

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Строительство и архитектура

**Выпуск
23 (42)**

Научно-теоретический и производственно-практический
журнал

2011

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

Выходит 4 раза в год

Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

С о д е р ж а н и е

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

Шиян С. И., Богомолов А. Н., Кужель В. Н., Бабаханов Б. С., Соловьёв А. В. К вопросу о длительной устойчивости откосов грунтовых сооружений	5
Ушаков А. Н., Богомолов А. Н. Напряженно-деформированное состояние упругого основания при нагрузке, меняющейся по линейно-кусочному закону	17
Евтушенко С. И., Богомолов А. Н., Крахмальный Т. А. Зависимость несущей способности песчаного основания от формы подошвы фундамента	35
Евтушенко С. И. Характер трещинообразования железобетонных моделей структурного фундамента	43
Евтушенко С. И. Несущая способность и осадки сплошных сборных плитных фундаментов из структурных элементов	47
Клочков Ю. В., Николаев А. П., Киселева Т. А. Сравнение вариантов интерполяций перемещений на примере произвольной оболочки в форме эллипсоида	54
Маркович А. С. Теоретические исследования давления сыпучего материала на стены силосных сооружений	60
Стещенко Д. М. Влияние состава и структуры лессовых грунтов на уплотнение их глубинными взрывами (на примере Северного Кавказа)	66
Стещенко Д. М. Уплотнение просадочных грунтов глубинными взрывами на застроенной территории в г. Благодарном Ставропольского края	72

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

Алексиков С. В., Волченко Ф. В. Оценка эксплуатационной производительности снегоуборочной техники в городских условиях	81
Романов С. И., Стадник А. Ю. Проверка гипотез равенства и однородности средних величин шероховатости асфальтобетонных покрытий и гипотезы о равенстве дисперсий	87
Артёмова С. Г. Определение зоны влияния автостоянки	92
Углова Е. В., Мизонов В. В., Тиратурия А. Н. Оценка эксплуатационного состояния элементов дорожной конструкции усовершенствованным методом спектрального анализа волновых полей	97
Углова Е. В., Бессчетнов Б. В. Длительная трещиностойкость асфальтобетона дорожных покрытий	103

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Иващенко Ю. Г., Зинченко С. М. Эффективность использования минеральной добавки алюмосиликатного состава совместно с пластификатором на основе фенолацетоновых смол в цементных композициях	110
---	-----

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Азаров В. Н., Рудченко Г. И., Кузнецова Н. С. О расчете времени эвакуации людей при обеспечении пожарной безопасности зданий дошкольных образовательных учреждений	116
Широков А. И. Организация процесса освидетельствования объектов, не завершённых строительством, с учетом анализа качества	122

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Штым А. С., Маркелова И. А. Системы теплосбора для геотермальных тепловых насосов	126
Медведева О. Н., Фролов В. О. Разработка мероприятий по снабжению потребителей сжиженным природным газом	134

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Пустовалов Е. В., Шевцова И. М., Кичёва Т. Д., Горьковская А. В. Аспекты применения полипропиленовых двухслойных гофрированных труб для прокладки наружных сетей водоотведения	140
---	-----

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Кашарин Д. В. Многокритериальная оптимизация параметров мобильных водоподпорных конструкций сооружений инженерной защиты из композитных материалов	145
---	-----

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Панченко П. В. Пути совершенствования горнолыжных комплексов юга России	156
--	-----

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Сапожкова Н. В. Подбор мероприятий по снижению негативного воздействия автотранспорта на городскую среду	162
Коростелева Н. В. Оценка шумового режима примыкающих территорий г. Волгограда и разработка рекомендаций по созданию оптимальных условий проживания населения	168

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Еретин А. В. Роль принципа симметрии в методологии эргодизайна при реализации программы «Качество жизни человека»	173
Черненко Г. Н. Формирование функционально-планировочной структуры зданий современных университетских библиотек	180
Иванова Н. В., Антонова Н. Н. Изучение архитектурного наследия как способ формирования творческого потенциала и конкурентоспособности архитектора-бакалавра	186
Григорьев А. А. Типология решений основного объема зданий в архитектуре функционализма/неофункционализма	192

НАШИ АВТОРЫ	198
-------------	-----

C o n t e n s

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

Shiyan S. I., Bogomolov A. N., Kuzhel V. N., Babakhanov B. S., Solovyov A. V. In respect of a long-term slope stableness of soil structures	5
Ushakov A. N., Bogomolov A. N. Stress and strain state of cushion course during the load, varying on linear-piecewise rule	17
Yevtushenko S. I., Bogomolov A. N., Krakhmalny T. A. Dependence of sand base carrying force of foundation base form	35
Yevtushenko S. I. Nature of cracks formation of reinforced concrete models of structural foundation	43
Yevtushenko S. I. Capacity for bearing and settling of compact assembling slab foundations and sand basement	47
Klochkov Yu. V., Nikolayev A. P., Kiseleva T. A. Comparison of variants of interpolation displacement for example arbitrary shell in ellipsoid	54
Markovich A. S. Theoretical researches of bulk materials pressurer on silo walls	60
Steshenko D. M. Composition and loessial soils structure effect on seal of explosion depth (for example, North Caucasus)	66
Steshenko D. M. Seal of collapsible soil depth explosions in built-up area in Blagodarny of Stavropol Territory	72

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

Aleksikov S. V., Volchenko F. V. Estimation of operational productivity of snow-removing technics in city conditions	81
Romanov S. I., Stadnik A. Yu. Hypothesis verification of equality and uniformity of asphalt coat roughness means and hypothesis for variances equality	87
Artemova S. G. Zone determination of influence parking	92
Uglova Ye. V., Mizonov V. V., Tiraturyan A. N. Performance evaluation elements of road construction improved methods spectral analysis of wavefields	97
Uglova Ye. V., Besschetnov B. V. Long-term cracking resistance of asphaltic concrete pavement	103

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Ivashchenko Yu. G., Zinchenko S. M. Composite cement with aluminosilicate mineral admixture and plasticizer based on sulphonated acetone resin	110
---	-----

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION. LIFE SAFETY
AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

Azarov V. N., Rudchenko G. I., Kuznetsova N. S. About evacuate people timing by ensuring fire safety of pre-school educational institutions buildings	116
Shirokov A. I. Organization of process survey the objectsnot completed by construction in viewof the analysis quality	122

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

Shtym A. S., Markelova I. A. Heat localization system for geothermic heat pump	126
Medvedeva O. N., Frolov V. O. Development of measures to supply consumers with liquefied natural gas	134

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Pustovalov Ye. V., Shevtsova I. M., Kicheva T. D., Gorkovskaya A. V. Aspects of application polypropylene of two-layer fluted tubes for layer pad of external networks of water removal	140
--	-----

HYDROTECHNICAL ENGINEERING

Kasharin D. V. Multicriteria optimization of transportable retaining water structure of engineering protection of composite	145
--	-----

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT. CONTROL OF INVESTMENT URBAN
PLANNING ACTIVITY

Panchenko P. V. The ways of perfection of mountain-skiing complexes of south of Russia	156
---	-----

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING. LANDSCAPE ARCHITECTURE

- Sapozhkova N. V.** Planning appropriate protective measures for minimizing negative effect from automobile traffic on urban environment 162
- Korosteleva N. V.** Rated the regime noising on the territories along streets of Volgograd and developing recommendations on creating optimal living conditions 168

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION
OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE. ARCHITECTURE OF BUILDINGS
AND CONSTRUCTIONS

- Eretin A. V.** Role of principle of symmetry in methodology of ergo-design for quality programs provision for human life 173
- Chernenko G. N.** Forming of modern university libraries functional and planning structure 180
- Ivanova N. V., Antonova N. N.** Architectural legacy of Volgograd in formation of creative potential and competitiveness of architect bachelor 186
- Grigorev A. A.** Composition typology of the main volume of buildings in functionalism/neofunctionalism architecture 192

- OUR AUTHORS 198

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

УДК 624.131

С. И. Шиян, А. Н. Богомолов, В. Н. Кужель, Б. С. Бабаханов, А. В. Соловьёв

К ВОПРОСУ О ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Приведены результаты аналитических исследований, посвященных определению условий, обеспечивающих длительную устойчивость откосов грунтовых сооружений. На основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов построены графические зависимости и определены их аналитические аппроксимации, позволяющие установить такую взаимосвязь между физико-механическими свойствами грунта и геометрическими параметрами грунтового сооружения, при которой в грунтовом массиве невозможно образование областей предельного состояния грунта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: грунтовые сооружения, длительная устойчивость, области предельного состояния грунта, взаимосвязь физико-механических свойств и геометрических параметров грунтового сооружения, графические зависимости и аналитические аппроксимации.

The results of analytical research, dedicated to the definition of terms, provided a long-term stability of soil structures are listed. Graphic curves are structured on the basis of analysis of stress and strain state of soil bodies. Their analytical approximations are identified rendered possible to establish the interrelation between physical and mechanical properties of soil and geometrical parameters of soil structures. Forming of areas of soil limit state does not seem possible.

K e y w o r d s: soil structures, long-term stability, areas of soil limit state, interrelation between physical and mechanical properties of soil and geometrical parameters of soil structures, graphic curves and analytical approximations.

Вопрос о назначении проектной (задаваемой) величины коэффициента запаса устойчивости $K_{пр}$ откосов грунтовых сооружений довольно часто обсуждается в научной печати. Хотя в нормативных документах на этот счет имеются рекомендации [1], однако в большинстве случаев они определяют лишь интервал допустимых значений коэффициентов запаса.

Еще В. А. Флорин [2] указывал на определенный интервал значений $K_{пр}$, говоря о том, что «как правило, в зависимости от класса и типа сооружения, а также от степени достоверности определения расчетных параметров сопротивления сдвигу и применяемых методов расчета рекомендуемые значения коэффициентов запаса могут изменяться от 1 до 1,5 при среднем значении 1,25...1,3», т.е. $K_{пр} \in (1...1,5)$ (значение $K_{пр}=1$ из допустимых значений коэффициента запаса устойчивости исключается, т.к. оно соответствует моменту разрушения откоса).

Существует множество методов расчета устойчивости откосов и склонов. Все их можно разделить по отношению к вопросу о положении и форме поверхности скольжения или, в случае плоской задачи, следу поверхности скольжения (линии скольжения). К первой группе можно отнести все методы, где положение и форма поверхности скольжения принимаются известными или определяются геологическим строением исследуемого грунтового массива (трещины, прослои слабых грунтов и т.д.). Ко второй группе следует отнести методы, где положение и форма поверхности скольжения определяются непосредственно при решении задачи о вычислении величины коэффициента запаса устойчивости. Это вариационные методы расчета, например [3], и методы, базирующиеся на анализе напряженного состояния грунтового массива, например [4].

Первая из этих групп методов обладает существенными недостатками, а использование методов второй группы настоятельно рекомендуется нормативными документами. Например, в п. 5.3 СНиП 33-01—2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» написано, что для обоснования надежности и безопасности гидротехнических сооружений должны выполняться «расчеты напряженно-деформированного состояния системы «сооружение — основание» на основе применения современных, главным образом численных методов механики сплошной среды с учетом реальных свойств материалов и пород оснований. Обеспечение надежности системы «сооружение — основание» должно обосновываться результатами расчетов по методу предельных состояний их прочности, устойчивости».

К этой группе методов, в частности, относятся следующие: метод, предложенный И. Р. Шайхуллиным [5], и метод, изложенный в работах В. К. Цветкова [6] и А. Н. Богомолова [7].

Первый метод, в основу которого положена теория графов, позволяет проконтролировать процесс образования сплошной пластической зоны, или сплошных зон образования трещин, внутри которых будет находиться поверхность скольжения (рис. 1).

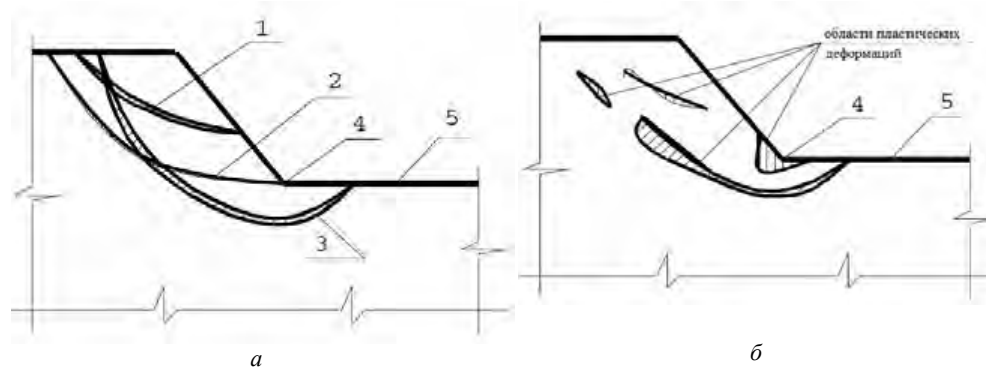


Рис. 1. Линии скольжения в теле откоса (а) и области пластических деформаций (области образования трещин) (б) (цит. по [5])

На рис. 2 приведены пластические области, образующиеся в теле откоса и фиксируемые при проведении расчета в зависимости от изменения внешних нагрузок, физико-механических свойств грунта, геометрических параметров откоса или комбинации перечисленных параметров.

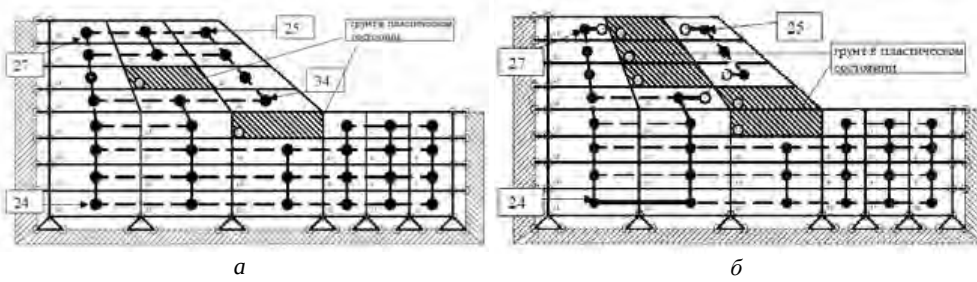


Рис. 2. Конечно-элементная сетка откоса и его текущий граф на некотором этапе итерации (а) и в момент потери откосом устойчивости (б) (цит. по [5])

Достоинством этого метода является то, что расчет напряжений проводится методом конечных элементов (МКЭ), что позволяет рассматривать откосы неоднородного геологического строения. Существенным недостатком является невозможность оценить величину коэффициента запаса устойчивости откоса K на промежуточных этапах вычислений (на конечном этапе $K=1$) и четко в виде линии локализовать след наиболее вероятной поверхности скольжения как на промежуточных, так и на конечном этапе вычислений (удается определить лишь зоны, внутри которых она будет проходить).

Если коротко остановиться на втором методе расчета, следует подчеркнуть, что в случае однородного грунтового массива численные значения напряжений вычисляются на основе аналитического решения первой основной краевой задачи теории упругости для однородной и изотропной полуплоскости с криволинейной границей [7], причем отображающая функция принята в виде

$$z = \omega(\zeta) = C_0 + C\zeta - \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+1}}, \quad (1)$$

где $z=x+iy$; $\zeta=\xi+i\eta$; C_0, C, C_{2k+1} — любые, в том числе комплексные, коэффициенты; a и b — действительные числа, $b>0$.

Если рассматривается неоднородный массив, то напряжения определяются на основе МКЭ.

Методика построения следа наиболее вероятной поверхности скольжения (НВПС) позволяет проводить его построение как для однородного, так и для неоднородного грунтового массива, как при отсутствии [6], так и при наличии [7] областей пластического состояния грунта. Если области пластических деформаций отсутствуют, то величина коэффициента запаса устойчивости в точке грунтового массива K_m и глобального коэффициента запаса устойчивости $K_{гп}$ определяются соответственно выражениями

$$K_m = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz} \sin 2\alpha + \sigma_{св} \right] \operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha + \tau_{xz} \cos 2\alpha}, \quad (2)$$

$$K_{\text{гл}} = \frac{\int_0^l F_{\text{уд}}(S) ds}{\int_0^l F_{\text{сд}}(S) ds}, \quad (3)$$

где σ_z , σ_x , τ_{xz} и α — соответственно напряжения и угол наклона наиболее вероятной площадки сдвига в рассматриваемой точке грунтового массива; $\sigma_{\text{св}} = C(\rho g h \tan \phi)^{-1}$ — приведенное давление связности (C , ϕ , ρ , g , h — соответственно сцепление и угол внутреннего трения грунта); $F_{\text{уд}}$ и $F_{\text{сд}}$ — удерживающие и сдвигающие силы в точках следа НВПС, определяемые, соответственно, числителем и знаменателем формулы (2); S — дуговая координата точки следа НВПС.

Угол наклона α наиболее вероятной площадки сдвига в некоторой точке, при котором значение K принимает минимальное значение, определяется при выполнении условий (4) по формуле (5):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \alpha} &= 0, \\ \frac{\partial^2 K}{\partial \alpha^2} &> 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\sin 2\alpha_{1;2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}}, \quad (5)$$

где $B = (\sigma_z + \sigma_x + 2\sigma_{\text{св}})^2$; $D = 4\tau_{xz}^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2$.

Для условий смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта, когда возникают и развиваются области пластических деформаций, формулы (2) и (3) принимают вид

$$K_m^{\text{пл}} = \frac{(\sigma_z + \sigma_{\text{св}}) \sin \phi (\cos 2\alpha + b \sin 2\alpha) + \sigma_z l + \sigma_{\text{св}} b}{(\sigma_z + \sigma_{\text{св}})(b \cos 2\alpha - 2) \cos \phi}, \quad (2^*)$$

где $b = \tan 2\alpha$; $l = (1 + b^2)^{\frac{1}{2}}$.

$$K_{\text{гл}}^{\text{смеш}} = \frac{\sum S_{\text{уд}} + \sum S'_{\text{уд}}}{\sum S_{\text{сд}} + \sum S'_{\text{сд}}}, \quad (3^*)$$

где $\sum S'_{\text{уд}}$ и $\sum S'_{\text{сд}}$ — суммарные площади эпюр удерживающих и сдвигающих сил, действующих вдоль участков следа наиболее вероятной поверхности скольжения, находящихся внутри областей пластических деформаций; $\sum S_{\text{уд}}$ и $\sum S_{\text{сд}}$ — то же для участков следа наиболее вероятной поверхности скольжения, находящихся вне границ областей пластических деформаций.

Анализ формулы (3*) показывает, что время, которое должно пройти с момента начала наблюдения за откосом до момента его разрушения, равно времени протекания процесса перераспределения напряжений, в результате которого вся приоткосная область перейдет в предельное состояние и будет выполнено условие $\sum S_{уд} = \sum S_{сд} = 0$, т.к. всегда справедливы соотношения $\sum S_{уд} / \sum S_{сд} > 1$ и $\sum S'_{уд} / \sum S'_{сд} = 1$.

Таким образом, использование этого расчетного метода позволяет дать ответ на вопрос о том, каково значение величины коэффициента запаса устойчивости в рассматриваемый момент времени данного откоса как при упругом, так и при упруго-пластическом распределении напряжений в приоткосной области. Однако получить ответ на вопрос о том, какой должна быть проектная (задаваемая) величина коэффициента запаса устойчивости, чтобы была обеспечена длительная безаварийная эксплуатация объекта, невозможно.

В настоящее время задача об отыскании времени завершения процесса перераспределения напряжений не решена. Это объясняется тем, что закономерности разрушения грунтовых образцов, получаемые в условиях лабораторных испытаний при различных контролируемых режимах нагружения, не могут адекватно соответствовать природному механизму разрушения грунтового массива.

Установлено [8, 9], что процесс перераспределения напряжений автоматически «запускается» при определенных условиях: если сочетание физико-механических свойств и геометрических параметров грунтового откоса таково, что в нем предопределено возникновение областей предельного состояния грунта (ОПСГ), то обусловленный этим перманентный процесс перераспределения напряжений обязательно завершится его разрушением. Разрушение откоса произойдет тогда, когда область предельного состояния грунта достигнет определенного размера или, другими словами, произойдет достаточное накопление пластических деформаций. Если ОПСГ изначально отсутствуют и нет причин для их образования, то целостности грунтового откоса ничто не угрожает и он может существовать сколь угодно долго.

Для того, чтобы определить такие сочетания физико-механических свойств грунта и геометрических параметров однородного откоса, при которых заведомо отсутствуют области предельного состояния грунта, проведено численное моделирование процесса образования ОПСГ. Для этого использована компьютерная программа [10], разработанная в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете, в которой для определения напряжений формализован метод конечных элементов (МКЭ), а область предельного состояния грунта определяется как геометрическое место точек, в каждой из которых выполняется условие $K_m=1$. Рассмотрены три вида грунтовых сооружений: вертикальная траншея, одиночный, в том числе вертикальный откос и насыпь трапецевидного сечения. Приведем полученные результаты.

Вертикальная траншея. Построены графики, позволяющие в зависимости от угла внутреннего трения φ и величины отношения d/H (соответственно ширина и глубина траншеи) определять величину приведенного давления

связности, при которой в грунтовом массиве близ стенок траншеи отсутствуют области пластических деформаций (рис. 3, а). Зная эту величину и помня о том, что $\sigma_{св} = C(\gamma H \operatorname{tg} \varphi)^{-1}$, можно вычислить высоту траншеи H , при которой ей обеспечена длительная устойчивость.

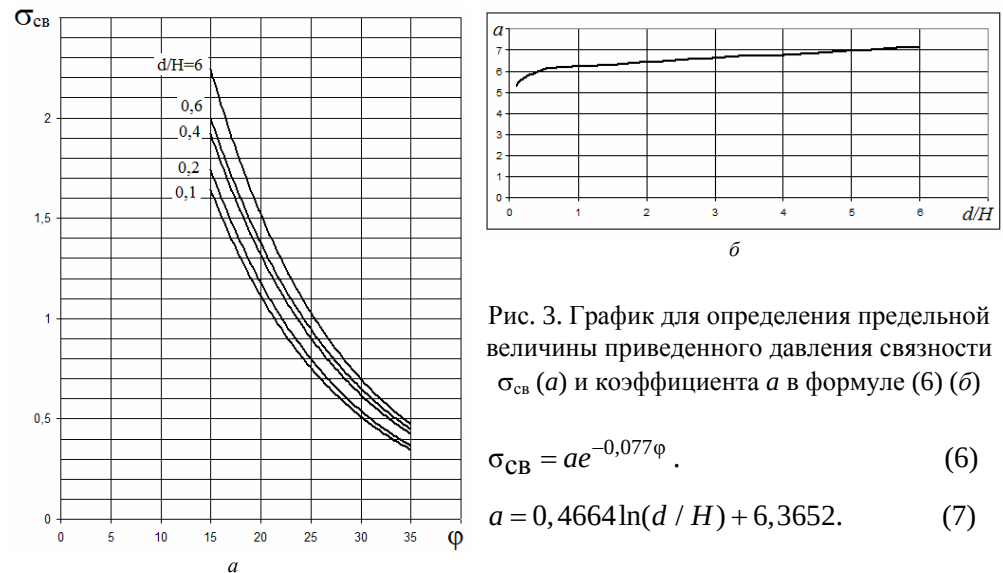


Рис. 3. График для определения предельной величины приведенного давления связности $\sigma_{св}$ (а) и коэффициента a в формуле (6) (б)

$$\sigma_{св} = a e^{-0,077\varphi}. \quad (6)$$

$$a = 0,4664 \ln(d / H) + 6,3652. \quad (7)$$

Кривые, приведенные на рис. 3, а, с погрешностью, не превышающей 3,5 %, могут быть аппроксимированы выражением (6), в котором a — безразмерный коэффициент, определяемый по графику (рис. 3, б) или вычисляемый по формуле (7), а второй коэффициент — также безразмерный, численно равный соответствующему значению угла внутреннего трения.

Изолированный вертикальный откос. В результате проведенных вычислений построены графические зависимости (рис. 4). Первая из них (рис. 4, а) позволяет определить для каждого из рассмотренных значений угла внутреннего трения φ и коэффициента бокового давления ξ_0 величину приведенного давления связности $\sigma_{св}$, которая гарантирует отсутствие в приоткосной зоне областей пластических деформаций. По величине $\sigma_{св}$ можно определить безопасную высоту вертикального откоса H_{90}^6 . Разрушение откоса такой высоты за счет внутреннего процесса перераспределения напряжений и образования областей пластических деформаций невозможно.

Совместное использование графиков, приведенных на рис. 4, а и б, позволяет определить величину коэффициента запаса устойчивости вертикального откоса безопасной высоты.

График, приведенный на рис. 4, в, несет ту же информацию, что и график на рис. 4, а. Однако из него видно, что при углах внутреннего трения грунта $\varphi > 40^\circ$ величина коэффициента бокового давления ξ_0 практически не оказывает влияния на результаты расчетов устойчивости откосов.

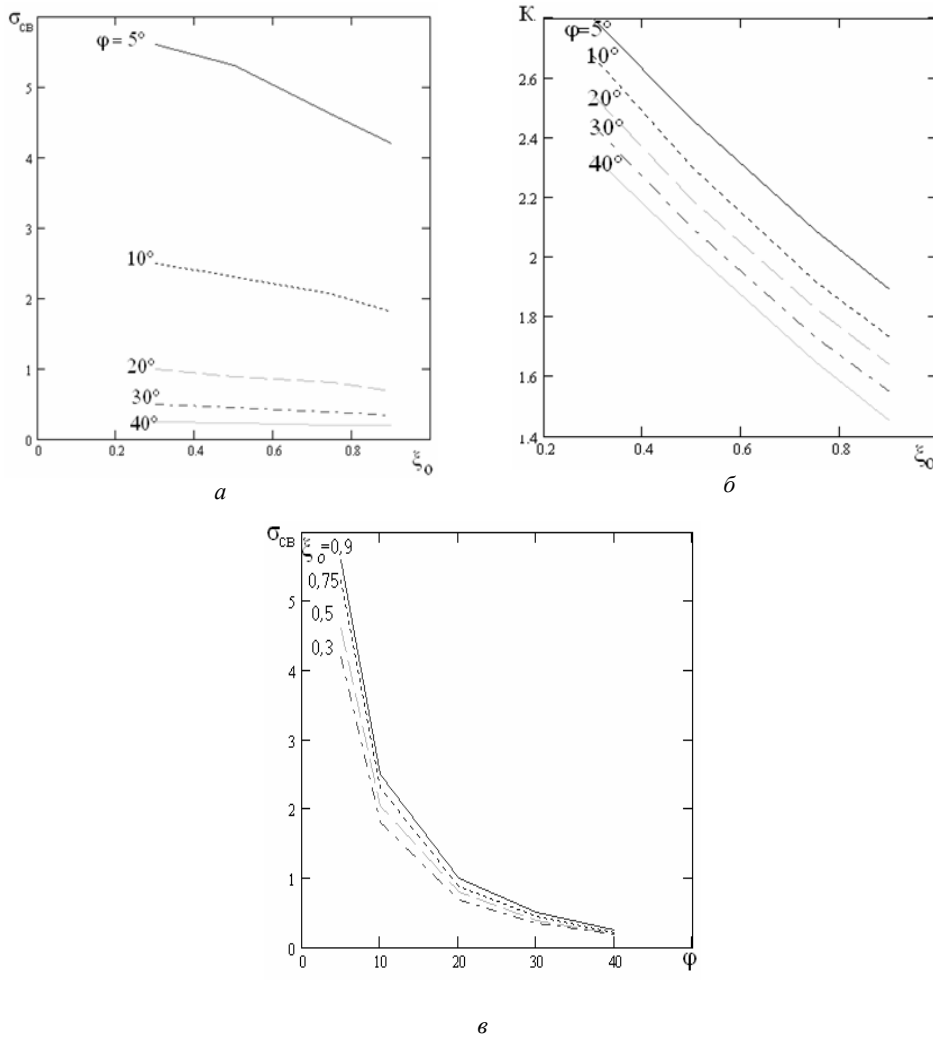


Рис. 4. График зависимости вида $\sigma_{св}=f(\xi_0)$ (а); $K=f(\xi_0)$ (б) и $\sigma_{св}=f(\varphi)$ (в) для определения безопасных параметров вертикального откоса

Изолированный откос с произвольным углом наклона. В результате анализа напряженно-деформированного состояния приоткосной области, выполненного при помощи компьютерной программы [10], в которой формализован метод конечных элементов, построены графические зависимости вида $\varphi=f(\sigma_{св})$ (рис. 5), дающие возможность определить величину давления связности, при котором исключается возникновение областей пластических деформаций в приоткосной зоне.

Оказалось, что все эти кривые без исключения могут быть с точностью до 5 % аппроксимированы следующей зависимостью:

$$\varphi = a \ln(\sigma_{св}) + b, \quad (8)$$

где a и b — коэффициенты, определяемые по графикам, приведенным на рис. 6, и имеющие размерность град.

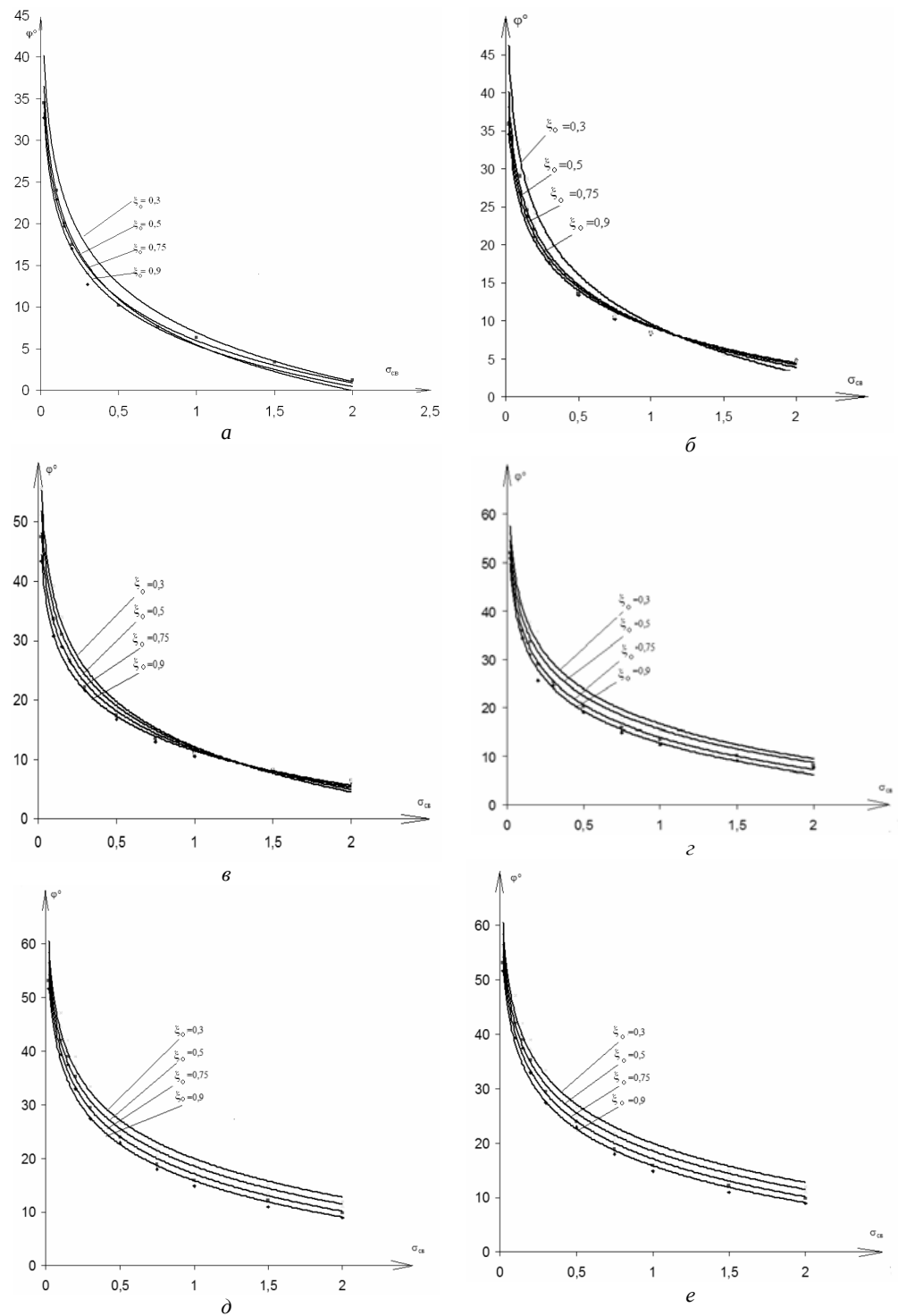


Рис. 5. Графики зависимостей вида $\varphi = f(\sigma_{св})$ для однородных откосов с углами $\beta = 25^\circ$ (*a*); $\beta = 35^\circ$ (*б*); $\beta = 45^\circ$ (*в*); $\beta = 60^\circ$ (*г*); $\beta = 75^\circ$ (*д*) и $\beta = 90^\circ$ (*е*)

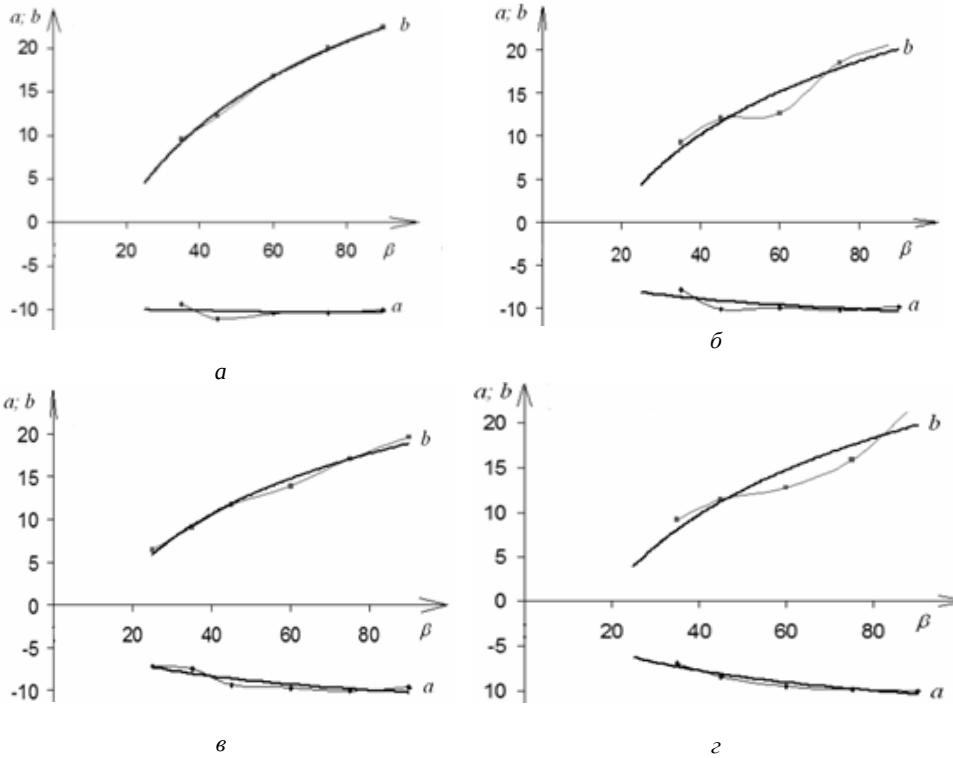


Рис. 6. Графики зависимостей вида $a=f(\beta)$ и $b=f(\beta)$ при $\xi_0=0,3$ (а); $\xi_0=0,5$ (б); $\xi_0=0,75$ (в) и $\xi_0=0,9$ (г)

В свою очередь, кривые, приведенные на рис. 6, также могут быть с достаточной степенью точности аппроксимированы логарифмической зависимостью, аналогичной (8), после чего

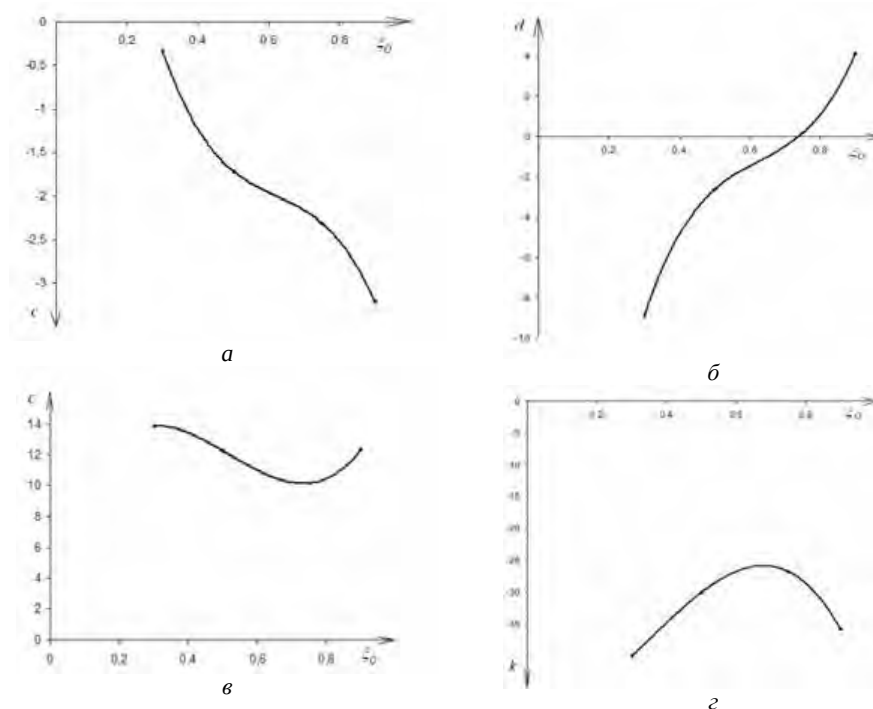
$$\varphi = -(c \ln(\beta) + d) \ln(\sigma_{св}) + (e \ln(\beta) - k), \quad (9)$$

где β — значение угла откоса, град., но без размерности; коэффициенты c , d , e и k определяются по графикам, приведенным на рис. 7, и имеют размерность град.

