрязнению атмосферного воздуха являются лесорастительные условия. Было изучено состояние зеленых насаждений в сквере около заводоуправления Волжского трубного завода. Здесь имеет место высокое загрязнение воздуха поллютантами металлургического производства и транспорта расположенной в непосредственной близости автомобильной дороги Волжский — Энгельс. В результате промывки мало лесопригодных сильно солонцеватых и засоленных почвообразующих грунтов (более 2 тыс. м<sup>3</sup>/га) были кардинальным образом улучшены их водно-физические и химические свойства. Последующие после посадки уходы за насаждениями и их систематические поливы (до 4 тыс. м<sup>3</sup>/га в год) обеспечили быстрый рост и хорошее состояние даже таких малоустойчивых к воздействию поллютантов пород, как сосна обыкновенная и береза повислая. Очень хорошим состоянием и высокой декоративностью отличались также рядовые посадки вдоль асфальтированной дорожки ели колючей и туи западной (см. табл.).

*Биометрические показатели древесных пород около заводоуправления Волжского трубного завода в возрасте 35 лет на участке с регулярным орошением*

№	Древесная порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Бонитет	Характер насаждений
11	Береза повислая	15,1 ± 0,4	26,2 ± 1,2	I	Группы в массивном насаждении
22	Ива белая (плакучая форма)	13,1 ± 0,2	39,8 ± 1,7	IV.5	Группы в массивном насаждении
33	Сосна обыкновенная	12,7 ± 0,2	22,6 ± 0,4	II	Группы в массивном насаждении
44	Ель колючая	10,2 ± 0,1	22,4 ± 1,1	II.5	Ряд вдоль асфальтированной пешеходной дорожки
55	Туя западная	4,9 ± 0,1	4,2 ± 0,4		Ряд вдоль асфальтированной пешеходной дорожки

На расположенных поблизости участках без полива и с эпизодическими поливами состояние насаждений было значительно хуже, были меньше биометрические показатели, имела место суховершинность [13, 14].

Основным фактором, ограничивающим применение изложенной технологии выращивания зеленых насаждений, является большой расход воды,

требующий значительных затрат. Необходимы исследования состояния и роста насаждений при использовании меньших норм орошения, выбор их оптимальных значений.

Одной из важнейших функций городских зеленых и пригородных защитных лесонасаждений принято считать кислородопроизводительную. Во многих разработках основной экономической эффект зеленых насаждений рассчитывается по энергетической и экологической оценке поглощения ими углекислого газа и выделения в атмосферу кислорода. Расходы на создание и содержание насаждений сравнивают с затратами на производство промышленным способом аналогичного количества кислорода из морской воды с нормой расхода электроэнергии  $239 \cdot 10^6$  КДж на 1 т [15]. Однако, по нашему мнению, следует исходить из того, что в условиях Волгограда выделение в процессе фотосинтеза зелеными насаждениями в течение вегетационного периода кислорода компенсируется его поглощением при разложении микроорганизмами опавшей листвы, а также валежника, сухостоя и отмерших корней во влажные периоды года. В результате содержание кислорода в атмосферном воздухе вблизи насаждений в определенный период времени увеличивается, в другой — снижается. Целесообразны дополнительные исследования в этом направлении.

В последнее время все более значимой становится рекреационная функция зеленых насаждений. По принятым нормам наиболее удобными для создания зон отдыха считаются территории вблизи городской застройки с насаждениями, занимающими 50...70 % их площади. На них обеспечивается оптимальное соотношение открытых и закрытых пространств, хорошая просматриваемость пейзажей. Архитектурные ансамбли могут удачно вписываться в окружающие древесные массивы. Обязательным условием эффективности рекреационной функции насаждений является повышенный уровень благоустройства этих территорий, позволяющий снизить рекреационное воздействие на биоту ландшафта, так как интенсивное использование зеленого насаждения для массового отдыха без предварительного проведения специальных мероприятий может привести к его расстройству [16, 17].

Достижение высокой аттрактивности создаваемых объектов зеленого строительства невозможно без творческой проработки вопросов ландшафтной архитектуры. В Волгоградской агломерации, характеризующейся большими контрастами в орографии поверхности и функциональном использовании территории, методы ландшафтной архитектуры необходимо разрабатывать с учетом результатов природно-функционального зонирования. Применяемые в каждой зоне архитектурные приемы должны соответствовать сложившейся градостроительной ситуации. Это обуславливает большое разнообразие вариантов создания индивидуального облика каждого района агломерации.

До настоящего времени разработки по решению этой задачи не получили достаточного развития. Необходимы проекты, учитывающие как особенности сложившейся застройки, так и природные, экологические, экономические и технические аспекты.

Выводы:

1. На территории Волгоградской агломерации, характеризующейся недостаточно комфортными для жизнедеятельности населения и сложными для роста деревьев и кустарников условиями, зеленое строительство должно выполняться строго на основе результатов научных исследований.

2. Деятельность природоохранных учреждений и предприятий зеленого строительства агломерации не обеспечивает выполнения необходимых работ по научно обоснованному преобразованию деградированных урболандшафтов в культурные.

3. К настоящему времени назрела необходимость проведения детальных исследований и выполнения разработок по выявлению научно обоснованных методов создания, выращивания и реконструкции зеленых насаждений в различных почвенно-геоморфологических условиях.

4. Целесообразны углубленные исследования характера, особенностей и интенсивности выполнения зелеными насаждениями агломерации шумозащитной антисмоговой, ионизационной и фитонционной функций. Роль кислородопроизводительной функции невелика и неоднозначна.

5. Необходима оценка характера воздействия на состояние зеленых насаждений и их функций современных объемов выбросов поллютантов промышленных предприятий и автотранспорта в разных районах агломерации.

6. В проектах зеленого строительства должны в равной степени учитываться как адаптивно-ландшафтные, так и ландшафтно-архитектурные аспекты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Озеленение населенных мест : справочник / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Вольтруб и др. М., 1987. 480 с.
2. *Горохов А. В.* Городское зеленое строительство. М., 1991. 410 с.
3. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. М., 1961. 496 с.
4. *Муха Т. П.* Роль защитных лесонасаждений в оздоровлении воздушной среды агроландшафтов Нижнего Поволжья : автореф. дис... канд. с.-х. наук. Волгоград, 1988. 26 с.
5. *Горышкина Т. К.* Растения в городе. Л., 1991. 148 с.
6. *Литовкина А. Н.* Роль летучих фитонцидов растений в очищении атмосферного воздуха от некоторых токсичных выбросов предприятий и автотранспорта // Гигиена и санитария. 1982. № 4. С. 5—8.
7. *Казютина Ж. Т.* К вопросу о способности растений к поглощению фенолов из загрязненной атмосферы // Растения и промышленная среда : науч. тр. Киев, 1971. С. 36—38.
8. *Попов В. А., Петрова В. К.* Газопоглотительная способность растений // Газоустойчивость растений : сб. науч. тр. Новосибирск, 1980. С. 52—80.
9. *Levitt A.* Responses of plants to Environmental Stresses. New York, London, 1972.
10. *Rippel A.* Florida into the future // Fluoride. 1972. № 5. Pp. 90—97.
11. *Абакумова Л. И.* Влияние выбросов промышленных предприятий на устойчивость деревьев и кустарников // Проблемы озеленения. Градостроительные, экологические, санитарно-гигиенические аспекты : тезисы докладов науч.-практ. конф. Волгоград, 1995. С. 36—37.
12. *Квартковина Л. К., Муха Т. П.* Устойчивость деревьев и кустарников защитных лесонасаждений Нижнего Поволжья к загрязнению атмосферного воздуха // Поволжский экологический вестник. 1998. № 5. С. 211—215.
13. *Анопин В. Н.* Ландшафтно-архитектурный подход к планированию зеленого строительства в урболандшафтах аридной зоны // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. Вып. 47(66). Волгоград, 2017. С. 328—338.
14. *Анопин В. Н., Матовникова Н. Г., Матовников С. А.* Архитектурно-планировочные и адаптивно-ландшафтные основы зеленого строительства на территории Волгоградской агломерации. Волгоград : ВолГАСУ, 2012. 159 с.
15. *Белов С. В., Прохоров В. Р.* Оценка санитарно-гигиенической и рекреационной роли лесов зеленых зон // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. Л., 1979. Вып. 8. С. 29—39.
16. *Тарасов А. И.* Рекреационное лесопользование. М., 1986. 176 с.
17. *Моисеев В. С., Янковский Л. Н., Максимов В. А.* Строительство и реконструкция лесопарковых зон. М., 1990. 287 с.

© Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А., 2019

Поступила в редакцию  
в октябре 2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

*Анопин В. Н., Махова С. И., Степанова Е. А.* Принципиальные положения оптимизации зеленого строительства в Волгоградской агломерации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 162—170.

*Об авторах:*

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

**Махова Светлана Ивановна** — канд. геол.-минерал. наук, доцент, доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Степанова Екатерина Александровна** — доцент кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [ekserstepan@bk.ru](mailto:ekserstepan@bk.ru)

**Vladimir N. Anopin, Svetlana I. Makhova, Ekaterina A. Stepanova**

**Volgograd State Technical University**

## **PRINCIPAL PROVISIONS OF OPTIMIZATION OF GREEN CONSTRUCTION IN VOLGOGRAD AGGLOMERATION**

The results of the analysis of the natural factors of the Volgograd agglomeration, which complicate the implementation of measures to transform its degraded landscapes into green cultural ones, are presented. The assessment of the manifestation of the functions of protective green spaces in the current conditions, ensuring the achievement of comfort of the surrounding urban environment, is presented. The substantiation of the directions of the necessary research in the field of green building is given.

**Key words:** urban landscape, ecological conditions, green building, forest growing conditions, soundproofing, antislogous, ionization, phytoncide, environmental cleaning and oxygen-producing functions of greenery, resistance of trees to environmental pollution.

*For citation:*

Anopin V. N., Makhova S. I., Stepanova E. A. [Principal provisions of optimization of green construction in Volgograd agglomeration]. *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], 2019, iss. 4, pp. 162—170.

*About authors:*

**Vladimir N. Anopin** — Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [AnopinVI.Nik.48@yandex.ru](mailto:AnopinVI.Nik.48@yandex.ru)

**Svetlana I. Makhova** — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Ekaterina A. Stepanova** — Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ekserstepan@bk.ru](mailto:ekserstepan@bk.ru)

УДК 528.46:625.771

**В. Н. Анопин<sup>а</sup>, А. С. Рулев<sup>б</sup>, Т. А. Сабитова<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный университет*

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ЛАНДШАФТНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ЛЕСОЗАЩИТНОГО ОБУСТРОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Изложены уточненные положения мелиоративного ландшафтоведения, обуславливающие особенности выполнения картографо-аэрокосмического мониторинга придорожных земель, необходимого для рационального планирования работ защитного лесоразведения. Предложена методика выполнения изысканий с использованием ГИС-технологий.

**Ключевые слова:** картографический материал, придорожные ландшафты, защитные лесонасаждения, мониторинг, аэрокосмическая информация, цифровая фотограмметрическая система.

В ходе дорожного строительства и эксплуатации транспортных магистралей природные ландшафты преобразуются в техногенные геосистемы, формирующиеся в результате взаимодействия природных факторов, результатов воздействия дорожной строительной техники и транспортных средств. Как правило, это приводит к ухудшению общего экологического состояния придорожной территории.

Качество разработок по обустройству транспортных магистралей определяется рациональностью методов их проектирования. Составление проектов придорожных лесонасаждений может проводиться с использованием различных картографических материалов: крупномасштабных топографических и тематических карт, космических снимков, данных сканирования.

Выбор картографического материала должен определяться рядом показателей, важнейшими из которых для лесозащитного обустройства автомобильных дорог являются степень и характер нарушенности придорожного ландшафта.

Основными природными факторами, обуславливающими возможность активации процессов деградации ландшафтов региона являются: выраженность рельефа, засушливость и континентальность климата, геохимические особенности почвогрунтов и подстилающих горных пород [1].

Наиболее значимым из эволюционных свойств ландшафтов, подлежащих обязательному учету при выборе картографического материала для проектирования защитных лесонасаждений является их полихронность, которая определяется различием временного масштаба изменений компонентов [2]. Так, работы по планировке измеренной в процессе строительства поверхности придорожной территории хотя и требуют значительных затрат, но могут быть выполнены в течение короткого времени, в то время как для существенного улучшения состояния растительности и микроклимата необходимы годы, а почвы — десятилетия и даже столетия.

Важной частью мероприятий по обеспечению стабилизации ресурсного потенциала и снижению интенсивности процессов деградации земель является

ся ландшафтное планирование территории, использующее для выполнения разработок современные методы и материалы, в том числе топографические и картографические. Составная его часть — фитозоологическое планирование ландшафтов — должна выполняться с применением научно обоснованных методов придорожного защитного лесоразведения.

По аналогии с разработкой адаптивно-ландшафтных систем для озеленения урбанизированных территорий [3] при выполнении научно обоснованного проектирования придорожных защитных лесонасаждений Нижнего Поволжья должны применяться топографические и картографические материалы, обеспечивающие возможность использования ряда основных положений мелиоративного ландшафтоведения. Важнейшими из них являются:

а) системный подход, предполагающий применение целостного (системного) комплекса лесомелиоративных воздействий на дорожные системы разного уровня организации, обеспечивающий существенное снижение отрицательного воздействия на автомобильные дороги и движущиеся транспортные средства неблагоприятных метеорологических факторов;

б) адаптивность мелиоративных воздействий к природным условиям придорожной территории (рельефу, геологическому строению, почве), определяющая применение оптимального приема мелиорации и основывающаяся на необходимости разработки рациональных технологий создания и содержания придорожных защитных лесонасаждений;

в) нормативная предопределенность, являющаяся следствием необходимости ограничения уровня определенных техногенных воздействий на экосистемы и обуславливающая предупреждение возникновения в них необратимых неравновесных процессов и поддержание придорожного ландшафта, в первую очередь защитных лесонасаждений в экологически устойчивом состоянии;

г) пространственно-функциональная неоднородность, определяющаяся необходимостью поддержания экологической многофункциональности разнообразия типов и уровней связи как внутри придорожной лесозащитной экосистемы, так и между лесонасаждениями, объектами придорожной инфраструктуры и расположенными поблизости сельскохозяйственными угодьями;

д) устойчивость функционирования экосистем, предполагающая создание условий, обеспечивающих долговечность и высокую мелиоративную и средообразующую эффективность придорожных защитных лесонасаждений оптимальных конструкций, осуществляемая применением научно обоснованных способов подготовки почв под защитные насаждения с выполнением планировки микрорельефа и применением технологий выращивания лесных полос;

е) природоохранная направленность, обуславливающаяся применением технологий, позволяющих свести до минимума возможные негативные побочные воздействия защитных лесонасаждений: ухудшение воздухообмена между автомобильной дорогой и прилегающей территорией, развитие процессов линейной эрозии, возникновение оползней и т. д.

Вследствие исключительно большого различия природных условий придорожных территорий региона для каждой группы участков с близкими геоморфологическими, почвенными и гидрогеологическими условиями должен разрабатываться индивидуальный научно обоснованный проект выполнения

комплекса лесозащитных работ, использующий в наибольшей степени подходящий картографический материал [4].

По нашей оценке, наиболее полно отвечает изложенным требованиям применение аэрофотоснимков, космических фотоснимков и материалов мониторинга космического сканирования.

В результате уточнения и доработки ряда положений применяемой в Федеральном центре агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения методологии картографо-аэрокосмического мониторинга антропогенно измененных земель [5] нами предложена методика выполнения исследований и последующих разработок лесозащитного обустройства придорожных ландшафтов. При ее реализации предполагается составление математико-картографических моделей ландшафтов в трех пространственно-временных срезах: существовавших до начала производства дорожно-строительных работ, техногенно измененных в процессе строительства автомагистралей и мелиорированных защитными лесонасаждениями (с прогнозом динамики изменения в перспективе как мелиоративных, так и деградиционных процессов).

Картографо-аэрокосмический мониторинг придорожных ландшафтов включает ряд операций:

а) сопряженный картографический анализ и диагностику существующего состояния придорожных ландшафтов с использованием как полевых, так и дистанционных методов, включающих компьютерное картографирование;

б) изучение структуры придорожных ландшафтов и ее изменения в результате природно-техногенных процессов (на основе ландшафтно-экологического дешифрирования космических фотоснимков);

в) разработка критериев оценки техногенной деградации придорожных ландшафтов;

г) проведение на основе космоснимков ландшафтно-типологического и лесозащитного районирования придорожных земель;

д) разработка локальных ландшафтных проектов лесозащитных и противодеградационных мероприятий.

При проведении изысканий следует учитывать, что в ходе дорожного строительства и последующего транспортного использования территорий в результате взаимодействия природных и техногенных процессов образующие геосистему естественные ландшафты и техногенные компоненты функционально объединяются. Кроме межкомпонентного кругооборота вещества и энергии в ландшафтах происходит его многообразный перенос, ведущую роль в котором играет поверхностный и подземный сток. Его показатели изменяются при различных техногенных воздействиях на ландшафты: планировке полосы отвода, создании земляного полотна, кюветов, дорожных одежд.

Анализ процессов на основе концепции катены [6, 7] дает возможность выявить вид и интенсивность действия латеральных процессов, ведущих к образованию цепи закономерно сменяющих друг друга ландшафтных единиц на участке прохождения трассы автомобильной дороги от водораздела вниз по склону к его подножию. Каждая катена состоит из морфологических единиц, образующихся в ходе почвенно-геоморфологических процессов.

На пересеченной местности ландшафтные структуры приобретают каскадный характер. Их главным звеном становится склоновая catena, на протяжении которой одной из важнейших задач технологий создания защитных лесонасаждений и выполнения мероприятий по уходу за ними является регулирование поверхностного стока при таянии сугробов задержанных зимой снегоотложений.

Катенарный подход к картографированию деградационных процессов обусловил необходимость разработки специальной классификации территориальных единиц на основе синтеза позиционно-динамического подхода к выделению ландшафтных структур [8]. При этом основной территориальной единицей является ландшафтная полоса — группа фаций, характеризующаяся общим положением относительно рубежей изменения интенсивности латеральных потоков. В пределах ландшафтной полосы горизонтальные потоки однонаправлены и во всех точках имеют близкие по величине градиенты<sup>1</sup>.

На основе изложенных положений уточнена разработанная во Всероссийском агролесомелиоративном институте классификация ландшафтных катен придорожных склонов, включающих ландшафтные полосы: а) водораздельная, б) приводораздельная, в) присетевая, г) гидрографическая.

Критерии выделения ландшафтных полос представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Критерии выделения ландшафтных полос*

Ландшафтные полосы	Длина склонов, м	Крутизна склонов, градусы	Эрозионные процессы
Водораздельная	200...300	0...0,5	Практически отсутствуют
Приводораздельная	300...600	0,5...3,0	Слабые
Присетевая	600...800	3...7	Средние, сильные, очень сильные
Гидрографическая	800...∞	7...10 (до 20)	То же

Предлагаемые критерии на основе сопряженного анализа картографо-космической информации позволяют в первом приближении определить местоположение и степень потенциальной подверженности земель эрозионным процессам. При этом для более детальной характеристики эрозионного состояния придорожных ландшафтов следует использовать критерии оценки смывности почв и степени размывности земель.

В таблице 2 приведены почвенные индикаторы зон эрозионной деградации (по Б. В. Виноградову) [9] в модификации авторов.

Материалы космических съемок и сканирования дают возможность даже в слаборасчлененных равнинных ландшафтах фиксировать небольшие изменения плоскостного смыва и дефляции. По мнению многих исследователей [10—12], степень смывности почв является интегральным показателем состояния земель. В зависимости от степени деградации почвы подразделяются на слабо-, средне- и сильносмывные.

<sup>1</sup> Методические рекомендации по ландшафтным исследованиям для сельскохозяйственных целей. М., 1990. С. 19.

Т а б л и ц а 2

*Почвенные индикаторы экологических зон*

Индикатор	Зоны экологических нарушений			
	Фоновые	Умеренные	Кризиса	Бедствия
Содержание гумуса, % от первоначального	> 90	70...90	30...70	< 30
Смытость почвенных горизонтов	Отсутствует	Смыт наполовину горизонт А	Смыт горизонт А и частично АВ	Смыты горизонты А и В
Степень смытости горизонта, %	< 10	10...30	30...50	> 50
Площадь эродированных почв, %	< 10	10...25	25...50	< 50
Площадь обнаженных коренных пород, %	< 5	5...10	10...25	> 25

Большинство критериев ухудшения свойств почв надежно опознаются на космических снимках по рисунку и тону фотоизображения. Участки с интенсивностью эрозионных процессов в пределах значений нормальной эрозии относятся к фоновым. Они обычно расположены на приводораздельных поверхностях с малыми уклонами. Их фотоизображение характеризуется однородной интенсивностью тона, зависящего от вида, стадий их развития и состояния травянистой растительности.

Умеренный уровень почвенной деградации характеризуется наличием небольших участков слабо- и среднесмытых почв. Приурочены они, как правило, к приводораздельным склонам.

Урочища с высоким уровнем развития эрозионных процессов (кризиса) обычно занимают среднюю, реже нижнюю части присетевых склонов. Их фотоизображение обусловлено выраженной ложбинно-потыжинной сетью, разрезающей поверхность склонов на множество микроводораздельных участков с сильносмытыми почвами (имеет вид округлых или овальных вытянутых вдоль склона пятен различного тона).

Территории, где общая площадь эродированных земель превышает 50 %, относятся к очень сильно деградированным (бедствия), здесь преобладает линейная эрозия. Показатели, характеризующие расчлененность территории и параметры объектов линейной эрозии (водороины, промоины, овраги), успешно дешифрируются в камеральных условиях по фотоснимкам без дополнительного полевого эталонирования.

С увеличением степени смытости почв меняется рисунок и текстура фотоизображения, тон снимка становится более светлым.

На основании обобщения ряда работ<sup>2</sup> [13—15] и собственных наблюдений была разработана классификация диагностических показателей деградации (степени смытости почв придорожных ландшафтов), учитывающая пря-

<sup>2</sup> Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М. : Колос, 1973. 95 с.

мые и косвенные дешифровочные признаки, а также местоположение изучаемого участка в ландшафтной катене (табл. 3). При оценке фототона рисунка смытых почв применялась четырехуровневая градация: очень светлый, светлый, серый и темно-серый.

Таблица 3

*Диагностические показатели степени смытости каштановых почв*

Степень смытости почв	Рисунок, тон и текстура фотоизображения на черно-белых снимках	Оптическая плотность, <i>B</i> (денситометр ДО-1М)	Границы диапазонов оптической плотности	Положения в ландшафтной катене; крутизна склона
Несмытые	Относительно однородный темно-серый, границы контуров не выражены	1,0...0,8	256...205	Водораздельно-плакорные; 0...0,5°
Слабосмытые	Тонковолокнистый, серый, границы не выражены	0,4...0,8	204...103	Приводораздельные слабопологие и пологие склоны; 0,5...1,5°
Среднесмытые	Тонковолокнисто-линейный, сочетание темно- и светлоокрашенных пятен, нечеткие границы контуров	0,4...0,2	102...52	Верхняя и средняя часть присетевых полого-покатых склонов; 1,5...3,0°
Сильно- и очень сильно-носмытые	Полосчато-пестрый, пятнистый с преобладанием светлых тонов, границы контуров выражены четко	< 0,2	51...0	Средняя и нижняя части покатых склонов, крутые склоны: > 3°

Создание геоэкологических карт с использованием шкалы дистанционной оценки критериев деградации ландшафтов обеспечивает возможность снижения объемов работ по изучению факторов деградации и сокращения времени на трудоемкие полевые исследования. Оценочная шкала экологической деградации придорожных ландшафтов наиболее полно и объективно отражает текущее состояние придорожных территорий.

Современные придорожные ландшафты представляют собой трансформированные модификации природных ландшафтов и техногенных комплексов. Небольшую часть площадей могут занимать малоизмененные естественные ландшафты — пересекаемые дорогой интразональные лесные ландшафты пойм больших и малых рек, балок, а также байрачных лесов.

Значительная часть полос отвода автомобильных дорог занята искусственными защитными лесонасаждениями. Это одна из разновидностей куль-

турных ландшафтов. Все они, как правило, подвергаются интенсивному рекреационному и техногенному воздействию, особенно расположенные в пригородной (маргинальной) зоне больших и малых городов и других населенных пунктов. Оценку их экологической деградации необходимо выполнять в первую очередь по результатам анализа состояния древесной растительности, а уже затем почвенного покрова.

Наряду с уровнями деградации ландшафта важным параметром для классификации зон экологических нарушений является величина площади распространения территорий каждой из них [16—18]. При небольшой площади нарушенных участков экосистема восстанавливается быстрее, чем при обширном их распространении. При показателе, превышающем предельно допустимые размеры, разрушение среды практически необратимо, самовосстановление системы невозможно и результат деградации достигает уровня катастрофы.

Зонирование ландшафтов следует проводить с учетом пространственной неоднородности нарушений и возможной комбинации участков с разной степенью нарушенности. Так, в зоне риска наибольшую часть составляет комбинация, где до 30 % площади занимают слаборазрушенные, более 40 % — умеренно нарушенные и до 40 % — сильнонарушенные участки. В зоне кризиса фоновые и умеренно деградированные участки обычно составляют менее 30 % площади, деградированные — более 40 % и очень сильно деградированные — до 30 %. В зоне бедствия менее 20 % площади фоновых и умеренно деградированных площадей, более 40 % — сильно деградированных, до 30 % — очень сильно деградированных земель.

Для более обоснованного классифицирования зон экологических нарушений придорожных земель целесообразен дополнительный учет показателей интенсивности нарастания неблагоприятных изменений природной среды. Для процессов эрозии и загрязнения придорожных почв предлагается использование придержек, представленных в табл. 4.

Полученные в результате проведения картографо-аэрокосмического мониторинга ландшафтов данные используются в качестве информационной базы математико-картографического моделирования деградационных процессов придорожных ландшафтов. Созданные модели позволяют обрабатывать большие объемы пространственно-временной информации о процессах и явлениях в геосистемах разного иерархического уровня и пространственного охвата [19].

В настоящее время для выполнения всех видов изысканий дорожного строительства, в том числе и необходимых разработок мероприятий придорожного защитного лесоразведения, целесообразно внедрение технологии геоинформационных систем (ГИС-технологии), использующих аэрофотоснимки, крупномасштабные космические снимки, материалы сканирования и фотограмметрические приборы. При достаточно высоком их качестве достигается резкое снижение объемов трудоемких полевых работ и значительное уменьшение затрат [20—22].

Современные универсальные полнофункциональные цифровые фотограмметрические системы обеспечивают возможность решения всего комплекса задач по созданию топографических и различных тематических карт и планов [23—25].

*Среднегодовое нарастание зон различных экологических нарушений, %  
от деградированной площади*

Показатели	Вид зоны экологических нарушений			
	фоновая	риска	кризиса	бедствия
Увеличение площади деградированных ландшафтов	< 0,5	0,5...2	2...5	> 5
Увеличение площади эродированных и загрязненных земель	< 0,5	0,5...1	1...2	> 2

Цифровые фотограмметрические системы обеспечивают возможность комплексной обработки космических аналоговых и цифровых снимков, полученных топографическими съемочными системами, а также материалов радиолокационной съемки и оптико-электронного сканирования. Их использование эффективно как при создании тематических карт, фиксирующих лесорастительные условия и состояние древесной и травяной растительности на придорожной территории, так и при последующем проектировании защитных лесных насаждений.

Для стереоскопических наблюдений снимков наиболее целесообразно использование оптических насадок или специальных измерительных столов со штурвалами, обеспечивающими перемещение измерительной марки как в плоскости изображения, так и по высоте.

Применяемые при работе с цифровыми системами методы фотограмметрического сгущения съемочного обоснования практически не отличаются от стандартных, однако отдельные операции выполняются с учетом специфики компьютерной обработки. Выполнение требований к размещению исходных точек, соблюдению необходимых критериев проведения отдельных операций и создания их математических моделей местности обеспечивает возможность автоматизации процессов построения сети.

Для внутреннего ориентирования снимков выполняют измерения по определению координат оптических или механических меток или сетки крестов. Используется аппарат ортогональных, аффинных или проективных преобразований. Взаимное ориентирование выполняется по точкам, расположенным в стандартных зонах. Идентификация связующих точек смежных моделей контролируется по результатам построения триплета, создаваемого объединением рассматриваемой модели с предыдущей или последующей. Геодезическое ориентирование сети выполняется традиционными в аналитической фотограмметрии способами [23].

Вследствие того, что во всем комплексе фотограмметрических работ операции сгущения съемочного обоснования являются наиболее сложными и ответственными, обрабатываемые программы содержат графические и статистические средства оценки достоверности данных, диагностики возможных ошибок измерений и другие элементы контроля.

При работе с цифровыми фотограмметрическими системами моделирование рельефа придорожной полосы следует выполнять в границах характерных локальных зон, применяя в каждой из них технологию, адекватную рельефу, в том числе использовать соответствующего вида полиномы или сплайны.

Для обеспечения возможности быстрого и качественного выполнения измерений на стереопарах снимков предусмотрена возможность использования ряда дополнительных функций программного обеспечения, связанных с объединением элементов цифровой модели местности в единую модель, «вырезанием» построенных в границах рабочих площадей стереопар и последующей их «сшивкой» в объединенную модель.

В цифровых системах применяется усовершенствованная технология цифрового трансформирования, основанная на использовании цифровой модели рельефа в виде регулярной сетки со сторонами, параллельными координатным осям. Величины параметра прямоугольников сетки определяются сложностью рельефа изображенной на снимках придорожной полосы: при более выраженном рельефе размеры уменьшаются.

Кроме вышеизложенных операций современные цифровые фотограмметрические системы обеспечивают возможность зарамочного оформления карт и планов. Они имеют встроенные средства размещения надписей, создания картографических шаблонов, масок и других элементов оформления. Продукция может создаваться в виде цифровых растровых и векторных карт, цифровых моделей местности повышенной информативности, цифровых ортофотокарт<sup>3</sup> [24, 25], обеспечивающих возможность оптимального планирования мероприятий создания и последующего содержания придорожных защитных лесонасаждений. Наряду с картографическим обеспечением проектов лесозащитного обустройства автомагистралей фотограмметрические системы можно использовать и для обработки материалов наземных полевых геодезических измерений, полученных при проведении инженерно-геодезических изысканий автомобильных дорог.

Из изложенного следует, что составление научно обоснованных проектов лесозащитного обустройства автомобильных дорог целесообразно выполнять на основании материалов ландшафтно-топографических изысканий с учетом приведенных выше положений экологии ландшафтов и требований по обеспечению приемлемого состояния природной среды придорожных территорий. При этом необходимым условием обеспечения возможности выполнения качественного проектирования с минимальными затратами является применение ГИС-технологий, в первую очередь использование при составлении проектов картографических материалов, полученных полнофункциональными цифровыми фотограмметрическими системами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анопин В. Н. Ландшафтный подход к решению проблемы оптимизации землепользования на юге Приволжской возвышенности // Вестник ВолГУ «Естественные науки». 2013. Серия 11. № 5. С. 45—49.
2. Величко А. А. Полихронность геосистем и прогноз эволюции природы Земли. Новые идеи в палеогеографии // Новое мышление в географии : сб. научных трудов. М. : Наука, 1999. С. 45—54.
3. Рулев А. С., Анопин В. Н. Проблемы лесомелиоративного обустройства урбанизированных деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья // Основы рационального природопользования : сб. научных работ. Саратов : Саратовский ГАУ, Наука, 2007. С. 12—16.

<sup>3</sup> Цифровые фотограмметрические системы, представленные на российском рынке геоинформатики // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2004. № 3(45), № 4(46).

4. Анопин В. Н., Рулев А. С. Геоинформационное картографирование урбандшафтных комплексов // Наука и образование, архитектура, градостроительство и строительство : материалы Международной конф., посвященной 60-ю ВолгГАСУ. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. Т. 2. С. 16—20.
5. Рулев А. С. Ландшафтно-географический подход в агролесомелиорации. Волгоград : ВНИАЛМИ, 2007. 160 с.
6. Грегори К. География и географы. М. : Прогресс, 1988. 51 с.
7. Джеррад А. Дж. Почвы и форма рельефа. Л. : Недра. 1984. С. 70—90.
8. Типы ландшафтных территориальных структур / Г. И. Щвебс и др. // Физическая география и геоморфология. 1986. Вып. 33. С. 109—115.
9. Виноградов Б. В., Орлов В. А., Снакин В. В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия РФ // Известия РАН. Сер. геогр. 1993. № 5. С. 77—89.
10. Снакин В. В., Алябина И. О., Кречетов П. П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // Изв. РАН. Сер.: Географ. 1995. № 5. С. 50—57.
11. Кретицин В. М. Организация и оценка мониторинга плодородия эродированных почв в агролесоландшафтах России // Восстановление и использование эродированных земель. М. — Волгоград, 1998. С. 170—177.
12. Ландшафтное планирование как инструмент управления придорожным комплексом / А. С. Рулев, В. Н. Анопин, Г. А. Рулев, А. А. Матвеева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2. С. 55—63.
13. Районирование территории СССР по основным факторам эрозии / отв. ред. Д. Л. Арманд. М. : Наука, 1965. 235 с.
14. Семенова Н. Н. Изучение эрозии почв по аэрофотоснимкам // Почвоведение. 1959. № 10. С. 69—90.
15. Афанасьева Т. В., Лидов В. П., Можарова Н. В. Изучение процессов эрозии почв путем инструментального дешифрирования аэрофотоснимков // Почвоведение. 1974. № 1. С. 90—96.
16. Виноградов Б. В. Экологическая интерпритация аэрокосмических измерений геофизических эффектов антропогенных воздействий // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л. : Гидрометеиздат, 1983. С. 69—76.
17. Кулик К. Н., Рулев А. С., Манаенкова Н. С. Защитное лесоразведение: история, достижения, перспектива // ВНИАЛМИ. Волгоград, 1998. Вып. 1(108). С. 69—80.
18. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг многолетнего экологического тренда // Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач. Новосибирск : Наука, 1986. С. 107—114.
19. Тикунов В. С. Математизация тематической картографии. Владивосток, 1986. 24 с.
20. Grimmond C. S. B., Oke T. R. Heat storage in urban areas: local-scale observations and evaluation of a simple model // Appl. Meteor. 1999. Vol. 38. No. 7. Pp. 922—940.
21. Stewart I., Oke T. Classifying Urban Climate Field Sites by “Local Climate Zones” the case of Nagano. Japan // The Seventh international Conference of Urban Climate. Yokohama Japan. 2009. URL: [http://www.idc.titech.as.jp/~icuc7/extended\\_abstracts/pdf/385055-1-090515165722002.pdf](http://www.idc.titech.as.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1-090515165722002.pdf).
22. Stewart I. D., Oke T. R. Local Climate Zone classification system key to zone datasheets. Vancouver, 2009. 242 p.
23. Алчинов А. Н., Кекелидзе В. Б. Современные методы визуализации рельефа // Геопрофи. 2006. № 1. С. 13—14.
24. Назаров А. С. Учет влияния рельефа местности при фотограмметрической обработке аэроснимков // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2006. № 1(20).
25. Федотов Г. А., Неретин Г. А. Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы в строительстве : учеб. для вузов по специальности автомобильные дороги и аэродромы. М. : Академия, 2012. 269 с.

© Анопин В. Н., Рулев А. С., Сабитова Т. А., 2019

Поступила в редакцию  
в октябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Анопин В. Н., Рулев А. С., Сабитова Т. А. Особенности методов ландшафтно-топографических изысканий для лесозащитного обустройства автомобильных дорог Нижнего Поволжья // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 171—181.

*Об авторах:*

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

**Рулев Александр Сергеевич** — д-р с.-х. наук, академик РАН, главный научный сотрудник института естественных наук, Волгоградский государственный университет. Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100, [rylev@volsu.ru](mailto:rylev@volsu.ru)

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

**Vladimir N. Anopin<sup>a</sup>, Aleksandr S. Rulev<sup>b</sup>, Tat'yana A. Sabitova<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Volgograd State University*

## **METHODS OF LANDSCAPE FEATURES — TOPOGRAPHIC SURVEY OF FOREST FOR DEVELOPMENT OF ROADS LOWER VOLGA**

The specified provisions of ameliorative landscape science are described, which determine the specifics of performing cartographic and aerospace monitoring of roadside lands, which is necessary for the rational planning of protective afforestation works. A technique for performing surveys using GIS technologies is proposed.

**Key words:** cartographic material, roadside landscapes, protective afforestation, monitoring, aerospace information, digital photogrammetric system.

*For citation:*

Anopin V. N., Rulev A. S., Sabitova T. A. [Methods of landscape features — topographic survey of forest for development of roads Lower Volga]. *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], 2019, iss. 4, pp. 171—181.

*About authors:*

**Vladimir N. Anopin** — Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [AnopinVI.Nik.48@yandex.ru](mailto:AnopinVI.Nik.48@yandex.ru)

**Aleksandr S. Rulev** — Doctor of Agricultural Sciences, Academic of RAS. Volgograd State University. 100, Universitetskii Prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation

**Tat'yana A. Sabitova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Docent of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [ta.sabitova@gmail.com](mailto:ta.sabitova@gmail.com)

УДК 66.081.2

**Н. А. Меренцов<sup>а</sup>, А. В. Персидский<sup>б</sup>, В. Н. Лебедев<sup>в</sup>, А. Г. Карасев<sup>г</sup>, А. Б. Голованчиков<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

<sup>б</sup> *Титан-Баррикады*

<sup>в</sup> *филиал ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ВолгоградНИПИморнефть*

<sup>г</sup> *Волгоградская академия МВД РФ*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

В работе рассмотрены перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий, образующихся в ходе механической обработки различных марок сталей, в качестве насадочных материалов промышленных абсорберов для экологических процессов очистки газовых выбросов строительной и других отраслей промышленности. Приведено краткое описание экспериментальной установки для исследования гидродинамики и теплообмена в насадочных контактных устройствах. Представлены полученные и обработанные в критериальном виде экспериментальные данные в области гидродинамики образца насадочного материала в виде отходов металлообрабатывающего станка при обработке заготовки марки стали 08X17H14M2T (Aisi 316Ti), который согласно классифицирующей методике обработки экспериментальных данных  $\lambda = f(Re_m)$  ориентирован на процесс абсорбции при селективной очистке газов в экологическом оборудовании строительной промышленности. Проведена сравнительная характеристика исследуемого насадочного материала с насадками, получившими широкое промышленное применение. Описаны основные экспериментально подтвержденные гидродинамические эффекты, свидетельствующие о высокой эффективности предлагаемого насадочного материала. Приведен расчет малогабаритного промышленного абсорбера для очистки газовых выбросов с использованием исследуемого насадочного материала.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** абсорбция, селективная очистка газов, массообмен, насадочные материалы, гидродинамические режимы, экспериментальные исследования, отходы металлообрабатывающих станков, отходы машиностроительных предприятий.

В работе представлено новое перспективное направление разработки экологически безопасных энергоэффективных, ресурсосберегающих, биопозитивных конструкций аппаратов селективной очистки газовых выбросов, основанных на технологии использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для систем жизнеобеспечения городского хозяйства.

На предприятиях строительной, химической, нефтегазоперерабатывающей, пищевой и многих смежных отраслях образуется огромное количество газовых выбросов, порой с очень низкими концентрациями компонентов, подлежащих извлечению. Поэтому наряду с требованиями энергоэффективности и ресурсосбережения всегда стоит самое острое, а именно — обеспечение высочайшего качества очистки, то есть доступность обеспечения развитых режимов работы технологического оборудования для очистки газовых выбросов. Вопрос перспективы использования отходов машиностроительных предприятий в качестве насадочных материалов промышленных абсорберов для очистки газовых выбросов для экологических процессов строительной и смежных отраслей промышленности будет рассмотрен подробно.

Выбор известных и создание новых контактных насадочных устройств для технологического массообменного оборудования всегда связан с необходимостью

стью оценки их эффективности для условий конкретного процесса. Работа над совершенствованием массообменных контактных устройств протекает очень активно, и многие ведущие ученые посвящают этому свои многочисленные труды [1—8]. Основными задачами, призванными решать контактные массообменные устройства, являются развитие поверхности межфазного контакта и реализация развитых гидромеханических режимов, обеспечивающих взаимное перемешивание и активизацию диффузионных процессов между контактирующими компонентами массообменных процессов. И все усилия ученых, разрабатывающих контактные элементы, направлены именно на придание определенной геометрии и поверхностных свойств, которые приводят к искомому эффектам интенсификации [1—19]. Металлическая стружка (отходы металлообрабатывающих станков), которую мы предлагаем использовать в качестве насадочного материала, имеет абсолютно различные конфигурациями, что обусловлено физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов, режимами резания и т. д. Однако она имеет преимущественно спиральную (витиеватую) структуру, а также ребрения и микрошероховатости на своей поверхности вследствие пластических деформаций обрабатываемого металла после контакта с резцом. Такого рода геометрические особенности образцов металлической стружки, как показали экспериментальные исследования, приводят к развитию гидромеханических режимов и интенсификации массообменных процессов [18, 19]. Это как раз те свойства, за которые идет борьба при разработке и исследовании новых массообменных контактных устройств, но в данном случае они образуются естественным образом и представляют собой промышленные отходы, представленные в огромном количестве на машиностроительных предприятиях в ходе механической обработки металлов резанием. Мы можем найти им эффективное промышленное применение в качестве насадочных контактных устройств в экологических процессах селективной очистки газовых неоднородных систем. Наше пристальное внимание на данном этапе исследований сосредоточено именно на обработке нержавеющей высоколегированных марок сталей, они представляют для нас особый интерес, так как обладают (в зависимости от состава) устойчивостью к атмосферным воздействиям, химической стойкостью, кислотостойкостью, коррозионной стойкостью, достаточно высокой механической прочностью и в ряде случаев высокими показателями упругости. Один из образцов насадочного материала и будет рассмотрен подробно.