Используя полиномиальную аппроксимацию, удалось записать уравнения кривых, изображенных на рис. 3, в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} c &= -32,017\xi_0^3 + 59,733\xi_0^2 - 39,039\xi_0 + 6,8729, \\ d &= 137,42\xi_0^3 - 257,86\xi_0^2 + 170,4\xi_0 - 40,555, \\ e &= 98,443\xi_0^3 - 153,61\xi_0^2 + 66,65\xi_0 + 5,0414, \\ k &= -168,89\xi_0^3 + 179,47\xi_0^2 - 10,615\xi_0 - 48,522. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Теперь, используя полученные аналитические зависимости, совсем не трудно определить предельно допустимую высоту однородного откоса, при которой в приоткосной зоне отсутствуют области пластических деформаций.

Рис. 7. Графические зависимости $c=f(\xi_0)$ (а); $d=f(\xi_0)$ (б); $e=f(\xi_0)$ (е) и $k=f(\xi_0)$ (з)

Насыпь дорожного полотна трапецевидного сечения. Для того, чтобы определить предельные значения ФМС грунта, при которых области пластических деформаций еще отсутствуют, проведены расчеты напряженно-деформированного состояния насыпей с углами $\beta=20; 30; 40^\circ$, сложенных грунтами, имеющими угол внутреннего трения $\varphi=10; 15; 20; 25; 30^\circ$. Численные значения напряжений в точках грунтового массива определялись при помощи компьютерной программы [11], составленной на основе аналитического решения первой основной задачи теории упругости для весомой изотропной полуплоскости с трапецевидным выступом на ее границе [7], полученного при помощи методов теории функций комплексного переменного [12].

Величина удельного сцепления грунта C и высота насыпи принимают такие значения, что давление связности изменяется в пределах $0,03 \leq \sigma_{св}^{np} \leq 12$.

Положение и форма области пластических деформаций определены из условия, что в каждой точке ее границы выполняется условие равенства величины коэффициента устойчивости единице ($K=1$), которая определяется выражением (2).

На рис. 8 приведены графические зависимости вида $\sigma_{св}=f(\varphi)$ (либо $\sigma_{св}$, либо φ) для определения величины предельных физико-механических свойств грунта, при которых в массиве отсутствуют области пластических деформаций. Как видно, графики приведены для трех значений угла откоса β . Если угол β принимает некоторое промежуточное значение, то соответствующие величины рекомендуется определять при помощи операции линейной интерполяции.

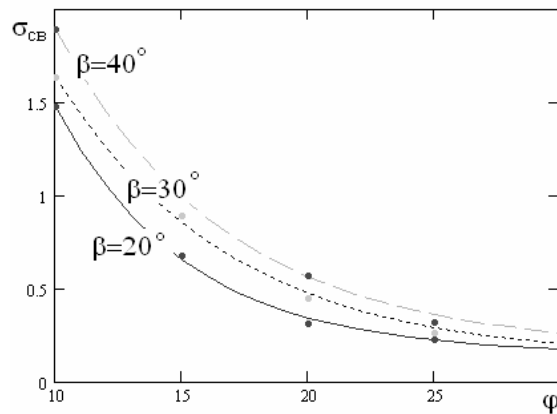


Рис. 8. Графические зависимости вида $\sigma_{св}=f(\varphi)$ для определения величины предельных значений физико-механических свойств грунта

Следует отметить, что угол внутреннего трения φ не случайно выбран в качестве переменной величины: известно, что при уплотнении грунта его величина изменяется в гораздо меньшей степени, чем величина удельного сцепления, а высота откоса назначается исходя из требований проекта.

Кривые, приведенные на рис. 8, с точностью не менее 96 % аппроксимируются выражением

$$\sigma_{св} = k e^{\varphi m} + n. \quad (11)$$

Коэффициенты k и m — безразмерные, коэффициент n имеет размерность град^{-1} , их численные значения в зависимости от угла откоса β приведены в табл.

Численные значения
коэффициентов k, m, n

β \ К-ты	k	m	n
20	9,222	−0,194	0,151
30	6,509	−0,146	0,123
40	7,614	−0,149	0,176

Графики, приведенные на рис. 8, просты в применении. Если известен угол заложения откоса насыпи, ее высота и, например, угол внутреннего трения грунта, из которого она отсыпается, то легко определить величину приведенного давления связности, а значит, и такого значения удельного сцепления, при котором в насыпи будут отсутствовать области пластических деформаций. Это важно потому, что именно удельное сцепление в большей степени поддается управлению при проведении процедур по улучшению прочностных свойств грунтов.

Выводы. Получены графические зависимости и соответствующие аналитические аппроксимации, при помощи которых можно определить геометрические параметры грунтового сооружения или значения физико-механических свойств грунта такие, что при этом невозможно образование и развитие областей предельного состояния в грунтовом массиве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.03.01—83*. Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. М. : Стройиздат, 1985.
2. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов. М. — Л. : Госстройиздат, 1959. Т. 1.
3. *Дорфман А. Г.* Обобщение вариационных принципов механики на линейно-деформируемые массивы грунта // Земляное полотно и геотехника на железнодорожном транспорте : межвуз. сб. науч. тр. ДИИТ. Днепропетровск, 1984.
4. *Тер-Мартirosян З. Г.* Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов. М. : Недра, 1986.
5. *Шайхуллин И. Р.* Разработка методов расчета устойчивости откосов с применением теории графов : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа : УГНТУ, 2002.
6. *Цветков В. К.* Расчет рациональных параметров горных выработок. М. : Недра, 1993.
7. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упруго-пластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996.
8. К вопросу о величине коэффициента запаса устойчивости грунтового массива / А. Н. Богомолов, С. И. Шиян, О. А. Богомолова, Т. А. Сабитова // Тр. междунар. конф. «Геотехнические проблемы XXI века в строительстве зданий и сооружений». Пермь : ПГТУ, 2007.
9. К вопросу об обеспечении устойчивости насыпей грунтовых сооружений / А. Н. Богомолов, С. И. Шиян, О. А. Богомолова, Т. А. Сабитова // Тр. междунар. конф. «Геотехнические проблемы XXI века в строительстве зданий и сооружений». Пермь : ПГТУ, 2007.
10. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) : свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А. Н. Богомолов и др.
11. *Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Редин А. В.* Пакет прикладных компьютерных программ для исследования устойчивости грунтовых массивов ASV32 // Город, экология, строительство : матер. междунар. науч.-практич. конф. Каир, 1999.
12. *Мухелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966.
1. SNiP 2.03.01—83*. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy / Gosstroy SSSR. M. : Stroyizdat, 1985.
2. *Florin V. A.* Osnovy mehaniki gruntov. M. — L. : Gosstroyizdat, 1959. T. 1.
3. *Dorfman A. G.* Obobschenije variacionnyh principov mehaniki na linejno-deformiruemye massivyy grunta // Zemljanoje polotno i geotehnika na zsheleznodorozhnom transporte : mezshvuz. sb. nauch. tr. DIIT. Dnepropetrovsk, 1984.
4. *Ter-Martirosjan Z. G.* Prognoz mehanicheskikh processov v massivah mnogofaznyh gruntov. M. : Nedra, 1986.
5. *Shajhullin I. R.* Razrabotka metodov raschjeta ustojchivosti otkosov s primeneniem teorii grafov : Avtoreferat dis. ... kand. tehn. nauk. Ufa : UGNTU, 2002.
6. *Cvetkov V. K.* Raschjet racionalnyh parametrov gornyh vyrabotok. M. : Nedra, 1993.
7. *Bogomolov A. N.* Raschjet nesuschey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustojchivosti gruntovyh massivov v uprugoplasticheskoj postanovke. Perm : PGU, 1996.
8. K voprosu o velichine koefficienta zapasa ustojchivosti gruntovogo massiva / A. N. Bogomolov, S. I. Shijan, O. A. Bogomolova, T. A. Sabitova // Tr. mezshdun. konf. «Geotekhnicheskie problemy XXI veka v stroitelstve zdaniy i sooruzheniy». Perm : PGU, 2007.
9. K voprosu ob obespechenii ustojchivosti nasypey gruntovyh sooruzheniy / A. N. Bogomolov, S. I. Shijan, O. A. Bogomolova, T. A. Sabitova // Tr. mezshdun. konf. «Geotekhnicheskie problemy XXI veka v stroitelstve zdaniy i sooruzhenij». Perm : PGU, 2007.
10. Ustojchivostj (naprjazshenno-deformirovannoje sostojanije) : svid. o gos. reg. programmy dlja EVM № 2009613499 ot 30 ijunja 2009 g. / A. N. Bogomolov i dr.
11. *Bogomolov A. N., Vihareva O. A., Redin A. V.* Paket prikladnyh kompjuternyh programm dlja issledovanija ustojchivosti gruntovyh massivov ASV32 // Gorod, ekologija, stroitelstvo : mater. mezshdun. nauch.-praktich. konf. Kair, 1999.
12. *Mushelishvili N. I.* Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. M. : Nauka, 1966.

© Шиян С. И., Богомолов А. Н., Кужель В. Н., Бабаханов Б. С., Соловьёв А. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования: К вопросу о длительной устойчивости откосов грунтовых сооружений / С. И. Шиян, А. Н. Богомолов, В. Н. Кужель, Б. С. Бабаханов, А. В. Соловьёв // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 5—16.

УДК 624.131

А. Н. Ушаков, А. Н. Богомолов**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ НАГРУЗКЕ, МЕНЯЮЩЕЙСЯ ПО ЛИНЕЙНО-КУСОЧНОМУ ЗАКОНУ**

Приводятся решения первой основной задачи теории упругости для полуплоскости при условии, что интенсивность внешнего воздействия на загруженном участке полуплоскости изменяется по линейно-кусочному закону. В замкнутом виде получены выражения для компонент напряжения и деформации, приведены картины их изолиний.

К л ю ч е в ы е с л о в а: первая основная задача теории упругости, нагрузка, изменяющаяся по линейно-кусочному закону, компоненты напряжения и деформации, картины изолиний.

Solutions of the first basic problem of the theory of elasticity for a half-plane are indicated in condition that density of external action on the loaded half-plane site is changed on the linear-piecewise rule. Terms for strain and deformation components are obtained in an essentially closed form, patterns of their isolines are listed.

К е у о r d s: first basic problem of elasticity theory, load, varying on linear-piecewise rule, strain and deformation components, patterns of isolines.

При решении прикладных задач геомеханики часто возникает необходимость определения полей напряжений, возникающих в активной зоне основания под действием распределенной нагрузки, меняющейся по линейно-кусочному закону. Наиболее часто встречающимися видами эпюр таких нагрузок являются эпюры в виде прямоугольника (равномерно распределенная нагрузка), треугольника и их комбинаций.

В настоящей работе приводятся аналитические решения первой основной граничной задачи теории упругости для этих видов внешней нагрузки.

Граничное условие для решения этой задачи имеет вид [1]

$$\Phi(t) + \overline{\Phi(t)} + t\overline{\Phi'(t)} + \overline{\Psi(t)} = N(t) - iT(t),$$

где $\Phi(t), \Psi(t)$ — граничные значения функций напряжения $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$, голоморфных в нижней полуплоскости; $N(t)$ и $T(t)$ — нормальное и касательное напряжения, приложенные к некоторому участку оси Ox .

Будем полагать, что $N(t)$ и $T(t)$ — непрерывные функции, удовлетворяющие условиям

$$N(t) = O\left(\frac{1}{t}\right), \quad T(t) = O\left(\frac{1}{t}\right) \quad \text{при } |t| \rightarrow \infty.$$

Функции напряжений $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$, согласно [1], имеют вид

$$\Phi(z) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{N(t) - iT(t)}{t - z} dt, \quad (1)$$

$$\Psi(z) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{N(t) + iT(t)}{t-z} dt - \Phi(z) - z\Phi'(z) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{T(t)}{t-z} dt + \frac{z}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{N(t) - iT(t)}{(t-z)^2} dt, \quad (2)$$

где z — произвольная точка нижней полуплоскости.

Треугольная нагрузка. Пусть на отрезке $0 \leq t \leq a$ оси Ox задана линейно распределенная нагрузка (рис. 1, а). Определим напряженное состояние в нижней полуплоскости.

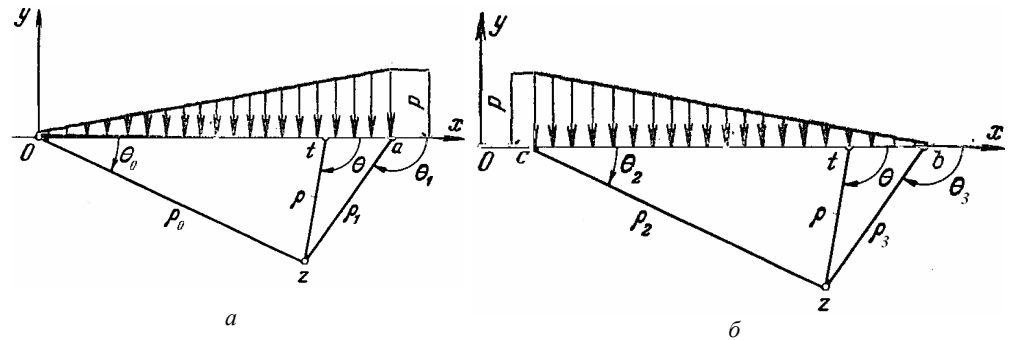


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Положим $N_1(t) = -pt/a$ на отрезке $0 \leq t \leq a$ оси Ox и $N_1(t) = 0$ при остальных значениях t (см. рис. 1). Формулы (1) и (2) дают

$$\Phi(z) = \frac{p}{2\pi ai} \int_0^a \frac{t}{t-z} dt = \frac{p}{2\pi ai} \left(a + z \ln \left(\frac{z-a}{z} \right) \right); \quad (3)$$

$$\Psi(z) = -\frac{pz}{2\pi ai} \int_0^a \frac{t}{(t-z)^2} dt = -\frac{pz}{2\pi ai} \left(\frac{a}{z-a} + \ln \left(\frac{z-a}{z} \right) \right). \quad (4)$$

Под выражением $\ln \frac{z-a}{z}$ на отрезке $0 \leq t \leq a$ будем понимать приращение функции $\ln(z-t)$ при непрерывном изменении t от 0 до a .

Пусть $z-t = \rho e^{-i\theta}$, где $\rho = |z-t|$, а θ есть угол, составляемый вектором, имеющим начало в t , а конец в z , с осью Ox . Причем этот угол считаем заключенным между 0 и π и отсчитываем его от положительного направления оси Ox по часовой стрелке (см. рис. 1). Будем полагать, что

$$\ln(z-t) = \ln \rho - i\theta, \quad \ln \frac{z-a}{z} = \ln \frac{\rho_1}{\rho_0} - i(\theta_1 - \theta_0), \quad (5)$$

где $\theta_1 - \theta_0$ — угол, под которым виден загруженный участок из точки z .

Вычислим компоненты напряжения по известным формулам

$$\begin{aligned}\sigma_x + \sigma_y &= 4 \operatorname{Re} \Phi(z), \\ \sigma_y - \sigma_x + 2\tau_{xy} &= 2(\bar{z}\Phi'(z) + \Psi(z))\end{aligned}\quad (6)$$

С учетом формул (3)—(5) получим

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) - \\ \quad - \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2 + y^2)}, \\ \sigma_y = -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2 + y^2)}, \\ \tau_{xy} = \frac{py}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py^2}{\pi((x-a)^2 + y^2)}. \end{cases} \quad (7)$$

На рис. 2 приведены изолинии горизонтального, вертикального и касательного напряжения, построенные на основании формул (7) при $a=10; p=1$.

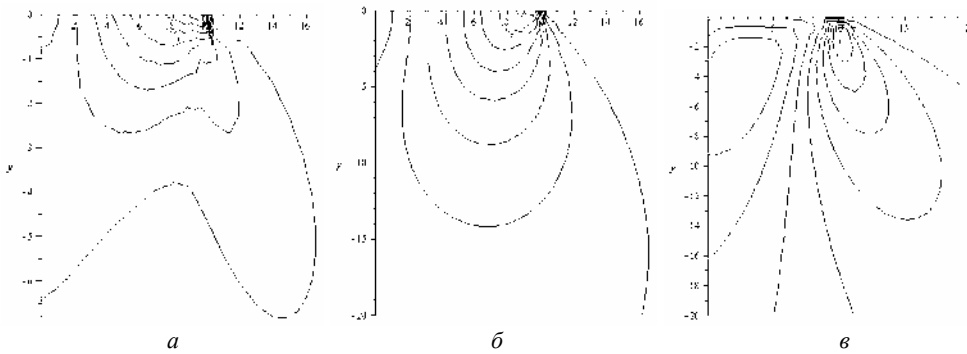


Рис. 2. Изолинии горизонтального σ_x (а), вертикального σ_z (б) и касательного τ_{zx} (в) напряжения

Для определения вертикальной компоненты деформации воспользуемся известной формулой [1]

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2\mu}(\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_y)), \quad (8)$$

где $\mu = E/2(1 + \nu)$ — модуль сдвига, который выражается через E — модуль упругости (модуль Юнга) и ν — коэффициент Пуассона.

Подставляя выражения для компонент горизонтального и вертикального напряжения из (7) в соотношение (8), имеем

$$\varepsilon_y = \frac{p}{2\pi\mu a} \left(\frac{ay(a-x)}{(a-x)^2 + y^2} - \nu y \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) - (1-2\nu)x \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) \right), \quad (9)$$

или

$$2\mu\varepsilon_y = \frac{p}{\pi a} \left(\frac{ay(a-x)}{(a-x)^2 + y^2} - \nu y \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) - (1-2\nu)x \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) \right). \quad (9')$$

Осадка может быть определена по известной формуле

$$s = \int_0^y \varepsilon_y dy = H(x, y) - H(x, 0), \quad (10)$$

где $H(x, y)$ — вертикальное перемещение в точке (x, y) , а y , например, глубина сжимаемого слоя.

Поскольку ось ординат направлена вверх, то знак разности $H(x, y) - H(x, 0)$ будет отрицательным, а знак осадки s будет положительным.

Подставляя (9) в (10) и интегрируя, получим

$$\begin{aligned} 2\mu s = & \frac{p(1-2\nu)x}{\pi a} \left(y \operatorname{arctg} \left(\frac{a-x}{y} \right) + y \operatorname{arctg} \left(\frac{x}{y} \right) + \frac{(a-x)}{2} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{(a-x)^2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{x}{2} \ln \left(\frac{x^2 + y^2}{x^2} \right) \right) - \frac{p\nu}{2\pi a} \left(((a-x)^2 + y^2) \ln((a-x)^2 + y^2) - 2(a-x)^2 \ln(a-x) - \right. \\ & \left. - (x^2 + y^2) \ln(x^2 + y^2) + 2x^2 \ln x \right) + \frac{p(a-x)}{2\pi} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{(a-x)^2} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Заметим, что $s(x, y)$ как функция от x разрывна в точках $x=0$ и $x=a$, однако при $x \rightarrow 0$, $y \rightarrow 0$ и при $x \rightarrow a$, $y \rightarrow 0$ $s \rightarrow 0$, а при $y \rightarrow -\infty$ $s \rightarrow +\infty$.

На рис. 3 приведены изолинии значений $2\mu\varepsilon_y$ и $2\mu s$ для глинистого и песчаного грунтов, построенные на основании формулы (11).

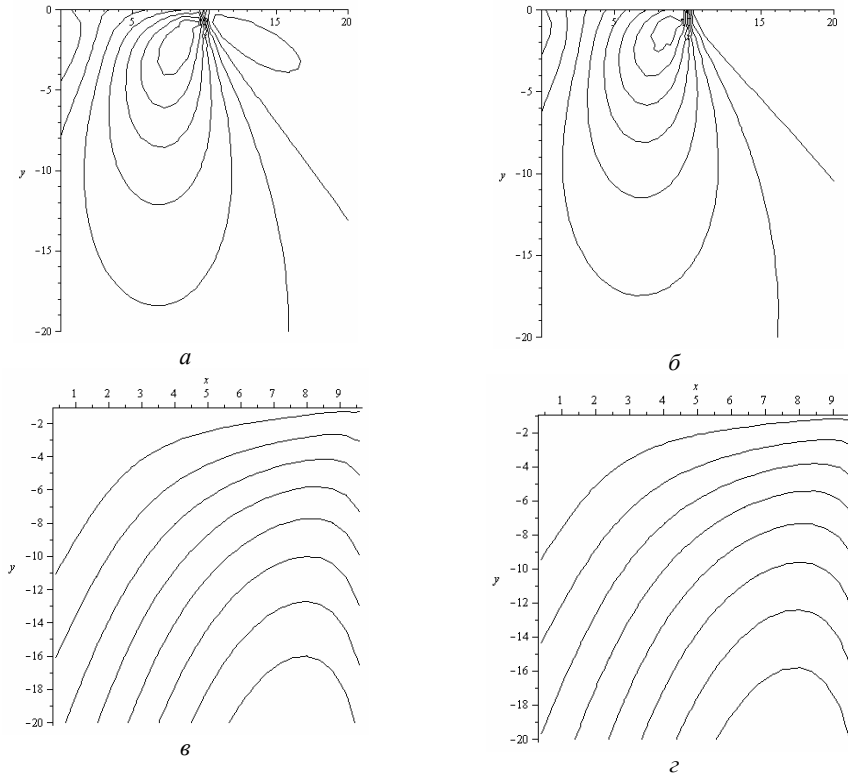


Рис. 3. Изолинии $2\mu_y$ при $\nu = 0,42$ (глинистый грунт) (а; б) и $2\mu_s$ при $\nu = 0,3$ (песчаный грунт) (в; г)

Рассмотрим еще одну нагрузку, имеющую эпюру в виде треугольника (см. рис. 1, б). Пусть $N_3(t) = -\frac{p}{b-c}(b-t)$ на участке $c \leq t \leq b$ и $N_3(t) = 0$ при всех остальных значениях t .

Использование формул (1), (2) дает

$$\Phi(z) = \frac{p}{2\pi(b-c)i} \int_c^b \frac{b-t}{t-z} dt = -\frac{p}{2\pi(b-c)i} \left(b-c + (z-b) \ln \left(\frac{z-b}{z-c} \right) \right), \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Psi(z) = & -\frac{pz}{2\pi(b-c)i} \int_c^b \frac{b-t}{(t-z)^2} dt = \frac{pz}{2\pi(b-c)i} \left(\frac{(b-c)z}{(z-b)(z-c)} + \ln \left(\frac{z-b}{z-c} \right) \right) - \\ & - \frac{pbz}{2\pi i(z-b)(z-c)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Полагая под выражением $\ln \frac{z-b}{z-c}$ приращение функции $\ln(z-t)$ при непрерывном изменении t от c до b аналогично предыдущему случаю, получаем

$$\ln \frac{z-b}{z-c} = \ln \frac{\rho_3}{\rho_2} - i(\theta_3 - \theta_2). \quad (14)$$

Используя, как и ранее, формулы Колосова — Мусхелишвили (6), с учетом формул (12)—(14) получим

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py}{\pi(b-c)} \ln \left(\frac{((x-b)^2 + y^2)}{(x-c)^2 + y^2} \right) - \\ - \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2 + y^2)}, \\ \sigma_y = \frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) + \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2 + y^2)}, \\ \tau_{xy} = -\frac{py}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py^2}{\pi((x-c)^2 + y^2)}. \end{cases} \quad (15)$$

На рис. 4 приведены изолинии горизонтального, вертикального и касательного напряжений, построенные на основании формул (15).

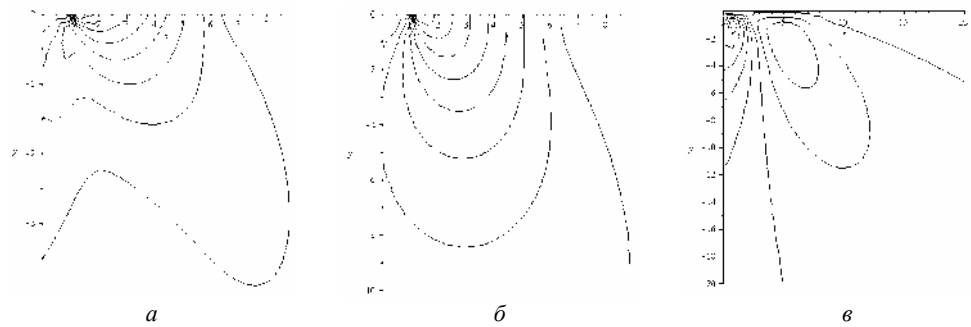


Рис. 4. Изолинии горизонтального σ_x (а), вертикального σ_z (б) и касательного τ_{zx} (в) напряжения при $c=1$, $b=7$, $p=1$

Аналогично тому, как сделано ранее, определим деформации и осадки:

$$\begin{aligned} \varepsilon_y = \frac{p}{2\pi\mu(b-c)} & \left((1-2\nu)(x-b) \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) + \nu y \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-c)^2 + y^2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{(b-c)(x-c)y}{((x-c)^2 + y^2)} \right), \end{aligned} \quad (16)$$

или

$$\begin{aligned} 2\mu\varepsilon_y = \frac{p}{\pi(b-c)} & \left((1-2\nu)(x-b) \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) + \nu y \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-c)^2 + y^2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{(b-c)(x-c)y}{((x-c)^2 + y^2)} \right); \end{aligned} \quad (16')$$

$$\begin{aligned}
 2\mu_s = & -\frac{p(1-2\nu)(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{yarctg}\left(\frac{x-c}{y}\right) + \operatorname{yarctg}\left(\frac{b-x}{y}\right) + \frac{(b-x)}{2} \ln\left(\frac{(b-x)^2 + y^2}{(b-x)^2}\right) + \right. \\
 & \left. + \frac{(x-c)}{2} \ln\left(\frac{(x-c)^2 + y^2}{(x-c)^2}\right) \right) + \frac{pv}{2\pi(b-c)} \left(((b-x)^2 + y^2) \ln((b-x)^2 + y^2) - \right. \\
 & \left. - 2(b-x)^2 \ln(b-x) - (x-c)^2 + y^2 \ln((x-c)^2 + y^2) + 2(x-c)^2 \ln(x-c) \right) + \\
 & + \frac{pv}{2\pi(b-c)} + \frac{p(x-c)}{2\pi} \ln\left(\frac{(x-c)^2 + y^2}{(x-c)^2}\right). \quad (17)
 \end{aligned}$$

На рис. 5 приведены изолинии значений $2\mu_y$ и $2\mu_s$ для глинистого и песчаного грунта, построенные на основании формулы (17).

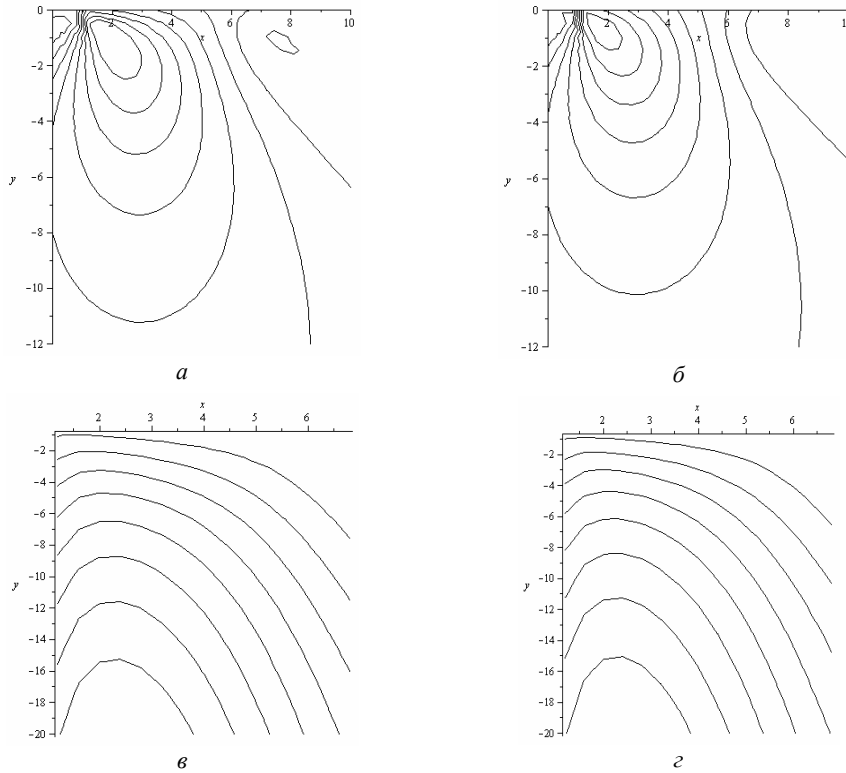


Рис. 5. Изолинии $2\mu_y$ при $\nu=0,42$ (глинистый грунт) (а; б) и $2\mu_s$ при $\nu=0,3$ (песчаный грунт) (в; г)

Равномерно распределенная нагрузка. Рассмотрим нагрузку интенсивности p , равномерно распределенную на участке $a \leq t \leq c$, т.е. $N_2(t) = -p$ на $a \leq t \leq c$ и $N(t) = 0$ при других значениях t (рис. 6) и определим напряженное состояние в нижней полуплоскости.

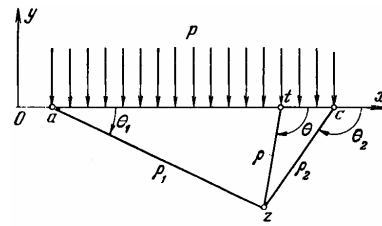


Рис. 6. Расчетная схема задачи

На основании формул (1) и (2) получим

$$\Phi(z) = \frac{p}{2\pi i} \int_a^c \frac{dt}{t-z} = \frac{p}{2\pi i} \ln \frac{z-c}{z-a}, \quad (18)$$

$$\Psi(z) = -\frac{pz}{2\pi i} \int_a^c \frac{dt}{a(t-z)^2} = -\frac{p(c-a)z}{2\pi i(z-a)(z-c)}. \quad (19)$$

Продельвая процедуры, аналогичные тем, что были выполнены ранее, получим выражения для компонент напряжения

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) + \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-c)^2+y^2)}, \\ \sigma_y = -\frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) - \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-c)^2+y^2)}, \\ \tau_{xy} = \frac{2p(c-a)xy^2 - p(c^2-a^2)y^2}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-c)^2+y^2)}. \end{cases} \quad (20)$$

На рис. 7 приведены изолинии горизонтального, вертикального и касательного напряжений, построенные на основании формул (20).

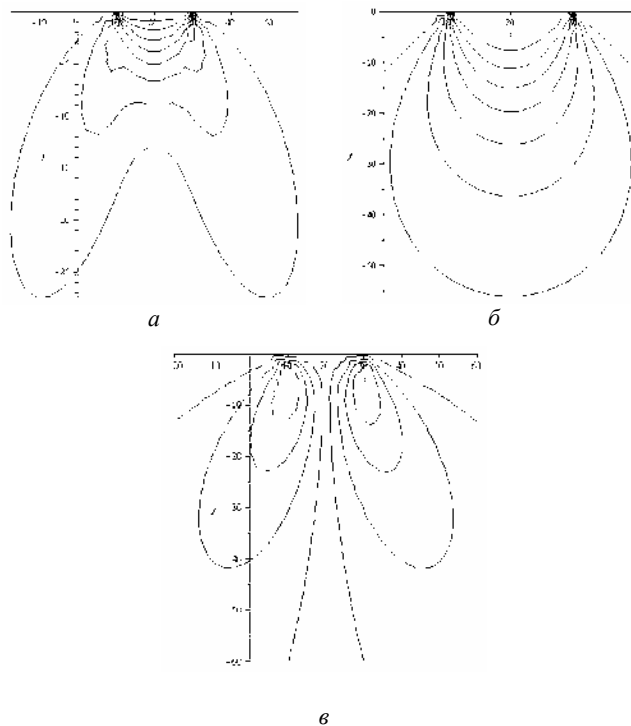


Рис. 7. Изолинии горизонтального σ_x (а), вертикального σ_z (б) и касательного τ_{zx} (в) напряжения при $a=10, c=30, p=1$

Выражения для вертикальной деформации и осадки могут быть получены с использованием формул (8), (10), (20), а затем (21) и имеют вид

$$\varepsilon_y = -\frac{p}{2\pi\mu} \left((1-2\nu) \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) + \frac{(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{((x-a)^2+y^2)((x-c)^2+y^2)} \right),$$

или

$$2\mu\varepsilon_y = -\frac{p}{\pi} \left((1-2\nu) \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) + \frac{(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{((x-a)^2+y^2)((x-c)^2+y^2)} \right). \quad (21)$$

$$\begin{aligned} s = & \frac{p(1-2\nu)}{2\pi\mu} \left(\operatorname{yarctg} \left(\frac{c-x}{y} \right) + \operatorname{yarctg} \left(\frac{x-a}{y} \right) + \frac{(c-x)}{2} \ln \left(\frac{(c-x)^2+y^2}{(c-x)^2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{(x-a)}{2} \ln \left(\frac{(x-a)^2+y^2}{(x-a)^2} \right) \right) - \\ & - \frac{p}{4\pi\mu} \left((x-c) \ln \left(\frac{(x-c)^2+y^2}{(x-c)^2} \right) - (x-a) \ln \left(\frac{(x-a)^2+y^2}{(x-a)^2} \right) \right), \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} 2\mu s = & \frac{p(1-2\nu)}{\pi} \left(\operatorname{yarctg} \left(\frac{c-x}{y} \right) + \operatorname{yarctg} \left(\frac{x-a}{y} \right) + \frac{(c-x)}{2} \ln \left(\frac{(c-x)^2+y^2}{(c-x)^2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{(x-a)}{2} \ln \left(\frac{(x-a)^2+y^2}{(x-a)^2} \right) \right) - \\ & - \frac{p}{2\pi} \left((x-c) \ln \left(\frac{(x-c)^2+y^2}{(x-c)^2} \right) - (x-a) \ln \left(\frac{(x-a)^2+y^2}{(x-a)^2} \right) \right). \quad (22) \end{aligned}$$

На рис. 8, 9 приведены изолинии значений $2\mu\varepsilon_y$ и $2\mu s$ для глинистого и песчаного грунта, построенные на основании формул (21) и (22).