Рассмотрим основные физико-химические и структурные особенности предлагаемого насадочного материала, в качестве которого выступают отходы металлообрабатывающего станка при обработке заготовки марки стали 08X17H14M2T (Aisi 316Ti). (Комментарий: Сфера применения нержавеющей марки стали 08X17H14M2T (Aisi 316Ti) благодаря жаропрочности, устойчивости к коррозии и агрессивным средам используется в химической, нефтяной и газовой промышленности, в изготовлении пищевых резервуаров, лент, трубопроводов, в медицине и фармацевтике, в энергетическом машиностроении, целлюлозно-бумажном производстве и производстве режущего инвентаря, в изготовлении теплообменников, лопастей турбин, деталей машин и компрессоров, в строительстве и дизайне, в изготовлении аппаратов и сосудов для работы с кислотами). При механической обработке металлическая стружка преимущественно имеет спиральную структуру с поверхностными

оребрениями и микрошероховатостями. Оребренная и микрошероховатая поверхность металлической стружки приводит к разрыву сплошной поверхности тонких пленок жидкости на поверхности насадочного материала и многократному обновлению поверхности теплообмена, что интенсифицирует тепло- и массоперенос, резко развивая поверхность контакта фаз и повышая коэффициенты тепло- и массопередачи. Сплошной газовый поток при этом интенсивно дробится и завихряется с образованием макро- и микровихрей за счет оребрения и микрошероховатостей на микроуровне и спиральной структуры насадочного материала на макроуровне, что приводит к активизации омывания насадочных элементов газовым потоком, способствует интенсификации тепло- и массопередачи и позволяет развивать интенсивные гидродинамические режимы. Микрошероховатости играют роль острых микроребер, рвущих дисперсную фазу на поверхности насадочного материала. Следует еще раз отметить, что данный структурный эффект, приводящий к интенсификации теплообменных процессов, образуется естественным образом в ходе механической обработки металлов.

Весь указанный ряд физико-химических и структурно-поверхностных характеристик исследуемой массообменной насадки в виде отходов металлообрабатывающих станков делает ее особенно перспективной для массообменных аппаратов химической, нефтехимической, металлургической, строительной, машиностроительной, пищевой, фармакологической, биохимической и других отраслей промышленности, а также в экологических процессах селективной очистки жидкостных и газовых неоднородных систем. Но качественная работоспособность такого рода насадочных материалов может быть реализована только при грамотной исходной классификации и дальнейшей структурной секционной организации.

Фото насадочного элемента (марка стали 08X17H14M2T (Aisi 316Ti) и укомплектованного для экспериментальных исследований насадочного картриджа приведены на рис. 1. Основные параметры исследуемой массообменной насадки: материал Aisi 316Ti, удельная поверхность  $400 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , порозность  $0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , плотность укладки  $240 \text{ кг}/\text{м}^3$ , эквивалентный диаметр  $0,0082 \text{ м}$ .

Рассмотрим результаты экспериментальных исследований образца насадочного материала в сравнении с насадочными контактными устройствами, получившими широкое промышленное применение. Исследование характеристик теплообменных насадочных контактных устройств осуществляется на экспериментальной установке, подробное описание и возможности которой представлены в работах [19, 20]. Фото и схема экспериментальной установки с кратким описанием представлены на рис. 2. Следует отметить, что для получения достоверных экспериментальных данных и придания истинных поверхностных свойств все исследуемые насадочные материалы в виде отходов металлообрабатывающих станков машиностроительных предприятий предварительно обезжиривались (с поверхности удалялись смазочно-охлаждающие жидкости).

Результаты экспериментальных исследований насадочных устройств по гидродинамике однофазных фильтрационных течений сквозь насадочные слои приведены на рис. 3. Их дальнейшая обработка при помощи классифицирующей критериальной зависимости  $\lambda = f(\text{Re}_m)$ , подробно изложенной в работах [21—24], открывает уникальные возможности прогнозирования эф-

фективного промышленного применения образцов любых насадочных материалов. Разработанная классифицирующая методика  $\lambda = f(Re_M)$  особенно актуальна в условиях обработки и сопоставления больших массивов экспериментальных данных и, в частности, в исследованиях широкого спектра образцов отходов машиностроительных предприятий (металлической стружки). Классифицирующая методика  $\lambda = f(Re_M)$ , графически представленная на рис. 4, позволяет при экспресс-исследовании однофазных фильтрационных течений и последующей обработке данных давать ориентир промышленного применения образцам насадочных материалов произвольных конфигураций, что особенно ценно в случаях адаптации отходов машиностроительных предприятий в качестве контактных массообменных устройств.



Рис. 1. Фото насадочных элементов и укомплектованного насадочного картриджа для осуществления классифицирующих экспериментальных исследований

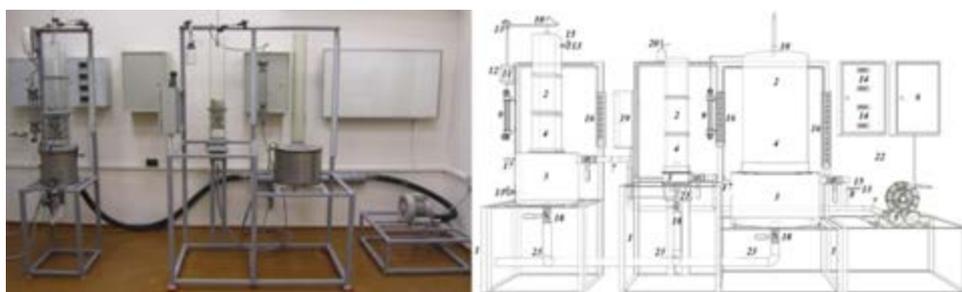


Рис. 2. Фото и схема экспериментальной установки для исследования характеристик теплообменных контактных устройств: 1 — опорная станина; 2 — корпус колонны; 3 — водосборный и газораспределительный коллектор; 4 — исследуемые насадочные устройства в картриджах; 5 — напорная воздуходувка; 6 — частотные преобразователи; 7 — воздухораспределительный канал; 8 — газовый расходомер с указанием скорости и объемного расхода; 9 — ротаметры; 10 — распределители жидкости сменные; 11 — проточный водонагреватель; 12 — потенциометр регулировки нагрева воды; 13 — температурные датчики; 14 — микропроцессорные приборы обрабатывающие сигнал температурных датчиков; 15 — гигрометры; 16 — дифманометры; 17 — указатели уровня жидкости в коллекторах; 18 — вентили сливные быстросъемные (необходимо для экспериментально исследования удерживающей способности); 19 — блок для снятия кривых отклика при расшифровке структур потоков; 20 — механический дозатор индикаторных растворов; 21 — сменные электродные группы; 22 — экран для нанесения тарировочных графиков; 23 — гидрозатвор и канализационный слив

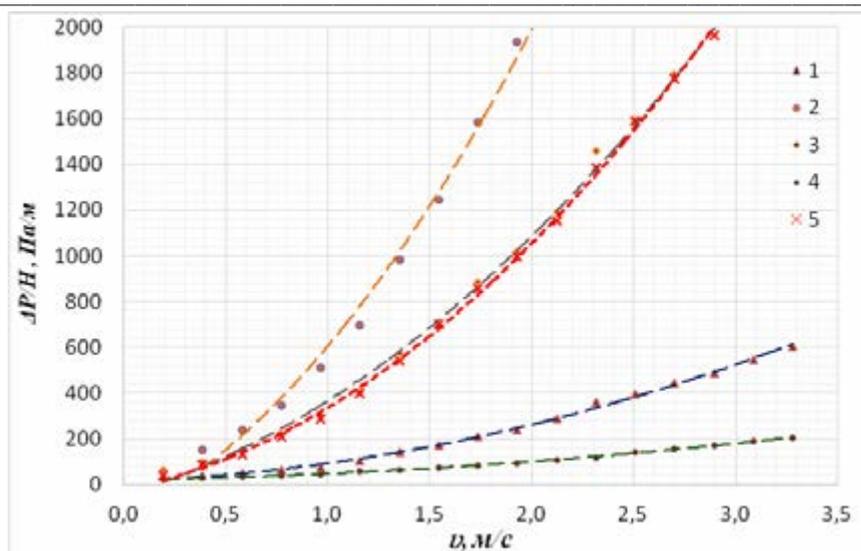


Рис. 3. Фильтрационные кривые однофазных течений газового потока сквозь насадочные слои: 1 — кольца Палля ( $25 \times 25 \times 1$  мм); 2 — кольца Рашига ( $15 \times 15 \times 3$  мм); 3 — кольца Рашига ( $25 \times 25 \times 3$  мм); 4 — насадочный материал Aisi304  $\epsilon = 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$  [19]; 5 — насадочный материал Aisi 316Ti  $\epsilon = 0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$

Таблица 1

*Результаты обработки экспериментальных данных по классифицирующей методике  $\lambda = f(Re_m)$  для насадочного материала в виде отходов металлообработки машиностроительных предприятий (материал 08X17H14M2T, Aisi 316Ti, удельная поверхность  $400 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , порозность  $0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , плотность укладки  $240 \text{ кг}/\text{м}^3$ , эквивалентный диаметр  $0,0084 \text{ м}$ )*

$\alpha, \text{ м}^{-2}$	$\beta, \text{ м}^{-1}$	Re	$\lambda$	$l_{x1}, \text{ м}$	$l_{x2}, \text{ м}^2$
$5,561 \cdot 10^6$	27,38	0,137	16,49	0,0365	$4,92 \cdot 10^{-6}$
		0,205	11,78		
		0,272	9,34		
		0,339	7,88		
		0,410	6,87		
		0,477	6,18		
		0,615	5,24		
		0,749	4,66		
		0,887	4,25		
		1,022	3,95		
		1,16	3,72		

На основании анализа полученных данных (рис. 4) по классифицирующей критериальной зависимости  $\lambda = f(Re_m)$  исследуемый насадочный материал занял режимный диапазон по модифицирующему критерию Рейнольдса от 0,137 до 1,16 и коэффициенту гидравлического сопротивления  $\lambda$  от 16,49 до 3,72, что соответствует процессу абсорбции.

На следующем этапе экспериментальных исследований (рис. 5) отслеживались гидродинамические режимы работы массообменных контактных устройств и экспериментально определялась удерживающая способность

по жидкой и газовой фазам (рис. 6 и 7), которая для нас является одной из основополагающих, являющейся залогом эффективной работы насадочного абсорбера, так как аккумулирующая способность насадочных устройств по жидкой и газовой фазам способствует их качественному взаимному перемешиванию и развитию интенсивных гидродинамических режимов, что повышает производительность и степень очистки промышленных экологических массообменных аппаратов. Задача массообменных контактных устройств, ориентированных на процесс абсорбции при селективной очистке газов, — удержать газ при обеспечении развитого контакта с жидкостью, при этом сам газ выполняет турбулизирующую функцию, создавая локальные или полиэмульгирования (полиинверсии). Очевидно, что исследуемый насадочный материал с высокой эффективностью удовлетворяет требованиям процесса абсорбции. Экспериментально подтверждена способность исследуемого насадочного материала работать в развитых гидродинамических режимах с постепенным образованием очагов эмульгирования и повышенной турбулизации, плавно развивающейся в режим эмульгирования по всему объему насадки с увеличением расхода газового потока. Эти показатели обеспечат высокую степень очистки газовых выбросов в экологических процессах и позволяют дать заключение о том, что данный насадочный материал с высокой эффективностью сможет заменить целый ряд насадочных устройств, получивших широкое промышленное применение для процесса абсорбции.

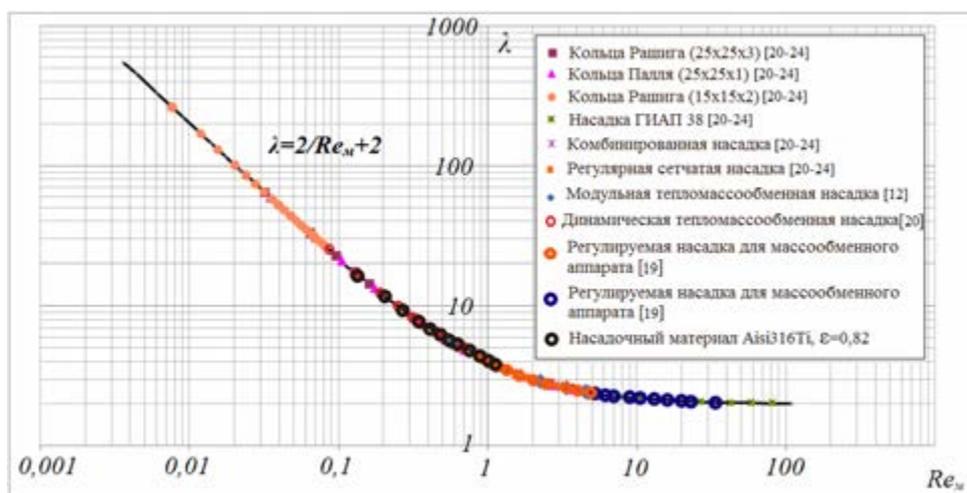


Рис. 4. Классифицирующая критериальная зависимость  $\lambda = f(Re_m)$  для адаптации насадочных материалов согласно спектру массообменных процессов

В качестве прикладного примера приведен расчет промышленного малогабаритного абсорбера (рис. 7) для селективной очистки газовых неоднородных систем (выбросов) с использованием исследуемого насадочного материала Aisi316Ti  $\epsilon = 0,82$  в качестве контактного устройства, согласно разработанным методикам [25, 26]. Основные технологические и геометрические параметры рассчитанного абсорбера приведены в табл. 2.

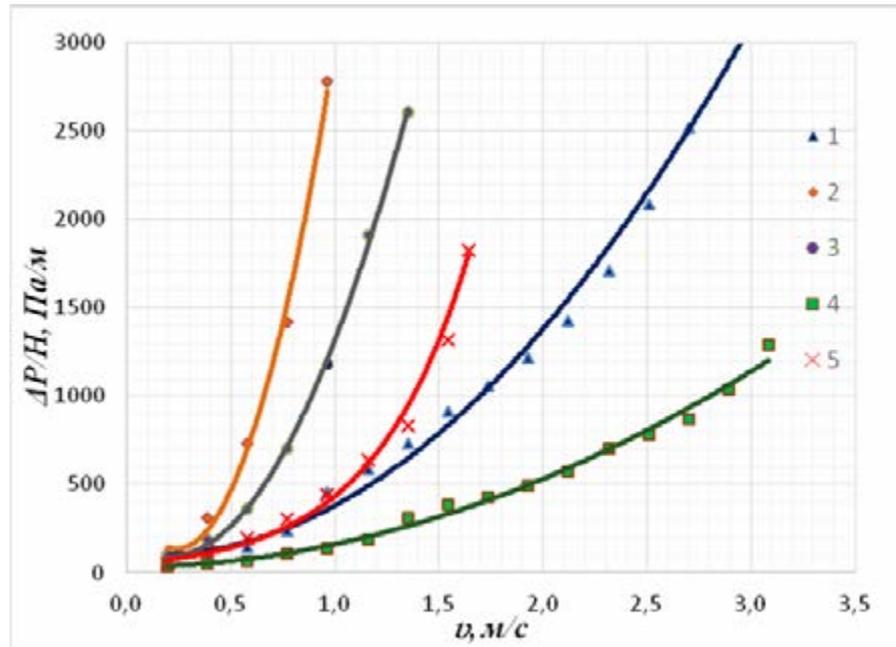


Рис. 5. Экспериментальное исследование гидродинамических режимов работы насадочных устройств (при плотности орошения  $1,9 \text{ кг W/m}^2 \cdot \text{с}$ ): 1 — кольца Палля ( $25 \times 25 \times 1 \text{ мм}$ ); 2 — кольца Рашига ( $15 \times 15 \times 3 \text{ мм}$ ); 3 — кольца Рашига ( $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$ ); 4 — насадочный материал Aisi304  $\epsilon = 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$  [19]; 5 — насадочный материал Aisi 316Ti  $\epsilon = 0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$

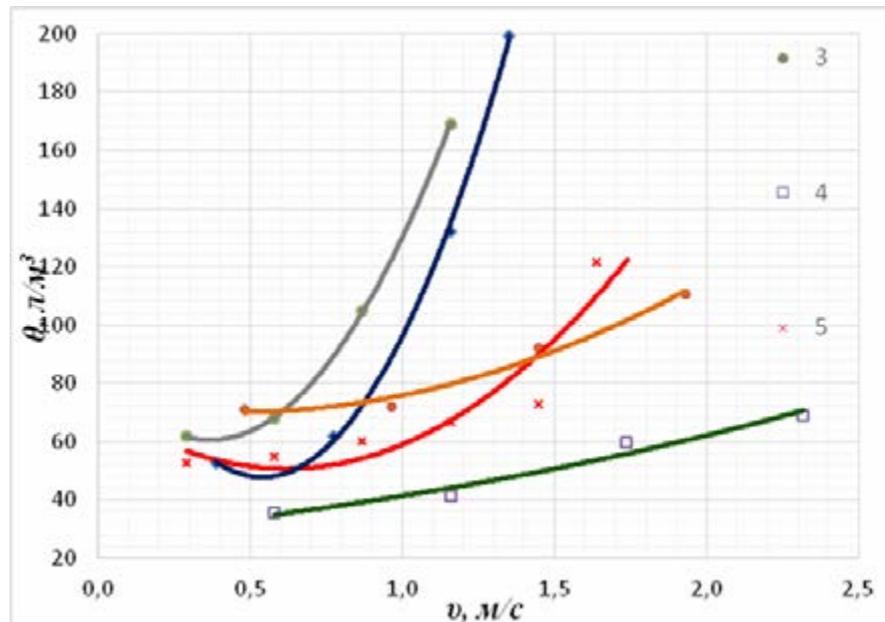


Рис. 6. Удерживающая способность насадочных контактных устройств по жидкой фазе (данные получены при плотности орошения  $1,9 \text{ кг W/m}^2 \cdot \text{с}$ ): 1 — кольца Рашига ( $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$ ); 2 — кольца Палля ( $25 \times 25 \times 1 \text{ мм}$ ); 3 — кольца Рашига ( $15 \times 15 \times 3 \text{ мм}$ ); 4 — насадочный материал Aisi304  $\epsilon = 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$  [19]; 5 — насадочный материал Aisi 316Ti  $\epsilon = 0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$

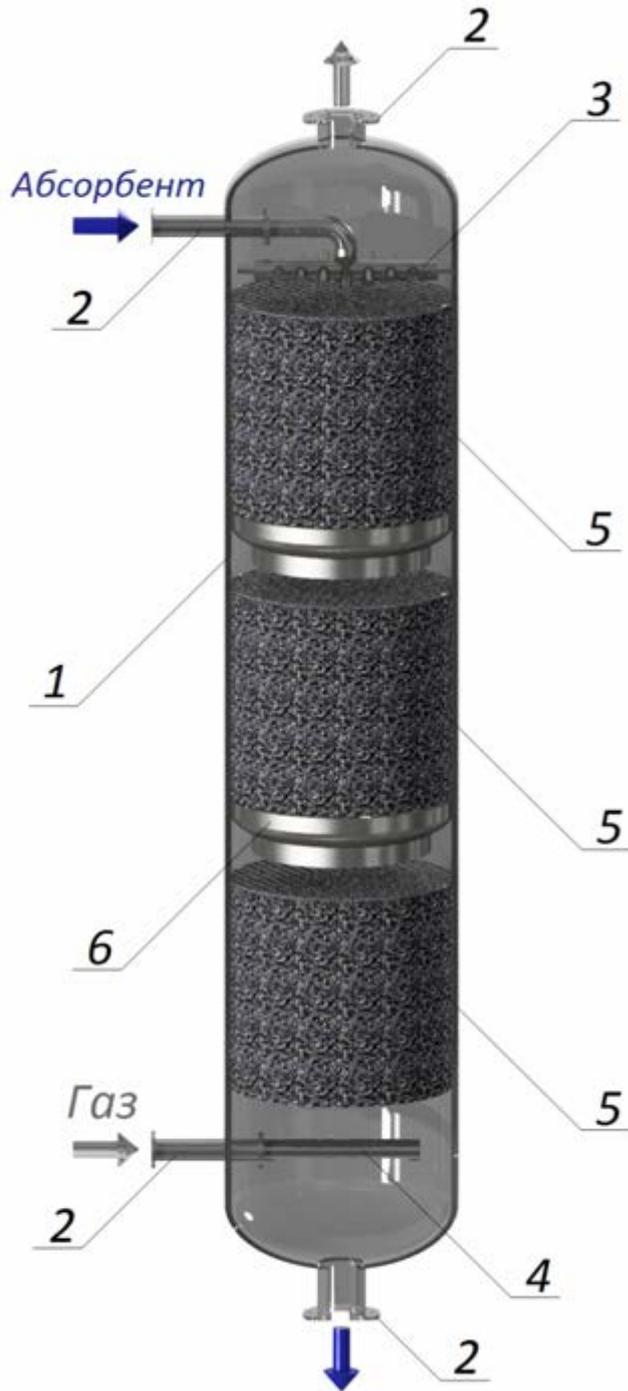


Рис. 7. Промышленная малогабаритная абсорбционная колонна с исследуемой массообменной насадкой  $AiSi316Ti$ ,  $\epsilon = 0,82$ : 1 — корпус абсорбционной колонны; 2 — патрубки для подачи и отвода продуктов массообмена; 3 — распределитель жидкости; 4 — газовый распределитель; 5 — насадочные контактные секции; 6 — перераспределительные устройства

Таблица 2

*Исходные и справочные данные и расчетные параметры промышленной малогабаритной абсорбционной колонны очистки нитрозных газов водой для технологической линии производства разбавленной азотной кислоты с секционной массообменной насадкой (насадочный материал — стружка Aisi 316Ti, удельная поверхность  $400 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , порозность  $0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , плотность укладки  $240 \text{ кг}/\text{м}^3$ , эквивалентный диаметр  $0,0082 \text{ м}$ )*

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Значение
1	2	3	4	5
Исходные данные				
1	Начальная производительность по газовому потоку	кг/час	$G_n$	300
2	Абсолютные мольные концентрации в газе на входе в колонну	$\text{кмоль}A / \text{кмоль}(A + G)$	$y_n$	0,071
3	Абсолютные мольные концентрации в газе на выходе из колонны	$\text{кмоль}A / \text{кмоль}(A + G)$	$y_k$	0,0032
4	Концентрация извлекаемого компонента А в абсорбенте на входе в колонну	$\text{кмоль}A / \text{кмоль}(A + L)$	$x_n$	0,0006
5	Молекулярная масса извлекаемого компонента	кгА/кмольА	$M_a$	46
6	Молекулярная масса газового потока	кгG/кмольG	$M_g$	30
7	Молекулярная масса абсорбента	кгL/кмольL	$M_L$	18
8	Константа Генри при рабочей температуре	—	$E$	1410
9	Порозность насадки	$\text{м}^3/\text{м}^3$	$\varepsilon$	0,82
10	Удельная поверхность насадки	$\text{м}^2/\text{м}^3$	$\sigma$	400
11	Плотность укладки	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_n$	240
12	Плотность абсорбента при температуре абсорбции	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_l$	988
13	Вязкость газового потока при температуре абсорбции	Па · с	$\mu_r$	$1,86 \cdot 10^{-5}$
14	Вязкость абсорбента при температуре абсорбции	Па · с	$\mu_l$	0,0011
15	Коэффициент диффузии абсорбируемого компонента в газе	м <sup>2</sup> /с	$D_g$	$5,6 \cdot 10^{-9}$
16	Коэффициент диффузии абсорбируемого компонента в жидкой фазе	м <sup>2</sup> /с	$D_l$	$1,4 \cdot 10^{-10}$
17	Температура абсорбции	°С	$t$	30
18	Давление в колонне	атм	$p$	1,033
Расчетные параметры				
1	Относительная массовая концентрация в газе на входе в колонну	кгА/кгG	$\bar{y}_n$	0,117
2	Относительная массовая концентрация в газе на выходе из колонны	кгА/кгG	$\bar{y}_k$	0,0049
3	Относительная массовая концен-	кгА/кгL	$\bar{x}_n$	0,00153

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Значение
1	2	3	4	5
	трация извлекаемого компонента на входе в колонну			
4	Производительность по инертной части газового потока	кгG/час	$G$	268,53
5	Производительность по извлекаемому компоненту	кгA/час	$G_A$	30,14
6	Производительность по очищенному газовому потоку	кгG/час	$G_k$	269,85
7	Константа равновесия	кгA/кг	$\bar{X}_e^*$	0,145
8	Минимальный расход абсорбента	кгL/час	$L_m$	174,11
9	Оптимальный расход абсорбента	кгL/час	$L$	208,93
10	Конечная рабочая концентрация извлекаемого компонента при оптимальном расходе абсорбента	кгA/кгL	$\bar{x}_e$	0,174
11	Число точек разбиения рабочего диапазона изменения концентраций	—	$n$	10
12	Интервал изменения по газу	кгA/кгG	$\Delta\bar{Y}$	0,0112
13	Число единиц переноса	—	ЧЕП	11,42
14	Рабочая концентрация извлекаемого компонента в середине каждого интервала в газовой фазе	кгA/кгG	$Y_c$	Табл. 3
15	Рабочая концентрация извлекаемого компонента в середине каждого интервала в жидкой фазе	кгA/кгL	$X_c$	Табл. 3
16	Равновесная концентрация извлекаемого компонента в газовой фазе	кгA/кгG	$\bar{Y}_c^*$	Табл. 3
17	Средняя движущая сила процесса	кгA/кгG	$\Delta\bar{Y}_c$	0,0098
18	Средняя рабочая концентрация извлекаемого компонента в газовой фазе	кгA/кгG	$\bar{Y}_s$	0,061
19	Средняя равновесная концентрация извлекаемого компонента в газовой фазе	кгA/кгG	$\bar{Y}_s^*$	0,0512
20	Средняя рабочая концентрация извлекаемого компонента в жидкой фазе	кгA/кгL	$\bar{X}_s$	0,0766
21	Эквивалентный диаметр насадки	м	$d_3$	0,0082
22	Плотность газового потока	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_g$	1,162
23	Число Архимеда газового потока	—	$Ar_g$	$1,79 \cdot 10^7$
24	Критерий Рейнольдса газового потока	—	$Re_g$	683,82
25	Скорость газового потока	м/с	$v_g$	1,334
26	Объемный расход газового потока	м <sup>3</sup> /с	$q_v$	0,068
27	Диаметр абсорбционной колонны	м	$D_k$	0,3
28	Высота насадки эквивалентная единице переноса	м	$h_1$	0,246

Окончание табл. 2

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Значение
1	2	3	4	5
29	Общая высота насадки	м	$H$	2,8
30	Поверхность насадки	м <sup>2</sup>	$F_n$	57,51
31	Коэффициент массопередачи	кгА/м <sup>2</sup> с	$K_v$	0,0148
32	Высота секции массообменной насадки	м	$h_s$	0,9
33	Количество секций в абсорбционной колонне	—	$n_s$	3

Таблица 3

*Равновесная линия и промежуточные значения для графической интерпретации расчета числа единиц переноса*

Рабочая концентрация извлекаемого компонента в середине каждого интервала в газовой фазе $Y_c \cdot 10^2$	$\frac{1}{Y_c - \bar{Y}_c^*}$	Равновесная концентрация извлекаемого компонента в газовой фазе $\bar{Y}_c^* \cdot 10^2$	Рабочая концентрация извлекаемого компонента в середине каждого интервала в жидкой фазе $X_c \cdot 10^2$
1,053	212,39	0,582	0,874
2,17	158,36	1,544	2,317
3,29	126,44	2,508	3,76
4,42	105,36	3,472	5,203
5,54	90,40	4,438	6,646
6,66	79,24	5,404	8,089
7,78	70,59	6,372	9,532
8,91	63,69	7,342	10,975
10,34	50,06	8,312	12,417
11,15	53,38	9,284	13,86

### Заключение

На основании полученных экспериментальных данных, расчетных и классифицирующих характеристик, а также гидродинамических режимных эффектов, которые в ходе экспериментальных исследований удалось пронаблюдать, можно сделать вывод о несомненной перспективности использования исследуемых насадочных материалов для селективной очистки газовых неоднородных систем в промышленных абсорбционных колоннах, не говоря уже о том, что речь идет о промышленных отходах машиностроительных предприятий, которые в очень больших количествах образуются в ходе металлообработки, и их использовании после классификации, последующей адаптации и структурной организации в виде секций массообменных аппаратов — это утилизация промышленных отходов.

Исследуемый в данной работе насадочный материал за счет своей жесткой структуры и плотной укладки обладает постоянством структурных характеристик и практически не поддается объемному деформированию. Не следует забывать о том, что многие образцы насадочных материалов обладают объемно-упругими свойствами и могут в процессе работы поддаваться объемному де-

формированию и управлению гидродинамическими режимами [18], что открывает уникальные возможности изготовления универсальных массообменных контактных устройств с возможностью эффективного влияния на качество массообменных процессов, степень очистки жидких и газовых неоднородных систем и концентрации конечных продуктов массообмена.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Насадки массообменных колонн / Б. А. Сокол и др. ; под ред. Д. А. Баранова. М. : Инфохим, 2009. 358 с.
2. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / А. М. Каган и др. ; под ред. А. Г. Лаптева. Казань : Отечество, 2013. 454 с.
3. Study of Fluid Dynamics of Mass-Transfer Apparatuses Having Stream-Bubble Contact Devices / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52. № 5—6. С. 299—304.
4. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshev I. N. Optimal Designing of Mass Transfer Apparatuses with Jet-Film Contact Devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. № 7—8. Pp. 430—434.
5. Gorodilov A. A., Pushnov A. S., Berengarten M. G. Improving the Design of Grid Packing // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2014. Vol. 50. № 1—2. Pp. 84—90.
6. Efficiency of the Contact Stage of a Jet-Film Device During Rectification of Ethylbenzene Styrene Mixture / A. V. Dmitriev, O. S. Dmitrieva, I. N. Madyshev, A. N. Nikolaev // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. № 7—8. Pp. 501—507.
7. Совершенствование конструкций нерегулярных металлических насадок / А. М. Каган и др. // *Химическая промышленность сегодня*. 2008. Т. 85. № 1. С. 45—48.
8. Assessment of Change in Torque of Stream-Bubble Contact Mass Transfer Devices / I. N. Madyshev, O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, A. N. Nikolaev // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51. № 5—6. Pp. 383—387.
9. Меренцов Н. А. Тепломассообменная насадка испарительного охлаждения с развитым капельным режимом орошения (в порядке обсуждения) / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, А. Б. Голованчиков и др. // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2019. № 5. С. 4—14.
10. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляторной градирни с капельным орошением // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2012. № 28(47). С. 171—178.
11. Heat and Mass Exchange Packing for Desinfection of Circulation Water in Electric Field / N. Merentsov, A. Persidskiy, V. Lebedev, N. Prokhorenko, A. Golovanchikov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 983. Pp. 547—559.
12. Экспериментальное исследование модульной тепломассообменной насадки градирен / Н. А. Меренцов, Е. Э. Нефедьева, В. Н. Лебедев, Е. А. Циркунова и др. // *Вестник Казанского гос. технол. ун-та*. 2017. Т. 20. № 24. С. 141—144.
13. Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Balashov V. A. Modeling and analysis of a mechanical-draft cooling tower with wire packing and drip irrigation // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 48. № 9—10. Pp. 595—601.
14. Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Моделирование и расчет вентиляторной градирни с проволочной насадкой и капельным орошением // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2012. № 10. 3—6.
15. Моделирование гидромеханических и тепло- и массообменных процессов в вентиляторной градирне с капельным орошением и проволочной насадкой / А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, Я. А. Орлянкина // *Известия ВолгГТУ. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах*. 2012. № 10(97). С. 22—28.
16. Регулярная блочная сетчатая насадка для локальных систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий / Н. А. Меренцов, В. Н. Лебедев, И. А. Хижняков, В. А. Балашов и др. // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2017. Вып. 50(69). С. 80—87.

17. Experimental assessment of heat and mass transfer of modular nozzles of cooling towers / N. A. Merentsov, V. N. Lebedev, A. B. Golovanchikov, V. A. Balashov, E. E. Nefed'eva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 115. № 012017. Pp. 9.
18. Modelling and Calculation of Industrial Absorber Equipped with Adjustable Sectioned Mass Exchange Packing / N. Merentsov, A. Persidskiy, V. Lebedev, M. Topilin, A. Golovanchikov // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 983. Pp. 560—573.
19. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Моделирование тепломассообменных насадочных устройств с развитым капельным режимом течения : монография. Волгоград : ВолгГТУ, 2019. 140 с.
20. Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Балашов В. А. Экспериментальное исследование характеристик тепломассообменных насадочных устройств : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 94 с.
21. Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A. The filtration equation for packing material // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. № 1—2. Pp. 10—13.
22. Method for experimental data processing in the sphere of hydrodynamics of packed heat and mass exchange apparatuses / N. A. Merentsov, V. A. Balashov, D. Y. Bunin, V. N. Lebedev, A. V. Persidskiy, M. V. Topilin // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 243.
23. Меренцов Н. А., Балашов В. А., Орлянкина Я. А. Критериальное уравнение для расчета гидравлического сопротивления сухой насадки // Известия ВолгГТУ. Сер.: Реология, процессы и аппараты химической технологии. 2013. № 1(104). С. 112—114.
24. Голованчиков А. Б., Балашов В. А., Меренцов Н. А. Уравнение фильтрации для насадочных контактных устройств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2017. № 1. С. 8—10.
25. Golovanchikov A. B., Merentsov N. A. Modelling of Absorption Process in a Column with Diffused Flow Structure in Liquid Phase // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 983. Pp. 635—644.
26. Голованчиков А. Б., Залипаева О. А., Меренцов Н. А. Моделирование сорбционных процессов с учетом структуры потока: монография. Волгоград : ВолгГТУ, 2018. 128 с.

© Меренцов Н. А., Персидский А. В., Лебедев В. Н., Карасев А. Г., Голованчиков А. Б., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев, А. Г. Карасев, А. Б. Голованчиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 182—195.

Об авторах:

**Меренцов Николай Анатольевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28, steerle@mail.ru, rahp@vstu.ru

**Персидский Александр Владимирович** — инженер-конструктор, АО ФНПЦ «Титан-Баррикады». Российская Федерация, 400071, г. Волгоград, a-persidsky@yandex.ru

**Лебедев Виталий Николаевич** — инженер, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг Волгоград-НИПИморнефть». Российская Федерация, Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 96, oilproject@lukoilvmn.ru

**Карасев Алексей Григорьевич** — старший преподаватель кафедры физической подготовки, Волгоградская академия МВД России. Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Историческая, 130, Alekse-karasev@yandex.ru

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

**Nikolai A. Merentsov<sup>a</sup>, Aleksandr V. Persidskiy<sup>b</sup>, Vitalii N. Lebedev<sup>c</sup>, A. G. Karasev<sup>d</sup>,  
Aleksandr B. Golovanchikov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Volgograd State Technical University*

<sup>b</sup> *Titan-Barricady*

<sup>c</sup> *Branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft*

<sup>d</sup> *Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*

## **PERSPECTIVE OF USING INDUSTRIAL WASTE OF MACHINING ENTERPRISES FOR SOLUTION ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

The paper discusses the prospects for the use of industrial waste for engineering enterprises. A brief description of experimental installations for the study of hydrodynamics and heat and mass transfer in packed contact devices is given. Experimental data obtained in the criterion form in the field of hydrodynamics of a sample of a packing material, in the form of a metalworking machine waste, when processing a billet of steel grade 08X17H14M2T (Aisi316Ti), which is oriented according to the experimental data processing method  $\lambda = f(Re_m)$ , is presented. Absorption in the selective purification of gases in environmental equipment. A comparative characteristic of the packing material under investigation with packed that have received wide industrial application has been carried out. The main experimentally confirmed hydrodynamic effects, indicating a high efficiency of the proposed packing material, are described. The calculation of a small-sized industrial absorber for cleaning gas emissions using the packing material under study is presented.

**Key words:** absorption, selective gas cleaning, mass transfer, packing materials, hydrodynamic regimes, experimental studies, waste of metalworking machines, waste of engineering enterprises.

### *For citation:*

Merentsov N. A., Persidskiy A. V., Lebedev V. N., Karasev A. G., Golovanchikov A. B. [Perspective of using industrial waste of machining enterprises for solution environmental problems of the construction industry]. *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], 2019, iss. 4, pp. 182—195.

### *About authors:*

**Nikolai A. Merentsov** — Candidate of Engineering Sciences, Docent of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, [steeples@mail.ru](mailto:steeples@mail.ru), [pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

**Aleksandr V. Persidskiy** — Design engineer, Titan-Barricady. Volgograd, 400071, Russian Federation, [a-persidsky@yandex.ru](mailto:a-persidsky@yandex.ru)

**Vitalii N. Lebedev** — Engineer, branch of LUKOIL-Engineering VolgogradNIPImorneft. 96, Lenina Ave., Volgograd, Russian Federation, [oilproject@lukoilvmn.ru](mailto:oilproject@lukoilvmn.ru)

**Alexey G. Karasev** — Senior Lecturer, Department of Physical Training, Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 130, Istoricheskaya St., Volgograd, 400089, Russian Federation, [Alekse-karasev@yandex.ru](mailto:Alekse-karasev@yandex.ru)

**Aleksandr B. Golovanchikov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation, [pahp@vstu.ru](mailto:pahp@vstu.ru)

УДК 712.01

**С. Д. Митягин<sup>а</sup>, И. В. Шевчук<sup>б</sup>, Е. И. Мельникова<sup>б</sup>, Ю. Б. Колышев<sup>б</sup>, И. И. Соколов<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>б</sup> Волгоградский государственный технический университет

### **ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ПАМЯТНИКОВ КАК НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ПАРКОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

В статье рассматривается ландшафтно-рекреационная среда территории как результат взаимодействия, взаимопроникновения и взаимного дополнения трех основных ландшафтно-рекреационных направлений: образования, ресурсов, деятельности. Анализ примеров формирования природных парков в Ставропольском крае показывает ряд типологических моделей современных природных парков в зависимости от положения природных памятников, заказников, заповедников и ландшафтно-рекреационной среды.

**Ключевые слова:** природные памятники, природные парки, Ставропольский край, рекреация, ландшафт, массовый туризм.

Проблема заключается в том, что состояние архитектурно-ландшафтной организации природных памятников не соответствует запросам для отдыха и оздоровления населения.

Объект исследования — структурирование природных парков Ставропольского края.

Предметом исследования являются принципы и методы архитектурно-ландшафтных способов создания природных парков.

Цель работы: переосмыслить роль ландшафтно-градостроительного направления в профессиональном подходе к природным паркам и разработать концепцию организации природных парков.

Исходя из поставленной цели основными задачами стали:

- анализ представления по образованию архитектурно-ландшафтной организации природных парков;
- выявление принципов формирования природных парков;
- изучение территориального потенциала края для развития природных парков;
- предложение концепции природных парков.

Одно из основных направлений массового отдыха населения и создания благоприятной жизненной среды — это развитие природного ландшафта в структуре расселения края.

Известно, что все большее значение приобретают подвижные, активные формы отдыха. Пешеходные, велосипедные, водноспортивные, лыжные и другие прогулки выделяются как наиболее популярные виды отдыха населения. Однако основным элементом системы массового отдыха населения кроме градостроительных парков и скверов становятся крупные загородные пространства отдыха. Анализ природных зон большинства крупных городов показывает, что на территориях, которые характеризуются крупными природными достопримечательностями и относительно незначительным раз-

витиём, необходимо активнее осуществлять режим охраны и восстановления ландшафта. Это поспособствует сохранению таких ценных природных территорий, как горы Северного Кавказа, леса, поймы, русла рек [1].

Сейчас на территории края расположены такие особо охраняемые природные территории (ООПТ), как дендрологические парки, ботанические сады, заказники и национальный парк «Кисловодский». Однако большая часть природоохранной функции в крае лежит на природных памятниках, но из-за стихийного развития туризма и непосильных нагрузок на территории с большим количеством природных достопримечательностей произошло ухудшение состояния экосистем и природных комплексов. Стало очевидно, что старая сеть ООПТ больше не справляется со своими основополагающими задачами. Это обстоятельство служит главной причиной формирования идеи создания укрепленных ландшафтно-территориальных комплексов ООПТ [2—8].

Поэтому наряду с существующими и проектируемыми заповедниками и пригородными зонами отдыха предусматривается образование ряда природных заповедно-туристических зон в виде природных парков.

Природные парки — это одна из современных форм охраны природы и организации отдыха населения. Такие парки формируют два направления: взаимосвязи на крупных территориях и на базе комплексной оценки природно-климатических и градостроительных условий с учетом объемов рекреационной емкости ландшафта [9].

Основная цель природных парков состоит в комплексном и рациональном использовании природных ресурсов с сохранением природных комплексов и объектов, имеющих значительную экологическую, эстетическую ценность, и развитии устойчивого экологического туризма и рекреации в крае [10, 11].

Формирование природных парков определяет новые градостроительные задачи: включение парков в общую архитектурно-планировочную структуру системы расселения края; определение оптимального соотношения искусственных компонентов и природного фона в пределах парков; ряд требований необходимо предъявить к архитектуре сооружений; выявление облика парков с учетом всего разнообразия природных и градостроительных условий [12].

Для решения этих задач были разработаны типичные ландшафтные ситуации для организации природных парков, а также варианты планировочной структуры природных парков (рис. 1, 2).

В зависимости от конкретного сочетания градостроительных и природных условий архитектурно-планировочная структура парков приобретает самый различный вид. Чаще всего более освоенные части располагаются по периметру парка, а его сердцевина остается в первоначальном виде. В некоторых ситуациях целесообразней туристический центр располагать в середине, в окружении природных ландшафтов. Иногда парки формируются на основе линейной структуры, где чередуются освоенные и неосвоенные ландшафты [13—15].

К архитектурному облику сооружений парка должны быть предъявлены особые требования. Прежде всего, это органическое слияние с природным окружением, а не господство над ним, широкое использование дерева, камня, камыша, непосредственное включение в архитектуру зданий элементов, определяющих специфический характер участка (группы деревьев, валунов, скалы), развитая пластика фасадов и их вертикальное озеленение, организа-

ция видовых террас, «висячих» садов, использование плоских кровель, максимальное сохранение естественной поверхности, иногда постановки здания на опоры-сваи, что позволяет сохранить ценные видовые раскрытия на уровне земли. Можно рекомендовать «скрытое» расположение всех утилитарных сооружений, объединение их в хозяйственные блоки на пониженных точках рельефа, экранированных насаждениями, исключение чисто урбанистических мотивов в застройке туристических комплексов, ограничение их территориального развития пределами, где сохраняется непосредственная визуальная связь с природным ландшафтом [16—18].