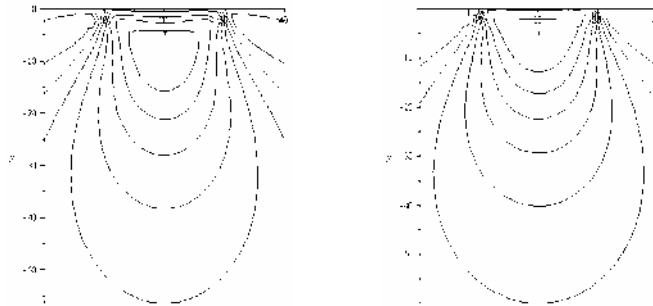


Рис. 8. Изолинии $2\mu\varepsilon_y$ при $\nu = 0,42$ (глинистый грунт), при $a=10, p=1, c=30$

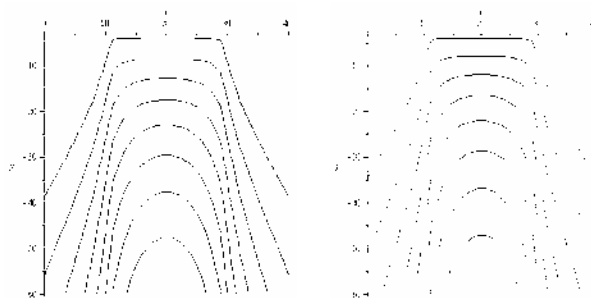


Рис. 9. Изолинии $2\mu s$ при $\nu = 0,3$ (песчаный грунт), при $a = 10$, $c = 30$, $p = 1$

Трапецевидная нагрузка. Пусть на отрезке $0 \leq t \leq b$ оси Ox задана трапецевидная полосовая нагрузка (рис. 10). Определим напряженное состояние в нижней полуплоскости.

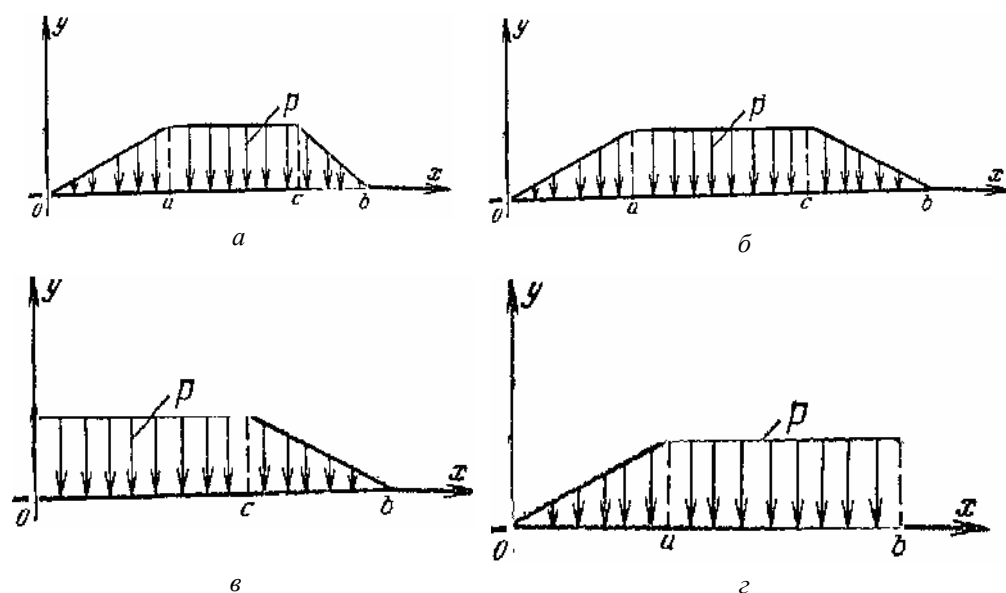


Рис. 10. Расчетная схема задачи

Рассмотрим расчетную схему, приведенную на рис. 10, а, — эпюра нагрузки неравнобокая трапеция.

Положим,

$$N(t) = \begin{cases} -\frac{p}{a}t & \text{при } 0 \leq t \leq a, \\ -p & \text{при } a \leq t \leq c, \\ -\frac{p}{b-c}(a-t) & \text{при } c \leq t \leq b, \\ 0 & \text{при остальных } t. \end{cases} \quad (23)$$

Используя принцип суперпозиции, компоненты напряжения для трапециевидной нагрузки, распределенной по закону $N(t)$, можно получить суммированием компонент напряжения для нагрузок, распределенных по законам $N_1(t)$, $N_2(t)$ и $N_3(t)$, определенных на соответствующих отрезках оси Ox .

На основании формул (7), (15) и (20) имеем

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) - \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2 + y^2)} - \\ &\quad - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) + \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)} + \frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \times \\ &\quad \times \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py}{\pi(b-c)} \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-c)^2 + y^2} \right) - \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2 + y^2)}, \\ \sigma_y &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2 + y^2)} - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) - \\ &\quad - \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)} + \frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) + \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2 + y^2)}, \\ \tau_{xy} &= \frac{py}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py^2}{\pi((x-a)^2 + y^2)} + \frac{2p(c-a)xy^2 - p(c^2 - a^2)y^2}{\pi((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)} - \\ &\quad - \frac{py}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py^2}{\pi((x-c)^2 + y^2)}. \end{aligned} \right. \quad (24)$$

Если в формуле (24) положить $b-c=a$, то получим выражения для компонент напряжения, когда эпюра нагрузки имеет форму равнобокой трапеции (см. рис. 10, б).

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) - \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2 + y^2)} - \\ &\quad - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) + \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)} + \frac{p(x-b)}{\pi a} \times \\ &\quad \times \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py}{\pi a} \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-c)^2 + y^2} \right) - \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2 + y^2)}, \\ \sigma_y &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2 + y^2)} - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) - \\ &\quad - \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)} + \frac{p(x-b)}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) + \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2 + y^2)}, \\ \tau_{xy} &= \frac{py}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py^2}{\pi((x-a)^2 + y^2)} + \frac{2p(c-a)xy^2 - p(c^2 - a^2)y^2}{\pi((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)} - \\ &\quad - \frac{py}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py^2}{\pi((x-c)^2 + y^2)}. \end{aligned} \right. \quad (25)$$

Переходя к пределу при $a \rightarrow 0$, а вместе с ним и $x \rightarrow 0$ на участке oa , а затем к пределу при $c \rightarrow b$, а вместе с ним и $x \rightarrow b$ на участке bc , из формул (25) получим выражения для компонент напряжения для расчетных схем, приведенных на рис. 10, в, г:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{pcy(x(x-c)-y^2)}{\pi(x^2+y^2)((x-c)^2+y^2)} + \frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \\ &\quad - \frac{py}{\pi(b-c)} \ln \left(\frac{((x-b)^2+y^2)}{(x-c)^2+y^2} \right) - \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2+y^2)}, \\ \sigma_y &= -\frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) - \frac{pcy(x(x-c)-y^2)}{\pi(x^2+y^2)((x-c)^2+y^2)} + \frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) + \\ &\quad + \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2+y^2)}, \\ \tau_{xy} &= \frac{2pcxy^2 - pc^2y^2}{\pi(x^2+y^2)((x-c)^2+y^2)} - \frac{py}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py^2}{\pi((x-c)^2+y^2)}. \end{aligned} \right. \quad (26)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2+y^2}{x^2+y^2} \right) - \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2+y^2)} - \\ &\quad - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) + \frac{p(b-a)y((x-a)(x-b)-y^2)}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-b)^2+y^2)}, \\ \sigma_y &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py(a-x)}{\pi((a-x)^2+y^2)} - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} + \right. \\ &\quad \left. + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) - \frac{p(b-a)y((x-a)(x-b)-y^2)}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-b)^2+y^2)}, \\ \tau_{xy} &= \frac{py}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py^2}{\pi((a-x)^2+y^2)} + \frac{2p(b-a)xy^2 - p(b^2-a^2)y^2}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-b)^2+y^2)}. \end{aligned} \right. \quad (27)$$

На рис. 11, 12, 13 приведены изолинии горизонтального, вертикального и касательного напряжений, построенные на основании формул (25)–(27).

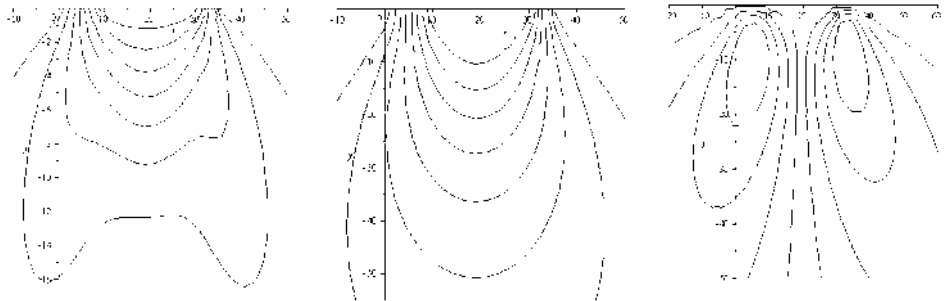


Рис. 11. Изолинии горизонтального σ_x напряжения для расчетных схем, приведенных на рис. 10, а

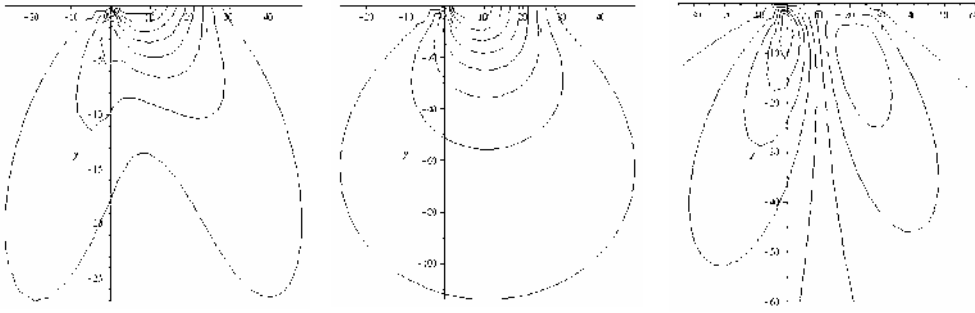


Рис. 12. Изолинии вертикального σ_z напряжения для расчетных схем, приведенных на рис. 10, в

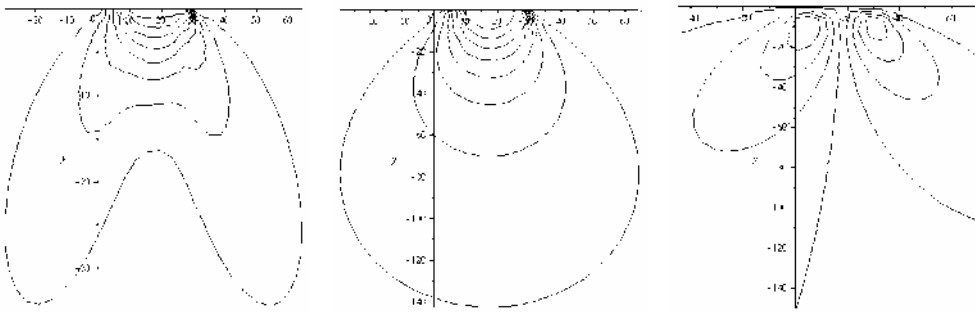


Рис. 13. Изолинии касательного τ_{zx} напряжения для расчетных схем, приведенных на рис. 10, г

Выражение для вертикальной деформации при нагрузке в виде неравнобокой трапеции имеет вид

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y = & \frac{(1-2\nu)}{2\mu} \left(\frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{px}{2\pi\mu a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) - \right. \\
 & - \frac{p}{2\pi\mu} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) \left. \right) + \frac{py(a-x)}{2\pi\mu((a-x)^2 + y^2)} + \\
 & + \frac{py(x-c)}{2\pi\mu((x-c)^2 + y^2)} - \\
 & - \frac{pvy}{2\pi\mu a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) + \frac{pvy}{2\pi\mu(b-c)} \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-c)^2 + y^2} \right) - \\
 & - \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c) - y^2)}{2\pi\mu((x-a)^2 + y^2)((x-c)^2 + y^2)}, \tag{28}
 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
2\mu\varepsilon_y = (1-2\nu) & \left(\frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) - \right. \\
& \left. - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) \right) + \frac{py(a-x)}{2\pi\mu((a-x)^2+y^2)} + \frac{py(x-c)}{\pi((x-c)^2+y^2)} - \\
& - \frac{pvy}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2+y^2}{x^2+y^2} \right) + \frac{pvy}{\pi(b-c)} \ln \left(\frac{(x-b)^2+y^2}{(x-c)^2+y^2} \right) - \\
& - \frac{p(c-a)y((x-a)(x-c)-y^2)}{\pi((x-a)^2+y^2)((x-c)^2+y^2)}.
\end{aligned} \tag{28'}$$

Соответствующая осадка определяется выражением

$$\begin{aligned}
2\mu s = \frac{p(1-2\nu)x}{\pi a} & \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{y} + \operatorname{arctg} \frac{x}{y} + \frac{a-x}{2} \ln \left(\frac{(a-x)^2+y^2}{(a-x)^2} \right) + \frac{x}{2} \ln \left(\frac{x^2+y^2}{x^2} \right) \right) - \\
& - \frac{pv}{2\pi a} \left(((a-x)^2+y^2) \ln((a-x)^2+y^2) - (a-x)^2 \ln(a-x)^2 - (x^2+y^2) \ln(x^2+y^2) + x^2 \ln x^2 \right) + \\
& + \frac{p(a-x)}{2\pi} \ln \left(\frac{(a-x)^2+y^2}{(a-x)^2} \right) + \frac{p(1-2\nu)}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{y} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{y} + \frac{c-x}{2} \ln \left(\frac{(c-x)^2+y^2}{(c-x)^2} \right) + \right. \\
& + \frac{x-a}{2} \ln \left(\frac{(x-a)^2+y^2}{(x-a)^2} \right) \left. \right) - \frac{p}{2\pi} \left((x-c) \ln \left(\frac{(x-c)^2+y^2}{(x-c)^2} \right) - (x-a) \ln \left(\frac{(x-a)^2+y^2}{(x-a)^2} \right) \right) - \\
& - \frac{p(1-2\nu)(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{y} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{y} + \frac{b-x}{2} \ln \left(\frac{(b-x)^2+y^2}{(b-x)^2} \right) + \right. \\
& + \frac{x-c}{2} \ln \left(\frac{(x-c)^2+y^2}{(x-c)^2} \right) \left. \right) + \frac{pv}{2\pi(b-c)} \left(((b-x)^2+y^2) \ln((b-x)^2+y^2) - (b-x)^2 \ln(b-x)^2 - \right. \\
& - ((x-c)^2+y^2) \ln((x-c)^2+y^2) + (x-c)^2 \ln(x-c)^2 \left. \right) + \frac{p(x-c)}{2\pi} \ln \left(\frac{(x-c)^2+y^2}{(x-c)^2} \right).
\end{aligned} \tag{29}$$

Выражения для вертикальной деформации и осадки для случая эпюры нагрузок в виде прямоугольной трапеции (см. рис. 10, в, г) соответственно имеют вид

$$\begin{aligned}
\varepsilon_y = \frac{(1-2\nu)}{2\mu} & \left(\frac{p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-c}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{c-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) \right) - \\
& - \frac{pcy(x(x-c)-y^2)}{2\pi\mu(x^2+y^2)((x-c)^2+y^2)} + \frac{py(x-c)}{2\pi\mu((x-c)^2+y^2)} + \frac{pvy}{2\pi\mu(b-c)} \ln \left(\frac{(x-b)^2+y^2}{(x-c)^2+y^2} \right),
\end{aligned} \tag{30}$$

$$\begin{aligned}
 s = & -\frac{(1-2\nu)p(x-b)}{2\pi\mu(b-c)} \left(\operatorname{yarctg} \frac{x-c}{y} + \operatorname{yarctg} \frac{b-x}{y} + \frac{(b-x)}{2} \ln \left(\frac{(b-x)^2 + y^2}{(b-x)^2} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{(x-c)}{2} \ln \left(\frac{(x-c)^2 + y^2}{(x-c)^2} \right) \right) + \frac{(1-2\nu)p}{2\pi\mu} \left(\operatorname{yarctg} \frac{c-x}{y} + \operatorname{yarctg} \frac{x}{y} + \frac{(c-x)}{2} \ln \left(\frac{(c-x)^2 + y^2}{(c-x)^2} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{x}{2} \ln \left(\frac{x^2 + y^2}{x^2} \right) \right) - \frac{p}{4\pi\mu} \left((x-c) \ln \left(\frac{(x-c)^2 + y^2}{(x-c)^2} \right) - x \ln \left(\frac{x^2 + y^2}{x^2} \right) \right) + \frac{p(x-c)}{4\pi\mu} \ln \left(\frac{(x-c)^2 + y^2}{(x-c)^2} \right) + \\
 & + \frac{pv}{2\pi\mu(b-c)} \left(((b-x)^2 + y^2) \ln((b-x)^2 + y^2) - (b-x)^2 \ln(b-x)^2 - ((x-c)^2 + y^2) \ln((x-c)^2 + y^2) + \right. \\
 & \left. + (x-c)^2 \ln(x-c)^2 \right),
 \end{aligned} \tag{31}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y = & -\frac{(1-2\nu)}{2\mu} \left(\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} \right) \right) - \\
 & - \frac{p(b-a)y((x-a)(x-b)-y^2)}{2\pi\mu((x-a)^2 + y^2)((x-b)^2 + y^2)} + \frac{py(a-x)}{2\pi\mu((a-x)^2 + y^2)} - \\
 & - \frac{pvy}{2\pi\mu a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right),
 \end{aligned} \tag{32}$$

$$\begin{aligned}
 s = & \frac{(1-2\nu)px}{2\pi\mu a} \left(\operatorname{yarctg} \frac{a-x}{y} + \operatorname{yarctg} \frac{x}{y} + \frac{a-x}{2} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{(a-x)^2} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{x}{2} \ln \left(\frac{x^2 + y^2}{x^2} \right) \right) + \frac{(1-2\nu)p}{2\pi\mu} \left(\operatorname{yarctg} \frac{b-x}{y} + \operatorname{yarctg} \frac{x-a}{y} + \right. \\
 & \left. + \frac{b-x}{2} \ln \left(\frac{(b-x)^2 + y^2}{(b-x)^2} \right) + \frac{x-a}{2} \ln \left(\frac{(x-a)^2 + y^2}{(x-a)^2} \right) \right) + \frac{p(a-x)}{4\pi\mu} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{(a-x)^2} \right) - \\
 & - \frac{p(b-a)}{4\pi\mu} \left((x-b) \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-b)^2} \right) - (x-a) \ln \left(\frac{(x-a)^2 + y^2}{(x-a)^2} \right) \right) - \\
 & - \frac{pv}{4\pi\mu a} \left(((a-x)^2 + y^2) \ln((a-x)^2 + y^2) - (a-x)^2 \ln(a-x)^2 - (x^2 + y^2) \ln(x^2 + y^2) + \right. \\
 & \left. + x^2 \ln x^2 \right).
 \end{aligned} \tag{33}$$

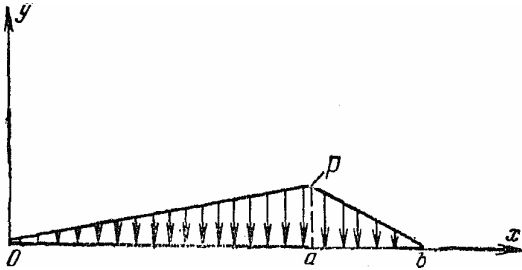


Рис. 14. Расчетная схема задачи

Для того, чтобы получить нагрузку, распределенную по закону треугольника произвольной формы (рис. 14), устремим $c \rightarrow a$. Переходя к пределу в формулах (23) при $c \rightarrow a$, получим выражения для компонент напряжения

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{py}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) + \frac{p(x-b)}{\pi(b-a)} \times \\ &\quad \times \left(\operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{py}{\pi(b-a)} \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2} \right), \\ \sigma_y &= -\frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) + \frac{p(x-b)}{\pi(b-a)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right), \\ \tau_{xy} &= \frac{py}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) - \frac{py}{\pi(b-a)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right). \end{aligned} \right. \quad (34)$$

На рис. 15 приведены изолинии горизонтального, вертикального и касательного напряжений, построенные на основании формул (34).

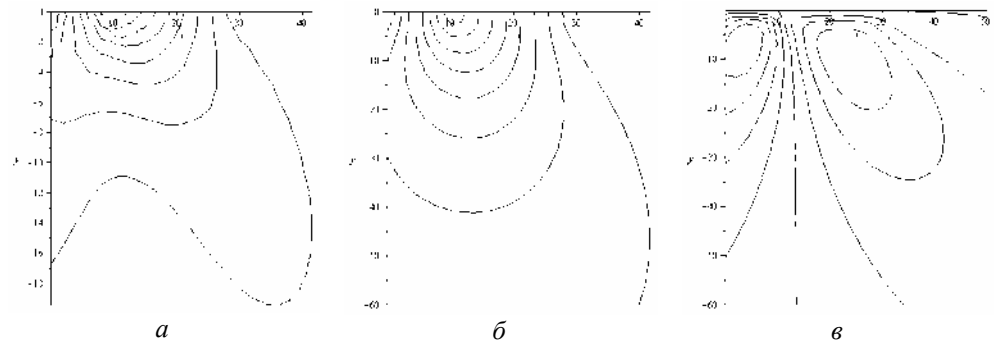


Рис. 15. Изолинии горизонтального σ_x (а), вертикального σ_y (б) и касательного τ_{xy} (в) напряжения при $a = 10$, $b = 30$, $p = 1$

Выражение для вертикальной компоненты деформации имеет вид

$$\varepsilon_y = \frac{(1-2\nu)}{2\mu} \left(\frac{p(x-b)}{\pi(b-a)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) \right) - \\ - \frac{pvy}{2\pi\mu a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) + \frac{pvy}{2\pi\mu(b-a)} \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2} \right), \quad (35)$$

или

$$2\mu\varepsilon_y = (1-2\nu) \left(\frac{p(x-b)}{\pi(b-a)} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-a}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{b-x}{|y|} \right) - \frac{px}{\pi a} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{|y|} + \operatorname{arctg} \frac{x}{|y|} \right) \right) - \\ - \frac{pvy}{\pi a} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \right) + \frac{pvy}{\pi(b-a)} \ln \left(\frac{(x-b)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2} \right). \quad (36)$$

Для вычисления величины осадки получено выражение

$$\begin{aligned}
 2\mu s = & \frac{p(1-2\nu)p(x-b)}{\pi(b-c)} \left(\operatorname{yarctg} \frac{x-a}{y} + \operatorname{yarctg} \frac{b-x}{y} + \frac{b-x}{2} \ln \left(\frac{(b-x)^2 + y^2}{(b-x)^2} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{x-a}{2} \ln \left(\frac{(x-a)^2 + y^2}{(x-a)^2} \right) \right) - \frac{(1-2\nu)px}{\pi a} \left(\operatorname{yarctg} \frac{a-x}{y} + \operatorname{yarctg} \frac{x}{y} + \frac{a-x}{2} \ln \left(\frac{(a-x)^2 + y^2}{(a-x)^2} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{x}{2} \ln \left(\frac{x^2 + y^2}{x^2} \right) \right) - \frac{pv}{2\pi a} \left(((a-x)^2 + y^2) \ln((a-x)^2 + y^2) - (a-x)^2 \ln(a-x)^2 - \right. \\
 & - (x^2 + y^2) \ln(x^2 + y^2) + x^2 \ln x^2 \Big) + \frac{pv}{2\pi a} \left(((b-x)^2 + y^2) \ln((b-x)^2 + y^2) - (b-x)^2 \ln(b-x)^2 - \right. \\
 & \left. - ((x-a)^2 + y^2) \ln((x-a)^2 + y^2) + (x-a)^2 \ln(x-a)^2 \right)
 \end{aligned} \quad (37)$$

На рис. 16 приведены изолинии компоненты $2\mu\epsilon_y$ и $2\mu s$ для глинистого и песчаного грунта, построенные на основании формулы (37).

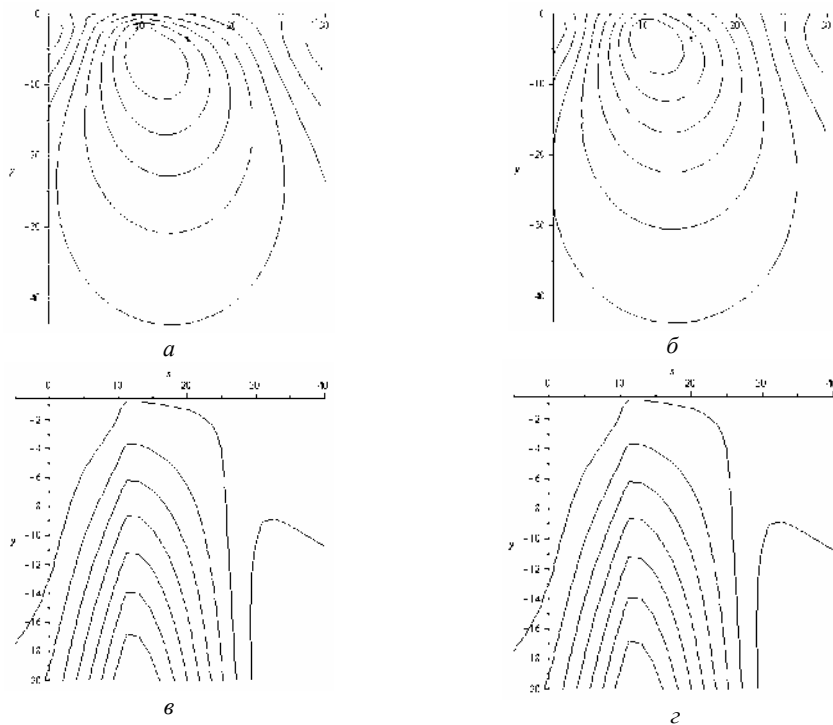


Рис. 16. Изолинии $2\mu\epsilon_y$ при $\nu = 0,42$ (глинистый грунт) (а; б) и $2\mu s$ при $\nu = 0,3$ (песчаный грунт) (в; г) при $a = 10$, $c = 30$, $p = 1$

Заметим, что при $b = 2a$ получим нагрузку, эпюра которой представляет собой равнобедренный треугольник. Выражения для компонент напряжения от действия этой нагрузки легко получаются из формулы (34) при подстановке в нее значения $b = 2a$.

Выводы. 1. В замкнутом виде получены выражения для вычисления компонент напряжения и деформации в точках полуплоскости при действии нагрузок, интенсивность которых изменяется по законам, описываемым кусочно-линейными функциями. 2. Если в приведенном выше решении для равномерно распределенной нагрузки использовать преобразование $t \rightarrow \frac{2a}{c-a} \left(t - \frac{a+c}{2} \right)$, то оно переходит в решения задачи о равномерном давлении, впервые полученное Д. Мичеллом [1], а затем Г. В. Колосовым [2, 3] и Н. И. Мусхелишвили [4] для симметричного относительно начала координат штампа, что говорит о достоверности полученных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mitchell J. H.* The inversion of plane stress. Ibid., V. 34, 1902.
2. *Колосов Г. В.* Об одном приложении теории функций комплексного переменного к плоской задаче математической теории упругости. Юрьев, 1909.
3. *Kolosoff G.* Über einige Eigenschaften des ebenen Problems der Elastizitätstheorie // Ztschr. f. Math. u. Phys., Bd. 62, 1914.
4. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966.
1. *Mitchell J. N.* The inversion of plane stress. Ibid., V. 34, 1902.
2. *Kolosov G. V.* Ob odnom prilozhenii teorii funkciy kompleksnogo peremennogo k ploskoy zadache matematicheskoy teorii uprugosti. Urjev, 1909.
3. *Kolosoff G.* Über einige Eigenschaften des ebenen Problems der Elastizitätstheorie // Ztschr. f. Math. u. Phys., Bd. 62, 1914.
4. *Mushelishvili N. I.* Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. M. : Nauka, 1966.

©. Ушаков А. Н., Богомолов А. Н., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Ушаков А. Н., Богомолов А. Н. Напряженно-деформированное состояние упругого основания при нагрузке, меняющейся по линейно-кусочному закону // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 17—34.

УДК 69.021.15

С. И. Евтушенко, А. Н. Богомолов, Т. А. Крахмальний

ЗАВИСИМОСТЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ ОТ ФОРМЫ ПОДОШВЫ ФУНДАМЕНТА

Предложены варианты оптимизации подошвы сборных ленточных фундаментов, приведены результаты экспериментальных исследований на моделях фундаментов с ломаным очертанием опорной части, которые более полно используют несущую способность основания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: модели ленточных фундаментов, увеличение несущей способности, ломаное очертание опорной части.

Variants of optimization of a sole of modular girder foundations are offered, results of experimental researches are resulted on models of the bases with a broken outline of a basic part which more full are used bearing ability of the basis.

К е y w o r d s: models of tape bases, increase in bearing ability, broken outline of basic part.

Совершенствование конструкций и методов возведения подземной части здания имеет большое значение для строительства. Весьма актуальной является задача разработки новых конструкций сборных ленточных фундаментов с ломаным очертанием краевой зоны, которые более полно используют несущую способность основания. Целью разработки новых типов фундаментов является снижение их стоимости и увеличение несущей способности на основе экспериментального изучения их работы на моделях.

Экспериментальные исследования несущей способности моделей ленточных фундаментов проводились на кафедре ПГС ГиФ ЮРГТУ (НПИ) в лотке машины МФ-1, который заполнен среднезернистым песком. Размеры лотка 3,0×3,0 м, а глубина заполнения песком 1,8 м. При этом стенки лотка не влияют на результаты экспериментов. Три независимых гидравлических домкрата установлены на раме над лотком и позволяют создавать усилие на штампы до 1500 кН [1, 2].

Авторами разработаны (и закреплены патентами на полезные модели) четыре модели сборных ленточных фундаментов, более полно использующих несущую способность песчаного основания (рис. 1) [3...6]. В проводимых исследованиях сравнивалась несущая способность песчаного основания и осадка моделей при изменении конфигурации их подошвы. В каждой серии экспериментов проводилось от трех до пяти опытов для получения повторности результатов.

Первоначально в качестве моделей фундамента были выбраны три жестких квадратных металлических штампа размерами 354×354 мм. Площадь основания каждого штампа равна 0,125 м². Осадка модели измерялась прогибомером 6-ПАО с ценой деления 0,01 мм. Опыты продолжались до момента исчерпания несущей способности основания.

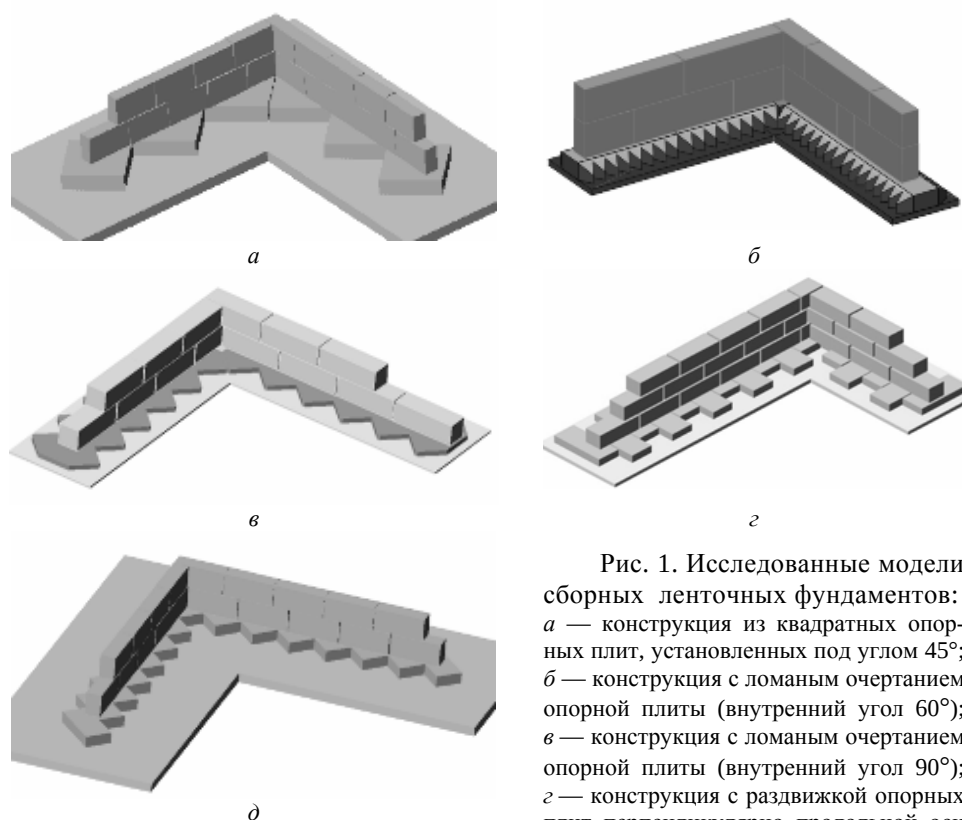


Рис. 1. Исследованные модели сборных ленточных фундаментов: *а* — конструкция из квадратных опорных плит, установленных под углом 45° ; *б* — конструкция с ломаным очертанием опорной плиты (внутренний угол 60°); *в* — конструкция с ломаным очертанием опорной плиты (внутренний угол 90°); *г* — конструкция с раздвижкой опорных плит перпендикулярно продольной оси фундамента; *д* — конструкция с поворотом опорных плит

В первой серии опытов штампы располагались линейно. Во второй серии было рассмотрено влияние на несущую способность и осадку песчаного основания поворота штампов на угол 45° (см. рис. 1, *а*). Схемы постановки штампов, а также совмещенные графики зависимости осадки среднего штампа от нагрузки для каждой серии опытов приведены на рис. 2.