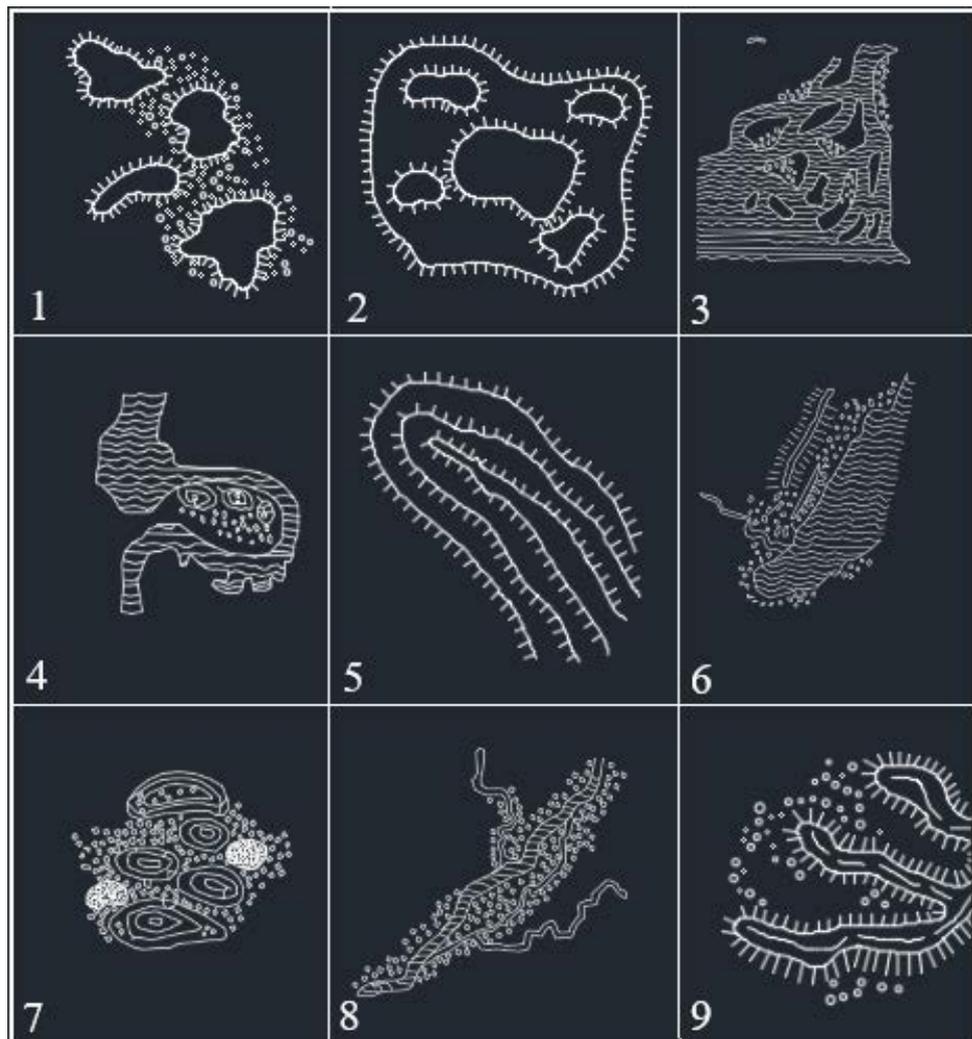


Рис. 1. Типичные ландшафтные ситуации для организации природных парков: 1 — система возвышенностей в окружении лесов (степей); 2 — холмистая лесостепь; 3 — дельта (русло) реки; 4 — излучина реки; 5 — горный рельеф с ценной флорой и фауной; 6 — берег моря, озера, реки, водохранилища; 7 — горно-лесной массив в степной местности; 8 — заселенная дельта реки в степной местности; 9 — горный массив

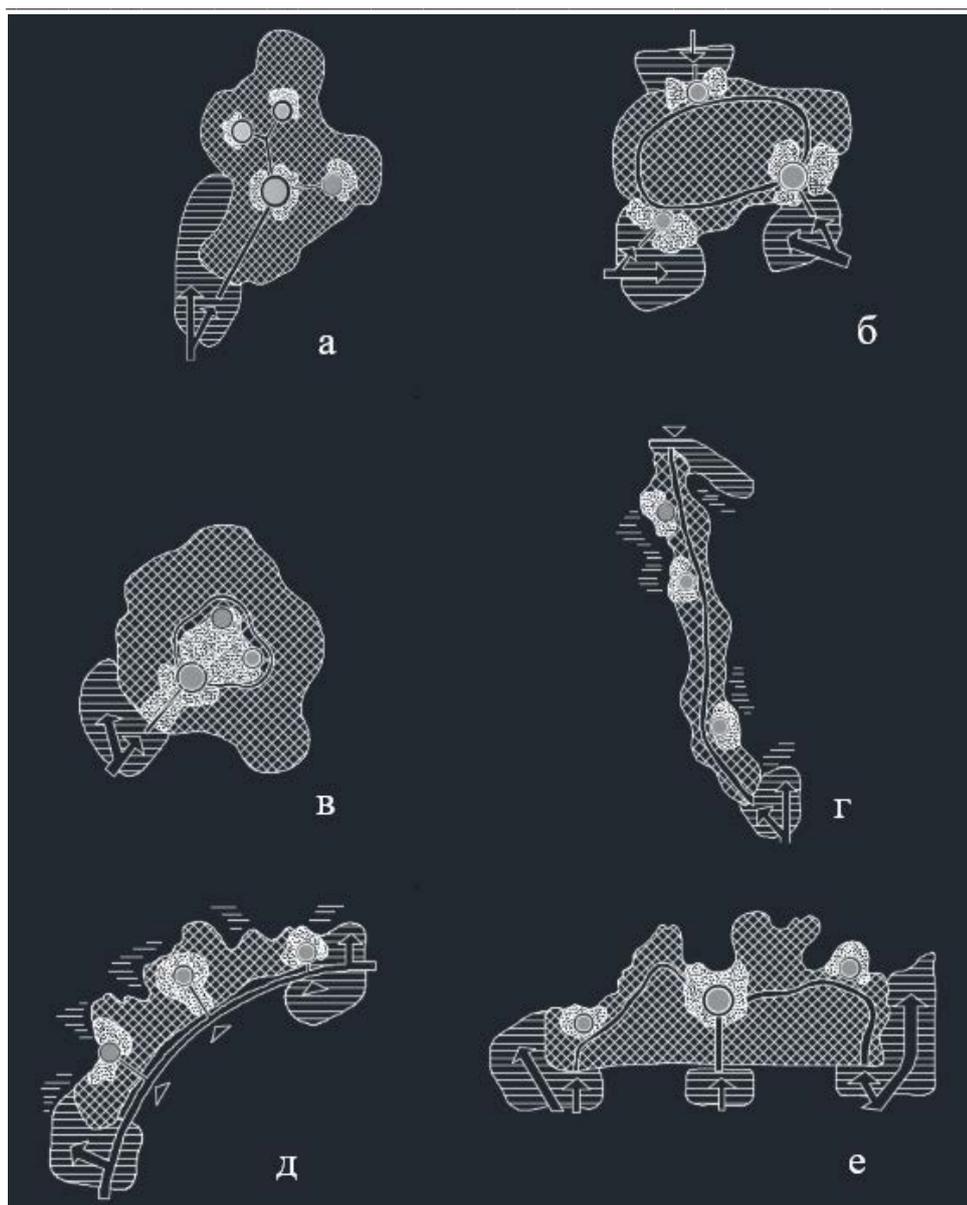


Рис. 2. Варианты планировочной структуры природных парков: *a* — центрально-ветвистая (при расположении парка внутри горного или лесного массива); *б* — периметрально-петлевая (при основном расположении охраняемого центрального ландшафта); *в* — центрально-петлевая (при расположении парка внутри горного или лесного массива); *г* — линейно-осевая (полуостров); *д* — линейно-тупиковая; *е* — линейно-петлевая (морские побережья)

Задачи архитектуры в области организации массового отдыха велики и многообразны. Создание полноценной и совершенной в эстетическом отношении ландшафтной среды возможно лишь в тесной связи с планомерным развитием городов и систем расселения, в соответствии с ходом социального и научно-технического прогресса нашего общества [19].

На основании графоаналитического анализа выделяются четыре ландшафтно-рекреационных территории с большим количеством и богатым разнообразием природных памятников: «Пятигорье», «Гора Стрижамент», «Ставропольский», «Сычевско-Воровлесский». К существующему «Национальному парку «Кисловодский» предлагается создание четырех природных парков:

«Пятигорье». Примерная площадь — 50 000...60 000 га. Находится на юго-западе края на территории двух районов — Предгорного и Минераловодского. Природные памятники, расположенные в границах природного парка, — это 17 останцовых магматических гор Пятигорья («Бык», «Верблюд», «Джуца», «Дубовка», «Бештау», «Золотой Курган», «Лысая», «Машук», «Медовая», «Юца», «Развалка», «Шелудивая», «Змейка», «Кинжал», «Кокулты»), «Гора Железная», «Баталинский минеральный источник» и «Баталинская пещера», «Пятигорский большой провал», «Великовозрастное дерево ореха грецкого», «Великовозрастное дерево сосны Сосновского» и «Группа великовозрастных деревьев в парке культуры и отдыха (ПКиО) им. Кирова». Природный парк будет основан на основе существующего государственного природного заказника «Бештаугорский» [20].

«Гора Стрижамент». Примерная площадь — 24 627...25 739 га. Находится на западе края в двух районах — Шпаковском и Кочубеевском. На территории парка расположены следующие природные памятники — «Долина реки Кубани у станицы Барсуковской», «Лопатинская лесная дача», «Каменный хаос» и «Буковый лес на горе Стрижамент». Также на территории парка существует такой ООПТ, как государственный природный заказник «Стрижамент» [21].

«Ставропольский». Примерная площадь 26 000...30 000 га. Занимает территорию около города Ставрополя и также захватывает часть города (Шпаковский район). Природные памятники на территории парка — «Балка Второй Лог», «Ландшафты высотной поясности Ставропольской горы», «Курган Лохматый», «Травertiновый источник в Русской лесной даче», «Холодный родник» и «Михайловские родники», урочище родника «Корыта», «Группа великовозрастных деревьев в Ставропольском ПКиО», «Великовозрастные тополя» (ул. Морозова, 45). Также парк будет включать в себя близлежащие государственные природные заказники, лесопарковые природные пояса и Сенгилевское водохранилище [22].

«Сычевско-Воровлесский» природный парк. Примерная площадь — 20 000...23 500 га. Юго-запад края в Андроповском районе. Природные памятники в природном парке — это урочище «Семистрожи», Буковый лес на Воровлесских высотах и Беломечетский песчаный карьер [23].

#### **Выводы:**

Ландшафтно-рекреационный потенциал создает развитие рекреационного направления в крае, формирует ландшафтно-рекреационный уровень территории.

В ходе исследовательской работы выделены природные территории с включением природных памятников в Ставропольском крае с учетом современных требований по формированию ландшафтов.

Выявлено, что данные уникальные территории нуждаются в охране их естественных ландшафтов и проведении комплексных мероприятий по восстановлению.

Предложены схемы типичных ландшафтных ситуаций и вариантов планировочной структуры для создания природных парков, а также схема образования природных парков в крае (рис. 3).



Рис. 3. Схема образования природных парков Ставропольского края: 1 — «Пятигорье»; 2 — «гора Стрижамент»; 3 — «Ставропольский»; 4 — «Сычевско-Воровлеский»

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурно-ландшафтная среда рекреационных территорий / И. И. Соколов, А. И. Соколов, В. Ф. Сидоренко, Е. И. Мельникова, Д. Р. Муслимова // Вестник ВолгГАСУ. 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. Кольшева Д. О. Структурирование модуля церкви Троицы в Никитниках в Москве // Студенческое творчество в архитектурно-художественной культуре России : материалы I Всероссий. науч.-практич. конф. студентов и магистрантов. Ростов-на-Дону : ИАрХИ ЮФУ, 2011. 238 с.

9. *Кольшева Т. Б.* Знакомство старших дошкольников с историей города Волгограда посредством проектной деятельности // Педология. URL: <https://pedologiya.ru/servisy/publik/publ?id=104>.
10. *Кольшев Ю. Б., Кольшева Г. В.* Решение проблем взаимосвязи довузовского и вузовского этапов обучения архитектурному рисунку // Новые идеи нового века — 2015 : материалы XV Междунар. науч. конф. : в 3 т. Хабаровск : Тихоокеан. гос. ун-т, 2015. Т. 2. С. 382—385.
11. *Кольшев Ю. Б.* Рисунок архитектурных форм и пространств. Волгоград : Комитет по печати, 1997. 109 с.
12. *Кольшев 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. *Кольшев 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 : ТИУ, 2016. Т. 3. С. 109—114.
14. *Олейников П. П.* Крепости Сталинградской победы. Волгоград : ВолГАСУ ; 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.* Культурное 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 ВолГАСУ. 2008. Вып. 1(5). Ст. 4. URL: [www.vestnik.vgasu.ru](http://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.

© Митягин С. Д., Шевчук И. В., Мельникова Е. И., Кольшев Ю. Б., Соколов И. И., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Ландшафтно-рекреационные особенности природных памятников как направление развития современных природных парков Ставропольского края / С. Д. Митягин, И. В. Шевчук, Е. И. Мельникова, Ю. Б. Кольшев, И. И. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 196—203.

Об авторах:

**Митягин Сергей Дмитриевич** — д-рarchit., профессор кафедры градостроительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4, [spbgrado@spbgasu.ru](mailto:spbgrado@spbgasu.ru)

**Шевчук Ирина Вячеславовна** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [iria.shevchuck@yandex.ru](mailto:iria.shevchuck@yandex.ru)

**Мельникова Елена Игоревна** — ассистент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, igorevna.1990@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

**Соколов Иван Иванович** — канд. архит., профессор, профессор кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, sokolovii@mail.ru

**Sergei D. Mityagin<sup>a</sup>, Irina V. Shevchuk<sup>b</sup>, Elena I. Melnikova<sup>b</sup>, Yurii B. Kolyshev<sup>b</sup>, Ivan I. Sokolov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

<sup>b</sup> *Volgograd State Technical University*

## LANDSCAPE AND RECREATIONAL FEATURES OF NATURAL MONUMENTS AS THE DEVELOPMENT DIRECTION OF MODERN NATURAL PARKS IN THE STAVROPOL TERRITORY

The article deals with the landscape and recreational environment of the territory as a result of interaction, interpenetration and mutual complement of the three main landscape and recreational areas: education, resources, activities. The analysis of examples of formation of natural parks in Stavropol krai shows a number of typological models of modern natural parks depending on the position of natural monuments, nature reserves, nature reserves and landscape and recreational environment.

**Key words:** natural monuments, natural parks, Stavropol region, recreation, landscape, mass tourism.

*For citation:*

Mityagin S. D., Shevchuk I. V., Melnikova E. I., Kolyshev Yu. B., Sokolov I. I. [Landscape and recreational features of natural monuments as the development direction of modern natural parks in the Stavropol territory]. *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], 2019, iss. 4, pp. 196—203.

*About authors:*

**Sergei D. Mityagin** — Doctor of Architecture, Professor of Town Planning Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 4, 2-ya Krasnoarmeiskaya street, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation, [spbgrado@spbgasu.ru](mailto:spbgrado@spbgasu.ru)

**Irina V. Shevchuk** — student, Volgograd State Technical University (VSTU). Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [iria.shevchuck@yandex.ru](mailto:iria.shevchuck@yandex.ru)

**Elena I. Melnikova** — Assistant of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [igorevna.1990@mail.ru](mailto:igorevna.1990@mail.ru)

**Yurii B. Kolyshev** — Professor, Professor of Landscape Architecture and Professional Communications Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [tango7412@gmail.com](mailto:tango7412@gmail.com)

**Ivan I. Sokolov** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Architecture of Buildings and Structures Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [sokolovii@mail.ru](mailto:sokolovii@mail.ru)

УДК 712.01

**М. Д. Орозалиев<sup>а</sup>, И. И. Соколов<sup>б</sup>, Е. А. Сасова<sup>б</sup>, И. В. Шевчук<sup>б</sup>, Е. И. Мельникова<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

### **СПОСОБ АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННО-ЭСТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «ЦИМЛЯНСКИЕ ПЕСКИ»**

Проведен анализ ландшафтно-рекреационного аспекта территории природного парка «Цимлянские пески» с целью улучшения организации отдыха и туризма. Для анализа применен метод оценки ландшафтно-эстетического потенциала территории парка и обоснована актуальность использования разработанной методики для исследования особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [1]. По результатам исследования были составлены следующие схемы: элементов природного парка, композиционных осей, информативности пейзажного разнообразия, уникальности ландшафтных участков, ключевых элементов ландшафта, архитектурно-ландшафтного зонирования.

Ключевые слова: архитектурно-ландшафтный анализ, информационно-эстетический потенциал, природный парк «Цимлянские пески», ландшафт, рекреация.

Актуальность исследования заключается в поддержании и увеличении туристической значимости парка путем анализа ландшафтно-рекреационного пространства ООПТ с целью улучшения организации отдыха, лечения и туризма в границах его территории.

При попытке объединить подходы были выделены три основных показателя ландшафта: пейзажное разнообразие, экзотичность и уникальность [2].

Цель исследования — составление схем информационно-ландшафтного пространства парка для рационализации использования рекреационных ресурсов.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- проанализировать понятие эстетики ландшафта, методики определения эстетических качеств территории;
- применить основные подходы к анализу природного парка «Цимлянские пески»;
- выявить наиболее ценные приоритеты при ландшафтно-эстетическом развитии природного парка.

Граница исследования — природный парк «Цимлянские пески».

Гипотеза исследования заключается в исследовании эстетико-ландшафтных факторов как основы для развития туризма в регионе.

Эстетика ландшафта — особое направление ландшафтоведения, изучающее живописность природных и природно-антропогенных ландшафтов, особенности их художественного восприятия человеком и занимающееся оценкой эстетических достоинств ландшафта [3].

Государственное учреждение природный парк «Цимлянские пески» был создан в 2003 г. (см. табл.). Он располагается на юго-западе Волгоградской об-

ласти в Чернышковском районе на территориях Нижнегнатовского, Тормосиновского, Захаровского сельских поселений около Цимлянского водохранилища в районе Цимлянских песков, его общая площадь составляет 76 тыс. га [4]. Природный парк «Цимлянские пески» имеет региональное значение.

*Площадь ООПТ природного парка «Цимлянские пески» [5]*

Природный парк	Площадь ООПТ		
	тыс. кв. км.	% территории страны	% территории Волгоградской области
Цимлянские пески	691, 700	0,004	0,61

Основными целями создания природного парка являются<sup>1</sup>:

- 1) сохранение природной среды, уникальных и эталонных природных ландшафтов и объектов;
- 2) охрана растений, животных и других организмов, относящихся к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации и Красную книгу Волгоградской области;
- 3) восстановление нарушенных природных экосистем;
- 4) сохранение природного комплекса — Цимлянского песчаного массива, примыкающего к Цимлянскому водохранилищу;
- 5) экологическое воспитание и просвещение населения.
- 6) удовлетворение рекреационных потребностей жителей Волгоградской области и других регионов Российской Федерации;
- 7) создание сети мест отдыха на экологически чистой территории с богатым растительным и животным миром, снижающих негативное влияние антропогенных нагрузок на окружающую среду;
- 8) создание сети обустроенных туристических маршрутов;
- 9) сохранение, изучение и использование в научных, образовательных, туристских и рекреационных целях высокого природного и культурно-исторического потенциала территории;
- 10) разработка и внедрение научных методов сохранения биологического разнообразия и природных комплексов в условиях Волгоградской области, а также оценка и прогноз экологической обстановки.

Использование ландшафтно-планировочной организации на основе метода архитектурно-ландшафтного анализа с помощью метода оценки природно-эстетического потенциала природного парка позволяет повысить туристический интерес к природному парку. Современное развитие парка требует частичное изменение ландшафтно-эстетических зон и акцентов.

Эстетические качества природного ландшафта оцениваются по следующим показателям [6, 7]:

для лесных насаждений: средняя высота, проходимость, строительство, дендрологическое богатство.

для открытых пространств: вертикальное и горизонтальное изменение рельефа, степени видимости горизонт, количество видимых ландшафтов, проходимость, структурированность, дендрологические богатства.

<sup>1</sup> Постановление «Об утверждении Положения о природном парке „Цимлянские пески“ (с изменениями на: 06.08.2018)» от 22 августа 2016 года № 458-п.

Парк разделен на несколько функциональных зон<sup>2</sup>:  
природоохранная — 48,3 % площади парка (запрещается хозяйственная деятельность, посещение зоны сторонними лицами строго регламентировано);  
рекреационная — 29,1 % (организация отдыха и туристических экскурсий);  
агрохозяйственная — 2,5 % (предназначена для ведения экологически безопасных форм сельского хозяйства с целью обеспечения местного населения и посетителей парка продуктами питания);  
буферная — 20,1 % (проходит вдоль границ парка), к ней примыкает, но не входит в границы парка т. н. околопарковая зона.



Рис. 1. Опорная схема природного парка «Цимлянские пески»

Главная природная ось (природная ось — линейная природная структура, сформированная, как правило, вдоль рек и включающая водоохранные леса и другие природные территории) проходит вдоль берега Цимлянского водохранилища через лесное хозяйство и песчаные гряды. По одну сторону от нее располагается берег водохранилища с местами птичьих стоянок, «Лазурным берегом», «Ракушечником» и рыболовным хозяйством (рис. 2).

<sup>2</sup> Постановление «Об утверждении Положения о природном парке „Цимлянские пески“ (с изменениями на: 06.08.2018)» от 22 августа 2016 года № 458-п.

Визуально в парке можно выделить 2 зоны, различающиеся озеленением: зона песчаных гряд и лесопосадок, которые резко контрастируют. Рельеф равнинный с небольшим понижением с севера на юг. Возвышенности на участке представлены песчаными грядами. Композиционные оси парка проходят вдоль природных осей, по которым проходят наиболее живописные видовые маршруты (рис. 3).

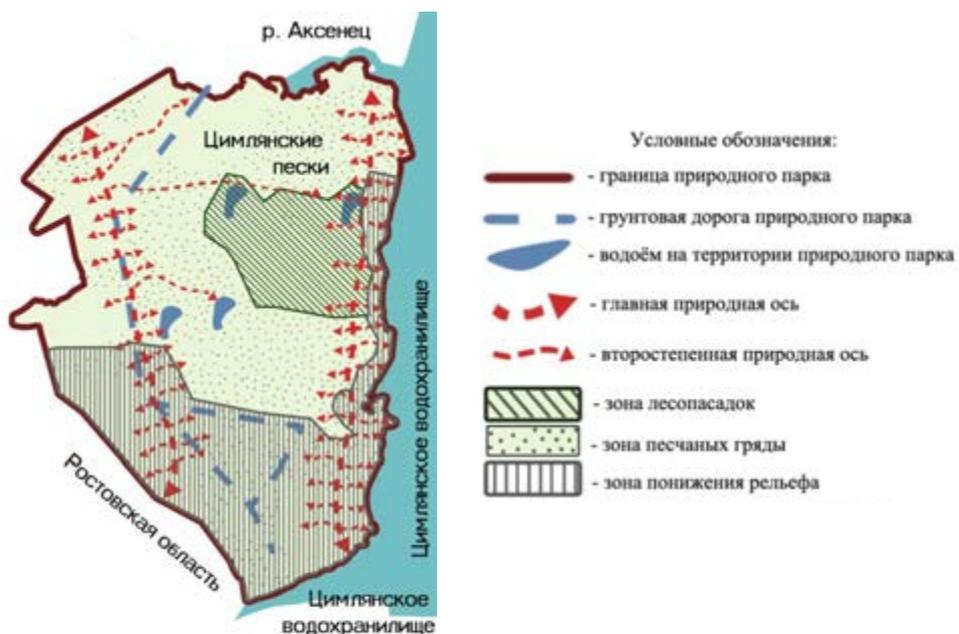


Рис. 2. Аналитическая схема опорного плана

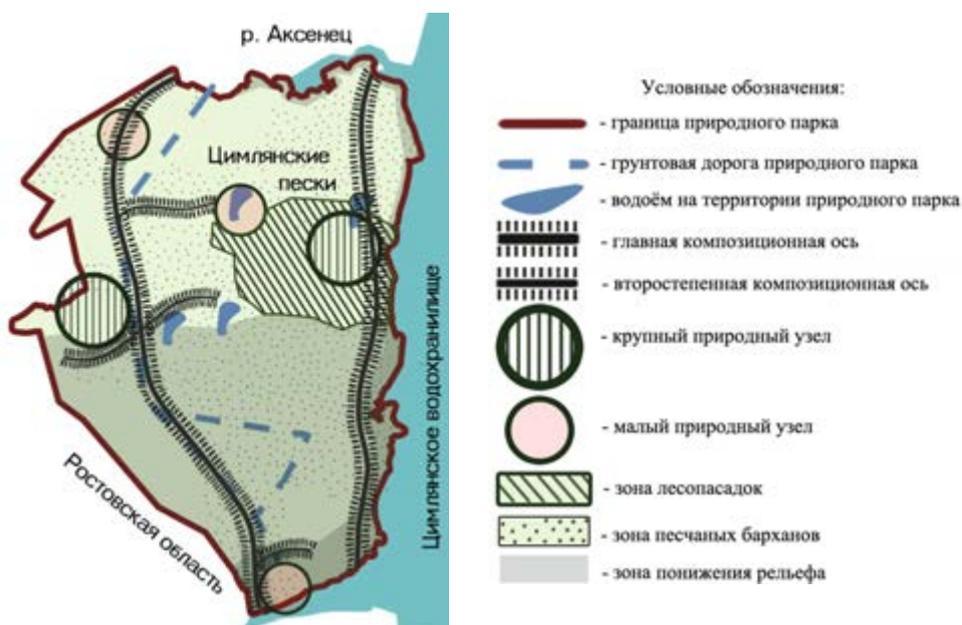


Рис. 3. Схема ключевых элементов ландшафта

Второстепенные оси пересекают главную и соединяют ее с небольшими местными озерами, возле которых образуются природные узлы (природный узел — наиболее ценные в природном отношении природные территориальные образования). Главными природными узлами парка являются озеро в Тормосинском лесном хозяйстве и лиман Трубкин (рис. 3).

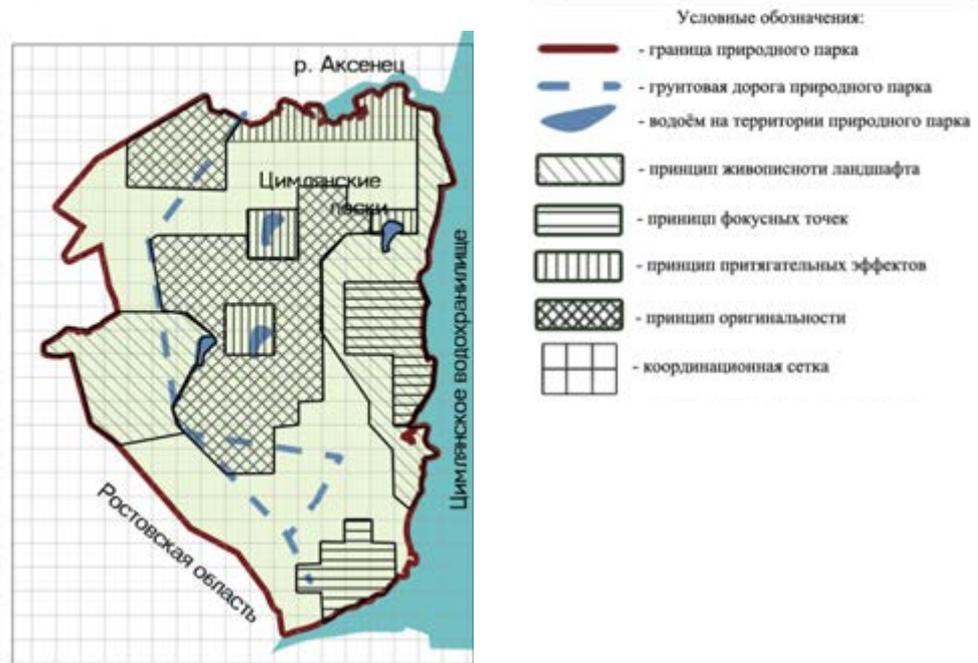


Рис. 4. Схема информативности пейзажного разнообразия

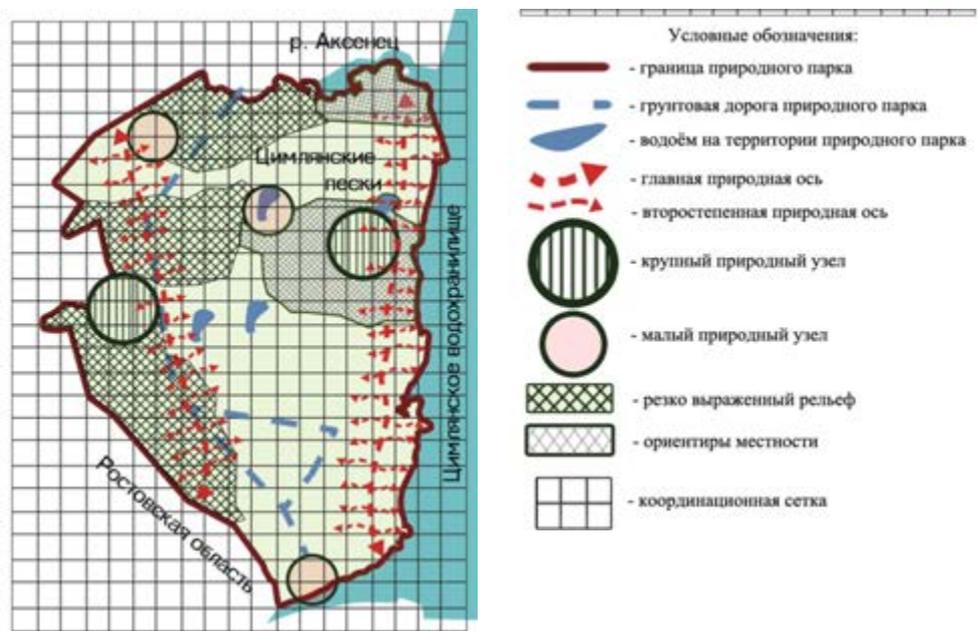


Рис. 5. Схема уникальности ландшафтных участков

В парке много природных и историко-культурных достопримечательностей, притягивающих туристов, среди них урочище «Девятая Пятница», «Белая кучугурина», «Лазурный берег» и «Ракушечник», являющиеся также орнитологическими точками, и туристические стоянки: «Охотничий домик» и «Клинки». Тормосиновское лесное хозяйство и берег Цимлянского водохранилища представляют собой живописный природный комплекс, подходящий для пеших прогулок (рис. 4).

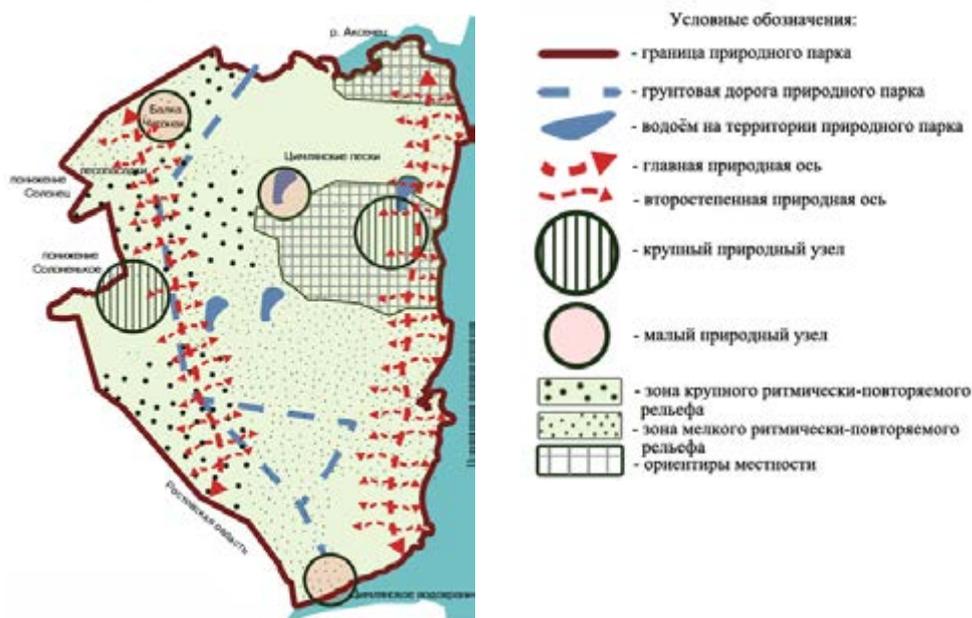


Рис. 6 Архитектурно-ландшафтное зонирование



Рис. 7. Основные композиционные оси и узлы

Крупными видимыми ориентирами местности можно назвать Тормосиновское лесное хозяйство и посадки возле поселка «Захаров» на северо-востоке парка. Наиболее выражен рельеф вблизи балок и песчаных бугров, которые достигают высоты 3...4 м на юго-западе парка (Нефедовские пески). Вблизи лимана Трубкина наблюдается сезонное обводнение и изменение ландшафта (рис. 5).

К зоне эмоционально-эстетического удовлетворения можно отнести Тормосиновское лесное хозяйство с расположенными рядом «Лазурным берегом» и «Ракушечником», отличающимися живописностью. Информационно-эстетическим потенциалом обладает территория лимана Трубкин (рис. 6).

В целом территория парка представлена упорядоченным плоским рельефом песчаных гряд и понижений.

В парке выделены зоны ритмически повторяемого рельефа: крупные, связанные с увеличением высоты гряд до 3...4 м, и мелкие: территория степи и пустыни (рис. 7).

Научная новизна данного исследования состоит в концептуальных схемах природного парка «Цимлянские пески»: аналитической схемы опорного плана, схемы ключевых элементов ландшафта, схемы информационно-пейзажного разнообразия, уникальных ландшафтных участков, архитектурно-ландшафтного зонирования, схемы основных композиционных осей и узлов.

Практическая значимость заключается в результатах анализа эстетики пейзажа, который является предпосылкой к формированию устойчивого развития окружающей среды, что, в свою очередь, стимулирует туризм в регионе и приведет к улучшению транспортных сообщений и лучшей социальной и экономической интеграции данной территории в муниципальное образование и субъект Федерации для достижения устойчивого развития посредством ландшафтного планирования [8].

Подводя итог анализу эстетического потенциала природного парка, можно отметить ряд закономерностей, обусловленных равнинным рельефом территории:

притягательные для туристов достопримечательности расположены вблизи водохранилища;

композиционные оси идут параллельно береговой линии и представляют собой наиболее живописную траекторию на пути зрителя;

композиционным ядром парка является крупный природный узел, сочетающий лесопосадки, водоем, зону пустыни и степи.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колбовский Е. Ю. Эстетическая оценка ландшафтов: проблемы методологии // Ярославский педагогический вестник. 2011. Т. 3. № 4. С. 161—164.
2. Filiz Çelik. Ecological Landscape Design // InTech. 2013. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.
3. Красовская Т. М. Эстетические функции ландшафтов: методические приемы оценок и сохранения // Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, М., 2014.
4. Колосова Н. В., Холоденко А. В. Основные направления оптимизации природопользования в природном парке «Цимлянские пески» Волгоградской области // Вопросы степеведения. Оренбург : ИС УрО РАН, 2011. С. 74—78.
5. Иванова Н. В., Антонова Н. Н. Ранжирование ландшафтно-эстетических достопримечательностей региональных природных парков Волгоградской области // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 50(69). С. 210—220.

6. Galev E. Aesthetic Evaluation of Forest Landscape within the Training and Experimental Forest Range (TEFR) Yundola. URL: [http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/landschaftsinformatik/fileadmin/user\\_upload/\\_temp\\_/2012/Proceedings/Buhmann\\_2012\\_49\\_Galev.pdf](http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/landschaftsinformatik/fileadmin/user_upload/_temp_/2012/Proceedings/Buhmann_2012_49_Galev.pdf).

7. Simon R. Swaffield, Wendy J. McWilliam. Landscape aesthetic experience and ecosystem services // School of Landscape Architecture, Lincoln University. 2013. № 2.6. Pp. 349—362.

8. Ibimilua Adewale Festus. Key issues on landscape planning in The context of environmental Sustainability // European Scientific Journal. 2014. Vol. 10. № 2. Pp. 143—156.

© Орозалиев М. Д., Соколов И. И., Сасова Е. А., Шевчук И. В., Мельникова Е. И., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Способ архитектурно-ландшафтного анализа с использованием метода оценки информационно-эстетического потенциала территории природного парка «Цимлянские пески» / М. Д. Орозалиев, И. И. Соколов, Е. А. Сасова, И. В. Шевчук, Е. И. Мельникова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 204—212.

Об авторах:

**Орозалиев Мусалпар Джумалиевич** — канд. физ.-мат. наук, профессор, директор Института инновационных профессий, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры. Кыргызская Республика, 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б, [ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

**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](mailto:sokolovii@mail.ru)

**Сасова Евгения Александровна** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [evgeniasasova@gmail.com](mailto:evgeniasasova@gmail.com)

**Шевчук Ирина Вячеславовна** — Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [iria.shevchuck@yandex.ru](mailto:iria.shevchuck@yandex.ru)

**Мельникова Елена Игоревна** — ассистент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [igorevna.1990@mail.ru](mailto:igorevna.1990@mail.ru)

**Musapur J. Orozaliev<sup>a</sup>, Ivan I. Sokolov<sup>b</sup>, Evgenia A. Sasova<sup>b</sup>, Irina V. Shevchuk<sup>b</sup>,  
Elena I. Mel'nikova<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture*

<sup>b</sup> *Volgograd State Technical University*

## ARCHITECTURAL AND LANDSCAPE ANALYSIS USING THE METHOD OF EVALUATION OF AWARENESS-ESTHETIC POTENTIAL OF THE NATURAL PARK “TSIMLYANSK SANDS”

The analysis of the landscape and recreational aspect of the natural park “Tsimlyansk sands”, in order to improve the organization of recreation and tourism. The method of assessment of landscape and aesthetic potential of the park territory is applied for the analysis and the urgency of use of the developed technique for research of especially protected natural areas (SPNA) is proved [1]. According to the results of the study, the following schemes were made: elements of the natural park, composite axes, informative landscape diversity, uniqueness of landscape areas, key elements of the landscape, architectural and landscape zoning.

**Key words:** architectural and landscape analysis, information and aesthetic potential, natural park “Tsimlyansk sands”, landscape, recreation.

*For citation:*

Orozaliev M. J., Sokolov I. I., Sasova E. A., Shevchuk I. V., Mel'nikova E. I. [Architectural and landscape analysis using the method of evaluation of awareness-esthetic potential of the natural park «Tsimlyansk Sands»]. *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], 2019, iss. 4, pp. 204—212.

*About authors:*

**Musapur J. Orozaliev** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director of the Institute of Innovative Professions, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture. 34b, Malybaeva St., Bishkek, 720020, Kyrgyzstan, [ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

**Ivan I. Sokolov** — 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](mailto:sokolovii@mail.ru)

**Evgenia A. Sasova** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [evgeniasasova@gmail.com](mailto:evgeniasasova@gmail.com)

**Irina V. Shevchuk** — Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [iria.shevchuck@yandex.ru](mailto:iria.shevchuck@yandex.ru)

**Elena I. Mel'nikova** — Assistant of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [igorevna.1990@mail.ru](mailto:igorevna.1990@mail.ru)

УДК 728.1

**И. В. Черешнев, Н. В. Черешнева**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АРХИТЕКТУРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

В рамках экологического подхода рассматриваются задачи устойчивого развития жилых поселений. Исследуется влияние методов архитектурно-бионического моделирования на качественные показатели жилища. Разрабатывается модель формообразования экологической архитектуры жилища. Внимание акцентируется на аспекте оптимизации формы и планировочной структуры жилого здания. Показаны результаты применения методов архитектурно-бионического моделирования при разработке экспериментального проекта экологического жилого дома.

**Ключевые слова:** метод, модель формообразования, экологическая архитектура, жилище, оптимизация формы и функции.

Современная жилая застройка многих городов России практически не отличается друг от друга по своим эстетическим и архитектурно-планировочным характеристикам. Многоэтажное жилище утратило свой региональный колорит, свойственный традициям народного зодчества. Высокая экономичность народного жилища обеспечивалась многовековыми строительными традициями, основанными на учете специфики природно-климатических условий региона, в которых интуитивно отражались многие специфические особенности формообразования и функционирования различных биологических форм жизни живой природы.

Сегодня во многих городах страны на строительство жилья поступают значительные инвестиции и используются огромные материальные средства. Жилые комплексы, построенные на основе новых строительных технологий и экономических стандартов, позволили создать более комфортную среду обитания для человека, но в то же время более дорогую, и, следовательно, недоступную для большинства горожан. Высокая стоимость комфортного проживания в рыночных условиях современного города сегодня не ограничивается приобретением собственной квартиры. Стоимость коммунальных платежей с каждым годом становится все более весомой для семейных бюджетов. Значительная часть этих затрат идет на обеспечение комфортного микроклимата в зимний период года — отопление и горячее водоснабжение. Таким образом, энергетический аспект жилищного строительства выходит на первый план, обострение которого происходит из-за ухудшения экологического состояния многих городов мира [1—3].

В этих условиях еще более актуальными становятся вопросы повышения энергоэффективности жилых зданий и застройки. В настоящее время решение этих задач достигается главным образом за счет улучшения теплотехнических параметров ограждающих конструкций — утепления стен и кровли. В то время как энергоэффективность жилого дома предполагает разработку не только экономичного ограждения, но и формирование оптимальной архитектурно-планировочной структуры. Выход из сложившейся ситуации следу-

ет искать в развитии и применении экологических технологий при возведении и эксплуатации жилых зданий и комплексов. Страны с развитой рыночной экономикой многие годы внедряют принципы устойчивого экологического развития при формировании новых поселений.

В практическом смысле критериями соответствия объектов требованиям устойчивости стали рейтинговые системы оценки. Наибольшее распространение получили три международных рейтинговые системы: американская LEED, британская BREEAM и немецкая DGNB.

В России, начиная с 2010 года, разрабатываются отечественные нормативные документы и рейтинговые системы оценки устойчивости зданий и сооружений. Набор российских «зеленых» стандартов включает следующие документы: 1) ГОСТ Р 54964—2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости»; 2) СТО НОСТРОЙ 2.35-4—2011 «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания»; 3) СТО НОСТРОЙ 2.35.68—2012 «Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания» [4, 5].

Одним из важных условий устойчивости зданий и сооружений, предлагаемых в этих нормативных документах, является обеспечение оптимизации проектных решений: 1) моделирование и вариантный анализ экоустойчивости объекта недвижимости; 2) моделирование и вариантный анализ теплофизических и энергетических свойств объекта недвижимости.

Опираясь на экологические требования и критерии оптимизации проектных решений, изложенных в настоящих стандартах, можно утверждать, что для сферы жилищного строительства определяющим может стать такой критерий, как энергоэффективность объемно-планировочных решений зданий и застройки.