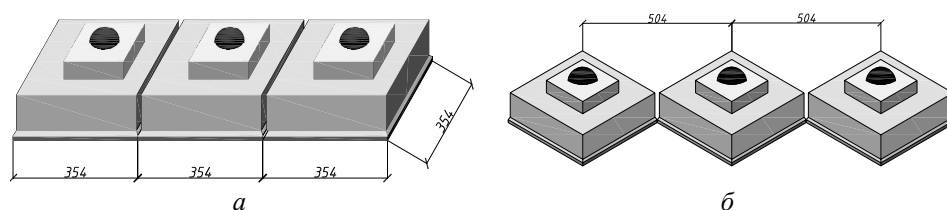


Рис. 2. Схемы постановки штампов в первых двух сериях опытов: *а* — линейная постановка штампов; *б* — постановка штампов с поворотом на 45°

Результаты выполненных опытов сведены в табл. Несущая способность основания при повороте штампов в среднем увеличивается на 15 % по сравнению с линейной установкой элементов. Как показано на графике (рис. 3), при увеличении краевой зоны фундамента осадка модели при одних и тех же нагрузках снижается на 26 %.

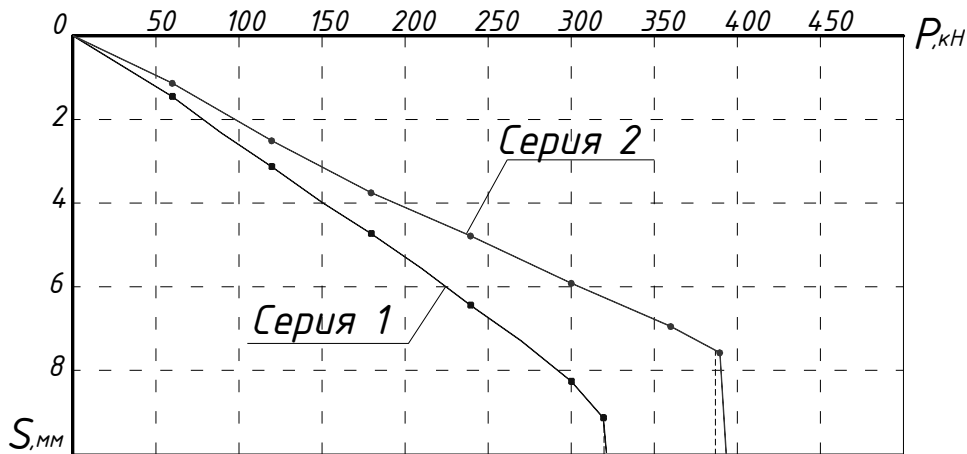


Рис. 3. Зависимости осадки — нагрузка в первой и второй сериях эксперимента

Сравнительный анализ результатов экспериментов

№ оп.	Схема модели	Площадь $A, \text{м}^2$	Периметр $\Pi, \text{м}$	$\xi = \frac{\Pi}{A}$	$p_u, \text{кН}$	$s_u, \text{мм}$	$\sigma_u, \text{кПа}$
1.1		0,376	2,832	7,53	342,8	9,31	912
1.2					357,0	7,95	950
2.1		0,376	4,248	11,3	391,0	7,63	1040
2.2					394,0	8,54	1042
3.1		0,492	2,040	4,15	541,2	9,10	1100
3.2					558,4	8,41	1135
4.1		0,492	1,680	3,41	510	9,96	1037
4.2					471	9,98	957
5.1		0,605	4,88	8,07	460	10,98	761
5.2					455	10,46	752
6.1		0,605	7,6	12,57	575	17,36	951
6.2					583	17,90	964
7.1		0,8064	4,32	5,36	765	12,9	950
7.2					723	13,2	896
8.1		0,8064	7,2	8,93	885	13,1	1097
8.2					858	12,3	1063

Увеличение несущей способности основания ленточного фундамента с краевой зоной ломаного очертания объясняется тем, что за счет распределительной способности в работу включается грунт за пределами штампов между выступающими углами.

Следующие эксперименты были проведены на ленточных фундаментах с ломаным очертанием опорной плиты (см. рис. 1, б и в). Ломаное очертание моделировалось из многослойной фанеры толщиной 20 мм. Длина одной плиты 480 мм соответствует масштабу 1:5 по отношению к типовому размеру фундаментной плиты 2,4×1,2 м серии 1.122-5. Пять таких плит, уложенные друг за другом, моделируют фрагмент ленточного фундамента длиной 12 м, края которого имеют ломаное очертание краевой зоны.

В третьей серии опытов исследовалась несущая способность основания при ломаном очертании с внутренним углом вырезов 60° , а в четвертой — с внутренним углом вырезов 90° . Общая площадь подошвы фундамента равна $0,492 \text{ м}^2$. Схемы фундаментных плит приведены на рис. 4. Нагрузка на элементы фундамента, как и во всех последующих опытах, передавалась через металлическую нагрузочную балку, которая в масштабе 1:5 соответствовала бетонным фундаментным стеновым блокам.

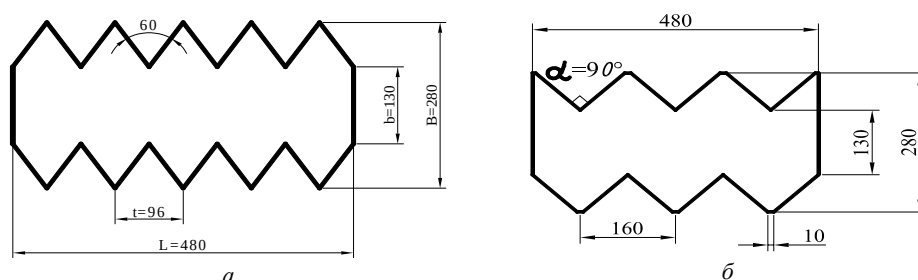


Рис. 4. Схемы опорных плит с ломаным очертанием краевой зоны: *а* — модель третьей серии опытов; *б* — модель четвертой серии опытов

Среднее значение несущей способности основания в третьей серии экспериментов составляет 545 кН ($54,5 \text{ т}$), а значение давления по подошве фундамента — 1107 кПа . Среднее значение несущей способности основания модели в четвертой серии равно 438 кН , что соответствует давлению по подошве 890 кПа . Результаты проведенных экспериментов с ломаным очертанием опорной плиты сведены в табл. Из результатов опытов очевидно, что большая несущая способность оказалась у модели с внутренним углом 60° . В процентном соотношении преимущество в несущей способности составляет $12,5 \%$. Сравнивая графики зависимости осадки модели от нагрузки, приведенные на рис. 5, заметно, что при одинаковых нагрузках осадка третьей модели меньше, чем осадка четвертой, на 18% (аналогичный расчет получен ранее, см. рис. 4).

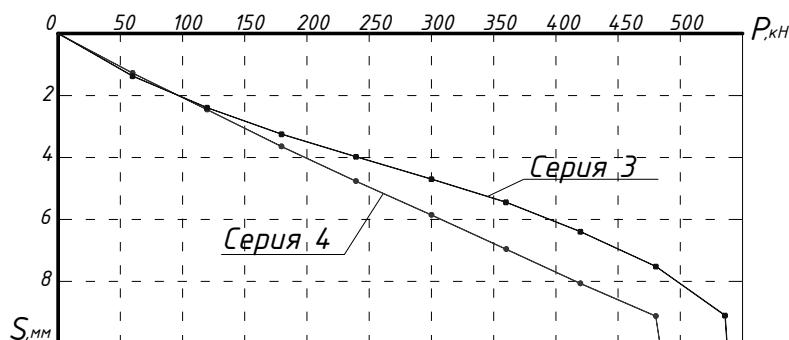


Рис. 5. Зависимости осадка — нагрузка, полученные в третьей и четвертой сериях экспериментов

Следующим этапом исследований было изучение несущей способности конструкции ленточного фундамента с геометрически изменяемой формой подошвы (см. рис. 1, *з*). Моделью сборных железобетонных прямоугольных элементов служили уменьшенные (относительно размеров натурного фундамента

по ГОСТ 13580—68*) в 10 раз геометрически подобные деревянные элементы, уложенные в ряд и образующие подошву фундамента с размерами 2,16×0,28 м. Размеры элемента в плане $l=280$ мм, $b=120$ мм. В пятой серии экспериментов элементы располагались стандартно без раздвижки ($C_0=0$), в шестой серии экспериментов была выполнена раздвижка элементов относительно продольной оси фундамента на величину $C=0,15$, $l=40$ мм (рис. 6).

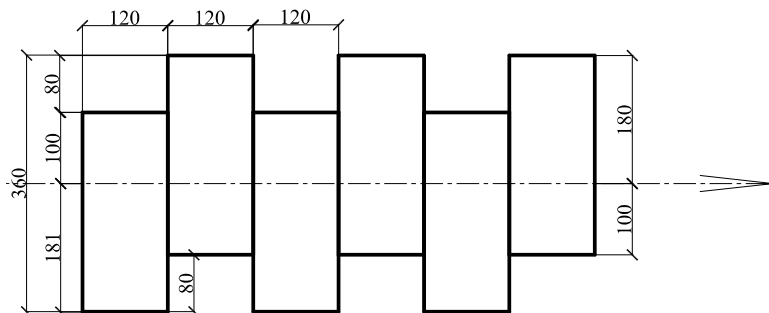


Рис. 6. Схема постановки опорных плит шестой серии

Несущая способность песчаного основания в пятой серии экспериментов составила 458 кН (45,8 т), а значение среднего давления по подошве основания — 758 кПа. При испытании конструкции фундамента в шестой серии опытов несущая способность основания модели составила 580 кН (58 т), а значение давления по подошве — 960 кПа. Результаты опытов приведены в табл. Преимущество новой модели с раздвижкой элементов в поперечном направлении составляет 26,5 % по сравнению с традиционной постановкой элементов. По графикам зависимости осадки моделей от нагрузки, приведенным на рис. 7, заметно, что осадка шестой модели даже на начальных стадиях загрузки на 20...25 % больше, чем в пятой серии опытов, однако на заключительных стадиях загрузки значительно меньше. Увеличение предельной несущей способности объясняется распределительной способностью основания, за счет чего вовлекается в работу грунт, находящийся в промежутках между выдвинутыми элементами.

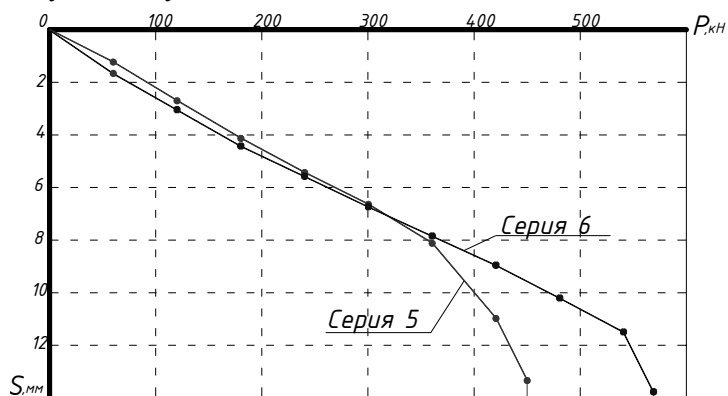


Рис. 7. Зависимости осадка — нагрузка в пятой и шестой сериях эксперимента

Для проведения дальнейших исследований были изготовлены крупномасштабные железобетонные модели (в масштабе 1:5), моделирующие стандартные фундаментные блоки-подушки по серии 1.112-1 размерами 2400×1200×500 мм (рис. 8).

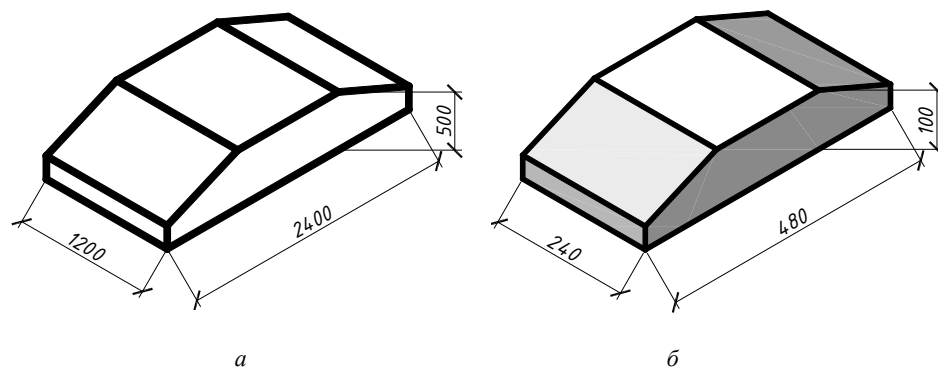


Рис. 8. Железобетонные модели фундаментов: *а* — по серии 1.112-1; *б* — железобетонная модель

В седьмой серии экспериментов исследовалась несущая способность основания с прямолинейной постановкой блоков-подушек, а в восьмой серии — с поворотом опорных блоков на 45° (см. рис. 1, *д*). Графики зависимости осадки от нагрузки, построенные по показаниям прогибомера 6-ПАО, приведены на рис. 9.

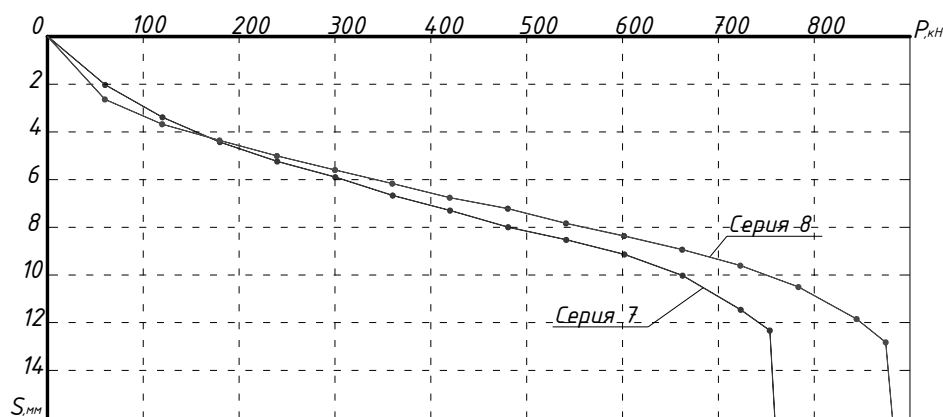


Рис. 9. Зависимости осадка — нагрузка в седьмой и восьмой сериях экспериментов

В седьмой серии экспериментов среднее значение несущей способности основания равно 745 кН, а среднее значение давления по подошве основания равно 925 кПа. Среднее значение несущей способности основания для модели восьмой серии составило 845 кН, что соответствует давлению по подошве основания 1050 кПа. При повороте опорных блоков несущая способность основания фундамента увеличивается на 12 %, а осадка фундамента уменьшается на 17 %.

Сравнительный анализ приведенных в табл. данных показывает следующее: для опытов с третьей и четвертой моделями (где $\xi < 5$) увеличение периметра на 22 % приводит к увеличению несущей способности на 18 % (почти равному); в опытах с пятой и шестой моделями (при $8 < \xi < 12$) увеличение периметра на 56 % приводит к увеличению несущей способности на 26 % (на половину), в опытах первой и второй серий экспериментов (при $\xi > 10$) увеличение периметра на 50 % приводит к увеличению несущей способности на 15 % (что составляет примерно треть). *Вывод:* чем больше значение ξ , тем меньше преимущество от изменения периметра модели фундамента. На основании анализа был построен примерный график зависимости увеличения несущей способности основания от увеличения периметра фундамента (рис. 10).

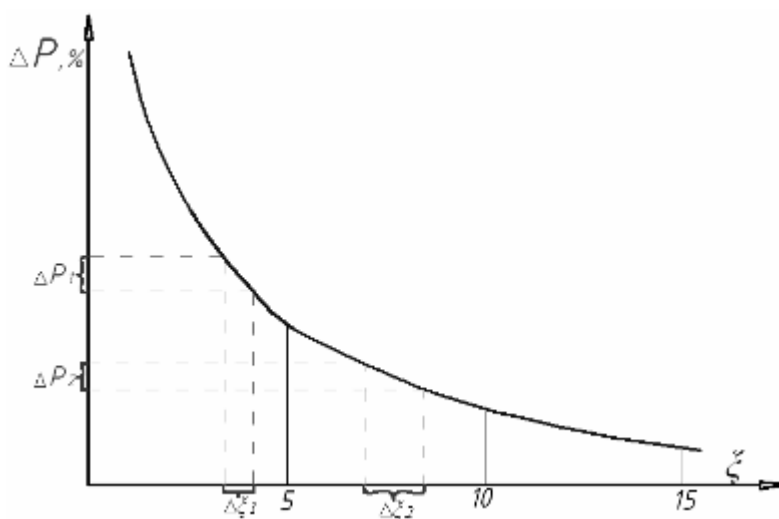


Рис. 10. Зависимость увеличения несущей способности основания от увеличения периметра фундамента

Проведенные опыты показали явное преимущество фундамента с ломаным очертанием краевой зоны по сравнению с прямоугольным в плане ленточным фундаментом. Поворот опорных блоков или раздвижка в поперечном направлении дают увеличение несущей способности ленточного фундамента от 15 до 25 % при сохранении той же площади и затрат материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Евтушенко С. И., Крахмальный Т. А.* Разработка новых конструкций протяженных фундаментов, эффективно использующих несущую способность основания // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2008. Вып. 10. С. 122—127.
2. *Крахмальный Т. А.* Влияние увеличения периметра ленточного фундамента на несущую способность основания // Вестник гражд. инженеров. 2009. № 2. С. 109—112.
3. Пат. 50552 Российская Федерация, МПК⁷ Е 02 D 27/01. Ленточный фундамент / Ю. Н. Мурзенко, С. И. Евтушенко, Е. Ю. Анищенко, Т. А. Крахмальный, Д. Н. Архипов ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ЮРГТУ (НПИ). № 2005119951 ; заявл. 27.06.2005 ; опубл. 20.01.2006, Бюл. № 02. 3 с.
4. Пат. 55386 Российская Федерация, МПК⁷ Е 02 D 27/01. Ленточный фундамент / Т. А. Крахмальный, Ю. Н. Мурзенко, С. И. Евтушенко, А. Ю. Мурзенко ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ЮРГТУ (НПИ). № 2005138664/22 ; заявл. 12.12.2005 ; опубл. 10.08.2006, Бюл. № 22. 3 с.

5. Ленточный фундамент : пат. 32139 Росс. Федерация : МПК⁷ Е 02 Д 27/01 / Ю. Н. Мурзенко, С. И. Евтушенко, Г. М. Скибин, Е. Ю. Анищенко, Д. Н. Архипов. № 2003107220/20 ; заявл. 20.03.2003 ; опубл. 10.09.2003, Бюл. № 25.

6. Ленточный фундамент : пат. 40333 Росс. Федерация : МПК⁷ Е 02 Д 27/01 / Ю. Н. Мурзенко, С. И. Евтушенко, Г. М. Скибин, А. С. Евтушенко, Е. Ю. Анищенко, Д. Н. Архипов, В. А. Бутырский. № 2003132337/20 ; заявл. 06.11.2003 ; опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25.

1. *Evtushenko S. I., Krahmaljny T. A. Razrabotka novyh konstrukcij protjazshennyh fundamentov, effektivno ispol'zujuschih nesuschuju sposobnostj osnovanija // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit. 2008. Vyp. 10. S. 122—127.*

2. *Krahmaljny T. A. Vlijanie uvelichenija perimetra lentochного fundamenta na nesuschuju sposobnostj osnovanija // Vestnik grazhd. inzhenerov. 2009. № 2. S. 109—112.*

3. Pat. 50552 Rossijskaja Federacija, MPK⁷ Е 02 Д 27/01. Lentochny fundament / Ju. N. Murzenko, S. I. Evtushenko, E. Ju. Anischenko, T. A. Krahmaljny, D. N. Arhipov ; zavitelj i patentoobladatelj GOU VPO JURGTU (NPI). № 2005119951 ; zjavl. 27.06.2005 ; opubl. 20.01.2006, Bjul. № 02. 3 s.

4. Pat. 55386 Rossijskaja Federacija : MPK Е⁷ 02 Д 27/01. Lentochny fundament / T. A. Krahmaljny, Ju. N. Murzenko, S. I. Evtushenko, A. Ju. Murzenko ; zavitelj i patentoobladatelj GOU VPO JURGTU (NPI). № 2005138664/22 ; zjavl. 12.12.2005 ; opubl. 10.08.2006, Bjul. № 22. 3 s.

5. Lentochny fundament : pat. 32139 Ross. Federacija : MPK⁷ Е 02 Д 27/01 / Ju. N. Murzenko, S. I. Evtushenko, G. M. Skibin, E. Ju. Anischenko, D. N. Arhipov. № 2003107220/20 ; zjavl. 20.03.2003 ; opubl. 10.09.2003, Bjul. № 25.

6. Lentochny fundament : pat. 40333 Ross. Federacija : MPK⁷ Е 02 Д 27/01 / Ju. N. Murzenko, S. I. Evtushenko, G. M. Skibin, A. S. Evtushenko, E. Ju. Anischenko, D. N. Arhipov, V. A. Butyrsky. № 2003132337/20 ; zjavl. 06.11.2003 ; opubl. 10.09.2004, Bjul. № 25.

© *Евтушенко С. И., Богомолов А. Н., Крахмальный Т. А., 2011*

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Евтушенко С. И., Богомолов А. Н., Крахмальный Т. А. Зависимость несущей способности песчаного основания от формы подошвы фундамента // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 35—42.

УДК 624.153.524

С. И. Евтушенко**ХАРАКТЕР ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРНОГО ФУНДАМЕНТА**

Предложена эффективная конструкция сборных плитных фундаментов под сетку колонн каркасных зданий из структурных элементов. Экспериментально обоснована работоспособность конструкции и выполнен анализ образования трещин в железобетонной модели при исследовании совместной работы моделей фундаментов и песчаного основания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: плитный фундамент под сетку колонн, трещинообразование, железобетонная модель.

The effective structure of assembling slab foundations for columns grid of frame building consisting of structural elements is presented. The capacity of structure experiments are demonstrated, analysis of cracks formation in reinforced concrete models during the researching of the joint work of foundation and sand basement models is performed.

К e y w o r d s: slab foundation for columns grid, cracks formation, reinforced concrete model.

Возведение жилищно-гражданских зданий высотой более 25 этажей в сложных инженерно-геологических условиях выполняется на монолитных фундаментных плитах. Индустриальные методы строительства полносборных зданий привели к необходимости замены монолитных фундаментов на сборные под квадратную сетку колонн [1]. Эффективная конструкция сборных фундаментов под сетку колонн каркасных зданий из структурных элементов предложена и экспериментально исследована на гипсовых и железобетонных моделях фундаментов на песчаном основании [2].

Анализ выполненных экспериментальных исследований работы железобетонной модели составного плитного фундамента показал качественное сходство в работе гипсовых и железобетонных моделей. На рис. 1 показана схема наиболее характерных трещин в элементах железобетонной модели в 7-м опыте, при этом трещины в ребрах жесткости показаны точечными утолщениями.

Первые трещины появились в элементах КЭ-2 краевой зоны, расположенных во II четверти плиты. При дальнейшем нагружении трещины в элементах, расположенных в этой четверти, получили большее развитие, чем трещины в элементах других четвертей. Появление первых трещин А происходит при нагрузке примерно $0,2 P_{пр}$ посередине пролета между колоннами в растянутой зоне ребра жесткости, параллельного оси фундамента. После появления трещин А при нагрузке $0,25 P_{пр}$ отмечено нарушение контакта между блоками в диагональных ребрах жесткости. Развитие поперечных пролету между колоннами трещин А прекращается при нагрузке $0,4...0,45 P_{пр}$, при этом они имеют длину 5...6 см. При нагрузке $0,6...0,65 P_{пр}$ в элементах краевой зоны начали появляться трещины Б по дну элементов КЭ-2. После увеличения нагрузки до $0,7...0,75 P_{пр}$ появились трещины в консольных участках элементов КЭ-2 вдоль диагональных ребер жесткости. При нагрузках больше $0,9 P_{пр}$ в ребрах жесткости, параллельных осям колонн, появились и начали интенсивно развиваться трещины С, проходящие от граней нагрузочных

площадок ко дну элементов под углом $45...50^\circ$. Однако продавливание колоннами модели фундамента не произошло. Предельная нагрузка на модель составила 842 кН и соответствует исчерпанию несущей способности фундамента. Выпор грунта из-под модели не отмечен. В угловых элементах УЭ-1 трещин не зафиксировано.

Остановимся более подробно на схемах трещинообразования отдельных элементов модели. На рис. 1 представлена окончательная схема трещин и нумерация элементов.

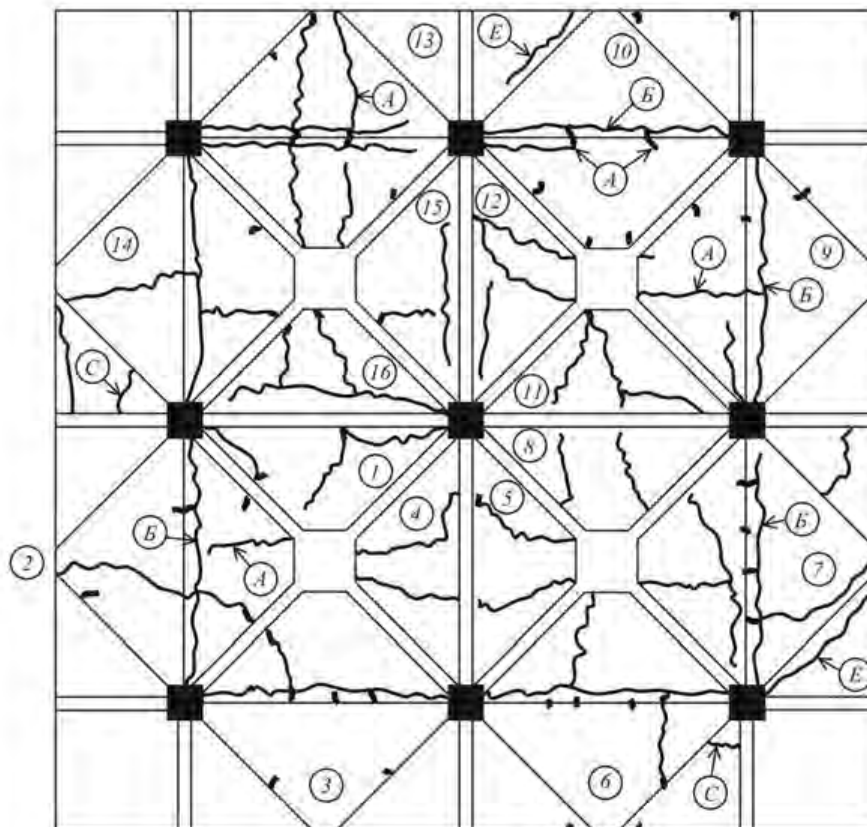


Рис. 1. Схема излома железобетонной модели

После достижения нагрузки 180 кН, во время стабилизации, в 13-м элементе (КЭ-2) появилась трещина А в растянутой зоне ребер жесткости, параллельных осям колонн. При нагрузке 225 кН нарушился контакт между 13-м и 14-м элементами, трещины А в малых ребрах жесткости вышли на дно элемента и до нагрузки 360 кН продолжали развиваться в направлении, перпендикулярном пролету. При нагрузке 360 кН от угла консольного выступа начала развиваться вторая трещина, параллельная трещине А. При нагрузке 450 кН полностью сформировалась вторая трещина и началось образование трещин Б с обеих сторон ребра жесткости. Трещины появились посередине пролета между трещинами А и затем развивались в направлениях к колоннам. Трещины С, свидетельствующие о продавливании, в этом элементе не обнаружены. При

дальнейшем увеличении нагрузки происходило раскрытие трещины Б, а первая трещина А на всю ширину элемента не сомкнулась. После разборки модели по дну консольной части элемента вдоль диагональных ребер жесткости отмечены волосяные трещины Е.

Рассмотрим схему трещинообразования другого элемента 6-й краевой зоны (КЭ-2). В этом элементе первой при нагрузке 180 кН появилась трещина в диагональном ребре жесткости. При дальнейшем нагружении до 280 кН эта трещина развилась до дна и незначительно распространилась в поперечном направлении. При нагрузке 250 кН в ребре жесткости, параллельном оси колонн, посередине пролета появилась одна, а при дальнейшем нагружении еще две трещины А, разделившие это ребро на 4 почти равные части. При нагрузке 450 кН образовалась трещина Б, параллельная осевому ребру жесткости, которая проявилась на верхней грани элемента вдоль всего ребра жесткости при нагрузке 580 кН. При нагрузке 610 кН вначале в левой ближней к углу модели, а затем при нагрузке 640 кН в правой части консоли краевого элемента появились трещины Е вдоль диагональных ребер жесткости. После разбора модели в правой части консоли образовался вывал части дна элемента. При нагрузке 680 кН от угла нагрузочной площадки под углом 45° в осевом ребре жесткости начала развиваться трещина С в направлении дна. Элемент 2 имеет сходные трещины. Поперечные трещины Д в элементах, перпендикулярных пролету между колоннами, существенного развития не получили.

В средних элементах модели (СЭ-1) развитие трещин происходило подобным образом только при более высоких нагрузках. Так, в элементах 3 и 16 первые трещины А появились при нагрузке 215 кН, а при нагрузке 225 и 270 кН соответственно в ребрах жесткости, параллельных осям колонн, появились вторые трещины А. При этом эти трещины разделили ребра жесткости 3-го и 16-го элементов на три равные части. Разрушение контакта между средними элементами одного пролета (между элементами 3 и 16, 4 и 7, 8 и 11, 12 и 15) происходило при нагрузках 290...340 кН, но не носило прогрессирующего характера. Трещины Б, параллельные пролету, проявились в пяти из восьми средних элементах. В ребрах жесткости трещины С в углах элементов появлялись вначале у крайних колонн при нагрузках 650...700 кН, а затем у средней колонны. Схемы трещинообразования средних элементов менее развиты, что свидетельствует о более благоприятных условиях работы по сравнению с элементами краевой зоны. Это также подтверждает необходимость более тщательного изучения краевой зоны сборной фундаментной плиты.

Анализ схемы трещинообразования позволяет заключить, что наибольшее развитие получили трещины IV четверти плиты, в которой появились первые трещины. Общей закономерностью является то, что первыми появлялись трещины А в растянутой зоне ребер жесткости, параллельных осям здания. При этом в четырех элементах образовалась одна трещина А практически посередине пролета между колоннами, а в четырех элементах кроме этой трещины появлялись еще две трещины, которые делили ребра жесткости на четыре почти равные части. В восьми элементах в ребрах жесткости, параллельных осям колонн, появлялись две трещины, делившие ребра на 3 части. Почти одновременно появлялись трещины на меньшей стороне элементов в месте соединения диагонального и меньшего ребер жесткости, а у шести из

этих элементов появлялись впоследствии трещины и на диагональных ребрах жесткости, приблизительно на расстоянии $2/5$ длины ребра от колонны. Только у пяти элементов модели на меньшей стороне элемента трещины не появлялись, а трещины на диагональных ребрах жесткости были удалены от колонны на расстояние больше $2/3$ их длины. Трещины во всех ребрах жесткости развивались в наиболее растянутой зоне, а затем, как правило, переходили на дно элементов. Трещины Б не развивались только у трех средних элементов (СЭ-1) плиты. В консольной части краевых элементов трещины вдоль диагональных ребер жесткости не проявились по нижней грани только у одного элемента, на верхнюю грань эти трещины не выходили. У трех элементов зафиксированы отколы разной величины в консольной части плиты.

Симметрия конструкции позволяла в каждом из опытов изучать работу четырех симметричных квадрантов модели и основания. Это позволило получить схемы излома и изучить работу средних и краевых элементов с 8-кратной повторностью, а угловых — с 4-кратной.

В качестве мер повышения надежности и улучшения условий работы перекрестно-ленточного фундамента предлагается:

учет влияния обратной засыпки грунта, что приведет к более благоприятной работе краевой зоны и некоторому увеличению нагрузки на угловые и краевые колонны;

устройство рабочего стыка между блоками, что увеличит жесткость перекрестно-ленточного фундамента из сборных элементов и улучшит работу фундамента на изгиб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 1245659 СССР, МКИ E02D 27/42. Фундамент / Ю. Н. Мурзенко, С. И. Евтушенко. № 3810546/29-33 ; заявл. 06.11.84 ; опубл. 23.07.86, Бюл. № 27.

2. Мурзенко Ю. Н., Евтушенко С. И. Экспериментальные исследования работы краевой зоны сборных фундаментов под отдельную колонну и сетку колонн на песчаном основании // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. 2008. 248 с.

1. A.s. 1245659 SSSR, MKI E02D 27/42. Fundament / Yu. N. Murzenko, S. I. Evtushenko. № 3810546/29-33 ; zayavl. 06.11.84 ; opubl. 23.07.86, Bul. № 27.

2. Murzenko Yu. N., Evtushenko S. I. Experimentalnye issledovanya raboty kraevoy zony sbornyh fundamentov pod otdelnyu kolonny i setku kolonn na peschanom osnovanii // Izvestiya vyzov. Severo-Kavkazskiy region. 2008. 248 s.

© Евтушенко С. И., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Евтушенко С. И. Характер трещинообразования железобетонных моделей структурного фундамента // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 43—46.

УДК 624.153.524

С. И. Евтушенко

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ОСАДКИ СПЛОШНЫХ СБОРНЫХ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Предложена эффективная конструкция сборных плитных фундаментов под сетку колонн каркасных зданий из структурных элементов. Экспериментально на гипсовых моделях изучена несущая способность песчаного основания при различных вариантах решения краевой зоны и при моделировании связей между элементами. При исследовании совместной работы моделей фундаментов и песчаного основания получена эпюра контактных давлений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: плитный фундамент под сетку колонн, выпор грунта, контактные напряжения, график нагрузка — осадка, гипсовая модель.

The effective structure of assembling slab foundations for column grids of frame building consisting of structural elements is considered. The bearing capacity of sand basement in the different solutions of regional zone and during the modeling of elements connections is researched using gypsum models. The graph of contact pressure is obtained after learning the joint work of foundations and sand basement models.

K e y w o r d s: slab foundation for columns grid, soil extraction, contact voltages, graph load — settling, gypsum model.

Конструкция сборных фундаментов под сетку колонн каркасных зданий из структурных элементов [1] предложена для применения в полносборных зданиях с квадратной сеткой колонн. Индустриальные методы строительства привели к необходимости замены монолитных фундаментов на сборные и подтвердили актуальность экспериментального исследования их работы на гипсовых и железобетонных [2] моделях фундаментов на песчаном основании.

Анализ выполненных экспериментальных исследований работы гипсовых моделей сборного плитного фундамента показал качественное сходство в работе при двух различных вариантах решения краевой зоны.

Во всех опытах первого этапа работы с гипсовыми моделями наблюдалось разрушение основания с выпором песка из-под фундамента. Величина среднего давления по подошве гипсовых моделей фундаментов при разрушающей нагрузке не превышала 0,2 МПа. При нагрузках, близких к предельной, как правило на последней ступени нагружения, по периметру появлялась зона выпора (рис. 1). Общий выпор грунта в опытах с решением краевой зоны плиты по II варианту сопровождался локальным выпором от потери устойчивости краевых элементов КЭ-1. Локальный выпор имеет четко очерченные зоны и несколько большую, чем общий выпор, величину. Общий выпор имеет ломанное очертание, причем в местах концентрации напряжений он имеет большую величину.

В опытах первой серии различие несущей способности моделей составляет 14 %. Эта разница, по мнению автора, объясняется улучшением работы краевой зоны плиты в предельной стадии. В опыте 1 при нагрузке 24...28 кН треугольные в плане элементы краевой зоны начинают поворачиваться относительно своей точки опоры, что приводит к выпору грунта и снижению несущей способности модели.