Анализ задач и проблем развития жилищной политики многих стран мира показал, что формирование архитектурной формы и планировочной структуры занимает ключевое место в общем процессе формирования жизненной среды человека. Поэтому выявление закономерностей архитектурного формообразования в определенных условиях природной среды представляется чрезвычайно важной методологической задачей.

Теория и экспериментальная практика формирования экологических поселений и зданий во многом опирается на законы и принципы развития биологических систем живой природы. Римский архитектор Витрувий впервые написал о «расположении зданий храмов и их пропорций в соответствии с измерениями человеческого тела». Образцами для архитектуры стали пропорции природы, особенно наиболее совершенной ее части — человека [6]. Исследованием закономерностей развития живой природы применительно к объектам строительства занимается наука — архитектурная бионика. Природные формы, формы животного и растительного мира, прошедшие тысячелетнюю эволюцию, являют собой примеры адаптации к постоянно меняющимся природно-климатическим условиям. В ряду междисциплинарных наук архитектурная бионика занимает особое место, так как предполагает тесное сотрудничество ученых биологов и инженеров, деятельность которых направлена на решение технических прикладных задач. [7].

Первые исследования, направленные на решение задач экологического формообразования, были связаны с появлением такого понятия, как «органическая архитектура». В работах автора [8] даются самые различные толкования термина «органическая архитектура», но общим и объединяющим все рассуждения на эту тему является то, что «органичность» приписывается в первую очередь форме. Форма, созданная по законам органической целостности и взаимосвязанности с природным окружением, становится основным критерием «органичности» архитектуры.

Современное понимание влияния природы на архитектуру состоит в изучении природных форм как прошедших длительную эволюцию по выживанию в различных природных условиях посредством приспособления и симбиоза. Важным направлением поисков взаимодействия архитектуры и природы является выявление закономерностей формообразования в природе и попытки заимствования их проектировщиками: инженерами и архитекторами [9—11]. Наиболее эффективно в природе создание пространственных конструкций. Изучение строения раковины, черепа, оболочки яйца показывает необычайную проработанность природных конструкций, функциональную обусловленность решений [12].

Структуры живых клеток, нейронные связи, природные кристаллы — лишь несколько примеров подобных саморегулирующихся структур живой и неживой природы, формообразование которых моделируется и описывается современными компьютерными и математическими методами, в частности фрактальной геометрией [13]. Фрактал (от лат. fractus — разбитый, дробленный, сломанный) — сложная геометрическая фигура, составленная из последовательности частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком и повторяется при уменьшении масштаба [14]. Бенуа Мандельброт относительно фрактальной геометрии природы заявлял, что «многие формы природы настолько неправильны и фрагментированы, что в сравнении с евклидовыми фигурами природа демонстрирует не просто более высокую степень, но совершенно иной уровень сложности. Количество различных масштабов длины в естественных формах можно считать бесконечными для каких угодно практических задач» [15].

Таким образом, исследования второй половины XX в. показывают, что архитектурная бионика трансформируется в новое направление — следующую ступень развития экологической архитектуры, когда архитектор не ограничивается повторением форм и их комбинаторикой, не транслирует в архитектуру конструктивные особенности объектов природы, а применяет принципы функционирования живых существ, их свойства, поведение и материалы, создаваемые ими. Синтез инновационных методик, технологий и художественных образов под прямым воздействием экологического подхода дал начало зарождению нового глобального стиля [16].

#### **Практическая значимость. Результаты исследований**

Несмотря на то, что методы архитектурной бионики раскрывает множество решений для реализации архитектурного замысла, все-таки исследований, связанных с разработкой методологической модели формообразования экологической архитектуры жилища, пока еще недостаточно. Представляется, что при разработке метода экологического формообразования наиболее важным требованием к биоэнергетическим качествам жилища должна стать

его органическая связь с природой по законам экологического равновесия. В этом контексте жилище — жилое здание, застройка и окружающая их природная среда рассматриваются как неразделимые близкие по уровню организации сложные системы, которые развиваются в одних и тех же биофизических условиях и подчиняются общим законам гравитации и термодинамики. Вне конкретной среды ни живого организма, ни здания не существует. Их формы обуславливаются сходным режимом температурно-влажностных факторов, режимом инсоляции, цикличностью метеорологических явлений. Для развития живой формы и строительства искусственной оболочки здания также необходимо следовать принципам рациональности и экономичности в отношении затрат энергии, материалов и пространства.

Таким образом, на основании анализа теории архитектурно-бионического моделирования, которая была освещена в работах [5, 7], можно предположить, что для исследования различных приемов и средств экологического формообразования объектов жилища целесообразно использовать методы архитектурно-бионического моделирования. Для этого необходимо разработать такую теоретическую модель исследования, которая бы отражала и синтезировала в себе законы и принципы формообразования живой природы и архитектуры.

Объективной основой гармонии в живой природе и архитектуре является взаимодействие функции и формы. В биологии исследования, связанные с развитием формы и функции живых организмов, были объединены в два научных направления: 1) Морфология — наука о форме и строении живых организмов; 2) Физиология — наука о функционировании живых организмов.

Следуя методу архитектурно-бионического моделирования при формировании живой и искусственной среды, можно предположить, что теоретическая модель исследования процесса формообразования экологической архитектуры жилища должна включать два взаимосвязанных уровня (рис. 1.):

- *морфологический аспект формообразования* (изучение преобразования органических тел, их формы и структуры под воздействием внешних факторов природной среды — солнечной радиации, температуры, влажности и т. д.);

- *физиологический аспект формообразования* (изучение особенностей функционирования различных систем организма, механизмов его адаптации к меняющимся условиям обитания).

Построение модели исследования именно в этих двух взаимосвязанных уровнях позволяет выявить различные варианты взаимодействия функции и формы, возникающие в связи с адаптацией архитектуры жилища к разнообразным условиям формирования ее объектов.

Морфологический анализ различных живых организмов и объектов архитектуры жилища позволил выявить общие сходные, «родственные» по внешним признакам построения свойства. К наиболее весомым свойствам, поддающимся классификации и системному обобщению, следует отнести:

- 1) построение формы на основе многократно повторяемого структурного элемента;
- 2) решетчатое строение объемных форм, основанных на клеточной структуре их внешней оболочки;
- 3) структурность формы, основанной на процессах ветвления;

4) пространственная динамика, определяющая гибкость развития и устойчивый рост форм в изменяющихся условиях внешнего окружения;

5) объемная компактность формы, проявляющаяся в аэродинамичности и рациональном соотношении площади поверхности внешней ограждающей оболочки и внутреннего объема;

6) пространственная направленность, определяющая степень адаптивности формы к воздействию природных факторов.

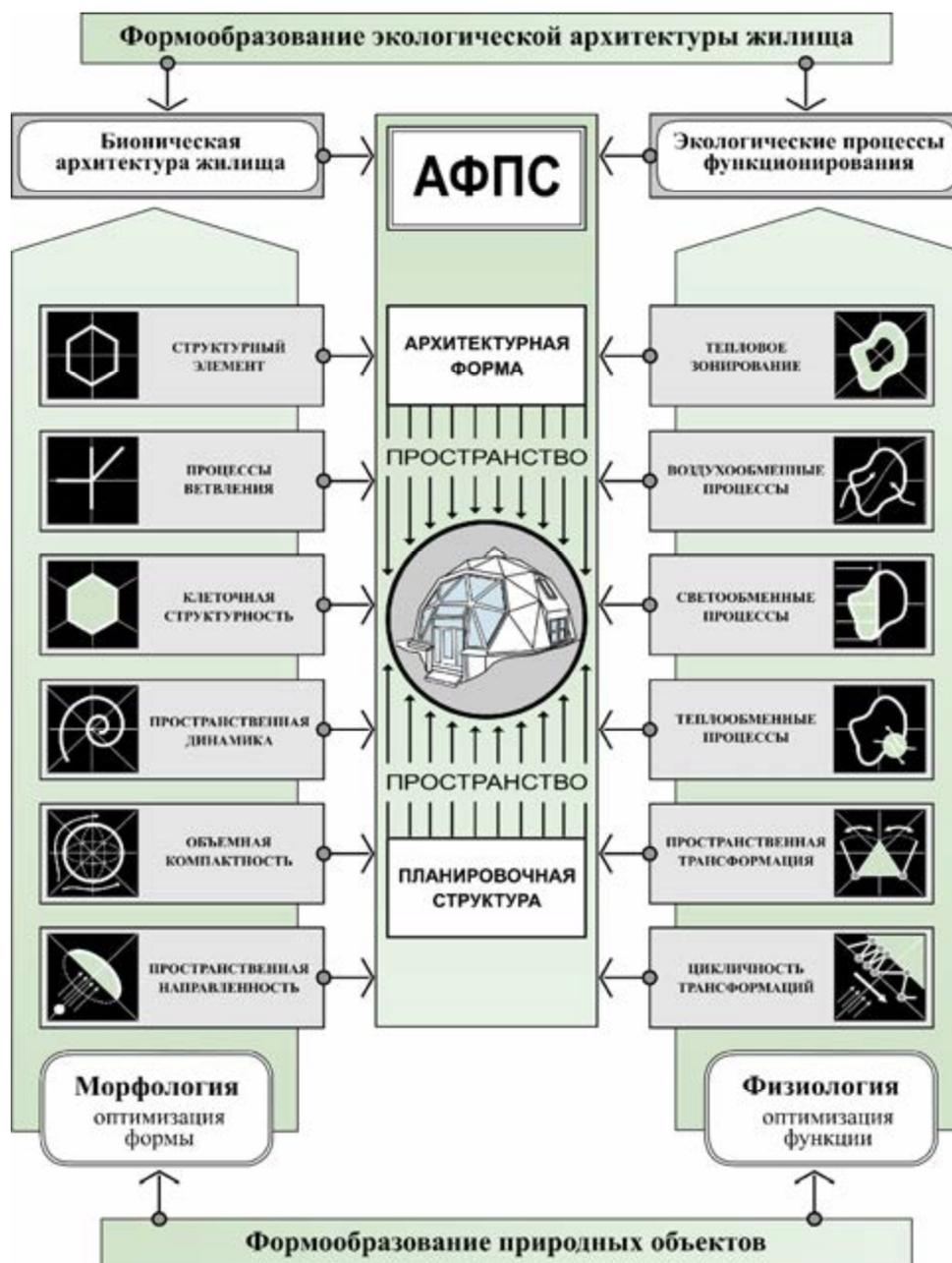


Рис. 1. Модель формообразования экологической архитектуры жилища

Физиологический анализ направлен на решение проблем, связанных с применением различных технологических приемов создания управляемого микроклимата. Существенная роль в решении этих проблем отводится оптимизации внутренней планировочной структуры жилого здания. Учитывая результаты проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что наиболее весомыми для эффективного функционирования как природных, так и архитектурных объектов являются такие процессы и принципы организации внутренней структуры, как:

- 1) тепловое зонирование;
- 2) воздухообменные процессы;
- 3) светообменные процессы;
- 4) теплообменные процессы.

**Выводы.** Подводя итог сказанному относительно формирования теоретической модели формообразования экологической архитектуры жилища (АФПС — архитектурная форма — планировочная структура), хотелось бы отметить, что условием гармоничного взаимодействия двух аспектов формообразования будет формирование системной модели экологического формообразования жилища. Предлагаемая система должна показать взаимосвязи функции и формы, т. е. выявить специфические условия работы — деятельности и ее физического результата. В этой связи понятие модели формообразования экологической архитектуры жилища может быть представлено в трех составляющих: собственно архитектурной форме (материализованная оболочка здания, его объемная форма), планировочной структуре (внутреннее жилое пространство здания) и окружающем пространстве (внешняя среда жилой застройки). Такое подразделение понятия модели формообразования важно и с точки зрения строительной технологии, поскольку характеризует различные уровни использования ее средств.

В заключение хотелось бы особо отметить, что создание доступного экономического жилища, способного удовлетворять все требования современного и перспективного устойчивого развития, невозможно без развития методов архитектурно-экологического формообразования. Анализ экономического и экологического состояния регионов России показывает, что только на пути оптимального проектирования и организации всего строительного комплекса в соответствии с принципами устойчивого развития и использования энерго-сберегающих технологий появляется возможность преодолеть жилищный кризис и добиться долговременного прогресса в жилищной сфере.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аврорин А. В. Экологическое домостроение. Строительные материалы : аналит. обзор / СО РАН ГПНТБ. Новосибирск, 1999. 72 с. Сер.: Экология. Вып. 53.
2. Петрова З. К. Энергоэффективные технологии в малоэтажном строительстве / Промышленное и гражданское строительство. 2014. С. 70—75.
3. Тетиор А. Н. Архитектурно-строительная экология. Устойчивое строительство. М., 2003. 450 с.
4. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин М. : Авок-Пресс, 2005. 120 с.
5. Есаулов Г. В. Архитектура в природе. Природа в архитектуре. Парадигмы развития // Архитектура в природе. Природа в архитектуре. М. — Кисловодск, 2009.
6. Зуев И. А., Матюхина М. А. Архитектурная бионика (Био-тек) // Устойчивое развитие науки и образования. 2017. № 12. С. 219—230.

7. Архитектурная бионика / Ю. С. Лебедев, В. И. Рабинович, Е. Д. Положай и др. ; под ред. Ю. С. Лебедева М. : Стройиздат, 1990. 269 с.
8. Быстрова Т. Ю. Эволюция органической архитектуры: трактовки и модификации Ч. 2. // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. № 2. С. 45—50.
9. Есаулов Г. В. Третий пласт в архитектуре Юга России в XX веке // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 3.
10. Зенькова К. В. Формообразование в экологической архитектуре // Искусство и культура. 2017. № 4(28). С. 48—51.
11. Иовлев В. И. Архитектурно-экологическое формообразование // Архитектон: известия вузов, 2006. № 15(14).
12. Ремизов А. Н. Энергоавтономное биоклиматическое здание // Жилищное строительство. 2011. № 12. С. 10—13.
13. Касьянов Н. В. Кристаллизация нанотехнологий в архитектуре // Academia. Архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 20—27.
14. Тетиор А. Н. Фрактальные пространственные бионические объекты и конструкции в экоархитектуре // Жилищное строительство. 2012. № 8. С. 23—27.
15. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М. : Ин-т компьютерных исслед., 2002. 856 с.
16. Витюк Е. Ю., Уморина Ж. Э. Природные технологии как новый принцип формообразования в архитектуре // Вестник ТГАСУ. 2018. Т. 20. № 4. С. 55— 64.

© Черешнев И. В., Черешнева Н. В., 2019

Поступила в редакцию  
в июне 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Черешнев И. В., Черешнева Н. В. Исследование методов архитектурно-экологического формообразования жилых зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 213—220.

Об авторах:

**Черешнев Игорь Владимирович** — канд. арх., профессор, профессор кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [tchereshnev@rambler.ru](mailto:tchereshnev@rambler.ru)

**Черешнева Нурия Варисовна** — доцент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [tchereshnev@rambler.ru](mailto:tchereshnev@rambler.ru)

**Igor' V. Chereshev, Nuriya. V. Cheresheva**

**Volgograd State Technical University**

## RESEARCH OF METHODS ARCHITECTURAL AND ECOLOGICAL FORM-CONSTRUCTION RESIDENTIAL BUILDINGS

Within the limits of the ecological approach problems of a sustainable development of inhabited settlements are considered. Influence of methods architectural and bionic modeling on dwelling quality indicators is investigated. The model form-construction ecological architecture of dwelling is developed. The attention is accented on aspect of optimization of the form and structure of residential building structures. Results of application of methods architectural and bionic modeling are shown by working out of a pilot project of a ecological dwelling house.

**Key words:** method, model form-construction, ecological architecture, dwelling, form and function optimization.

*For citation:*

Chereshnev I. V., Chereshneva N. V. [Research of methods architectural and ecological form-construction residential buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2019, iss. 4, pp. 213—220.

*About authors:*

**Igor' V. Chereshnev** — Candidate of Architecture, Professor, Professor of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [tchereshnev@rambler.ru](mailto:tchereshnev@rambler.ru)

**Nuriya V. Chereshneva** — Docent of Urban Development Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [tchereshnev@rambler.ru](mailto:tchereshnev@rambler.ru)

УДК 378.147.88

**Е. Л. Гусейнова**

*филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета  
в г. Октябрьский*

## **РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ, ИЗУЧАЮЩИХ ДИСЦИПЛИНУ «ГИДРАВЛИКА»**

В статье анализируются аспекты развития профессиональных компетенций студентов высших учебных заведений технического профиля, изучающих дисциплину «Гидравлика». Приводятся авторские определения дефиниций «компетентность» и «компетенция». Обосновывается необходимость конкретизации профессиональных компетенций, прописанных в образовательном стандарте. Предлагается критериальный состав развития, состоящий из когнитивного, операционно-действенного, мотивационно-ценностного и рефлексивно-оценочного компонентов. Приводятся характеристики и признаки развития каждого из критериев. Предлагается трехуровневая система оценивания развития. Анализируются противоречия между профессиональной деятельностью и образовательным процессом, и предлагаются пути их разрешения. Рассматриваются аспекты, связанные с мотивацией студентов к учебной деятельности. Анализируется в рамках вузовского образования применение балльно-рейтинговой системы в качестве фактора, обладающего потенциалом для повышения мотивации студентов. Описывается положительный эффект применения самостоятельной работы для эффективного развития компетенций. В качестве условия, способствующего развитию компетенций, предлагается использование субъект-субъектных отношений, основанных на диалогическом стиле общения преподавателя со студентами. В публикации описывается применение пролонгированных заданий, технологии «Бортовой журнал».

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** профессиональная компетенция, самостоятельная работа, субъект-субъектные отношения, диалог, пролонгированные занятия, мониторинг.

Гидравлика является прикладной наукой, изучающей законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающей на основе теоретических данных и экспериментальных исследований способы решения технических задач. Современная гидравлика имеет широкое применение, в настоящее время довольно трудно выделить какую-либо отрасль техники, в которой бы не нашли применение те или иные гидравлические законы и закономерности. Огромное значение имеет знание гидравлики для специалистов строительных специальностей.

Современные условия развития и цифровизация общества диктуют совершенно новые требования к подготовке выпускников высших технических учебных заведений. Новые задачи перед образованием, такие как подготовка специалистов, способных работать в команде, быстро обучаться и переучиваться, умеющих генерировать и разрабатывать новые идеи, ставят и переход экономики на информационный этап развития [1].

В российском инженерном образовании получила развитие новая научная парадигма, которую отличает наличие синтеза гуманитарного и естественно-научного типов мышления, а также рационального научного познания и культурного контекста. Развитие творческих способностей студентов является одной из основных задач высшего образования сегодня [2]. Основополагающим направлением в развитии современной образовательной системы является максимальная индивидуализация обучения, разработка и внедрение индивидуальных

образовательных траекторий, способных учитывать личностные и когнитивные особенности студентов, их жизненные цели и смыслы. Современные научные достижения нашли отражение в государственных стандартах.

Введение Федерального государственного образовательного стандарта третьего поколения, способствующего повышению качества российского инженерного образования и обеспечивающего конкурентоспособность и признание российских выпускников высших учебных заведений на международном уровне, потребовало внесения изменений в преподавание гидравлики, поскольку в основе ФГОСа находится компетентностный подход.

На современном этапе развития общества и образования компетентностный подход является перспективной моделью. Он обусловлен набором компетентностей и компетенций, которые представляют совокупность знаний, умений, навыков и способов деятельности.

В настоящее время в работах исследователей компетентностного подхода можно встретить различные формулировки определений дефиниций «компетентность» и «компетенция». В авторской интерпретации компетентность представляет совокупность знаний из области, которая относится к определенному виду деятельности; совокупность определенных навыков, которые позволяют использовать знания в конкретных и определенных условиях и применить их для решения конкретных задач; а также компетентность предполагает наличие определенных личностных качеств. Развитие компетентности происходит в случае применения компетенций, к которым относятся индивидуальные способности человека к реализации своей компетентности на практике [3].

В публикациях зарубежных авторов приводятся понятия, которые являются аналогом российским «ключевым компетенциям»: key skills, key competences [4], core skills [5], base skills [6, 7], transferable competences [8], meta-competences [9].

Способности к применению знаний и умений в определенной области для успешной трудовой деятельности, способности к выполнению трудовых функций, соответствие специалистов требованиям, предъявляемым к определенным должностям, являются компетенциями. В высшем профессиональном образовании по различным направлениям преподавание дисциплины «Гидравлика» предполагает развитие профессиональных компетенций. Дефиниция «профессиональная компетенция» может быть представлена в виде возможности овладения новыми знаниями и навыками, умениями и способностями; возможности в ходе профессиональной деятельности эффективного использования способностей; а также возможности к интеграции в области знаний, умений, навыков и наличие определенных личностных качеств.

Компетенция имеет интегративную сущность и сложный критериальный состав, который имеет отличия в исследованиях различных ученых, но все без исключения исследователи выделяют обязательное наличие когнитивного критерия и критерия, отражающего личностные качества обучающихся.

А. Протасов [10] представляет профессиональную компетентность как совокупность функциональной компетентности с областями: общих научных знаний, профессиональной, индивидуально-психологической и социальных отношений. К области социальных отношений он относит профессиональные знания, конструктивное выполнение своих обязанностей, интеллектуальную

деятельность, способность к аналитическому мышлению и возможность расширять собственные знания.