Предельная нагрузка на модели в опытах второй серии, когда между элементами имелись жесткие вставки, была на 27 % ниже, чем в 1-м опыте. Такое явление объясняется тем, что наличие связей приводило после появления первых трещин в отдельных элементах к более интенсивному догрузке целых элементов. Однако при дальнейшем нагружении связи разрушались, поэтому их наличие в 3-м и 4-м опытах не привело к улучшению работы краевой зоны и не изменило картину выпора грунта (рис. 2).

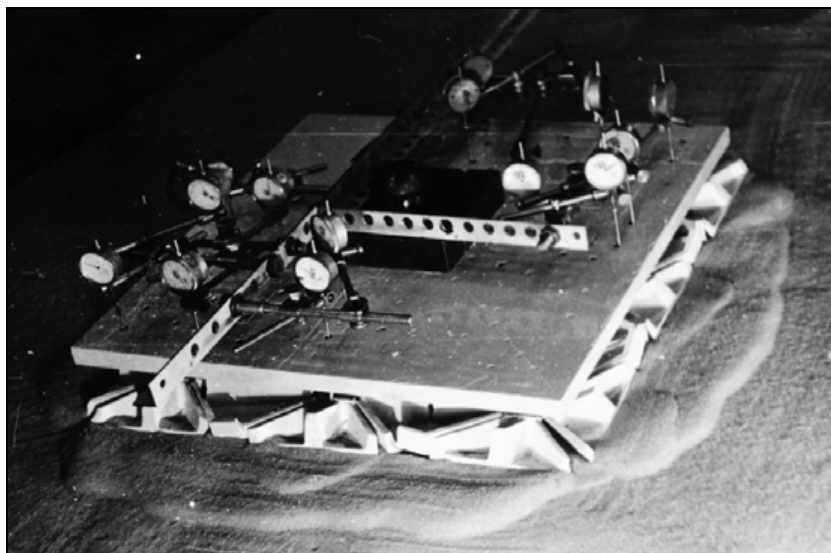


Рис. 1. Выпор грунта. Опыт 1

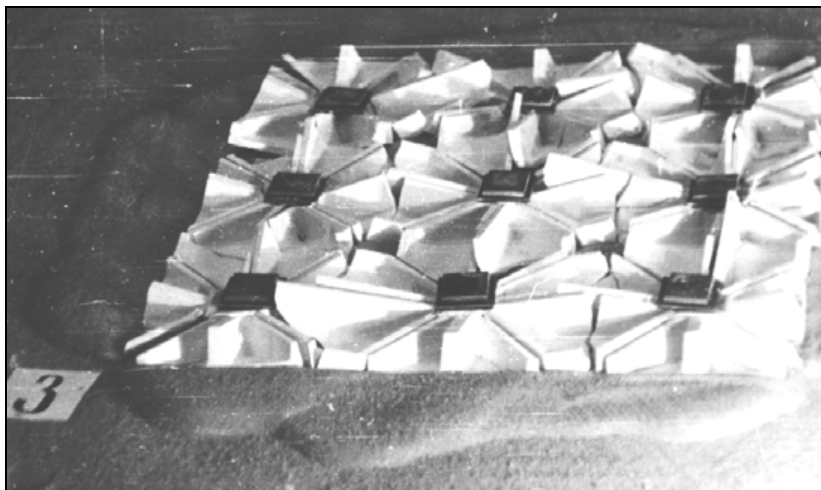


Рис. 2. Выпор грунта. Опыт 3

Наличие армирования элементов в опытах третьей серии увеличило предельную нагрузку на модели в 1,8...2,0 раза по сравнению со 2-м опытом. Предельная нагрузка для моделей-«близнецов» в третьей серии отличалась на 12 %. Это объясняется тем, что 5-й опыт проведен в два этапа, с полной разгрузкой модели.

Графики зависимости осадок от нагрузки в первых двух сериях представлены на рис. 3. Общим для всех представленных графиков является то, что на первых степенях нагружения до $0,2P_{пр} \dots 0,25P_{пр}$ преобладают упругие деформации основания и графики на этом участке являются прямолинейными.

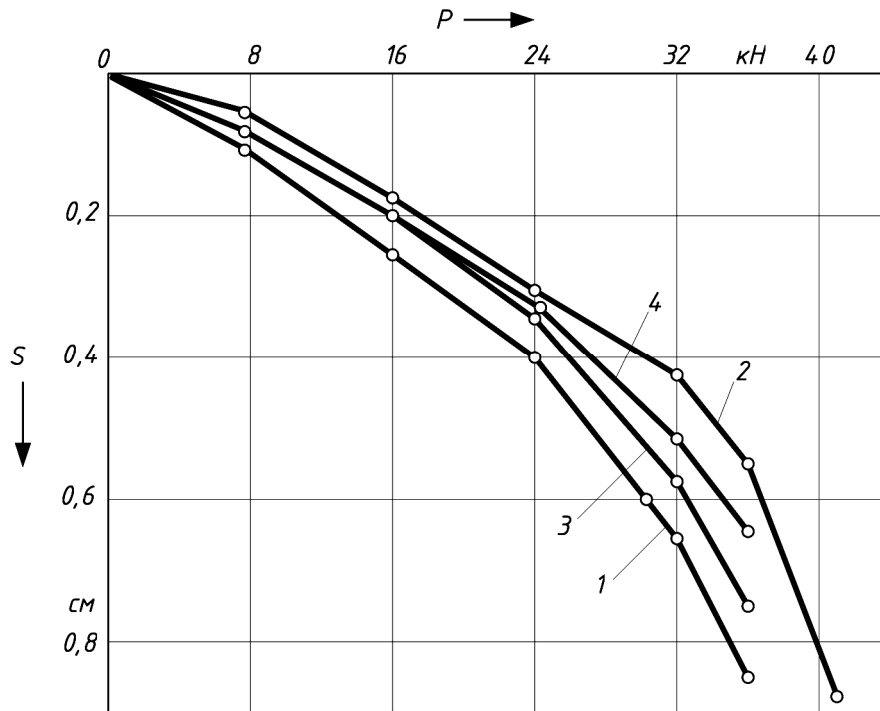


Рис. 3. Графики осадка — нагрузка. Опыты 1—4

При дальнейшем возрастании нагрузки в элементах моделей появляются первые трещины, а в основании становятся преобладающими пластические деформации. При нагрузках, близких к предельной, происходит разрушение моделей и наблюдается прогрессирующий рост деформаций. Однако конструктивные решения краевой зоны моделей фундаментов существенно повлияли на приведенные графики при нагрузках, близких к предельной. При одинаковых относительных нагрузках до $0,43P_{пр}$ осадки моделей в 1-м и 2-м опыте отличаются друг от друга не более, чем на 3,4 %. При нагрузках до $0,65P_{пр}$ отличие составляет 8,8 %, а при нагрузках больше $0,86P_{пр}$ абсолютные значения осадок отличаются более, чем на 17 %. Эта закономерность является следствием улучшения работы основания в краевой зоне плиты.

Осадки в двух опытах второй серии при одинаковом решении краевой зоны и при наличии жестких вставок между элементами отличаются не более, чем на 7 % во всем интервале нагружений. Отличие осадок в третьем и четвертом опытах второй серии от соответствующих значений осадок, полученных в 1-м опыте, при нагрузках $0,43P_{пр}$ и $0,65P_{пр}$ составляет соответственно 16,7 и 17,3 %. При нагрузках более $0,85P_{пр}$ различие в осадках этих же

опытов уменьшается и составляет 12,4 %. Таким образом, подтверждается тот факт, что жесткие вставки влияют на работу конструкции в начальной стадии, а в дальнейшем на работу конструкции существенно не влияют.

На рис. 4 представлены графики зависимости осадок от нагрузок для третьей серии опытов. Опыт 5 проведен в два цикла, поэтому график, полученный на втором цикле нагружения, обозначен 5'. При проведении этого опыта после полной разгрузки и выемки динамометров модель оставили на месте. Полученный при повторном нагружении график, как и в опытах с железобетонными моделями, прошел выше. Сравнение графиков осадок в 5-м и 6-м опытах при нагрузках до 48 кН (т.е. $0,63P_{пр}$) показало их идентичность, а различие в осадках оставило ± 3 %.

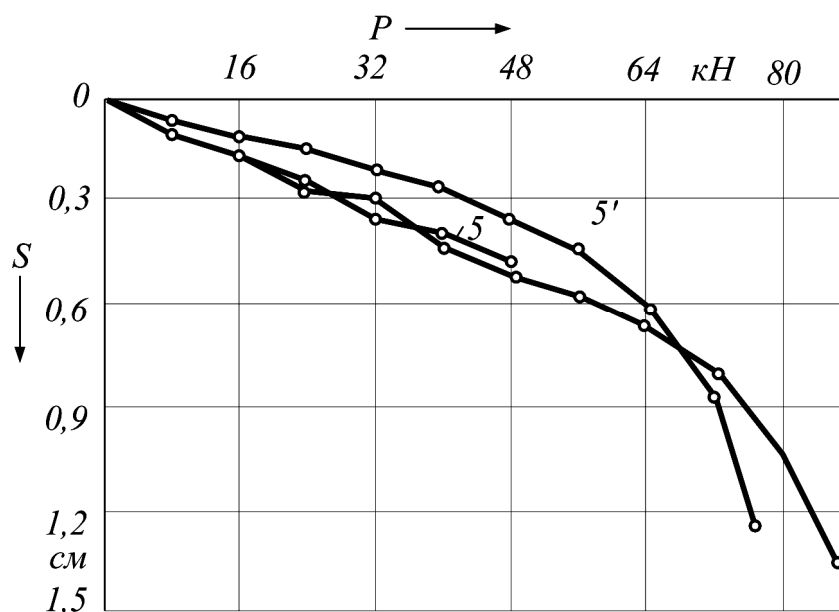


Рис. 4. Графики осадка — нагрузка. Опыты 4 и 5

В опыте второго этапа с железобетонной моделью разрушение основания и выпор грунта не наблюдались. Предельная нагрузка на железобетонную модель составила 842 кН, при этом наблюдалось разрушение модели от изгиба с продавливанием. График зависимости осадки от нагрузки для этой модели представлен на рис. 5. Нагрузка 360 кН является характерной точкой перегиба графика. После нагрузки 540 кН осадки начинают возрастать интенсивнее, что соответствует появлению трещин Б вдоль ребер жесткости, параллельных осям колонн в большей части элементов. При нагрузке 720 кН появляются первые трещины, свидетельствующие о продавливании элементов плиты, и осадки становятся прогрессирующими.

Анализ результатов опытов с гипсовыми и железобетонными моделями позволил выявить следующие особенности работы сплошной сборной фундаментной плиты.

В напряженно-деформированном состоянии основания и модели можно выделить следующие этапы: 1-й — упругая стадия работы, появление трещин в отдельных элементах модели фундамента и преобладание упругих деформаций в работе основания; 2-й — нелинейная стадия работы, интенсивное развитие трещин и преобладание сдвиговых деформаций в основании; 3-й — предельная стадия, падение несущей способности плиты, потеря устойчивости отдельных элементов, выпор грунта и прогрессирующий рост осадки модели.

Форма эпюры нормальных контактных давлений в сечении по оси колонн сборного составного плитного фундамента из структурных элементов волнообразная с концентрацией напряжений под колоннами и снижением к серединам пролетов между колоннами (рис. 5). Это свидетельствует о том, что сплошная сборная фундаментная плита работает как единая монолитная конструкция.

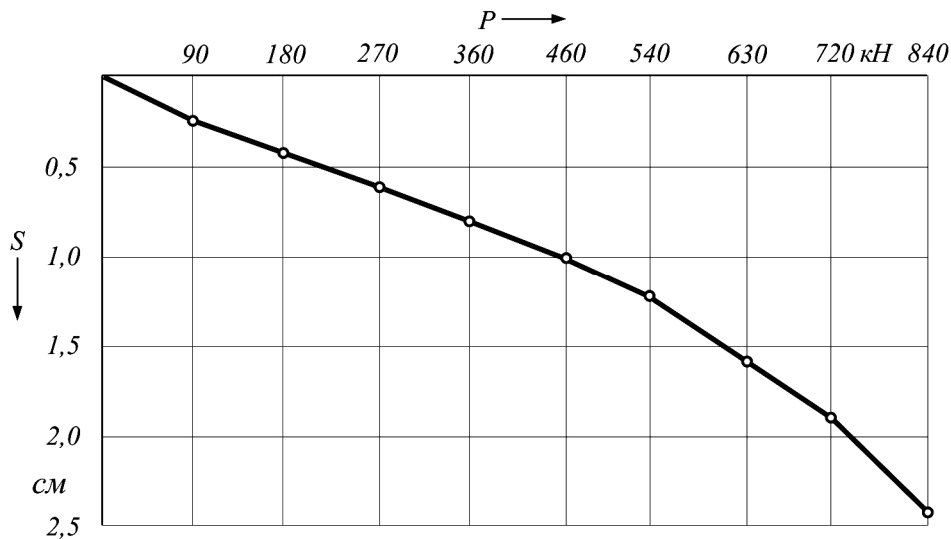


Рис. 5. График осадка — нагрузка для железобетонной модели

На первых ступенях нагружения гипсовых неармированных моделей напряжения под крайними и угловыми колоннами близки между собой, а под центральной напряжением значительно больше. При нагрузках $0,9P_{пр}$, т.е. при близких к предельной, соотношения между напряжениями под колоннами при различных решениях краевой зоны фундамента для неармированных моделей существенно не отличаются (рис. 6).

На первых ступенях нагружения армированных гипсовых и железобетонных моделей напряжения под всеми колоннами очень близки и возрастают пропорционально. Но при нагрузке больше $0,3P_{пр}$ усиливается перераспределение реактивных давлений и одновременно с падением напряжений в пролетах между колоннами сильно возрастает концентрация напряжений под колоннами. Напряжения под крайними и средними колоннами наиболее близки в этих опытах, что подтверждает хорошую работу краевой зоны моделей.

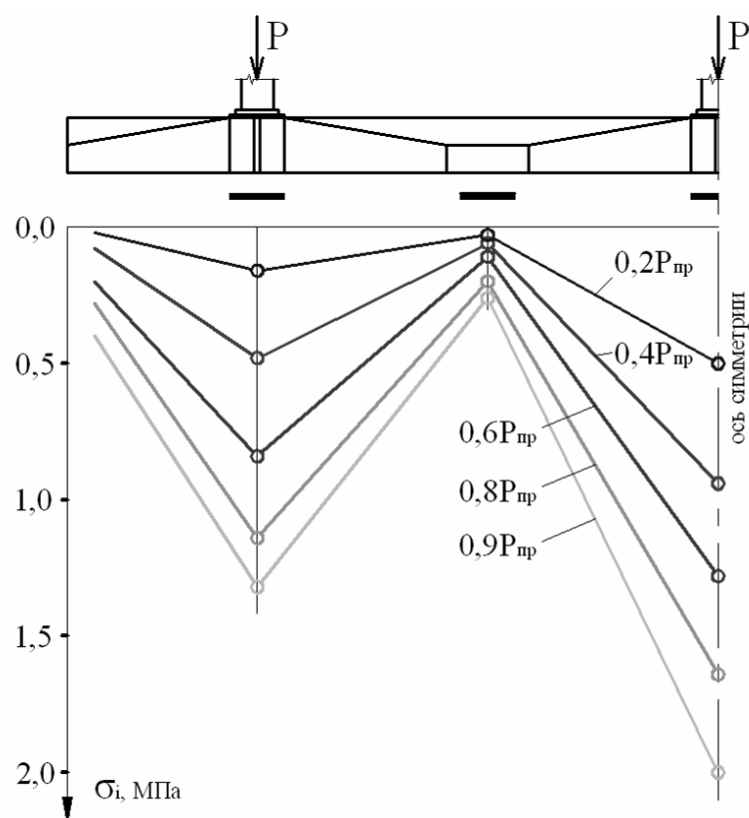


Рис. 6. Контактные напряжения по среднему ряду колонн. Опыт 2

Различное решение краевой зоны существенно повлияло на величину концентрации напряжений под центральной, крайней и угловой колоннами. При I варианте решения краевой зоны до нагрузок $0,3P_{пр}$ напряжения под всеми колоннами очень близки, в то время как при II варианте с первых ступеней нагружения напряжения под центральной колонной в 1,5...2,0 раза больше напряжений под крайними и средними колоннами. При нагрузках $0,9P_{пр}$ соотношения напряжений под колоннами при обоих решениях краевой зоны очень близки, а абсолютные значения напряжений при II варианте решения краевой зоны примерно в 1,8 раза больше, чем при I варианте. Экспериментально доказано преимущество решения краевой зоны сборной плиты по II варианту, а опыты с гипсовыми армированными и железобетонными моделями подтвердили возможность разрезки краевого элемента КЭ-2 на два симметричных блока.

Усилия, передаваемые каждой колонной, с ростом нагрузки растут непропорционально, и соотношения между усилиями в центральной, крайней и угловой колоннами меняются. Усилия в центральной колонне имеют преобладающий характер во всех опытах. В армированных моделях распределение усилий более равномерное, чем в неармированных.

Предельная нагрузка для армированных гипсовых и железобетонных моделей получена при разрушении элементов конструкций при изгибе и продавливании по трещинам, параллельным осям колонн. Введение жестких связей

между неармированными гипсовыми элементами существенно на несущую способность не повлияло. Наличие армирования увеличило несущую способность гипсовой модели в 1,8...2,0 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1245659 СССР, МКИ E02D 27/42. Фундамент / Ю. Н. Мурзенко, С. И. Евтушенко. № 3810546/29-33 ; заявл. 06.11.84 ; опубл. 23.07.86, Бюл. № 27.

2. Мурзенко Ю. Н., Евтушенко С. И. Экспериментальные исследования работы краевой зоны сборных фундаментов под отдельную колонну и сетку колонн на песчаном основании // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. 2008. 248 с.

1. A. s. 1245659 SSSR, MKI E02D 27/42. Fundament / Yu. N. Murzenko, S. I. Evtushenko. № 3810546/29-33 ; zayavl. 06.11.84 ; opubl. 23.07.86, Bul. № 27.

2. Murzenko Yu. N., Evtushenko S. I. Experimentálne issledovaniy raboty kraevoy zony sbornyh fundamentov pod otdelnuy kolonnu i setku kolonn na peschanom osnovanii // Isv. vysov. Severo-Kavkazskii region. 2008. 248 s.

© Евтушенко С. И., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Евтушенко С. И. Несущая способность и осадки сплошных сборных плитных фундаментов из структурных элементов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 47—53.

УДК 539.3

Ю. В. Ключков, А. П. Николаев, Т. А. Киселева**СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ИНТЕРПОЛЯЦИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ В ФОРМЕ ЭЛЛИПСОИДА**

Изложен алгоритм расчета произвольной оболочки в форме эллипсоида на основе МКЭ. Для расширения границ применения разработанного алгоритма предложена новая формула для радиус-вектора срединной поверхности эллипсоида. В качестве элемента дискретизации использован четырехугольный криволинейный конечный элемент с восемнадцатью степенями свободы в узле. При выводе матрицы жесткости использован векторный вариант интерполяции перемещений. Приведен пример расчета эллипсоида, демонстрирующий эффективность разработанного алгоритма.

К л ю ч е в ы е с л о в а: произвольная оболочка, векторная интерполяция, четырехугольный конечный элемент, эллипсоид.

The algorithm for calculating arbitrary shell in the shape of an ellipsoid-based FEM is described. The new formula for the radius-vector of the middle surface of the ellipsoid is proposed to expand the boundaries of the algorithm. As part of the sampling the curvilinear quadrilateral finite element with eighteen degrees of freedom in the node is used. In the derivation of the stiffness matrix the vector variant interpolation of displacements is used. The calculation example of an ellipsoid is found, demonstrating the effectiveness of the algorithm.

Key words: arbitrary shell, vectorally interpolation, quadrangular finite element, ellipsoid.

Оболочечные конструкции находят широкое применение в машиностроении и строительстве. Расчет прочности таких конструкций с помощью аналитических формул представляет затруднения, поскольку аналитическое решение имеется для узкого класса задач. Поэтому наибольшую распространенность получили численные методы анализа напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций. Одним из наиболее эффективных численных методов на сегодняшний день является метод конечных элементов (МКЭ).

В настоящей работе изложен алгоритм расчета произвольной непологой оболочки в форме эллипсоида на основе МКЭ с использованием четырехугольного конечного элемента с векторной интерполяцией перемещений.

1. Геометрия оболочки

Срединная поверхность произвольной непологой оболочки в исходном состоянии может быть задана в декартовой системе координат радиус-вектором

$$\vec{R}^0 = x\vec{i} + y\vec{j} + z(x, y)\vec{k}. \quad (1)$$

Рассмотрим в качестве примера произвольной непологой оболочки эллипсоид, каноническое уравнение которого имеет вид

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1. \quad (2)$$

С учетом (2) радиус-вектор (1) может быть записан в виде

$$\vec{R}^0 = x\vec{i} + y\vec{j} + c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}\vec{k}. \quad (3)$$

После дифференцирования (3) по x, y для получения ковариантных векторов локального базиса возникает дополнительное условие

$$1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} > 0, \quad (4)$$

в силу которого на размеры эллипсоида накладываются весьма существенные ограничения. Практически может быть рассчитан только отдельный фрагмент рассматриваемой оболочки, а расчет всего эллипсоида при использовании формулы (3) невозможен.

Для устранения отмеченного недостатка радиус-вектор, определяющий срединную поверхность эллипсоида, будем задавать в следующем виде:

$$\vec{R}^0 = x\vec{i} + r(x, \theta)\sin\theta\vec{j} + r(x, \theta)\cos\theta\vec{k}, \quad (5)$$

где θ — угол, отсчитываемый от оси Oz против хода часовой стрелки.

$$r(x, \theta) = \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \frac{1}{\sqrt{c^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}}.$$

При использовании формулы (5) можно выполнить расчет эллипсоида без каких-либо существенных ограничений по его форме и размерам за исключением особой точки с координатой $x = a$.

В результате дифференцирования (5) по глобальным криволинейным координатам x, θ можно получить ковариантные векторы локального базиса

$$\vec{a}_\alpha^0 = \vec{R}_{,\alpha}^0. \quad (6)$$

Здесь и ниже греческие индексы принимают значения 1, 2, причем цифра 1 соответствует координате x , а цифра 2 — θ .

Орт нормали к срединной поверхности оболочки определится векторным произведением

$$\vec{a}^0 = \vec{a}_1^0 \times \vec{a}_2^0 / \sqrt{a^0}, \quad (7)$$

где $a^0 = a_{11}^0 a_{22}^0 - (a_{12}^0)^2$ — детерминант метрического тензора, отнесенного к срединной поверхности эллипсоида, ковариантные компоненты которого определяются скалярными произведениями базисных векторов

$$a_{\alpha\beta}^0 = \vec{a}_\alpha^0 \times \vec{a}_\beta^0. \quad (8)$$

Ковариантные и смешанные компоненты тензора кривизны определяются выражениями

$$b_{\alpha\beta}^0 = \vec{R}_{,\alpha\beta}^0 \times \vec{a}^0; \quad b_\alpha^{0\beta} = a^{0\beta\lambda} b_{\lambda\alpha}^0. \quad (9)$$

Ковариантные компоненты тензора деформаций в произвольном слое оболочки определяются на основе уравнения механики сплошной среды [1]

$$\varepsilon_{\alpha\beta}^{\zeta} = (g_{\alpha\beta} - g_{\alpha\beta}^0) / 2, \quad (10)$$

где $g_{\alpha\beta}$, $g_{\alpha\beta}^0$ — ковариантные компоненты метрического тензора в деформированном и исходном состояниях.

Входящие в (10) $g_{\alpha\beta}$ и $g_{\alpha\beta}^0$ определяются скалярными произведениями базисных векторов $\vec{g}_\alpha$, $\vec{g}_\alpha^0$, которые, в свою очередь, могут быть получены дифференцированием радиус-векторов, определяющих положение точки, отстоящей от срединной поверхности на расстоянии ζ в исходном и деформированном состояниях,

$$\vec{R}^\zeta = \vec{R}^0 + \vec{v} + \zeta \vec{a}, \quad \vec{g}_\alpha = \vec{R}_{,\alpha}^\zeta = \vec{a}_\alpha^0 + \vec{v}_{,\alpha} + \zeta \vec{a}_{,\alpha}, \quad (11)$$

где $\vec{v}$ — вектор перемещения точки срединной поверхности оболочки.

Входящий в (11) вектор перемещения произвольной точки срединной поверхности и его производные могут быть представлены в текущем локальном базисе следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{v} &= v^p \vec{a}_p^0 + v \vec{a}^0, \\ \vec{v}_{,x} &= t_1^p \vec{a}_p^0 + t_1 \vec{a}^0, \quad \vec{v}_{,\theta} = t_2^p \vec{a}_p^0 + t_2 \vec{a}^0, \\ \vec{v}_{,xx} &= t_{11}^p \vec{a}_p^0 + t_{11} \vec{a}^0, \quad \vec{v}_{,x\theta} = t_{12}^p \vec{a}_p^0 + t_{12} \vec{a}^0, \quad \vec{v}_{,\theta\theta} = t_{22}^p \vec{a}_p^0 + t_{22} \vec{a}^0. \end{aligned} \quad (12)$$

В качестве элемента дискретизации используется четырехугольный фрагмент срединной поверхности с узлами i, j, k и l . Столбец основных узловых неизвестных для элемента 72×72 с векторной интерполяцией перемещений в локальной ξ, θ и глобальной x, θ системах координат выбирается в следующем виде:

$$\begin{aligned} \left\{ \vec{v}_y^{\Pi} \right\}_{1 \times 24}^T &= \{ \vec{v}^i \vec{v}^j \vec{v}^k \vec{v}^l \vec{v}_{,\xi}^i \vec{v}_{,\xi}^j \vec{v}_{,\xi}^k \vec{v}_{,\xi}^l \vec{v}_{,\eta}^i \vec{v}_{,\eta}^j \vec{v}_{,\eta}^k \vec{v}_{,\eta}^l \vec{v}_{,\xi\xi}^i \vec{v}_{,\xi\xi}^j \vec{v}_{,\xi\xi}^k \vec{v}_{,\xi\xi}^l \vec{v}_{,\xi\xi}^i \vec{v}_{,\xi\xi}^j \vec{v}_{,\xi\xi}^k \vec{v}_{,\xi\xi}^l \vec{v}_{,\eta\eta}^i \vec{v}_{,\eta\eta}^j \vec{v}_{,\eta\eta}^k \vec{v}_{,\eta\eta}^l \vec{v}_{,\xi\eta}^i \vec{v}_{,\xi\eta}^j \vec{v}_{,\xi\eta}^k \vec{v}_{,\xi\eta}^l \}, \\ \left\{ \vec{v}_y^{\Gamma} \right\}_{1 \times 24}^T &= \{ \vec{v}^i \vec{v}^j \vec{v}^k \vec{v}^l \vec{v}_{,1}^i \vec{v}_{,1}^j \vec{v}_{,1}^k \vec{v}_{,1}^l \vec{v}_{,2}^i \vec{v}_{,2}^j \vec{v}_{,2}^k \vec{v}_{,2}^l \vec{v}_{,11}^i \vec{v}_{,11}^j \vec{v}_{,11}^k \vec{v}_{,11}^l \vec{v}_{,22}^i \vec{v}_{,22}^j \vec{v}_{,22}^k \vec{v}_{,22}^l \vec{v}_{,12}^i \vec{v}_{,12}^j \vec{v}_{,12}^k \vec{v}_{,12}^l \}. \end{aligned} \quad (13)$$

Между столбцами векторных узловых неизвестных $\left\{ \vec{v}_y^{\Pi} \right\}$ и $\left\{ \vec{v}_y^{\Gamma} \right\}$ можно установить матричную зависимость

$$\left\{ \vec{v}_y^{\Pi} \right\}_{24 \times 1} = [L]_{24 \times 24} \left\{ \vec{v}_y^{\Gamma} \right\}_{24 \times 1}. \quad (14)$$

Столбец векторных узловых неизвестных в глобальной системе координат может быть представлен матричным соотношением

$$\left\{ \bar{v}_y^\Gamma \right\}_{24 \times 1} = \left[\bar{A} \right]_{24 \times 72} \left\{ n_y \right\}_{72 \times 1}, \quad (15)$$

где $\left[\bar{A} \right]$ — квазидиагональная матрица, содержащая узловые векторы локального базиса; $\left\{ n_y \right\}$ — столбец, содержащий узловые значения компонент вектора перемещений, а также их первые и вторые производные.

С учетом (15) соотношение (14) можно записать в виде

$$\left\{ \bar{v}_y^{\Pi} \right\}_{24 \times 24} = \left[L \right]_{24 \times 24} \left[\bar{A} \right]_{24 \times 72} \left\{ n_y \right\}_{72 \times 72} = \left[\bar{A} \right]_{24 \times 72} \left[G \right]_{72 \times 72} \left\{ n_y \right\}_{72 \times 1}. \quad (16)$$

Вектор перемещения внутренней точки дискретного элемента с учетом (16) можно представить выражением

$$\bar{v} = \left\{ \psi \right\}_{1 \times 24}^T \left[\bar{A} \right]_{24 \times 72} \left[G \right]_{72 \times 72} \left\{ n_y \right\}_{72 \times 1}. \quad (17)$$

Квазидиагональная матрица $\left[\bar{A} \right]$, включающая в свою структуру узловые векторы локального базиса, может быть представлена суммой

$$\left[\bar{A} \right]_{24 \times 72} = \bar{a}_1^0 \left[A_1 \right]_{24 \times 72} + \bar{a}_2^0 \left[A_2 \right]_{24 \times 72} + \bar{a}^0 \left[A_3 \right]_{24 \times 72}. \quad (18)$$

Представляя вектор перемещения в левой части (17) компонентами локального базиса и принимая во внимание (18), соотношение (16) может быть записано в виде

$$v^1 \bar{a}_1^0 + v^2 \bar{a}_2^0 + v \bar{a}^0 = \left\{ \psi \right\}^T \left(\bar{a}_1^0 \left[A_1 \right] + \bar{a}_2^0 \left[A_2 \right] + \bar{a}^0 \left[A_3 \right] \right) \left[G \right] \left\{ n_y \right\}. \quad (19)$$

Из (19) могут быть получены искомые интерполяционные зависимости

$$v^1 = \left\{ \psi \right\}^T \left[A_1 \right] \left\{ Z_y \right\}; \quad v^2 = \left\{ \psi \right\}^T \left[A_2 \right] \left\{ Z_y \right\}; \quad v = \left\{ \psi \right\}^T \left[A_3 \right] \left\{ Z_y \right\}, \quad (20)$$

где $\left\{ Z_y \right\} = \left[G \right] \left\{ n_y \right\}$.

Первые и вторые производные вектора перемещения могут быть получены в результате дифференцирования (17):

$$\begin{aligned} \bar{v}_{,\alpha} &= \left(\left\{ \psi_{,\xi} \right\}^T \xi_{,\alpha} + \left\{ \psi_{,\eta} \right\}^T \eta_{,\alpha} \right) \left(\bar{a}_1^0 \left[A_1 \right] + \bar{a}_2^0 \left[A_2 \right] + \bar{a}^0 \left[A_3 \right] \right) \left\{ Z_y \right\}; \\ \bar{v}_{,\alpha\alpha} &= \left(\left\{ \psi_{,\xi\xi} \right\}^T \xi_{,\alpha}^2 + 2 \left\{ \psi_{,\xi\eta} \right\}^T \xi_{,\alpha} \eta_{,\alpha} + \left\{ \psi_{,\eta\eta} \right\}^T \eta_{,\alpha}^2 + \right. \\ &\quad \left. + \left\{ \psi_{,\xi} \right\}^T \xi_{,\alpha\alpha} + \left\{ \psi_{,\eta} \right\}^T \eta_{,\alpha\alpha} \right) \left(\bar{a}_1^0 \left[A_1 \right] + \bar{a}_2^0 \left[A_2 \right] + \bar{a}^0 \left[A_3 \right] \right) \left\{ Z_y \right\}; \\ \bar{v}_{,\alpha\beta} &= \left(\left\{ \psi_{,\xi\xi} \right\}^T \xi_{,\alpha} \xi_{,\beta} + \left\{ \psi_{,\xi\eta} \right\}^T \xi_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \left\{ \psi_{,\eta\eta} \right\}^T \eta_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \right. \\ &\quad \left. + \left\{ \psi_{,\xi} \right\}^T \xi_{,\alpha\beta} + \left\{ \psi_{,\eta} \right\}^T \eta_{,\alpha\beta} \right) \left(\bar{a}_1^0 \left[A_1 \right] + \bar{a}_2^0 \left[A_2 \right] + \bar{a}^0 \left[A_3 \right] \right) \left\{ Z_y \right\}. \end{aligned} \quad (21)$$

Представляя левые части равенств (20) в виде (12) и приравнявая соответствующие выражения слева и справа при базисных векторах $\vec{a}_\rho^0$, $\vec{a}^0$, можно получить следующие интерполяционные выражения:

$$\begin{aligned}
 t_\alpha^1 &= \left(\{\psi_{,\xi}\}^T \xi_{,\alpha} + \{\psi_{,\eta}\}^T \eta_{,\alpha} \right) [A_1] \{Z_y\}; \\
 t_\alpha^2 &= \left(\{\psi_{,\xi}\}^T \xi_{,\alpha} + \{\psi_{,\eta}\}^T \eta_{,\alpha} \right) [A_2] \{Z_y\}; \\
 t_\alpha^3 &= \left(\{\psi_{,\xi}\}^T \xi_{,\alpha} + \{\psi_{,\eta}\}^T \eta_{,\alpha} \right) [A_3] \{Z_y\}; \\
 t_{\alpha\beta}^1 &= \left(\{\psi_{,\xi\xi}\}^T \xi_{,\alpha} \xi_{,\beta} + \{\psi_{,\xi\eta}\}^T \xi_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \{\psi_{,\eta\eta}\}^T \eta_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \right. \\
 &\quad \left. + \{\psi_{,\xi}\}^T \xi_{,\alpha\beta} + \{\psi_{,\eta}\}^T \eta_{,\alpha\beta} \right) [A_1] \{Z_y\}; \\
 t_{\alpha\beta}^2 &= \left(\{\psi_{,\xi\xi}\}^T \xi_{,\alpha} \xi_{,\beta} + \{\psi_{,\xi\eta}\}^T \xi_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \{\psi_{,\eta\eta}\}^T \eta_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \right. \\
 &\quad \left. + \{\psi_{,\xi}\}^T \xi_{,\alpha\beta} + \{\psi_{,\eta}\}^T \eta_{,\alpha\beta} \right) [A_2] \{Z_y\}; \\
 t_{\alpha\beta}^3 &= \left(\{\psi_{,\xi\xi}\}^T \xi_{,\alpha} \xi_{,\beta} + \{\psi_{,\xi\eta}\}^T \xi_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \{\psi_{,\eta\eta}\}^T \eta_{,\alpha} \eta_{,\beta} + \right. \\
 &\quad \left. + \{\psi_{,\xi}\}^T \xi_{,\alpha\beta} + \{\psi_{,\eta}\}^T \eta_{,\alpha\beta} \right) [A_3] \{Z_y\};
 \end{aligned} \tag{22}$$

При выводе матрицы жесткости и столбца узловых нагрузок использовался функционал потенциальной энергии в виде

$$\int_V \left\{ \varepsilon_{\alpha\beta}^s \right\}^T \left\{ \sigma^{\alpha\beta} \right\} dV = \int_F \vec{v} \left\{ \vec{P} \right\} dF, \tag{23}$$

где $\left\{ \varepsilon_{\alpha\beta}^s \right\}^T$, $\left\{ \sigma^{\alpha\beta} \right\}$ — деформации и напряжения в произвольном слое оболочки; $\left\{ \vec{P} \right\}$ — вектор внешней поверхностной нагрузки.

2. Пример

Была решена задача по определению напряженно-деформированного состояния эллипсоида, находящегося под действием внутреннего давления интенсивности q . Были приняты следующие исходные данные: $a=1,3$ м, $b=0,92$ м, $c=0,9$ м, $E=2 \times 10^5$ МПа, $\nu=0,3$, $t=0,02$ м, $q=5$ МПа. Координаты x , θ изменялись в пределах $0 \leq x \leq 1,2$ м, $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$. Вследствие наличия плоскостей симметрии рассматривалась $1/4$ часть эллипсоида.

Расчеты выполнялись в двух вариантах. В первом варианте при формировании матрицы жесткости четырехугольного криволинейного конечного элемента реализовывалась общепринятая скалярная интерполяционная процедура [2, 3]. Во втором варианте применялась векторная интерполяция полей перемещений (17)—(20). Результаты повариантного расчета представлены в таблице, в кото-

рой приведены значения нормальных напряжений σ_{xx} , $\sigma_{\theta\theta}$ в концевом сечении эллипсоида в зависимости от густоты сетки дискретизации.

Координаты $x, m, \theta, \text{ рад}$	Напряжения, МПа	Вариант интерполяции					
		Скалярная			Векторная		
		6×11	8×15	10×19	6×11	8×15	10×19
$x = 1, 2$ $\theta = 0$	σ_{xx}	13,81	7,50	4,77	–0,76	–0,37	–0,02
	$\sigma_{\theta\theta}$	58,63	41,41	33,85	28,35	25,05	23,61
$x = 1, 2$ $\theta = \frac{\pi}{2}$	σ_{xx}	–13,91	–7,60	–4,86	0,79	0,29	–0,09
	$\sigma_{\theta\theta}$	280,12	297,39	304,98	309,71	313,34	314,92

Анализ табличного материала показывает, что в первом варианте напряжения σ_{xx} весьма существенно отличаются от нулевых значений, хотя по условиям задачи они должны быть близки к нулю, так как концевое сечение не нагружено. Во втором варианте напряжения σ_{xx} близки к нулю уже при сетке узлов 6×11. Анализируя значения напряжений $\sigma_{\theta\theta}$, можно отметить более быструю сходимость вычислительного процесса во втором варианте. Таким образом, можно сделать окончательный вывод об эффективности векторной интерполяции полей перемещений при конечно-элементном анализе произвольной оболочки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М. : Наука, 1976. Т. 1. 536 с.
2. Голованов А. И., Корнишин М. С. Введение в метод конечного элемента статике тонких оболочек. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1990. С. 269.
3. Постнов В. А., Хархурим И. Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л. : Судостроение, 1974. 344 с.
1. Sedov L. I. Mekhanika sploshnoy sredy. M. : Nauka, 1976. T. 1. 536 s.
2. Golovanov A. I., Kornishin M. S. Vvedenie v metod konechnogo elementa statiki tonkikh obolochek. Kazan : Izd-vo Kazan. un-ta, 1990. S. 269.
3. Postnov V. A., Kharkhurim I. J. Metod konechnikh elementov v raschyotakh sudovykh konstruktsiy. L. : Sudostroenie, 1974. 344 s.

© Клочков Ю. В., Николаев А. П., Киселева Т. А., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Клочков Ю. В., Николаев А. П., Киселева Т. А. Сравнение вариантов интерполяций перемещений на примере произвольной оболочки в форме эллипсоида // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 54—59.

УДК 69.01

А. С. Маркович

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА СТЕНЫ СИЛОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Повторяющиеся аварии и разрушения силосных сооружений указывают на несостоятельность существующих методов расчета конструкций. Приводится критический анализ наиболее известных методов определения давлений сыпучих материалов на стены и днища силосов. Указывается на необходимость дальнейших экспериментально-теоретических исследований поведения сыпучей массы, а также учета в расчетах повышения давлений при выпуске сыпучих материалов, изменчивости нагрузок и воздействий, анализа пространственной работы стенок силоса при помощи современных систем автоматизированного проектирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: методы расчета силосных сооружений, проектирование силосных сооружений, долговечность конструкций силосных сооружений, аварии и разрушения силосных сооружений.

Repeating failures and destructions of silo constructions are indicated of inconsistency of existing methods of calculation. The critical analysis of known calculated methods of bulk pressure on silo walls and bottom is given. The necessity of further experimentally-theoretical researches of distribution bulk materials during the loading in silos, the necessity of account of pressure's rise during the releasing of bulk, variability of loadings and influence, spatial analysis of silo walls by means of modern systems of computer modeling is showed.

Key words: methods of silo constructions calculation, designing of silo constructions, durability of silo constructions, failures and destructions of silo.

Одной из основных причин преждевременного разрушения конструкций стен железобетонных силосных сооружений является превышение расчетных величин давлений при загрузке и выгрузке сыпучего материала, а также пульсирующий характер и неравномерное распределение нагрузки по высоте и периметру поперечного сечения силоса [1].

Вопросу распределения давлений в силосах посвящено достаточное количество теоретических и экспериментальных исследований, так, в работах [2—5] показано, что фактическое давление сыпучего материала по периметру стенки силоса распределяется крайне неравномерно, особенно в процессе выгрузки. Некоторые исследователи отмечали резкое увеличение давления (в 3...5 раз) на стенки силоса при выгрузке сыпучего, другие исследователи, напротив, не находили существенного увеличения давления при истечении сыпучего материала из силоса.

Такое расхождение в экспериментальных данных автор статьи объясняет различными условиями проведения экспериментов, физико-механическими характеристиками сыпучих тел, а также изменением форм истечения и, как следствие, созданием условий, приводящих к снижению горизонтального давления при выпуске сыпучего материала.

Вместе с тем обращает на себя внимание отсутствие до настоящего времени общепризнанной теории давления сыпучих материалов в силосах, хорошо согласовывающейся с экспериментальными данными. В этой связи представляется необходимым остановиться на общих вопросах теоретических исследований по определению давлений сыпучего материала на стенки силосных сооружений.

Со времени опубликования Янсеном в 1895 г. своей теории давлений сыпучих материалов в силосах [6] она прочно вошла в инженерную практику, хотя последующие многочисленные исследования поставили ее под сомнение. Причиной этому являлись многочисленные повторяющиеся аварии и разрушения конструкций стен силосных сооружений, запроектированных на нагрузки от давления, определяемого по формуле Янсена,

$$P_h^n = \frac{\gamma \rho}{f} (1 - \exp(-f \lambda z / \rho)), \quad (1)$$

где P_h^n — нормативное горизонтальное давление сыпучего материала на стенку силоса; ρ — плотность сыпучего материала; f — коэффициент внешнего трения; λ — коэффициент бокового давления; z — глубина засыпки.

Как можно видеть из формулы, теория давлений Янсена имеет ряд существенных недостатков.

1. Свойства сыпучей массы соответствуют лишь идеальному сыпучему материалу, в котором отсутствуют силы сцепления частиц и свойства постоянны для любой точки объема сыпучего тела (т.е. не учитывается внутреннее трение частиц).

2. В процессе заполнения или разгрузки силоса предполагается, что сыпучая масса опускается равномерно и вертикальные скорости частиц постоянны по всему горизонтальному сечению, при этом радиальные скорости равны нулю. Внешнее трение сыпучего о стенки при заполнении или выгрузке емкости развивается полностью на всю высоту стенки силоса, за исключением области воронки. Вертикальные давления всегда растут с глубиной силоса по затухающей кривой.

3. Внутренняя поверхность силоса является геометрически идеальной и радиальные смещения стенки равны нулю.

4. Пристенный слой находится в состоянии предельного равновесия и условно принимается, что отношение горизонтального давления на стенку в какой-либо точке пристенного слоя к вертикальному давлению на горизонтальную площадку равно $\operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$, где φ — угол внутреннего трения.

5. Внешние условия — температура и влажность воздуха постоянны, при этом сыпучий материал всегда находится в сухом состоянии.

В силу указанных допущений, формула Янсена не учитывает всей сложности явлений, происходящих в массе сыпучего тела при его движении, и дает величины давлений, согласующиеся только лишь с опытными данными в случае неподвижной массы сыпучего материала.

Исследователи и проектировщики, пытаясь учитывать в расчетах изменение давления сыпучего тела, в теорию Янсена неоднократно вводили поправки в виде коэффициентов надежности и дополнительных давлений. Предполагалось, что вводимые поправки учитывают в расчетах повышение и неравномерный характер давления по периметру силоса, наблюдаемый при выгрузке сыпучего материала. Величины коэффициентов надежности и характер распределения нагрузки принимались исследователями преимущественно на основе собственного опыта или интуитивно.

Существует также ряд других аналитических зависимостей для определения давлений в силосах, в основном схожих с методом Янсена и основанных на теории упругости и теории предельного равновесия [7, 8]. Ниже приведены наиболее известные методы по определению давлений сыпучих материалов на стенки силосов (обозначения аналогичны тем, что использовались в формуле Янсена).

1. Метод Дубынина:

$$P = 0,0092 H_0^{0,9} d^{1,2} \gamma_0 l^{0,2},$$

где P — величина максимального горизонтального динамического распора, г/см²; H_0 — высота выпускаемого слоя сыпучего тела, см; γ_0 — объемная масса выпускаемого сыпучего тела, г/см³; l — средний размер частиц наибольшей фракции выпускаемого сыпучего тела, см.

2. Метод Фрелиха:

$$P_h^n = \frac{\gamma \rho}{f} \left[1 - \left(\frac{a}{a+z} \right)^{13} \right]; P_v^n = \frac{32}{3\pi} \gamma \rho \left[1 - \left(\frac{a}{a+z} \right)^{12} \right]; a = \frac{128\rho}{\pi}.$$

3. Метод Фрида:

для круглого сечения:

$$P_h^n = \gamma \frac{3V^2 - \pi r^3 \operatorname{tg} \alpha}{3} \cos \alpha;$$

для квадратного сечения:

$$P_h^n = \gamma \frac{6V^2 - a^3 \operatorname{tg} \alpha}{24} \cos \alpha,$$

где V — объем зерна в силосе; a — сторона квадрата; α — угол естественного откоса.

4. Метод Надеждина:

$$P_h^n = \frac{2(Q - Q_1)}{3n} \operatorname{ctg} \alpha; P_v^n = \frac{Q - Q'_1}{n},$$

где Q — масса зерна в силосе; Q_1 — вертикальная составляющая давления; Q'_1 — масса пирамиды высотой z ; n — число сторон правильного многоугольника.

5. Метод Платонова:

$$P_{h(1,3)}^n = \gamma H_1 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right); P_{h(2)}^n = 0,5 \gamma D f_1;$$

$$P_{v(1,3)}^n = \gamma H_1; P_{v(2)}^n = \gamma z \left(1 - 0,5 \eta \frac{D}{\rho} f f_1 \right),$$

где D — диаметр выпускного отверстия; η — коэффициент несущей способности свода; $\eta = 0,15 + 0,05 \frac{k}{D} z$; $k = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ — коэффициент плотности зернового

потока.

6. Метод Кима:

$$P_h^n = \frac{\gamma \rho}{f}; P_v^n = \gamma k z,$$

где $c = 1 - k$ — коэффициент, показывающий, какая часть массы зерна воспринимается стенами (силами трения); k — коэффициент, определяемый по данным эксперимента.

7. Метод Зенкова:

$$P_h^n = \frac{\gamma \rho}{f} [1 - \exp(-az)]; P_v^n = P_h^n \left[1 + 2f_1^2 + 2\sqrt{(1+f^2)(f_1^2 - f^2)} \right]; a = \frac{\lambda f}{\rho}.$$

8. Метод Сорокина:

$$P_h^n = \lambda P_v^n; P_v^n = (P_{v\max} + P'_v) \exp\left(-\frac{\lambda f z}{\rho}\right) - P_{v\max};$$

$$P'_v = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{k' \Delta}{P_{v0}}}\right) P_{v0}; z = \frac{\lambda f}{\rho} \ln \frac{2P_{v\max} + P'_v}{2P_{v\max}},$$

где P'_v — вертикальное давление с учетом динамического воздействия; P_{v0} — вертикальное давление на стенку; $k' = 2$ — коэффициент податливости насыпи; $\Delta = 0,55$ см — усредненная высота падения зерна; $P_{v\max} = \frac{\lambda \rho}{\lambda f}$.

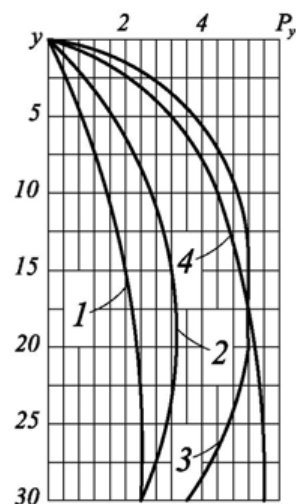
9. Метод Хорошего:

$$P_{h,\hat{a}}^n = \frac{\gamma \rho}{f} \left\{ \left[1 - \exp\left(-\frac{fkz}{\rho}\right) \right] + \left[1 - \exp\left(-\frac{fk'z}{\rho}\right) \right] \right\};$$

$$P_{h,n}^n = \frac{\gamma \rho}{f} \left\{ \left[1 - \exp\left(-\frac{fkz}{\rho}\right) \right] + \left[1 - \exp\left(-\frac{fk''z'}{\rho}\right) \right] \right\},$$

где $P_{h,\hat{a}}^n$ и $P_{h,n}^n$ — соответственно горизонтальное давление в верхней и нижней зонах; k, k', k'' — соотношение горизонтальных давлений в состоянии покоя и при разгрузке; z' — расстояние от низа силоса до рассматриваемого сечения.

Несмотря на большое разнообразие существующих зависимостей для определения давления сыпучего материала на стены силоса, по результатам исследований [4] можно утверждать, что полученные с использованием указанных зависимостей результаты мало отличаются от значений давлений, определяемых по методу Янсена с поправками (рис.).



Эпюры давлений:
1 — по Янсену (без поправок);
2 — по DIN 1055; 3 — по
А. С. Хорошему; 4 — по
П. Н. Платонову

Стоит отметить, что применяемые для определения давлений в настоящее время методики, основанные на теории Янсена с теми или иными дополнениями к ней, не несут под собой серьезной экспериментальной основы и не в состоянии точно описывать процесс роста давлений, наблюдаемый при выгрузке сыпучего материала из силоса. Вследствие этого возникает необходимость проведения новых экспериментальных и теоретических исследований изменения давления в силосах с целью установления характера распределения нагрузки на стены сооружения, определения деформаций стенки отдельно от растягивающих усилий и изгибающих моментов, создания универсальной расчетной модели сооружения при помощи САПР, позволяющих качественно по-новому оценить напряженно-деформированное состояние силосной оболочки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев А. О., Панкратова Г. Е. Долговечность инженерных силосных сооружений и причины их разрушения. М. : Типография МГСУ, 2009. 178 с.
2. Тахтамышев С. Г. Опытное исследование давления зерна в силосах элеватора при Госмукзаводе в Баку // Научно-технический отчет НЦИПС, 1940.
3. Reimbert M. et A. Silos theorie et pratique // Preface de la fédération nationale des travaux publics Eyrolles, editeur. Paris, 1956.
4. Курочкин М. А. Обзор теоретических работ по давлению зерна в силосах // Давление зерна на стенки силосов и их прочность. № 15. М. : ЦИНТИ Госкомзага СССР, 1964.
5. Петров Б. А. Экспериментальное определение давления цемента на стенки железобетонных силосов : сб. науч. тр. Вып. 30. Л., 1959.
6. Janssen H. A. Versuche über Getreidedruck in Silozellen / Zeitschr. d. Vereines deutscher Ingenieure. Vol. 39. № 35. P. 1045—1049.
7. Эксплуатационная надежность элеваторов / Е. З. Болтянский, Б. М. Иванов, В. И. Карев, П. Н. Платонов, Б. А. Скориков. М. : Колос, 1976. 240 с.
8. Львин Я. Б. Давление сыпучего тела на стенку силоса // Расчет пространственных конструкций. Вып. XIII. М. : Стройиздат, 1970.
1. Kovalev A. O., Pankratova G. E. Dolgovechnost inzhenernykh silosnykh sooruzheniy i prichiny ih razrusheniya. M. : Tipografiya MGSU, 2009. 178 s.
2. Tahtamyshv S. G. Opytnoe issledovanie davleniya zerna v silosah elevatora pri Gosmykzavode v Baku // Naychno-tehnicheskij otchet NCIPS, 1940.
3. Reimbert M. et A. Silos theorie et pratique // Preface de la fédération nationale des travaux publics Eyrolles, editeur. Paris, 1956.
4. Kurochkin M. A. Obzor teoriticheskikh rabot po davleniu zerna v silosah // Davlenie zerna na stenki silosov i ih prochnost. № 15. M. : CINTI Goskomzaga, SSSR, 1964.
5. Petrov B. A. Eksperimentalnoe opredelenie davleniya cementa na stenki zhelezobetonnykh silosov : sb. nauch. tr. Vyp. 30. L., 1959.
6. Janssen H. A. Versuche über Getreidedruck in Silozellen / Zeitschr. d. Vereines deutscher Ingenieure. Vol. 39. № 35. P. 1045—1049.

7. Ekspluatatsionnaya nadezhnost elevatorov / E. Z. Boltyanskij, B. M. Ivanov, V. I. Karev, P. N. Platonov, B. A. Skorikov. M. : Kolos, 1976. 240 s.

8. Lvin Ya. B. Davlenie sypuchego tela na stenku silosa // Raschet prostranstvennyh konstrukciy. Vyp. XIII. M. : Stroyizdat, 1970.

© Маркович А. С., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Маркович А. С. Теоретические исследования давления сыпучего материала на стены силосных сооружений // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 60—65.

УДК 624.152.5

Д. М. Стешенко

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ
НА УПЛОТНЕНИЕ ИХ ГЛУБИННЫМИ ВЗРЫВАМИ (на примере Северного Кавказа)**

Описано влияние состава и структурных особенностей просадочных лессовых грунтов Северного Кавказа на выбор технологии их уплотнения глубинными взрывами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: состав и структура, просадочные грунты, глубинные взрывы.

The influence of composition and structural features collapsible loessial soils the North Caucasus on a choice of technology of their consolidation by deep explosions is described.

K e y w o r d s: composition and structure, collapsible soils, deep explosions.

На территории Северного Кавказа практически повсеместно распространены лессовые просадочные грунты. Они занимают 75...80 % площади региона, на них ведется массовое строительство зданий и сооружений различного назначения, сооружены уникальные объекты Буденновского завода пластмасс, водохозяйственные объекты оросительной системы Большого Ставропольского канала, а также ряд других крупных промышленных комплексов юга страны.

СНиП 2.02.01—83* [1] рекомендует «устранять просадочные свойства грунтов в пределах всей просадочной толщи — глубинным уплотнением грунтовыми сваями, предварительным замачиванием грунтов оснований, в том числе с глубинными взрывами, химическим или термическим закреплением» (курсив наш — Д. С.).

Многолетняя практика строительства на просадочных грунтах Северного Кавказа показала, что устранение просадочности мощных лессовых толщ возможно лишь длительным предварительным замачиванием или глубинными взрывами. Поскольку длительное многомесячное замачивание котлованов надолго задерживает строительство, слабо уплотняет грунты и требует много воды, дефицитной в степных районах, перспективным методом подготовки оснований становятся глубинные взрывы.

На территории Северного Кавказа возможно применение двух основных методов уплотнения просадочных грунтов глубинными взрывами. Первый метод уплотнения удлиненными зарядами был разработан в начале 1930-х гг. московским профессором Ю. М. Абелевым (НИИОСП им. Н. М. Герсевича) [2]. Опытнo-производственные работы этого головного института Госстроя СССР завершились составлением ценного норматива СН 33-66 [3]. В этом нормативе влияние состава лессовых грунтов учтено тем, что при увеличении числа пластичности (содержания глинистой фракции) требовалось увеличивать удельную массу зарядов ВВ на один погонный метр глубины скважины. Для супесей (типичных лессов) опытным путем установили минимальную массу заряда 250 г аммонита, а для лессовидных тяжелых суглинков и глин не менее 500 г, что в два раза больше. Фактически СН и другие рекомендации по применению указанной нормативной технологии ограничились использованием этого простейшего показателя состава лессовых грунтов.

Второй (гидровзрывной) метод был разработан киевским профессором И. М. Литвиновым в начале 1960-х гг. [4]. Уплотнение производится сосредоточенными зарядами, расположенными на глубине 0,75 просадочной толщи. Этот метод требует предварительного замачивания всей просадочной толщи через дренажные или дренажно-взрывные скважины. Согласно п. 1.5 [5], применять гидровзрывной метод целесообразно в просадочных песках, супесях, легких и средних суглинках с коэффициентом фильтрации не менее 0,2 м/сут и значением объемной массы скелета не более 1,45 г/см³. Этим пунктом Рекомендации в какой-то мере учитывают литологический состав и плотность лессового грунта, т.е. определяют область и границы применения метода фактически для *однородных* лессовых толщ.

Действующий СНиП 2.02.01—83* [1] разделяет лессовые толщи по условиям просадочности на I и II типы. Для выбора метода уплотнения глубинными взрывами такого разделения недостаточно, так как область и границы эффективного применения глубинных взрывов в большой степени определяются строением лессовых разрезов (мощностью и однородностью просадочной толщи) и литолого-структурными особенностями грунтов.

Лессовые грунты на территории Северного Кавказа имеют четко выраженную региональную зональность, которая состоит в том, что в восточных районах Ставропольского края, на границе с Прикаспийской низменностью, распространены пылеватые пески и пылеватые супеси (типичные лессы), далее на запад они сменяются сначала легкими, затем тяжелыми лессовидными суглинками и глинами. Одновременно с востока на запад снижается мощность, просадочность, пористость и засоленность пород, увеличивается их влажность.

По нашему мнению, основными факторами, определяющими эффективное уплотнение лессовых пород глубинными взрывами, является строение лессовых толщ, состав и структурные особенности просадочных грунтов. На основе изучения опубликованных и фондовых материалов на территории Северного Кавказа нами выделено четыре зоны с различными характеристиками просадочных лессовых толщ (рис.).

1 — *зона распространения пылеватых песков и типичных лессов* (восточные степные районы Северного Кавказа). Мощность лессовых толщ здесь обычно превышает 20 м, а в восточных районах Ставрополя (Буденновск, Зеленокумск, Благодарный и др.) по величине просадочной толщи и степени просадочности лессы являются уникальными не только для территории бывшего СССР, но и в мировом масштабе. Здесь распространены наиболее просадочные лессы нашей планеты. Их мощность превышает 100 м, просадочная толща составляет 50...60 м, а расчетная просадка от собственного веса, подтвержденная практикой строительства, достигает 2,0...2,5 м.

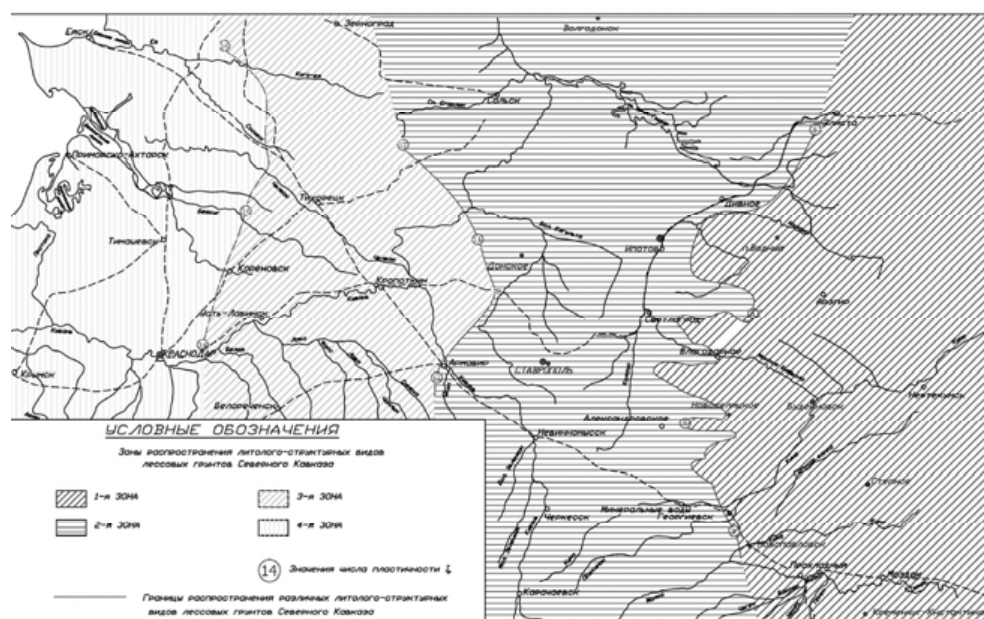
По гранулометрической классификации геологический разрез на всю глубину представлен сравнительно однородными лессами с редкими прослоями пылеватых лессовидных песков. Глинистая фракция (< 0,005 мм) не превышает 30 %, преобладает т.н. «лессовая» (0,1...0,01 мм) фракция, которая составляет 60...80 %. Лессы маловлажные ($W=5...12\%$) и малоагрегированные ($A=5...25\%$), основную массу глинистых минералов составляют гидрослюда (40...60 %) и каолинит (20...40 %), почти отсутствует (2...20 %) монтмориллонит, преобладают зернистые, карбонатные и карбонатно-

глинистые агрегаты. Верхнечетвертичная, наиболее просадочная часть разреза, отличается высокой засоленностью (до 1,1 %), в составе солей на участках с непромытым режимом часто присутствует хлористый натрий.

Лессы этого района отличаются исключительно большим недоуплотнением как за счет неводостойких коагуляционных связей (собственная просадка), так и за счет кристаллизационно-конденсационных связей различной степени водостойкости (послепросадочное доуплотнение). Относительная просадочность лессов максимальная для Северного Кавказа и достигает 10...15 %, модуль деформации при естественной влажности достаточно высокий (20...40 МПа) и резко снижается при замачивании (до 2...5 МПа).

В пределах первой зоны можно выделить районы с лессовыми толщами до 10...20 м, занимающими нижние части склонов, долины балок и покрывающими низкие террасы рек. Эти лессовые отложения обладают меньшей суммарной просадкой II типа, а иногда и не просадочны от собственного веса (I тип) из-за малой мощности.

В этой зоне при уплотнении просадочных грунтов мощностью более 5 м наиболее эффективным является гидровзрывной метод. Однако при уплотнении маломощных толщ возможно применение метода удлинённых зарядов.



Карта распространения литолого-структурных видов лессовых грунтов Северного Кавказа (составлено Б.Ф. Галай, Д.М. Стешенко)

2 — зона распространения легких лессовидных суглинков. Эту зону территориально можно разделить на два района. В первом районе залегают мощные (от 15 до 40 м) толщи легких лессовидных суглинков водоразделов северного склона Ставропольской возвышенности и Приманычских степей (Ипатово, Дивное и др.), с глубоким положением грунтовых вод, II типа просадочности (до 60 см), по глубине разреза неоднородные. Верхнечетвертичная часть разреза часто представлена лессами, по составу и свойствам приближающимся к лессам 1-й зоны, слабоагрегированным (10...20 %), с не-

большим содержанием монтмориллонита (10...25 %) и преобладанием гидрослюды (до 55 %), сильнозасоленными (до 1,4 %) и сильнопросадочными (до 10...12 %). Лессовые разрезы этого района отличаются недоуплотненностью только в верхнечетвертичной части разреза.

Во втором районе преобладают мощные (до 30...35 м и более) и неоднородные по составу лессовые отложения предгорных водоразделов, склонов и межгорных долин юго-восточной части Центрального Предкавказья (Георгиевск, Новопавловск и др.) и Восточного Предкавказья (КБР, РСО, Чеченская республика, Дагестан). По литологическому составу породы изменяются от легких лессовидных суглинков до лессовидных глин, соответственно в широком диапазоне изменяются показатели пластичности, влажности, пористости, агрегированности (15...55 %), состава глинистой фракции (монтмориллонита, например, от 10 до 70 %), засоленности (0,2...1,5 %) и просадочности (от 0 до 8 %). Такое разнообразие объясняется тем, что формирование лессовых пород происходило в нестабильных условиях осадконакопления, с добавкой местного (предгорного и горного) материала. Просадочными свойствами обладает только верхняя часть разреза, но в нижней части разреза может быть водостойкая недоуплотненность. Грунты этого района могут быть как I, так и II типа, а иногда и набухающими.

В этой зоне, как и в предыдущей, при уплотнении просадочных грунтов большой мощности наиболее эффективным является гидровзрывной метод, минимальная мощность просадочной толщи должна превышать 10 м. Для мало-мощных просадочных толщ рекомендуется применение удлиненных зарядов.

3 — зона распространения средних лессовидных суглинков ($I_p = 11...14$ %) (западные склоны Ставропольской возвышенности, центральная и восточная часть Азово-Кубанской низменности). Мощность лессовых толщ до 30 м. Максимальная мощность наблюдается на водоразделах с уменьшением в сторону речных долин и в направлении к предгорьям Кавказских гор и Азовскому морю.

Лессовидные суглинки данной зоны неслоистые, макропористые, по гранулометрическому составу представлены содержанием «лессовой» (0,1...0,01 мм) фракции — 38...50 %, глинистой ($< 0,005$ мм) фракции — 50...60 %. Плотность пород верхнего яруса при природной влажности (15...20 %) 1,74...1,84 г/см³, пористость 43...45 %, число пластичности 11...14. На территории этой зоны следует отметить некоторые районы, где эти показатели несколько отличаются. Лессовые породы в районе г. Усть-Лабинска в основном представлены легкими лессовидными супесями, в районе г. Тихорецка легкими и средними лессовидными суглинками.

При выборе метода подготовки оснований зданий и сооружений, возводимых в пределах этой зоны, необходимо учитывать высокое содержание водостойких макроагрегатов и возможность образования камуфлетных полостей после замачивания и взрывов. Поэтому при проектировании глубинных взрывов необходимо провести опытно-производственное апробирование на площадке строительства. Уплотнение грунтов удлиненными зарядами на территории этой зоны может быть основным методом подготовки оснований.

4 — зона тяжелых лессовидных суглинков и лессовидных глин Западного Предкавказья мощностью до 25 м. Эти разрезы отличаются небольшой просадочной толщиной (до 8...10 м) только при дополнительных нагрузках и не-

просадочные от собственного веса (I тип), высоким количеством глинистой фракции (до 60 %), представленной, в основном, монтмориллонитом (40...80 %). Суглинки и глины этой зоны имеют низкую засоленность (всего 0,1...0,2 %), обусловленную промывным режимом влажного климата региона, высокую степень влажности и глубокую переработку материала почвенными процессами. В разрезе выделяются мощные ископаемые почвы. Резервной пористостью для развития просадочных процессов обладает только самая верхняя часть разреза. Ниже просадочной толщи грунты находятся в нормально уплотненном и иногда переуплотненном состоянии, поэтому при длительном обводнении и без дополнительных нагрузок могут обнаружить набухание за счет разрушения слабодостойких крупных карбонатно-глинистых агрегатов.

В этой зоне тяжелые лессовидные суглинки и глины с высоким содержанием макроагрегатов являются достаточно водоустойчивыми грунтами. В этих грунтах после замачивания и взрывов не происходит оплывание скважин, а образуются камуфлетные полости, которые можно использовать для устройства грунтовых свай. При образовании камуфлетных полостей лессовые толщи следует уплотнять рассредоточенными и удлиненными зарядами, а полученные полости забивать местным грунтом шнековым способом [6].

*Типизация лессовых толщ Северного Кавказа
для выбора методов подготовки оснований глубинными взрывами*

Зона распространения литолого-структурных видов лессовых грунтов Северного Кавказа	Мощность просадочной толщи H_{sl}	Рекомендуемый метод глубинного уплотнения
1. Зона распространения типичных лессов и лессовидных песков (восточные районы Ставрополя, некоторые районы Восточного Предкавказья)	Район мощных лессовых толщ (> 20 м)	2-й метод
	Район лессовых толщ с H_{sl} до 15...20 м	2-й метод при $H_{sl} > 10$ м 1-й метод при H_{sl} до 15 м
2. Зона распространения легких лессовидных суглинков (северные склоны Ставропольской возвышенности, Приманьские степи, некоторые районы Восточного Предкавказья)	Район мощных лессовых толщ (> 20 м)	2-й метод
	Район лессовых толщ с H_{sl} до 15...20 м	2-й метод при $H_{sl} > 10$ м 1-й метод при H_{sl} до 15 м
3. Зона распространения средних лессовидных суглинков ($I_p = 11...14$) (западные склоны Ставропольской возвышенности, центральная и восточная часть Азово-Кубанской низменности)	Район лессовых толщ с H_{sl} до 10...20 м	1-й метод 2-й метод при $H_{sl} > 10$ м и только после опытного апробирования
4. Зона распространения тяжелых лессовидных суглинков и лессовидных глин (западная часть Азово-Кубанской низменности)	Район лессовых толщ с H_{sl} до 10 м	1-й метод

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.02.01—83*. Основания зданий и сооружений. М. : ГУП ЦПП, 1996. 48 с.
2. *Абелев Ю. М., Абелев М. Ю.* Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1968.
3. СН 33—66. Указания по глубинному уплотнению просадочных грунтов в основании зданий и сооружений грунтовыми сваями. М. : Госстройиздат, 1966. 27 с.
4. *Литвинов И. М.* Опыт глубинного уплотнения просадочных грунтов с применением энергии взрывов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1968. № 6. С. 25—28.
5. Рекомендации по уплотнению просадочных грунтов большой мощности гидровзрывным методом. М. : Стройиздат, 1984. С. 56.
6. *Галай Б. Ф.* Рекомендации по проектированию и устройству буронабивных грунтовых свай, изготовленных шнековым способом в просадочных и слабых грунтах. Ставрополь : СевКавГТУ, 2008. 40 с.

1. SNiP 2.02.01—83*. Osnovaniya zdaniy i soorugeniya. M. : GUP CPP, 1996, 48 s.
2. *Abelev Yu. M., Abelev M. Yu.* Osnovi proektirovaniya i stroitelstva na prosadochnik makroporistikh gruntakh. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Stroyizdat, 1968.
3. SN 33—66. Ukazaniya po glubinnomu uplotneniyu prosadochnik gruntov v osnovanii zdaniy i soorugeniya gruntovimi svayami. M. : Gosstroyizdat, 1966. 27 s.
4. *Litvinov I. M.* Obit glubinnovo uplotneniya prosadochnik gruntov s primeneniem energii vzrivov // Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov. 1968. № 6. S. 25—28.
5. Rekomendatsii po uplotneniyu prosadochnik gruntov bolshoi moshnosti gidrovzrivnim metodom. M. : Stroyizdat, 1984. S. 56.
6. *Galay B. F.* Rekomendatsii po proektirovaniu i ustroystvu buronabivnykh gruntovykh svai, izgotovlennykh shnekovum sposobom v prosadochnykh i slabyykh gruntakh. Stavropol : SevKavGTU, 2008. 40 s.

© Стешенко Д. М., 2011

Поступила в редакцию в июле 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Стешенко Д. М. Влияние состава и структуры лессовых грунтов на уплотнение их глубинными взрывами (на примере Северного Кавказа) // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 66—71.