Опираясь на исследования в области компетентностного подхода, предлагается критериальный состав развития профессиональных компетенций студентов, состоящий из когнитивного, операционно-действенного [11], мотивационно-ценностного и рефлексивно-оценочного компонентов. Развитие любых профессиональных компетенций невозможно без наличия предметных знаний, которые отражены в когнитивном критерии. Система знаний, способствующая обеспечению формирования у студентов научной картины мира, является основой когнитивного критерия, который формирует у студентов методологические умения и навыки, позволяющие студенту самостоятельно планировать и организовывать собственную самостоятельную познавательную деятельность. Действенно-операционный критерий находит отражение в качествах, необходимых для осознания студентом цели самостоятельной деятельности, его способности к творчеству, а также выражается в видении проблемы, выдвижении гипотезы, постановке вопросов, умении структурировать материал. Система мотивационно-ценностных отношений студента к самому себе и своей деятельности является основой мотивационно-ценностного критерия, который характеризует потребность студента к познавательной активности, исследовательской деятельности, потребность в проявлении самостоятельности в процессе познания, умения принимать решения и их оценивать. Также к операционно-действенному критерию развития можно отнести способ взаимодействия студента с другими членами учебной группы, степень участия в деятельности группы и вуза, стратегию поведения.

Рефлексивно-оценочный критерий представлен осмысленным отношением студентов к результатам обучения, способностью оценивать результаты и ошибки собственной деятельности, а также деятельности других студентов, способностью к саморегуляции.

Для развития и особенно оценивания развития профессиональных компетенций необходим критериальный аппарат, содержащий разработанные и описанные показатели развития компетенций. Показателем развития мотивационно-ценностного критерия является уровень интереса студентов к выбранной профессии и мотивация к учебной деятельности, поскольку она на протяжении всего процесса обучения в вузе является побуждающим фактором эффективности самообразовательной деятельности студентов. Мотивация выступает в совокупности определенных мотивов поведения, которые являются движущей силой развития и творчества студентов. В ходе профессиональной деятельности преподавателя возникает необходимость формирования у студентов мотивов, побуждающих к эффективной самообразовательной деятельности, при этом могут быть использованы целенаправленные педагогические приемы и действия. Существуют внутренние и внешние мотивы. Предпочтительным является наличие внутренних мотивов, поскольку в этом случае направление мотивации совпадает с целью деятельности, которая выступает в овладении содержанием учебного процесса. Внутреннее направление мотивации, занимающее доминирующее положение, способствует максимальному проявлению самостоятельной активности студентов. В случае преобладания к действию внешних мотивов основными становятся

цели, не совпадающие с основной деятельностью, а направленные на получение хорошей оценки, диплома, стипендии, или побуждением к деятельности выступает страх быть отчисленным, противоречие между позицией студента, целью которого является получение положительной оценки. Инициативной позицией специалиста может быть разрешено путем организации учебного процесса в виде самостоятельной, активной и познавательной продуктивной деятельности, направленной на развитие творческого потенциала студентов.

Повышение уровня мотивации является важным аспектом учебной деятельности, которому может способствовать применение балльно-рейтинговой системы. Для успешного ее внедрения по дисциплине «Гидравлика» необходимо составить индивидуальный график самостоятельной работы, в котором должны найти отражение виды работ, сроки их выполнения и начисляемое количество баллов по каждому виду работ. Эффективному повышению мотивации способствует применение и выполнение заданий, в которых студенты могут наглядно видеть результаты своей деятельности. Использование педагогических воздействий с наличием стимулов и поощрений также способствует повышению уровня мотивации студентов. В практике преподавания дисциплины «Гидравлика» практиковалось начисление преподавателем дополнительных баллов за инициативу и активность на занятиях, за отличное выполнение заданий. При этом были созданы щадящие условия в работе с менее подготовленными студентами, им выделялось дополнительное время на обдумывание и решение заданий. В то же время была разработана и применялась система штрафных баллов, которые студенты получали за несвоевременное выполнение заданий, за их невысокое качество. Студенты имели возможность получения дополнительных баллов.

Показателем развития когнитивного критерия является уровень полученных знаний, поскольку совокупность предметных и надпредметных профессиональных знаний, умений является основой критерия. Уровень самостоятельной познавательной деятельности является показателем развития операционно-действенного критерия. Степень адекватной оценки результатов собственной деятельности характеризует и является показателем развития рефлексивно-оценочного критерия. Для каждого критерия развития возникает необходимость в разработке соответствующих уровней, количество которых может варьировать.

Томас Дюран [12] разработал модель, интерпретирующую компетенции, и выделил уровни и показатели измерения. К уровням он отнес:

- данные, показателем является наличие доступа к внешней информации;
- информация, показателем является получение информации на уровне знания, усвоения, выяснения;
- знание, показателем является структурированность информации, ее интеграция с базой данных и возможностью объяснения кому-либо;
- навыки, показателем является наличие возможности производить действия;
- ноу-хау, показателем является наличие знания о порядке и возможностях произведения действий, наличие возможности обучать других действиям;
- компетенции, показателем является наличие способности производить действия и давать объяснения лучше других о том, «что делать» и «как делать»;

- опыт, показателем является достигнутый уровень эксперта в знании и умении объяснить «как делать», в понимании «что и почему делать».

В авторской интерпретации предлагается ограничиться тремя уровнями: низким, средним и высоким.

На основе профессиональных функций работника проектируются профессиональные компетенции обучающихся, но заложенное в современных образовательных стандартах понимание компетенций не является конкретизированным. Применительно к дисциплинам, изучаемым студентами, возникает необходимость в конкретизации профессиональных компетенций, которые прописаны в стандарте. Конкретизация компетенций профессионала требует связи компетенций с содержанием обучения. Конкретизация профессиональных компетенций может быть получена посредством выделения целей, знаний, умений, которое производится на основе декомпозиции профессиональных компетенций в обязательном соответствии с профессиональными стандартами. При этом необходимо выделять определенные навыки и опыт практической деятельности.

Также предельно обобщенные формулировки компетенций, представленные в ФГОС различных направлений, оставляют для высших учебных заведений значительную свободу в планировании, организации и измерении результатов развития компетенций, выражающуюся не столько в выборе средств обучения, сколько в определении целей обучения или образовательных результатов, которые должны быть сформированы высшей школой [13]. Организационная сторона диагностики результатов развития компетенций имеет ограничения в рамках внутривузовского контроля качества подготовки специалистов. Компетенции, развитие которых подлежит оцениванию, необходимо формулировать таким образом, чтобы формулировки содержали информацию о необходимых качествах объектов, о роде деятельности, о предполагаемых результатах [13].

Требования, выдвигаемые к современному техническому образованию, которое должно стать инновационным, ориентированным на развитие выпускников, способных работать в постоянно изменяющихся условиях, а также способных генерировать и внедрять новые идеи в производство [14, 15], возможно реализовать на основе формирования у студентов механизмов самовоспитания и самообучения. Ориентацию обучения в высших учебных заведениях рекомендуется направить на системную организацию специальной самостоятельной работы, которая выступает в виде системы, при этом является высшей формой самостоятельной деятельности, в ней происходит осознание студентами цели своей деятельности, обеспечивается высокий уровень мотивации, создаются условия для формирования у студентов навыков самостоятельного решения профессиональных задач и становления субъектной позиции. Самостоятельная работа способствует развитию профессиональных компетенций студентов. Под непосредственным руководством преподавателя обучающиеся сами планируют самостоятельную работу, формируют цели и реализуют их. В ходе самостоятельной работы получает раскрытие творческий потенциал студентов, развиваются самостоятельность, ответственность, организованность формируются профессиональные качества. Профессиональные задачи являются ядром самостоятельной работы. В практике преподавания дисциплины «Гидравлика» автору удалось раскрыть на лекционных

занятиях новые аспекты проведения самостоятельной работы. Новаторский подход заключался в изменении ролевых функций субъектов образовательного процесса. В ходе проведения лекционных занятий некоторые студенты получали возможность проявить себя в роли лектора. Подобная практика способствовала формированию навыков поиска и переработки информации, развитию навыков публичного выступления, освоению новых технологий взаимодействия с группой, методов подачи информации, коммуникативная культура студентов также получала развитие.

Самостоятельная работа в малых группах применялась во время проведения лабораторных занятий, способствовала созданию комфортных условий для саморазвития и самореализации, при этом в ходе совместного поиска оптимального решения поставленной задачи между членами группы формировались отношения сотрудничества.

В образовательном процессе существует ряд противоречий, разрешение которых будет способствовать более успешному развитию профессиональных компетенций, например огромного противоречия, наблюдаемого между системным использованием знаний в профессиональной деятельности и их разбросом в учебном процессе по различным учебным дисциплинам. Приходится признавать, что у студентов возникают проблемы с систематизацией знаний даже в рамках одной дисциплины. Задача может быть решена, а противоречие разрешено путем интегрирования учебных дисциплин и постановкой перед студентами задач, решение которых приближено к производственным проблемам и требует комплексного подхода.

Существующее противоречие между индивидуальным способом усвоения знаний и коллективным характером профессионального труда может быть разрешено путем использования групповых и коллективных форм организации учебного процесса, что способствует созданию совместной творческой деятельности и развитию компетенций.

Противоречие между профессиональной деятельностью, требующей вовлечения всей личности специалиста, и традиционным обучением, опирающимся прежде всего на познавательные психические процессы память и внимание, может быть разрешено путем создания ситуаций, в которых студенты находятся в условиях, приближенных к профессиональной деятельности и позволяющих включаться в учебный процесс целостно, при этом создаются условия для профессионально-личностного самоопределения [16].

На эффективность развития профессиональных компетенций студентов может оказывать влияние применение следующих педагогических методов, средств и организационных форм обучения: использование в учебном процессе пролонгированных заданий и задач, которые связаны с конкретными производственными проблемами; научно-исследовательская работа студентов при подготовке докладов к конференциям; актуализация вопросов проблемного содержания, применяемых в процессе чтения лекций (ведение бортовых журналов); самостоятельная работа в малых группах при проведении лабораторных и практических занятий.

Организация и внедрение разработанных педагогических условий в образовательный процесс будет способствовать развитию профессиональных компетенций. Одним из условий является построение учебного процесса на основе субъект-субъектных отношений, в которых все участники процесса выступают в

качестве активных и свободных партнеров, при этом в процессе совместной деятельности ориентированы друг на друга, имеют внутреннюю мотивацию [17, 18]. В авторской интерпретации предлагается рассматривать субъект-субъектные отношения как деловые отношения равноправных партнеров в совместной деятельности, строящихся на основе поддержки, доверия, сотрудничества. Студенты являются субъектами учебно-познавательной деятельности и должны знать правила организации деятельности, иметь потенциал для поиска и принятия креативных самостоятельных решений. Одним из наиболее эффективных способов субъект-субъектного взаимодействия, отражающих переход педагогического сотрудничества на личностный уровень, является диалог.

Для создания субъект-субъектных отношений между студентами и преподавателем рекомендуется культивировать неподдельность в общении, искренность, доброжелательность, требовательность, тактичность и направленность на создание равноправных отношений. Вовлечение студентов в различные виды деятельности, предоставление возможности свободного выбора элементов учебной деятельности способствует развитию субъектной позиции студентов. Также необходимо уделять внимание развитию способностей студентов по выдвижению целей предстоящей деятельности и самостоятельному определению путей их достижения, стремиться развить у студентов рефлексивные и коммуникативные умения. Студентам необходимо организовать возможность спрашивать необходимую информацию, самостоятельно ее воспринимать и осмысливать, а также воспитывать у них навыки рассуждения, аргументирования высказываний и отстаивания своей точки зрения. Общение на платформе диалога способствует более осознанному творческому усвоению преподаваемого материала, созданию на занятиях благоприятной атмосферы, установлению открытых и равноправных отношений.

На эффективность развития субъект-субъектных отношений также влияют характеристики преподавателей: наличие личностных качеств, умение строить взаимоотношения на основе диалога, наличие профессионально-педагогических знаний и умений, ориентация на взаимодоверие и взаимопонимание.

Одним из условий является применение пролонгированных заданий, представляющих профессиональные дифференцированные задачи, которые носят продолжительный характер, выполняются поэтапно, постепенно усложняясь. В процессе изучения учебной дисциплины студенты выстраивают порядок выполнения заданий самостоятельно с постепенным их усложнением от адаптивных к развивающим и затем к созидательным.

Решение пролонгированных заданий предусматривалось во время проведения аудиторных практических занятий. По дисциплине «Гидравлика» для проведения самостоятельной работы были разработаны вариативные виды пролонгированных дифференциальных заданий с постепенным усложнением заданий, ориентация была сделана на адаптивные, развивающие и созидательные. Студенты получали возможность самостоятельно производить выбор уровня сложности заданий, при этом в рамках балльно-рейтинговой системы за активную работу студентам начислялись дополнительные поощрительные баллы.

Немаловажным педагогическим условием развития профессиональных компетенций является проведение мониторинга образовательного процесса, который представляет собой регулярную и систематизированную процедуру

по накоплению, обработке, хранению и распространению информации об образовательной системе. Он позволяет своевременно отслеживать и корректировать учебный процесс, который при этом становится управляемым, стимулирует студентов на систематическое выполнение заданий. Рекомендуется проводить текущий и итоговый контроли. В рамках балльно-рейтинговой системы по дисциплине «Гидравлика» регулярно разрабатывается «График самостоятельной работы студентов», в котором находят отражение основные «рабочие точки» дисциплины, по которым происходит основное начисление баллов. Возможно проведение дополнительного мониторинга во время лекционных, практических, лабораторных занятий.

На лекционных занятиях применялась стратегия «Бортовой журнал», которая позволяла осуществлять диалог между преподавателем и студентами и давала студентам возможность проработать в активной форме и закрепить изученный учебный материал во время проведения лекции.

Комплексная реализация представленных педагогических условий развития профессиональных компетенций позволила сделать вывод, что технический вуз обладает потенциалом для формирования высококомпетентных специалистов, способных к непрерывному развитию и функционированию в условиях постоянно развивающейся профессиональной среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бенин В. Л., Жукова Е. Д.* Культурные традиции и современные проблемы взаимодействия образовательных сред Европы и России // *Образование и наука*. 2009. № 7(64). С. 67—81.
2. *Берулава Г. А., Берулава М. Н.* Методологические основы развития системы высшего образования в информационном обществе // *Педагогика*. 2010. № 4. С. 11—17.
3. *Гусейнова Е. Л., Сытина Н. С.* Развитие профессиональных компетенций студентов технического вуза в самостоятельной работе // *Педагогический журнал Башкортостана*. 2015. № 4(59). С. 145—151.
4. *Hoffman T.* The meanings of competency // *European Industrial Training*. 1999. Vol. 23(6). Pp. 275—285.
5. *Humphreys P., Greenan K., McIlveen H.* Developing work-based transferable skills in a university environment // *European Industrial Training*. 1997. Vol. 21(2) Pp. 63—69.
6. *Hyland T.* Meta-competence, metaphysics and vocational expertise // *Competence and Assessment*. Sheffield: Employment Department. 1992. № 20 Pp. 22—24.
7. *Isaeva T. E.* To the Nature of Pedagogical Culture: Competence — Based Approach to its Structure // *Преподаватель высшей школы в XXI веке : материалы Международной научно-практической интерконференции*. Ростов-на-Дону, 2003.
8. *Nabi G. R., Bagley D.* Graduates perceptions of transferable personal skills // *Education + Training*. 1999. Vol. 41(4) Pp. 4—10.
9. *Shaw S.* Development of core skills training in the partner countries // *Final Report for the ETF Advisory Forum Sub-Group D, European Training Foundation*. Turin, 1998.
10. *Protasov A.* The Professional Training Features for Non-Destructive Testing Graduate Students. URL: [http://pbf.kpi.ua/en/docs/publications/Protasov\\_Professional\\_Training\\_Features.pdf](http://pbf.kpi.ua/en/docs/publications/Protasov_Professional_Training_Features.pdf).
11. *Зимняя И. А.* Компетентный подход. Каково его место в системе современных подходов к проблемам образования? // *Высшее образование сегодня*. 2006. № 8. С. 20—26.
12. *Durand T.* Strategizing innovation: competence analysis in assessing strategic change // *A. Heene, R. Sanchez. Competence-Based Strategic Management*. Chichester: Wiley, 1997.
13. *Голуб Г. Б., Фишман И. С., Фишман Л. И.* Стандарты третьего поколения: чему учить и что проверять на выходе // *Вопросы образования*. 2010. № 3. С. 102—115.
14. *Значение профессиональной мобильности в процессе становления специалиста технической направленности / А. М. Газалиев, В. В. Егоров, Е. Г. Огольцова и др.* // *Высшее образование сегодня*. 2004. № 10. С. 6—9.
15. *Михайличенко Т. А., Громова О. Б.* О реализации ФГОС в техническом вузе // *Высшее образование в России*. 2011. № 12. С. 89—93.

16. Асадуллин Р. М. Проблемы формирования профессиональной компетентности будущего учителя в образовательной практике вуза // Педагогический журнал Башкортостана. 2005. № 1. С. 15—23.

17. Бодалев А. А. О взаимосвязи общения и отношения // Вопросы психологии. 1994. № 1. С. 122—127.

18. Выготский Л. С. Педагогическая психология / Под ред. В. В. Давыдова. М.: Педагогика-Пресс, 1999. 536 с.

© Гусейнова Е. Л., 2019

Поступила в редакцию  
в сентябре 2019 г.

Ссылка для цитирования:

Гусейнова Е. Л. Развитие профессиональных компетенций студентов технических вузов, изучающих дисциплину «Гидравлика» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 221—229.

Об авторе:

**Гусейнова Елена Лазаревна** — канд. пед. наук, доцент кафедры механики и технологии машиностроения, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьский (филиал УГНТУ в г. Октябрьский), Российская Федерация, Республика Башкортостан, 452607, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54-А, [guseinova\\_elena@hotmail.com](mailto:guseinova_elena@hotmail.com)

**Elena L. Guseynova**

*The Subsidiary of Ufa State Petroleum Technological University in Oktyabrsky*

## DEVELOPING PROFESSIONAL COMPETENCE IN STUDENTS OF TECHNICAL HIGHER EDUCATION STUDYING HYDRAULICS

This paper considers the theme of developing professional competence in students of technical higher education who study Hydraulics discipline. The author's definitions of the words "competence" and "competency" are given in the paper. It is explained the need for specification of professional competencies stipulated in Education Standard. In the article it is suggested to apply the criteria-based standard of development, consisting of cognitive, operational-active, motivational-valuable and reflexive-estimated components. The characteristics and features of each criterion are given. It is suggested the three-level system of development estimation. It is analyzed the differences between professional activity and educational process and offered the ways of resolving the issue. The article considers the aspects of students' motivation to learning. In the context of higher education it is analyzed the use of grade-rating system as a potential factor to increase motivation of students. For effective competencies development it is described a beneficial effect of independent study. The subject-to-subject relations is offered to use as a condition for competence development, which is based on dialog communication between a teacher and student. The article describes the application of prolong tasks and the method "Inflight magazine" (Bortovoy zhurnal).

**Key words:** professional competence, independent work, subject-subject relations, dialogue, prolonged classes, monitoring.

*For citation:*

Guseynova E. L. [Developing professional competence in students of technical higher education studying Hydraulics]. *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], 2019, iss. 4, pp. 221—229.

*About author:*

**Elena L. Guseynova** — Candidate of Pedagogical Sciences, Docent of Mechanics and Machine Building Technology Department, The Subsidiary of Ufa State Petroleum Technological University in Oktyabrsky (The Subsidiary USPTU in Oktyabrsky). 54-A, Devonskaya St., Oktyabrsky, 452607, Bashkortostan Republic, Russian Federation, [guseinova\\_elena@hotmail.com](mailto:guseinova_elena@hotmail.com)

## 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](http://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](http://www.doaj.org), обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

**Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов.** Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК*; на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 10 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

*Векторные рисунки*, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата A4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), *эпиграфия* в подрисунковой подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится *только* цитируемая в статье литература. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников. Анонимные источники (законы, СНиПы, ГОСТы, интернет-сайты и т.п.) приводятся в подстрочной ссылке. Нумерация подстрочных ссылок статьи — сквозная.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

*Порядок рецензирования.* Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

**Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.**

**КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.**

*Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).*

#### **Тематические рубрики**

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-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 ВолГТУ <http://vgasu.ru/publishing/journals/> (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

**Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. А-215а. (8442)-96-98-65. E-mail: sk0522@yandex.com** (ответственный секретарь журнала Калиновский Сергей Андреевич).

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-65 у ответственного секретаря редколлегии 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 ВолГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: [mariapes@mail.ru](mailto: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,**

**Уважаемые читатели и авторы!**  
С марта 2019 г. нумерация выпусков журнала изменена.

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала  
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-65 к отв. секретарю редколлегии *С. А. Калиновскому* (каб. А-215а)

---

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале  
**«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»**  
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.  
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**  
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.  
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,  
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций  
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,  
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*  
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-71951 от 13 декабря 2017 г. выдано Федеральной службой  
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного насле-  
дия. **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)).  
Подробная информация о журнале на сайте ИАиС ВолГГУ 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  
2019. Выпуск 4(77)**

Редактор *Н. В. Юдина*  
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*  
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*  
Информационно-библиографическое обслуживание *Е. В. Подшивалина*

Дата выхода в свет 27.12.2019. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная  
Гарнитура Times New Roman. Цена свободная  
Уч.-изд. л. 10,0. Усл. печ. л. 20,3. Тираж 500 экз. Заказ № 497

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»  
Типография ИАиС  
Адрес издателя: 400005, г. Волгоград, пр-т им. В. И. Ленина, 28  
Адрес типографии: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1