УДК 624.152.5

Д. М. Стешенко

УПЛОТНЕНИЕ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ГЛУБИННЫМИ ВЗРЫВАМИ НА ЗАСТРОЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ В Г. БЛАГОДАРНОМ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Описано внедрение комплексной технологии уплотнения просадочных грунтов глубинными взрывами и грунтовыми сваями на территории действующего предприятия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: просадочные грунты, глубинные взрывы, грунтовые сваи.

The introduction of complex technology of collapsible soils compaction by deep explosions and soil piles in territory of the operating enterprise is described.

K e y w o r d s: collapsible soils, deep explosions, soil piles.

В г. Благодарном Ставропольского края в июле 2009 г. началось строительство крупнейшего на юге России птицеперерабатывающего комбината. На территории действующего предприятия ЗАО «Ставропольский бройлер» необходимо было построить производственное здание комбината, административно-бытовой корпус, цех технических фабrikатов, аммиачную компрессорную, насосную станцию и резервуары чистой воды. Стоимость проекта, разработанного известным бельгийским архитектором Патриком Тассе, составляла 2 млрд 100 млн р., площадь застройки комплекса возводимых сооружений составила 2,5 га.

Инженерно-геологическая характеристика площадки строительства. Площадка строительства птицеперерабатывающего комбината находится в северной промышленной зоне г. Благодарный. Исследования просадочных грунтов на площадке строительства были выполнены специалистами ООО «Инвестизыскание» (Ставрополь) в сентябре 2007 г. и специалистами ООО «Геострой-Ф» (Ростов-на-Дону) в октябре 2009 г. в процессе подготовки оснований в качестве геотехнического контроля. Материалы изысканий согласуются между собой и достаточны для проектирования оснований и фундаментов в данных грунтовых условиях.

В геоморфологическом отношении исследуемый участок приурочен к южному склону местного водораздела р. Мокрая Буйвола. Слабый уклон территории был в южном направлении, к реке Мокрая Буйвола. Поверхность участка относительно ровная. Абсолютные отметки 177,92...181,73 м (по устьям выработок). Опасные физико-геологические процессы и явления на площадке проектируемого строительства не отмечены.

Изыскатели Ставрополя и Ростова-на-Дону в основании проектируемых зданий до глубины 21,0 м выделили два основных инженерно-геологических элемента (рис. 1): 1. ИГЭ-1а. Суглинок желто-бурый, легкий, твердый, пылеватый, ненабухающий, просадочный (vdQ_{III}). Мощность слоя 9,4...10,5 м. 2. ИГЭ-1б. Суглинок желто-бурый, легкий, твердый, пылеватый, ненабухающий, просадочный (vdQ_{III}). Вскрытая мощность 10,5 м.

Грунтовые воды до разведанной глубины изыскатели не вскрыли. По фондовым данным они находятся на глубине 30...35 м.

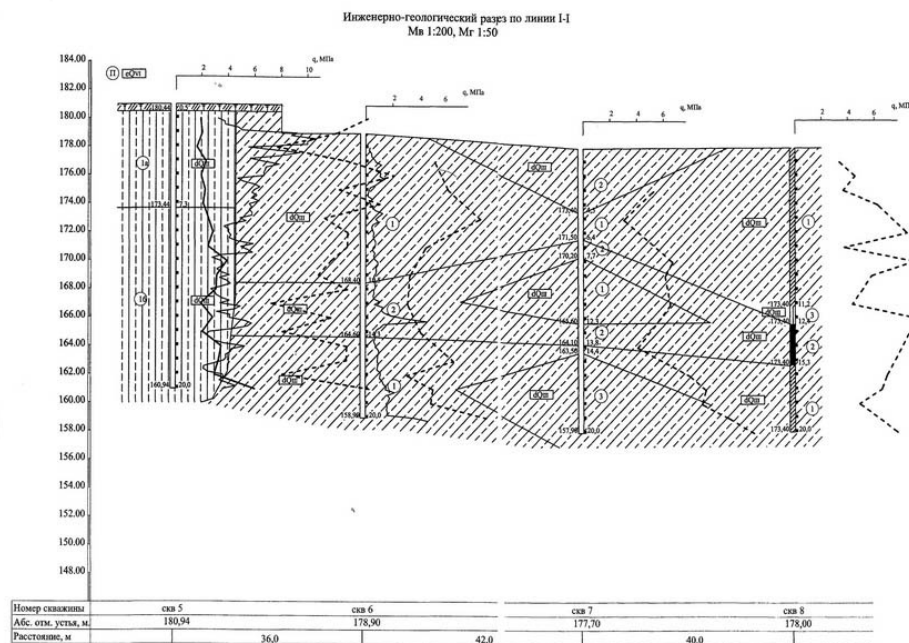


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки строительства до и после производства работ по уплотнению грунтов

Эти суглинки при замачивании проявляют просадочные свойства при нагрузках, меньших природного напряжения грунта ($P_{sl} < P_{быт}$). Расчетная просадка под действием собственного веса грунтов составляет 120 см, что характерно для лессовых толщ Восточного Ставрополя (ярко выраженный II тип грунтовых условий по просадочности).

Для суглинков ИГЭ-1а, -1б в лабораторных условиях были определены гранулометрический состав, природная влажность, плотность, пределы пластичности, просадочность, деформационные и прочностные свойства в естественном и замоченном состоянии (табл. 1), химический состав легкорастворимых солей в грунтах до и после уплотнения.

Литологический состав обоих суглинков по характеристикам пластичности практически не отличается ($I_p = 9,9$ и $10,6$ %; $W_L = 26,0$ и $27,3$ %; $W_p = 16,1$ и $16,7$ %). Более существенное различие наблюдается по значениям влажности; в нижней части толщи (ниже 10 м) влажность возрастает с $9,23$ % (ИГЭ-1а) до $15,0$ % (ИГЭ-1б).

Плотность сухого грунта (скелета) суглинков ИГЭ-1а, -1б соответственно составляет $\rho_d = 1,44$ и $1,51$ г/см³, что намного ниже нормативного значения для непросадочных грунтов $\rho_d = 1,60$ г/см³.

Угол внутреннего трения и удельное сцепление суглинков ИГЭ-1а, -1б в водонасыщенном состоянии при консолидированном сдвиге равны $\varphi_{sat} = 22,0^\circ$ и $C = 0,014$ МПа (см. табл. 1). Низкое значение сцепления просадочных суглинков в водонасыщенном состоянии объясняется главным образом исключительной слабостью структурных связей этого неводостойкого грунта. После обводнения структурная связность между частицами тонкодисперсного кварца, покрытого карбонатно-глинистыми оболочками, снижается практически до нуля, а сами грунты переходят в плавунное состояние [1].

Т а б л и ц а 1

Физико-механические характеристики грунтов

Глубина отбора, м	Природная влажность W , %			Плотность сухого грунта ρ_d			Коэффициент влажности S_r			Сцепление грунта C , МПа			Угол внутреннего трения φ , град.			Модуль деформации (компрессионный) E , МПа		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1,0	10,0	21,9	18,3	1,41	1,62	1,68	0,30	0,90	0,81	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,1	5,0	5,5
2,5	9,6	19,6	18,3	1,50	1,63	1,68	0,33	0,82	0,81	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,1	5,0	5,5
3,5	8,7	23,4	15,3	1,45	1,60	1,71	0,28	0,92	0,71	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,1	5,0	5,5
5,0	9,2	21,8	15,3	1,49	1,64	1,71	0,31	0,93	0,71	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,1	5,0	5,5
6,5	9,5	21,8	18,0	1,42	1,68	1,77	0,29	0,99	0,93	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,1	5,0	6,0
8,0	9,3	25,7	17,0	1,42	1,58	1,75	0,28	0,99	0,85	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,7	5,0	6,0
9,5	8,3	21,3	18,9	1,41	1,62	1,67	0,25	0,88	0,83	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,7	5,0	5,5
11,0	13,4	21,6	18,7	1,53	1,58	1,79	0,48	0,83	1,00	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,7	5,0	6,0
12,5	12,6	24,2	20,3	1,47	1,61	1,70	0,41	0,98	0,93	0,014	0,014	0,015	22	22	22	2,7	5,0	7,5
14,0	12,3	22,7	25,8	1,53	1,63	1,50	0,44	0,95	0,86	0,014	0,025	0,015	22	22	22	2,7	5,0	5,5
15,5	14,1	24,7	22,1	1,52	1,57	1,56	0,49	0,94	0,82	0,014	0,025	0,015	22	22	22	2,7	5,0	8,6
17,0	19,1	22,7	22,6	1,34	1,64	1,61	0,51	0,96	0,93	0,014	0,025	0,015	22	22	22	2,7	5,0	6,0
18,5	17,8	22,7	21,4	1,43	1,61	1,60	0,54	0,92	0,90	0,014	0,025	0,015	22	22	22	2,7	5,0	5,5
20,0	16,5	21,3	22,5	1,53	1,65	1,65	0,58	0,91	0,94	0,014	0,025	0,015	22	22	22	2,7	5,0	6,0

Примечание: 1 — показатели грунтов в естественном состоянии; 2 — через несколько дней после уплотнения; 3 — через год после уплотнения.

Компрессионный модуль деформации просадочных суглинков ИГЭ-1а, -1б при естественной влажности довольно высок: $E=24,0$ и $16,0$ МПа; после замачивания снижается в 12 раз и составляет $E_{\text{sat}} = 2,1$ МПа.

При оценке значений модуля деформации следует иметь в виду, что определение этого показателя представляет значительные трудности. Отбор ненарушенных образцов (монолитов) грунта из просадочных и обводненных грунтов всегда сопровождается неконтролируемым нарушением их сложения. При этом обычно грунты при задавливании грунтоноса уплотняются, за счет чего прочностные и деформационные характеристики «улучшаются».

Как известно, компрессионные испытания плохо моделируют сжатие грунта под фундаментами зданий. Полученные в лабораторных условиях значения модулей деформации корректируются переходным коэффициентом m_k , величина которого зависит от вида грунта и его пористости. К сожалению, для лессов г. Благодарного значения переходных коэффициентов непосредственно не определялись, а «общий» модуль деформации грунтов был рассчитан с учетом переходного коэффициента m_k от компрессионных испытаний к штампам по методике РостовДонТИСИЗ в зависимости от коэффициента пористости.

Для уточнения границ между слоями и определения показателей механических свойств водонасыщенных грунтов на площадке было выполнено статическое зондирование грунтов до глубины $20,0$ м установкой «ПИКА-17» с использованием зонда типа II. Зондирование велось поинтервально — при достижении предельных значений лобового сопротивления грунта прозондированный интервал разбуривался, обсаживался трубами диаметром 108 мм и зондирование выполнялось далее.

Нормативные значения лобового и бокового сопротивления грунтов конусу зонда по выделенным ИГЭ приведены в табл. 2. По данным зондирования модуль деформации просадочных суглинков ИГЭ-1а, -1б при естественной влажности равен соответственно $45,5$ и $27,2$ МПа; после замачивания и уплотнения глубинными взрывами составил $E_{\text{sat}} = 5...9$ МПа с возрастанием значений по глубине разреза.

Угол внутреннего трения ϕ маловлажных просадочных суглинков ИГЭ-1а, -1б в естественном состоянии равен, соответственно, $27,7$ и $24,6^\circ$. После уплотнения взрывами в водонасыщенном состоянии он понизился до $17,9^\circ$.

Удельное сцепление C суглинков ИГЭ-1а, -1б в естественном состоянии равно $0,050$ и $0,034$ МПа, после замачивания и уплотнения — $0,015$ МПа.

Просадочность грунтов. На всех этапах проектирования объектов птицеперерабатывающего комбината просадочность грунтов была предметом особого внимания. На основании лабораторных испытаний было установлено, что просадочными свойствами обладают грунты до разведанной глубины $21,0$ м. Характеристики просадочности определялись лабораторными методами по схеме двух кривых на образцах ненарушенного сложения. Анализ этих данных позволяет установить следующие закономерности, характерные для территории г. Благодарного:

1. Расчетная просадка толщи грунтов при замачивании под действием собственного веса изменяется от $29,7$ до $119,37$ см в зависимости от отметки рельефа и, соответственно, мощности просадочной толщи. Тип грунтовых условий по просадочности — второй.

Т а б л и ц а 2

Нормативные значения лобового и бокового сопротивления грунтов конусу зонда

№ ИГЭ	Средние значения уд. сопротивления грунта, МПа		Физико-механические характеристики грунтов по результатам статического зондирования			
	q_c	q_s	Модуль деформации E , МПа	Удельное сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения, град.	Показатель текучести I_L
1	0,88	0,030	6,2	0,016	17,9	0,46
2	0,67	0,024	4,7	0,015	17,1	0,52
1a	6,50	0,082	45,5	0,050	27,7	-0,03
1б	3,89	0,114	27,2	0,034	24,6	0,02

2. Просадочность от собственного веса по глубине разрезов возрастает до глубины 12...15 м линейно, а ниже этих отметок может как возрастать, так и снижаться.

Относительная просадочность при $P=0,3$ МПа достигает значений 0,117 д.е. и при однородном литологическом составе в основном определяется плотностью и влажностью грунтов.

В соответствии с [2] площадка строительства по совокупности факторов относится к III (сложной) категории инженерно-геологических условий, т.к. специфические (просадочные) грунты «оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, осложняют строительство и эксплуатацию объектов».

Выбор и обоснование метода уплотнения просадочных грунтов на площадке строительства птицеперерабатывающего комбината. На новой площадке были запроектированы следующие типы зданий:

а) производственный корпус — одно-двухэтажное каркасное здание сложной формы с размерами в осях 98,8×195,9 м, с максимальной высотой 13,4 м;

б) административно-бытовой корпус — трехэтажное каркасное здание с размерами в осях 69×24 м;

в) цех технических фабрикатов — одно-двухэтажное каркасное здание с размерами в осях 63,7×39 м;

г) насосная станция — одноэтажное кирпичное здание с заглублением этажа на 3 м ниже уровня земли с размерами в осях 12×12 м;

д) резервуары чистой воды с размерами в осях 12×27 м.

Для зданий а), б), в) было принято решение запроектировать монолитные столбчатые фундаменты, а для зданий г) и д) — монолитные плитные фундаменты.

Город Благодарный, наравне с соседним промышленным Буденновском, можно считать наиболее просадочными городами России, а возможно, и мира [3]. Поэтому при проектировании фундаментов данного высокоответственного объекта нам пришлось учитывать:

многочисленные деформации зданий и сооружений в указанных городах края, полное исправление которых практически невозможно или сопряжено с большими техническими трудностями и значительными финансовыми затратами;

возможность техногенного замачивания и обводнения застроенной территории и последующие аварийные деформации зданий;

возможность водоструйного суффозионного размыва даже уплотненных суглинков при случайных локальных порывах водонесущих коммуникаций. Суффозионные процессы не моделируются лабораторными испытаниями грунтов и чрезвычайно опасны для отдельно стоящих столбчатых фундаментов каркасных зданий;

возможность низкобалльных землетрясений силой до 6 баллов, воздействие которых возрастает в структурно-неустойчивых обводненных суглинках.

Кроме этих объективных факторов при выборе метода подготовки оснований пришлось учитывать: исключительно сжатые сроки строительства (один год); наличие существующих зданий, наземных и подземных коммуникаций, вплотную примыкающих к площадке нового строительства; отсутствие времени на проведение опытных работ; большие размеры производственного корпуса.

Анализ ситуации привел к выводу, что решить проблему можно, если применить новые комплексные методы, обеспечивающие выполнение работ широким фронтом. Несмотря на то, что площадка строительства располагалась на территории действующего предприятия и расстояние до некоторых строений не превышало 15 м, было принято решение запроектировать устранение просадочных свойств грунтов комплексной технологией, включающей глубинные взрывы (гидровзрывной вариант) и уплотнение буферного слоя грунтовыми сваями [4].

Технология включала следующие виды работ:

- разработку котлованов и карт-захваток для производственного корпуса;
- устройство подводящего трубопровода к площадкам;
- установку ограждения, разбивку основных габаритов зданий и мест бурения дренажно-взрывных скважин;
- бурение дренажно-взрывных скважин;
- установку зарядов аммонита 6ЖВ и игданита в скважины с выводом на поверхность основного и дублирующего детонирующих шнуров;
- засыпку дренажно-взрывных скважин дренирующим материалом (щебнем);
- установку поверхностных марок и первоначальную нивелировку площадок и окружающей территории до начала замачивания;
- замачивание просадочной толщи грунта через дренажно-взрывные скважины;
- нивелировку по поверхностным маркам после окончания замачивания перед началом взрывных работ;
- производство взрывных работ;
- нивелировку после окончания взрывных работ;
- уплотнение верхнего «буферного» слоя грунта буронабивными грунтовыми сваями, изготовленными шнековым способом;

контрольное бурение скважин с отбором монолитов для определения физико-механических свойств грунтов по всей глубине уплотненной толщи. Статическое зондирование производилось до начала работ и после их окончания.

Подлежащая уплотнению просадочная толща лессовых грунтов замачивалась через совмещенные дренажно-взрывные скважины диаметром 180 мм, пробуренные на глубину 6 м по сетке $3,5 \times 4,0$ м в шахматном порядке. Совмещение дренажных и взрывных скважин позволило выполнить буровые работы за десять дней.

После установления в скважинах зарядов взрывчатого вещества (водостойкий аммонит 6ЖВ и игданит) скважины засыпали дренажным материалом (щебнем) и производили замачивание напуском воды в карты-котлованы. Достаточное количество воды, подаваемой из трубопровода в котлованы напуском, позволило добиться равномерного замачивания толщи. Объем воды установили из расчета заполнения водой 80 % пор ($S_r=0,8$) и промачивания не более $2/3$ просадочной толщи, что составило примерно 6 м^3 на 1 м^2 уплотняемой площади. Для учета расхода воды была смонтирована установка из двух последовательно расположенных водомеров.

Продолжительность замачивания устанавливали на основании результатов предварительно проведенных инженерно-геологических исследований и расхода воды на каждую карту замачивания. В зависимости от фильтрационных свойств грунта и его мощности продолжительность замачивания составляла от 3 до 5 сут на каждый котлован при средней скорости фильтрации воды $1,2 \text{ м/сут}$. Общее количество воды, поданной в котлованы, составило $100\,000 \dots 120\,000 \text{ м}^3$.

Учитывая высокую ответственность проектируемых объектов, расстояние между центрами буровзрывных скважин было уменьшено до 4,0 м. Глубина заложения и масса зарядов были приняты согласно [5]. При таких параметрах предполагалось достигнуть плотность сухого грунта (скелета) $1,65 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$, что достаточно для ликвидации просадочных свойств грунтов и улучшения их строительных свойств. Масса зарядов изменялась в зависимости от расстояния к близлежащим сооружениям от 4 до 10 кг.

Взрывание зарядов ВВ производилось через 3 сут после полного впитывания воды в котловане и высыхания дна котлована. Перерыв между замачиванием и взрывами проводился с целью подсыхания верхнего буферного слоя, к уплотнению которого приступали сразу после выполнения взрывных работ.

Взрывы производили электрическим способом с помощью детонирующих шнуров и капсулей-детонаторов. Электрический способ взрывания позволил производить взрывы с интервалом 5 с, что значительно улучшило качество уплотнения, помогало осуществлять звуковой контроль за срабатыванием зарядов и, что очень важно, исключало резонансные явления в конструкциях существующих зданий.

Взрывы производили по схеме так, чтобы динамическое воздействие каждого последующего взрыва дополняло действие предыдущего. Сначала подрывали контурные (внешние) заряды для отрыва замоченной части основания от незамоченной части массива.

Послевзрывная просадка грунта определялась по величине осадки поверхностных марок. Для наблюдений за осадками поверхности дна котлованов были установлены 603 поверхностные марки. Большая и быстрая просадка котлована наблюдалась сразу после взрывных работ, в течение нескольких часов, и через 7 сут составила в среднем 1,5 м.

Бурение скважин с отбором монолитов до и после взрывов и статическое зондирование показало, что физико-механические характеристики грунтов, за исключением верхнего буферного слоя, увеличились, равномерно повышаясь по глубине разреза (см. табл. 1).

Контрольные изыскания, выполненные на площадке строительства через год после выполненных работ, показали дальнейшее значительное увеличение физико-механических характеристик уплотненных грунтов, наступившее за счет дополнительной их консолидации (см. табл. 1).

После выполнения взрывов в котловане буферный слой толщиной 2,0...3,0 м уплотнили грунтовыми сваями, изготовленными обратным вращением шнека. Для набивки грунтовых свай использовали местный маловлажный суглинок. Бурение скважин шнеками диаметром 180 мм и набивку грунта в скважины осуществляли тяжелыми буровыми самоходными установками на базе КАМАЗ и ЗИЛ-131. Они позволяли создавать удельное давление на забое скважин $P > 10 \text{ кгс/см}^2$.

После достижения заданной глубины шнекам давали обратное вращение, при котором происходило перемещение грунтового материала сверху вниз, к забою скважины. Одновременно сверху подавался грунтовый материал в устье скважины на буровой снаряд. Вращающиеся в обратную сторону шнеки перемещали подаваемый грунт сверху вниз, к забою скважины, где под нижним шнеком грунт уплотнялся.

По опыту работ известно, что после достижения максимальной плотности скелета $\rho_{d_{\max}}$ (1,75...1,80 г/см³) наступает момент подъема (выталкивания) колонны шнеков и бурового станка массой более 6 т. Набивку грунта производили до отказа. Одновременно с уплотнением забоя грунт задавливается и в стенки скважины, чем достигается уплотнение грунта вокруг сваи в радиусе 0,50...0,55 м.

При выполнении указанной технологии снизу вверх формировалась буронабивная грунтовая свая диаметром около 0,5 м с уплотненным вокруг нее грунтом в радиусе 0,5 м. При расстоянии между сваями 1,0 м в основании фундаментов и около них создается массив из плотного непросадочного грунта с высоким значением модуля деформации и повышенными значениями прочностных характеристик [4].

Устранение просадочных свойств грунтов сопровождалось экспериментальными исследованиями влияния сейсмического воздействия взрывов на окружающие здания и сооружения. Исследования проводились на действующих цехах с персоналом и на подземных резервуарах с водой, которые нельзя было опустошить из-за непрерывного цикла работ. Геофизики Ростовского государственного строительного университета с помощью виброизмерительного 12-канального прибора ВК-12 на базе модуля Е14-440 производства фирмы L-Card, предназначенного для приема, усиления и преобразования механических колебаний отклика элементов сооружения при динамических воздействиях, в том числе на уровне шумов (микросейсмические колебания) и передачи сигналов в цифровом виде для дальнейшей обработки в ПК, произвели измерения амплитудно-временных характеристик колебаний.

Проведенные исследования показали, что максимальные амплитуды ускорений колебаний после одиночного взрыва заряда ВВ массой 10 кг составляют 0,5 м/с². На всех графиках амплитудно-частотных характеристик наблюдается резонанс на частоте около 10 Гц. Наиболее энергетичные колебания приходятся на гармоники в диапазоне 1...20 Гц.

По результатам анализа данных, полученных в ходе эксперимента, с уверенностью можно констатировать следующее:

1. На расстоянии более 20 м от точки взрыва заряда ВВ амплитуда ускорений колебаний не превосходит 6 баллов по шкале MSK-64. Максимальная зарегистрированная амплитуда ускорений колебаний составляет 0,5 м/с².

2. При взрыве зарядов ВВ внутри замоченного котлована после образования трещин отрыва от окружающего маловлажного грунта амплитуда ускорений колебаний уменьшается в несколько раз.

3. Использование отсечной траншеи глубиной 4 м в качестве защитного антисейсмического мероприятия позволило уменьшить амплитуду ускорений колебаний взрывной волны в два раза.

Необходимо отметить, ни на одном из зданий действующего предприятия, находящимся на расстоянии, иногда не превышающем 30 м от производства работ, не было отмечено деформаций, связанных с выполнением взрывных работ, несмотря на то, что все здания комбината имели трещины и деформации, полученные при их эксплуатации. Все работы были выполнены без остановки действующего предприятия.

В течение двух месяцев комплексной технологией с глубинными взрывами было уплотнено более 600 тыс. м³ просадочных грунтов, были значительно сокращены сроки строительства и получена экономия более 15 млн руб. в текущих ценах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Осипов В. И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М. : Изд-во МГУ, 1979. 235 с.
2. СП 11-105—97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. 1. Общие правила производства работ. М. : Госстрой России, 1997. 47 с.
3. *Трофимов В. Т.* Лессовый покров Земли и его свойства. М. : Изд-во МГУ, 2001. 464 с.
4. *Галай Б. Ф.* Рекомендации по проектированию и устройству буронабивных грунтовых свай, изготовленных шнековым способом в просадочных и слабых грунтах. Ставрополь : СевКавГТУ, 2008. 40 с.
5. *Галай Б. Ф., Галай Б. Б., Стешенко Д. М.* Пособие по уплотнению просадочных лессовых грунтов глубинными взрывами в условиях Северного Кавказа (изыскания, проектирование, производство работ). Ставрополь : СевКавГТУ, 2004. 70 с.
1. *Osipov V. I.* Priroda prochnostnykh i deformatsionnykh svoystv glinistykh porod. M. : Izd-vo MGY, 1979. 235 s.
2. SP 11-105—97. Ingenerno-geologicheskie iziskaniya dlya stroitelstva. Ch. 1. Obshie pravila proizvodstva rabot. M. : Gosstroy Rossii, 1997. 47 s.
3. *Trofimov V. T.* Lessovy pokrov Zemli i ego svoistva. M. : Izd-vo MGU, 2001. 464 s.
4. *Galay B. F.* Rekomendatsii po proektirovaniu i ustroystvu buronabivnykh gruntovykh svai, izgotovlennykh shnekovum sposobom v prosadochnykh i slabykh gruntakh. Stavropol : SevKavGTU, 2008. 40 s.
5. *Galay B. F., Galay B. B., Steshenko D. M.* Posobie po uplotnriui prosadochnykh lessovykh gryntov glubinnymi vzrivami v usloviyakh Severnogo Kavkaza (iziskania, proektirovanie, proizvodstvo rabot). Stavropol : SevKavGTU, 2004. 70 s.

© Стешенко Д. М., 2011

Поступила в редакцию в июле 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Стешенко Д. М. Уплотнение просадочных грунтов глубинными взрывами на застроенной территории в г. Благодарном Ставропольского края // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 72—80.

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

УДК 625.768.5:338.312

С. В. Алексиков, Ф. В. Волченко

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СНЕГОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Выполнено исследование скоростных режимов КДМ-ЭД405 на улично-дорожной сети г. Волгограда. Установлена зависимость эксплуатационной производительности КДМ-ЭД405 от уровня загрузки УДС и длины перегона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: эксплуатационная скорость, длина перегона, уровень загрузки, улично-дорожная сеть, комбинированная дорожная машина.

The research of speed condition KDM-ED405 is executed on road network of city Volgograd. The dependence of maintenance productivity KDM-ED405 on loading level of SRV and section length is established.

Key words: mainten speed, section length, level of loading, street-road network, combined road.

В отличие от внегородских дорог общего пользования зимнее содержание городской улично-дорожной сети имеет следующие отличительные особенности:

1. В связи с ограничениями по ширине улиц (красными линиями) складирование или перекидывание снега за пределы проезжей части ввиду наличия зеленых зон, тротуаров, дорожек и т.д. проблематично, а зачастую и невозможно. В городских условиях снежная масса перемещается (сдвигается) в лоток или на ось проезжей части, где временно складывается. Образовавшийся вдоль бордюров снежный вал шириной до 2,5 м практически исключает для движения транспорта первую полосу движения, снижает эффективную ширину проезжей части. Пропускная способность городской магистрали падает, снижаются скорость и уровень безопасности движения, повышаются автотранспортные затраты.

2. Движению городского транспорта сопутствуют частые остановки, торможения и разгоны у перекрестков, светофоров и т.д. Во время снегопада и последующий период на отмеченных участках повышается риск ДТП, они требуют первоочередной снегоуборки или посыпки противогололедным материалом (ПГМ).

3. Технология зимнего содержания городских дорог предусматривает значительно больший расход химических ПГМ по сравнению с загородными

при равном количестве осадков. Выпадение снега даже малой интенсивности ввиду значительной интенсивности городского движения для предупреждения снежного наката требует применения химических реагентов.

4. Высокая загрузка УДС существенно снижает скорость движения и производительность автосамосвалов при перевозке снега к местам его складирования и комбинированных дорожных машин (КДМ) при расчистке проезжей части и распределении на ней ПГМ.

Отмеченные особенности существенно осложняют организацию зимнего содержания улично-дорожной сети, не позволяют достаточно эффективно использовать традиционные подходы к снегоуборке и применению ПГМ. Рациональная организация зимнего содержания городских дорог затруднительна без адекватной оценки эксплуатационной производительности снегоуборочной и распределяющей дорожной техники.

Производительность распределяющих машин КДМ-ЭД405 преимущественно определяется их скоростью движения. Исследования, выполненные авторами на улицах г. Волгограда в 2009—2011 гг., показали, что эксплуатационная скорость КДМ V_z зависит от длины перегона L_n и уровня его загрузки движением Z . Установлено (рис. 1), что при $Z < 0,7$ транспортная скорость движения КДМ (до места производства работ и обратно на базу ПГМ) не отличается от рабочей (при распределении противогололедного материала по проезжей части). Это объясняется высокой связанностью автомобилей в плотном транспортном потоке.

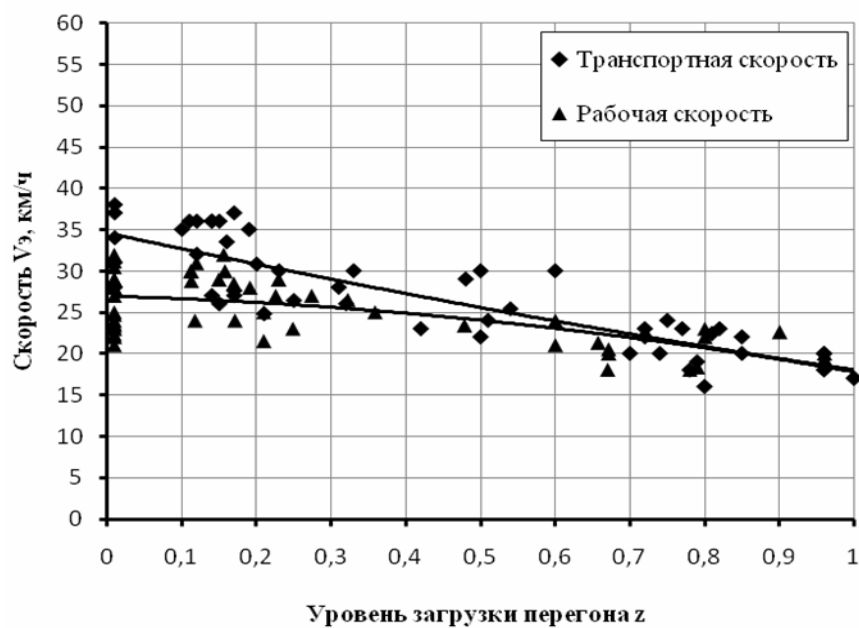


Рис. 1. Зависимость эксплуатационной скорости V_z КДМ-ЭД405 от уровня загрузки перегона Z

При $Z > 0,7$ скорость КДМ не превышает 20 км/ч (рис. 2).

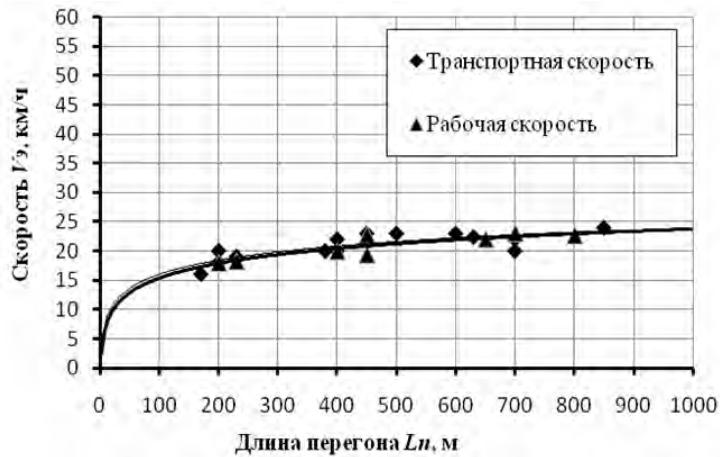


Рис. 2. Зависимость эксплуатационной скорости V , КДМ-ЭД405 от длины перегона L_n при $Z=0,7 \dots 1,0$

В общем виде зависимость эксплуатационной скорости машины от отмеченных факторов имеет вид $V_э = Cz^{\alpha_1} L_n^{\alpha_2}$, где C , α_1 , α_2 — коэффициенты, принимаемые по табл.

Значения коэффициентов уравнения

Вид рабочей операции	Значения коэффициентов			Коэффициент множественной корреляции
	α_1	α_2	C	
Транспортировка материала на объект и возврат КДМ на склад хранения ПГМ	-0,12	0,2	6,42	0,85
Распределение ПГМ на дорожное покрытие	-0,05	0,21	6,28	0,83

Влияние длины обрабатываемого участка (перегона) на скорость КДМ существенно при незначительной загрузке улиц движением (рис. 3, 4).

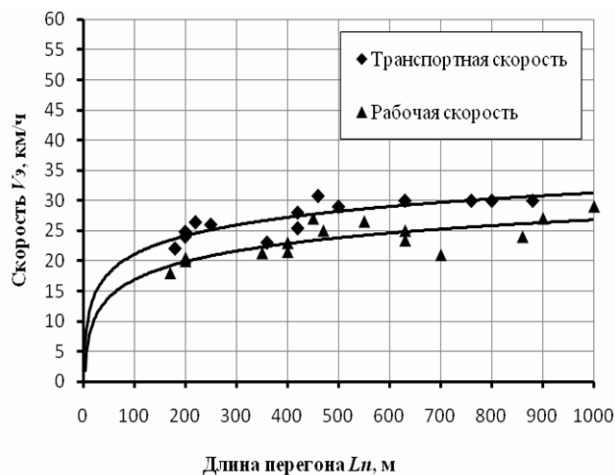


Рис. 3. Зависимость эксплуатационной скорости V , КДМ-ЭД405 от длины перегона L_n при $Z=0,2 \dots 0,7$

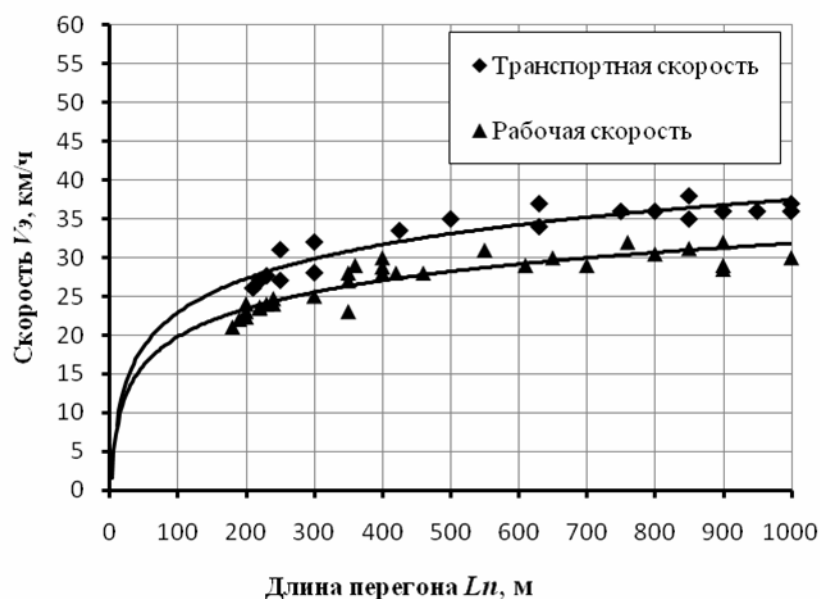


Рис. 4. Зависимость эксплуатационной скорости $V_{\text{э}}$ КДМ-ЭД405 от длины перегона $L_{\text{п}}$ при $Z=0\dots0,2$

Наряду со скоростью эксплуатационная производительность дорожных машин зависит от времени погрузки ПГМ на базе его хранения. Хронометраж работы автопогрузчиков ЕК-14 и В-138 показал, что фактическое время погрузки противогололедного материала в КДМ-ЭД405 в 2,5...5 раз меньше нормативного (рис. 5). Продолжительность погрузки распределяется по нормальному закону (рис. 6, 7). Коэффициент вариации изменяется от 0,04 до 0,08.

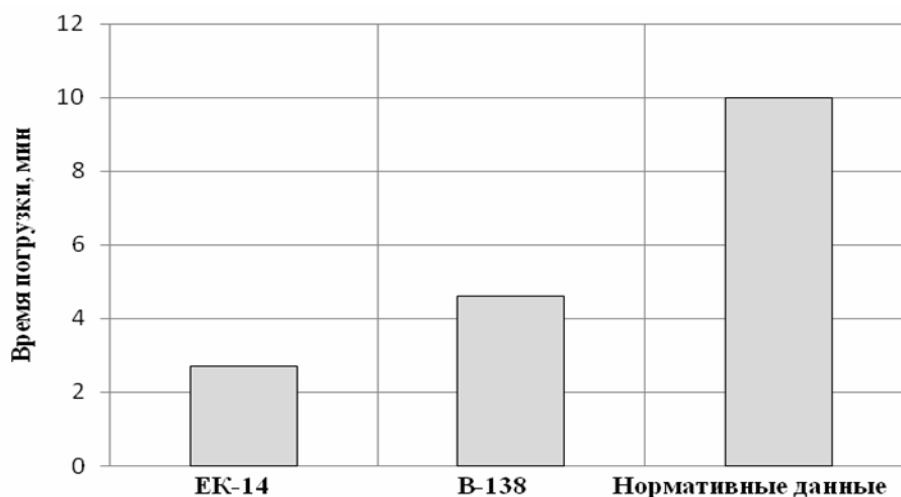


Рис. 5. Среднее время погрузки ПГМ автопогрузчиками ЕК-14 и В-138

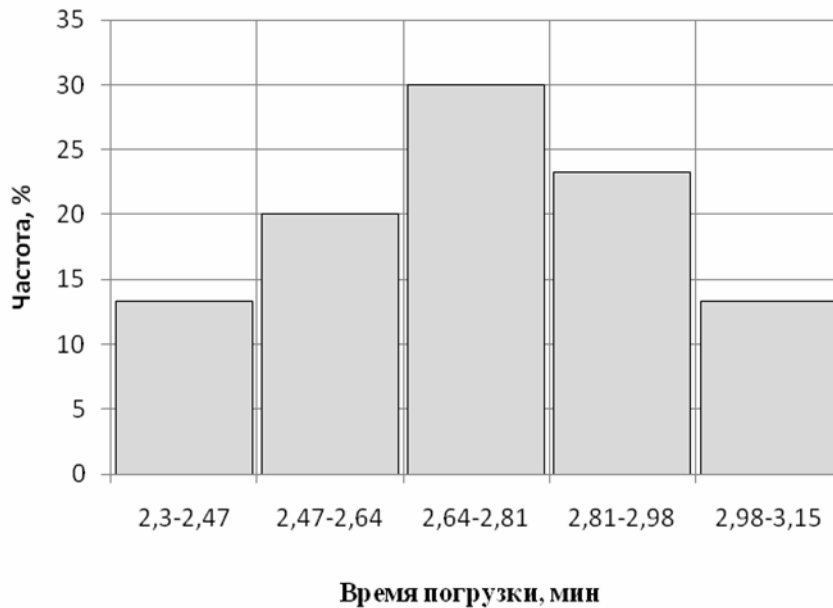


Рис. 6. Гистограмма распределения времени погрузки ПГМ автопогрузчиком В-138

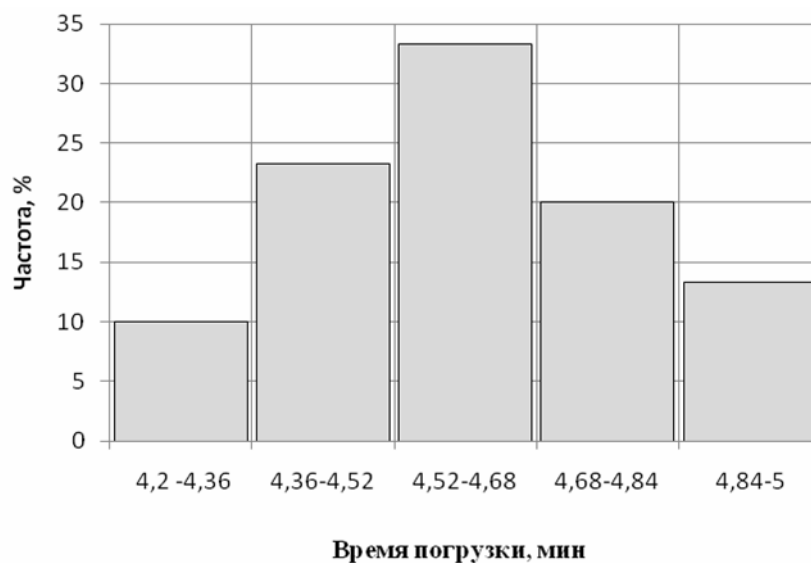


Рис. 7. Гистограмма распределения времени погрузки ПГМ автопогрузчиком ЕК-14

Установлено, что фактическая производительность КДМ-ЭД405 в городских условиях на 10...30 % ниже нормативной, существенно зависит от длины перегона и уровня загрузки улицы движением транспорта (рис. 8).

Выполненные исследования позволяют повысить обоснованность организационно-технологических решений по зимнему содержанию городских улиц и дорог, будут использованы при разработке практических рекомендаций по борьбе с зимней скользкостью на проезжей части городских дорог.

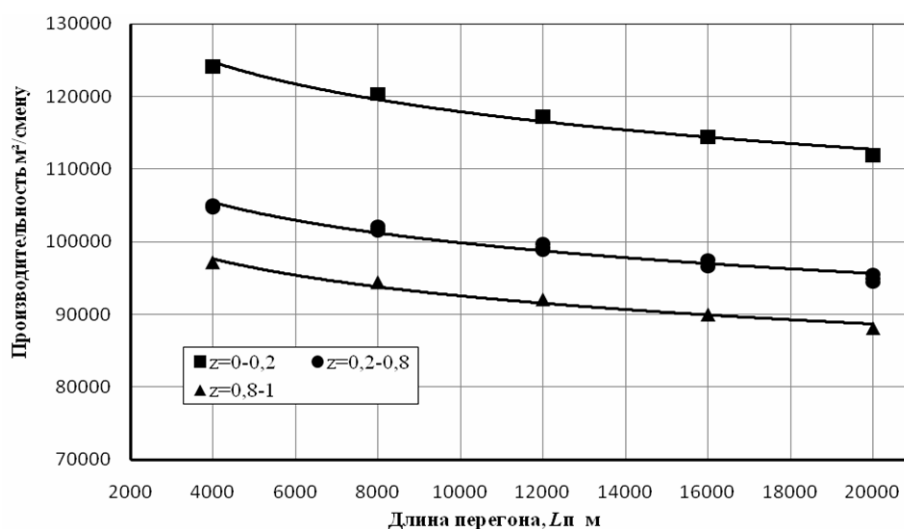


Рис. 8. Зависимость эксплуатационной производительности КДМ-ЭД405 от условий производства работ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисюк Н. В. Зимнее содержание городских дорог : учеб. пособ. М., 2006.
1. Borisuk N. V. Zimnee sodержanie gorodskikh dorog : ucheb. posob. M., 2006.

© Алексиков С. В., Волченко Ф. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Алексиков С. В., Волченко Ф. В. Оценка эксплуатационной производительности снегоуборочной техники в городских условиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 81—86.

УДК 625.855.3

С. И. Романов, А. Ю. Стадник

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ РАВЕНСТВА И ОДНОРОДНОСТИ СРЕДНИХ ВЕЛИЧИН ШЕРОХОВАТОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ГИПОТЕЗЫ О РАВЕНСТВЕ ДИСПЕРСИЙ

Приведены статистические данные результатов определения шероховатости асфальтобетонных покрытий с применением метода песчаного пятна и электроемкостного экспресс-метода. Подтверждена гипотеза о равенстве фактических измерений средним величинам шероховатости и дисперсии.

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

The statistics results of determining the roughness of asphalt concrete pavements using the method of the sandy spots and elektroreactive rapid method is described. The hypothesis of actual measurement of roughness and equality mean values is confirmed.

К e y w o r d s: roughness, hypothesis, asphalt concrete.

Неоднородность основных показателей качества дорожных покрытий существенно сокращает срок их службы [1—3]. Достаточная достоверность контроля качества больших площадей дорог базируется на применении статистической оценки [2]. При этом необходимо использовать приборы, характеризующиеся быстродействием и автоматизацией выполнения многочисленных измерений на контролируемых площадях дорог для получения достаточно точной оценки комплексного показателя качества в любых местах дорожного покрытия. Этими особенностями обладают приборы, основанные на использовании электрофизических методов косвенных измерений [4, 5], имеющие тесную корреляцию с результатами прямых измерений, отличающихся повышенной трудоемкостью и длительностью.

Комплексный показатель качества асфальтобетонного покрытия включает соблюдение состава асфальтобетонов различных типов, коэффициента уплотнения, ровности и шероховатости, стабильности нормированных свойств в определенных дорожно-климатических зонах. Состав, свойства и шероховатость асфальтобетонного покрытия взаимосвязаны. Закономерности этих взаимосвязей изучены недостаточно, методы измерений отмеченных параметров качества требуют совершенствования косвенного оперативного автоматического контроля качества в направлении быстродействия, вплоть до автоматизации, исключающей влияние человеческого фактора.

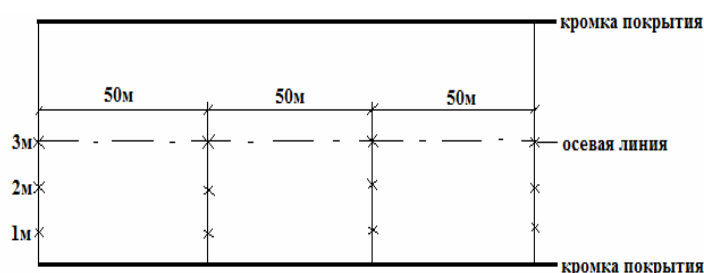
Исходя из вышеотмеченного, достаточно актуальным направлением исследования является уточненное определение влияния типа асфальтобетона дорожного покрытия на показатели шероховатости и ее однородности с разработкой методологии оперативного контроля названных показателей. Основные задачи исследования:

- теоретическое обоснование применения косвенного оперативного автоматического метода измерений шероховатости асфальтобетонных покрытий;
- экспериментальное определение показателей шероховатости на покрытиях из различных типов асфальтобетонов;
- проверка гипотез равенства и однородности средних, равенства дисперсий измеренных величин шероховатости;

анализ показателей однородности шероховатости покрытий из асфальтобетонных различных составов;

определение зависимости однородности шероховатости от производственных технологических условий.

На примере выполненных серий прямых измерений методом песчаного пятна параметров шероховатости по средней глубине впадин P и косвенных мгновенных автоматических электроемкостных измерений C на площадках дорожного покрытия, равновеликих следу расчетного автомобиля, проверим гипотезу о равенстве средних показателей P для трех створов в продольном направлении с шагом 50 м. Створы находятся на расстояниях 1, 2, 3 м от кромки покрытия (рис.). Материал покрытия представлен асфальтобетоном типа B , протяженность участка 1650 м.



Места выполненных измерений двумя методами

Затем проверим гипотезу о равенстве средних величин генеральной совокупности (102 измерения) и в створе на расстоянии 1 м от кромки (34 измерения). Если гипотеза не будет отвергнута, то можно с заданной достоверностью говорить о принадлежности измеренных показателей к данному статистическому распределению. Предварительно для покрытия данной дороги из асфальтобетона типа B определено уравнение взаимосвязи между показателями шероховатости, измеренными методом песчаного пятна P и косвенным электроемкостным методом C при использовании прибора ВИМС 2.21:

$$P = -0,7087 + 18,6681 / C; \quad r^2 = 0,87. \quad (1)$$

Среднее значение шероховатости по глубине впадин $0,188 \pm 0,006$ мм.

Проанализируем результаты измерений по створам 1 и 2 при одинаковом количестве показателей, равном 34 в каждом створе. По результатам измерений определены выборочные стандарты и $\sigma_1 = 0,035$, $\sigma_2 = 0,025$; средние $X_{1cp} = 0,193$ и $X_{2cp} = 0,184$ мм.

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{0,035^2}{34} + \frac{0,025^2}{34}} = 0,0073. \quad (2)$$

$$z = \frac{X_{1cp} - X_{2cp}}{\sigma_z} = \frac{0,009}{0,0073} = 1,23 < 1,96. \quad (3)$$

Критерий проверки $z = 1,23 < 1,96$ свидетельствует о равенстве выборочных средних измеренных величин в створах 1 и 2 при 5%-м уровне значимости. Не отвергнута гипотеза о равенстве средних при сопоставлении показателей генеральной совокупности для покрытия из асфальтобетона типа В и данных по створу 1, так как критерий $z = 0,75 < 1,96$.

Проверку гипотезы об однородности средних выполняем сопоставляя результаты измеренных показателей генеральной совокупности с групповыми выборками всех измерений в створе 1 и по группам из пяти последовательно измеренных величин в продольном направлении дороги (табл.).

Результаты измеренных показателей шероховатости

Расстояние, м	П, мм, 1 м от кромки	Расстояние, м	П, мм, 2 м от кромки	Расстояние, м	П, мм, 3 м от кромки
0	0,28	0	0,27	0	0,27
50	0,30	50	0,21	50	0,18
100	0,26	100	0,21	100	0,26
150	0,19	150	0,18	150	0,24
200	0,25	200	0,22	200	0,25
250	0,19	250	0,19	250	0,21
300	0,20	300	0,22	300	0,21
350	0,23	350	0,17	350	0,18
400	0,21	400	0,19	400	0,17
450	0,19	450	0,16	450	0,20
500	0,20	500	0,21	500	0,22
550	0,18	550	0,19	550	0,21
600	0,18	600	0,21	600	0,19
650	0,19	650	0,17	650	0,17
700	0,19	700	0,18	700	0,20
750	0,15	750	0,16	750	0,17
800	0,19	800	0,16	800	0,15
850	0,16	850	0,15	850	0,19
900	0,17	900	0,17	900	0,20
950	0,17	950	0,17	950	0,16
1000	0,16	1000	0,16	1000	0,17
1050	0,17	1050	0,16	1050	0,17
1100	0,18	1100	0,16	1100	0,16
1150	0,15	1150	0,16	1150	0,19
1200	0,18	1200	0,20	1200	0,15
1250	0,21	1250	0,17	1250	0,16
1300	0,17	1300	0,18	1300	0,15
1350	0,16	1350	0,19	1350	0,17
1400	0,17	1400	0,18	1400	0,16
1450	0,17	1450	0,19	1450	0,17
1500	0,22	1500	0,19	1500	0,19
1550	0,18	1550	0,18	1550	0,19
1600	0,18	1600	0,15	1600	0,17
1650	0,17	1650	0,20	1650	0,18
Сумма	6,55	—	6,26	—	6,41
Среднее значен.	0,193	—	0,184	—	0,189
Дисперсия	0,0012	—	0,0006	—	0,0010
Стандарт	0,035	—	0,025	—	0,031
Коэф. вариации	0,181	—	0,136	—	0,164

Использован критерий t , распределяющийся по закону Стьюдента со степенями свободы $(n - 2)$. Этот критерий позволяет проверить гипотезу об отсутствии существенного различия между общей средней и наиболее отличающейся от нее средней по группе. Критическую область составляют значения t больше определенных для распределения Стьюдента при заданном уровне значимости и $(n - 2)$ степенях свободы.

Относительное отклонение средней в группе определяем по формуле

$$Y = (X_i - X_{\text{ср}}) / \sigma = (0,193 - 0,188) / 0,031 = 0,161, \quad (4)$$

где X_i — среднее значение по группе; $X_{\text{ср}}$ — среднее значение для всей совокупности; σ — стандарт, вычисленный для всей совокупности.

Значение Y вычисляем для блока, у которого среднее больше всего отличается от общего среднего. Величину t определяем из выражения

$$t = \frac{Y \sqrt{m_i (n - 2)}}{\sqrt{n - m_i - m_i Y^2}} = \frac{0,161 \sqrt{34 (102 - 2)}}{\sqrt{102 - 34 - 34 \cdot 0,161^2}} = 1,13, \quad (5)$$

где m_i — объем выборки по группе (34); n — общее число измерений (102).

Показатель $t_1 = 1,13 < 1,96$ свидетельствует об однородности средних всей совокупности измеренных значений и значений по створу 1 для 34 измерений. Аналогичная проверка показала достаточную однородность средних по створам 2 и 3, у которых соответствующие значения величины $t_2 = 0,92 < 1,96$; $t_3 = 0,226 < 1,96$.

Для малых групп по 5 измеренных значений (1—5) $t = 6,35 > 1,96$; (6—10) $t = 2,43 > 1,96$ гипотеза об однородности средних отвергается. Это дополнительно подтверждается существенным различием средних $\Pi_{\text{ср}}$ в ведомости (см. табл.) измеренных величин с заметным снижением шероховатости по направлению хода замеров от первого к последнему. Наименьшая шероховатость зарегистрирована в зоне расстояния 1000 м от первого измерения. Причинами нарушений однородности средних у малых групп могут быть изменение состава асфальтобетонной смеси на АБЗ или ее сегрегация при погрузке в самосвал, перевозке и укладке в покрытие. Обнаруженные места значительной неоднородности средних показателей шероховатости для малых групп на дорожном покрытии свидетельствуют, по-видимому, о нестабильности технологии производства асфальтобетонных смесей или строительства покрытия на отмеченных участках, которые могут характеризоваться пониженным качеством.

Уравнение (1) предназначено для калибровки показаний электроемкостного прибора в величинах средней глубины впадин шероховатости для данного состава асфальтобетона. Удобно пользоваться соответствующей графической зависимостью для перевода электроемкостных показателей в величины показателей шероховатости. Используя график, достаточно мгновенно зарегистрировать электроемкость без последующих прямых измерений, которые находят на графике. Диагностика шероховатости, многочисленные измерения вполне оправдывают использование косвенного электроемкостного метода, показания

которого достаточно точно и очень быстро переводят в величины глубины впадин шероховатости на определенной площади покрытия.

При проверке гипотезы о равенстве дисперсий используем F -распределение со степенями свободы $(n - 1)$. Вычисленную по выборкам величину сравнивают с границей допустимых величин. Табулированы 5%-е пределы величины F в зависимости от степеней свободы. Граница критической области 1,79 для 3-го и 1-го створа $F = 0,0010 / 0,0006 = 1,67 < 1,79$ для 3-го створа и всей совокупности, $F = 0,0010 / 0,0009 = 1,11 < 1,55$.

Опытные данные не противоречат гипотезе о равенстве дисперсий и выборочных средних.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов В. А. Качество и однородность автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1989. 125 с.
2. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / под ред. А. Я. Тулаева. М. : Транспорт, 1985. 224 с.
3. Сиденко В. М., Рокас С. Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. М. : Транспорт, 1981. 252 с.
4. Кочетков А. В., Чванов А. В., Аржанухина С. П. Научные основы нормирования шероховатых поверхностей дорожных покрытий // Вестник Волгог. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2009. Вып. 14 (33). С. 80—86.
5. Романов С. И., Стадник А. Ю. Показатели шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 30—31.
1. Semenov V. A. Kachestvo i odnorodnost avtomobilnyh dorog. M. : Transport, 1989. 125 s.
2. Operatsionnyj kontrol kachestva zemljanogo polotna i dorozhnyh odezhd / pod red. A. Ja. Tulaeva. M. : Transport, 1985. 224 s.
3. Sidenko V. M., Rokas S. Ju. Upravlenie kachestvom v dorozhnom stroitelstve. M. : Transport, 1981. 252 s.
4. Kochetkov A. V., Chvanov A. V., Arzhanuhina S. P. Nauchnye osnovy normirovania sherohovatyh poverhnostey dorozhnyh pokrytij // Vestnik Volgog. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arhit. 2009. Vyp. 14 (33). S. 80—86.
5. Romanov S. I., Stadnik A. Ju. Pokazateli sherohovatosti asfaltobetonnykh dorozhnyh pokrytij // Stroitelnye materialy. 2010. № 10. S. 30—31.

© Романов С. И., Стадник А. Ю., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Романов С. И., Стадник А. Ю. Проверка гипотез равенства и однородности средних величин шероховатости асфальтобетонных покрытий и гипотезы о равенстве дисперсий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 87—91.

УДК 625.712.63

С. Г. Артёмова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ АВТОСТОЯНКИ

Рассмотрен вопрос определения радиуса влияния автостоянки на примере 5 автопарковок открытого типа в Ворошиловском районе г. Волгограда. Радиус влияния (обслуживания) позволяет определить зону городской территории, на которой автостоянка может обеспечить автовладельцев парковочными местами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: радиус влияния (обслуживания) автостоянки.

The question of affected of parking range by the example of 5 open parking in the Voroshilovsk district of Volgograd is described. The range is determined urban zone, where the parking is provided owners by parking places.

К e y w o r d s: parking range.

Проблема парковки автомобилей в городах — одна из важнейших проблем, стоящих перед дорожниками в настоящее время. Быстрый рост уровня автомобилизации привел к тому, что автомобили захватили и продолжают захватывать значительные территории российских городов. Улично-дорожная сеть, и без того перегруженная движением транспортных потоков, теряет свою пропускную способность из-за большого числа паркующихся на ней автомобилей. Дворовые территории переполнены стоящими транспортными средствами, которые блокируют доступ автомобилям скорой медицинской помощи, пожарным, автомобилям вневедомственной охраны и т.п. Да и просто пройти к жилому подъезду зачастую не возможно, не задев стоящий автомобиль.

Существующие автостоянки могут предложить парковочные места автовладельцам, проживающим в пределах определенной «зоны влияния» этой стоянки, которая находится в прямой связи с расстоянием комфортного доступа к этой автостоянке. Под расстоянием комфортного (или оптимального) доступа понимается расстояние от автостоянки до дома автовладельца, которое он считает для себя максимально удобным. Без учета территориального местоположения относительно существующей жилой застройки открытие новых или увеличение территории существующих автостоянок зачастую приводит к тому, что автовладельцы предпочитают парковать свои машины во дворах, а автостоянки остаются полупустыми.

В настоящее время нет достаточного количества исследований определения величины зоны влияния (обслуживания) автостоянок, которая является одной из важнейших составляющих при принятии решения о строительстве новой или увеличении парковочных мест существующей автостоянки.

С целью установления максимального и оптимального радиусов влияния автостоянки в Ворошиловском районе г. Волгограда были проведены исследования по пяти автостоянкам открытого типа с числом парковочных машино-мест: № 1 — 150; № 2 — 80; № 3 — 75; № 4 — 70 и № 5 — 45. По данным, предоставленным владельцами пяти обследуемых автостоянок, были установлены адреса 225 автовладельцев, оплачивающих парковку по абонементу в течение определенного времени. То есть эти автовладельцы уже определились со своим выбором и их устраивает расстояние, которое они проходят ежедневно от подъезда своего дома до автостоянки и обратно.

Так как путь автовладельцев от автостоянки до дома проходит не по прямой, было проведено исследование, которое позволило определить коэффициент непрямолинейности K_n этого пути. Фактическая длина пути определялась с использованием курвиметра по известному маршруту отдельного автовладельца. Используя спутниковую карту выбранного района, были установлены расстояния по воздушной линии $L_{вл}$ для каждого из 225 маршрутов автостоянка — дом автовладельца. Коэффициент непрямолинейности пути (табл. 1) для автовладельцев, пользующихся автостоянкой, рассчитывался по формуле

$$K_n = L_{\phi} / L_{вл}, \quad (1)$$

где L_{ϕ} — суммарное фактическое расстояние.

Т а б л и ц а 1

Определение коэффициента непрямолинейности пути

Номер автостоянки, вместимость машиномест	Число абонементов	L_{ϕ} , м	$L_{вл}$, м	K_n
1, 150	59	20355	15695	1,297
2, 75	39	11185	8898	1,257
3, 45	26	9967	7155	1,393
4, 80	44	18180	13845	1,313
5, 70	57	9965	7810	1,276
Среднее значение K_n				1,31

В результате были получены близкие по значению величины. В среднем коэффициент непрямолинейности пути для данных условий составил 1,31.

Исследования скоростей движения пешеходов, проведенные ранее [1, 2] для тротуаров и пешеходных переходов, не вполне соответствуют специфике движения по застроенной территории, где пешеходные пути проходят не только по тротуарам и пешеходным дорожкам, имеющим твердое покрытие, но и по открытому грунту с естественными неровностями, что влияет на величину скорости сообщения в разные периоды года. В рамках данной работы было проведено исследование скоростей движения автовладельцев от стоянки до дома по застроенной территории. Средняя скорость движения автовладельцев при снеге в зимний период составила 1,18 м/с (4,25 км/ч), в дождь осенью — 1,20 м/с (4,32 км/ч), в летний период эта скорость равнялась 1,30 м/с (4,68 км/ч). Возраст обследуемых обоих полов находился в диапазоне от 20 до 65 лет. Таким образом, для дальнейших расчетов можно принять усредненную для всех сезонов года скорость движения автовладельцев к своим домам V_{ϕ} , равную 1,23 м/с (4,43 км/ч).

После обработки данных, полученных в результате опроса водителей, оплачивающих парковку своего автомобиля по абонементу на пяти исследуемых парковках (табл. 2), была построена кумулятивная кривая удаленности домов автовладельцев от соответствующей автостоянки (рис. 1).

Т а б л и ц а 2

Удаленность автостоянки от домов автовладельцев, имеющих абонементы

Расстояние от автостоянки до дома автовладельца, м	0...100	100...200	200...300	300...400	400...500	500...600	600...700	700...800	800...900	900...1000	1000...1100	1100...1200
Частость, %	1,1	15,1	20,5	14,1	12,4	10,8	9,7	7,0	4,9	2,7	1,1	0,6
Накопленная частость, %	1,1	16,2	36,7	50,8	63,2	74,0	83,7	90,7	95,6	98,3	99,4	100

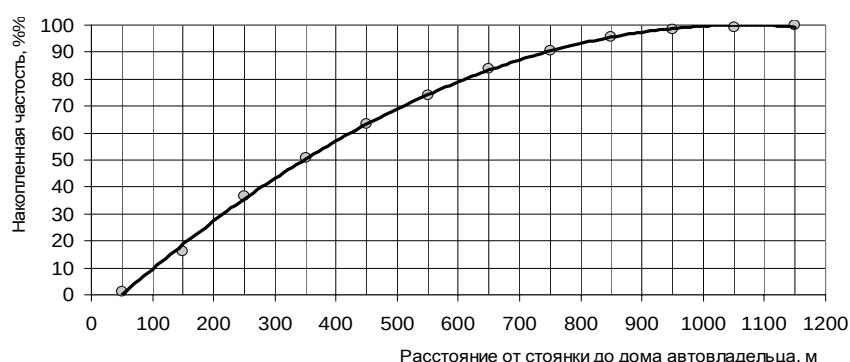


Рис. 1. Кумулятивная кривая удаления домов автовладельцев от автостоянки

По кривой накопленных частостей были установлены расстояния L_{ϕ} различной обеспеченности до домов автовладельцев, предпочитающих пользоваться одной из обследуемых автопарковок (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Удаленность домов автовладельцев от автостоянки

Обеспеченность, %	Расстояние L_{ϕ} , м
50	350
90	750
95	850

С целью установления предельных расстояний, на которые автовладельцы готовы парковать свои автомобили, был проведен опрос по разработанным автором анкетам. Так как оказалось, что время в пути опрашиваемые смогли оценить более точно, чем расстояние, то за основу были приняты максимальные периоды времени, которые автовладельцы считают предельно допустимыми для себя по пути домой. Используя среднюю скорость, полученную выше ($V_a = 1,23$ м/с), были рассчитаны предельно допустимые расстояния от автостоянки до домов автовладельцев $L_p^{\max}$. Но, как было сказано выше, путь между автостоянкой и домом автовладельца проходит не по прямой линии, поэтому максимальное удаление автостоянки от дома (по оценкам автовладельцев) по воздушной линии было рассчитано по формуле

$$L_{\text{оц}}^{\text{max}} = L_{\text{р}}^{\text{max}} / K_{\text{н}}. \quad (2)$$

После обработки данных опроса автовладельцев (табл. 4), была построена кумулятивная кривая расстояний от дома до условной автостоянки $L_{\text{оц}}^{\text{max}}$, которые они считают предельно допустимыми для себя (рис. 2).

Т а б л и ц а 4

Данные опроса автовладельцев по максимально допустимому удалению автостоянки

Максимально допустимое удаление автостоянки, м	0...200	200...400	400...600	600...800	800...1000	1000...1200	1200...1400	1400...1600	1600...1800	1800...2000
Частость, %	0	1,3	7,7	16,7	33,3	26,9	6,4	3,8	2,6	1,3
Накопленная частость, %%	0	1,3	9,0	25,7	59,0	86,9	92,3	96,1	98,7	100

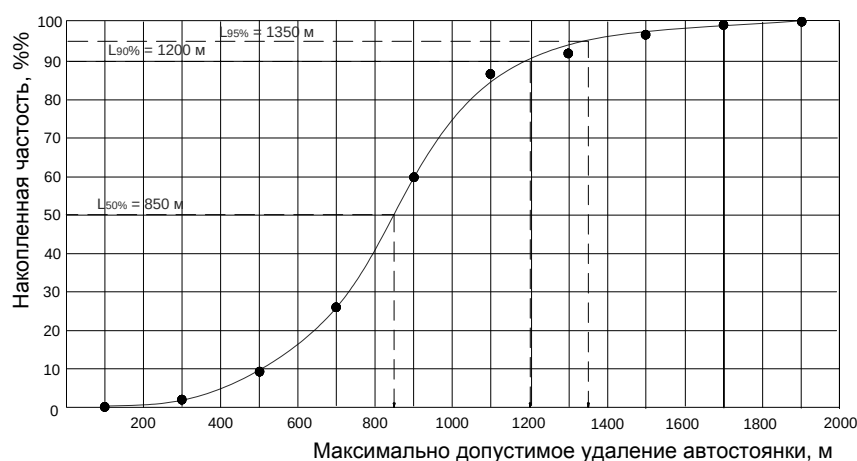


Рис. 2. Кумулятивная кривая максимально допустимой удаленности домов автовладельцев от автостоянки (по данным опроса)

Таким образом, можно рекомендовать полученные максимальные радиусы влияния автостоянок $R_{\text{А}}^{\text{max}}$ в соответствии с табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Радиусы влияния автостоянки

Обеспеченность, %	Радиус влияния автостоянки $R_{\text{А}}^{\text{max}}$, м	
	Для существующих условий	Для условий нового строительства
50	350	850
90	750	1200
95	845	1350

В ходе опроса было установлено, что более 90 % опрошиваемых оптимальными для себя считают расстояния до 200 м, а время в пути домой до 10 мин. Но при средней скорости движения 1,23 м/с за 10 мин автовладелец может пройти расстояние 738 м, что более чем в 3,5 раза превышает 200 м.

Расстояние 738 м по непрямолинейной траектории с учетом полученного коэффициента непрямолинейности K_n будет равняться 565 м (по воздушной линии), на основе чего величиной оптимального для автовладельцев радиуса влияния автостоянки $R_A^{\text{опт}}$ можно считать 565 м, что поддерживает около 75 % опрошенных автовладельцев (рис. 1).

На основе проведенных исследований можно утверждать с определенной степенью достоверности, что автовладельцы, проживающие в зоне, полученной по радиусу $R_A^{\text{опт}}$, будут обеспечены парковочными местами с оптимальными расстояниями доступа (рис. 3). Автовладельцы, проживающие в кольцевой зоне $R_A^{\text{max}} - R_A^{\text{опт}}$, будут обеспечены парковочными местами с дальностью доступа, превышающей оптимальное значение, а следовательно, они могут рассматривать альтернативные решения парковки своего автомобиля (гараж, дворовая территория и др.).

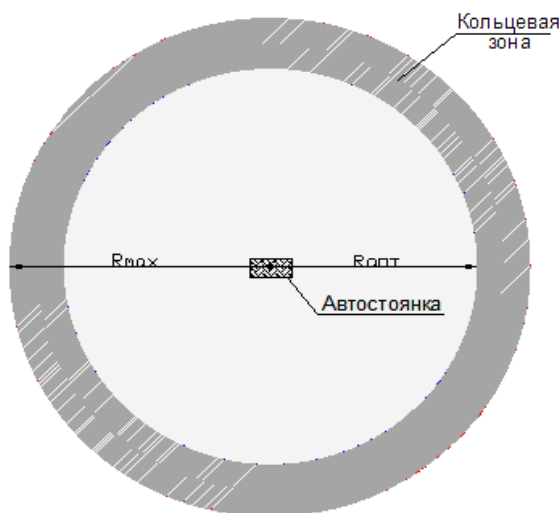


Рис. 3. Зоны влияния автостоянки по оптимальному и максимальному радиусам

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровский Б. Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Л. : Лениздат, 1984. 304 с.
2. Клиновштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения : учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 2001. 247 с.
1. Borovsky B. E. Bezopasnost dvizheniya avtomobilnogo transporta. L. : Lenizdat, 1984. 304 s.
2. Klinkovshtein G. I., Afanasyev M. B. Organizaciya dorozhnogo dvizheniya : ucheb. dlya vuzov. 5-e izd., pererab. i dop. M. : Transport, 2001. 247 s.

© Артёмова С. Г., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования: Артёмова С. Г. Определение зоны влияния автостоянки // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 92—96.

УДК 625.032

Е. В. Углова, В. В. Мизонов, А. Н. Тиратуриян

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

Предлагается осуществлять оценку состояния элементов дорожной одежды на стадии эксплуатации усовершенствованным методом спектрального анализа волновых полей. Вывод о состоянии конструктивных элементов дорожной одежды рекомендуется делать на основе форм амплитудно-частотных характеристик ускорения точек поверхности покрытия дорожной одежды и экспериментальной формы чаши динамических прогибов дорожной конструкции, зарегистрированных при ударном нагружении.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ударное нагружение, амплитудно-частотная характеристика, чаша динамических прогибов.

The estimation of state elements of pavement surfacing at a maintenance stage an advanced method of the spectral analysis wave fields is carried out. The conclusion about the state of constructive elements of pavement surfacing is based on forms of the amplitude-frequency characteristics of acceleration of points of the paving surface of pavement surface and the experimental form of pot of dynamic deflection of the road construction registered at shock loading.

K e y w o r d s: shock loading, amplitude-frequency characteristic, pot of dynamic deflection.

Проблема повышения долговечности дорожных конструкций неразрывно связана с внедрением в отечественную практику современных методов неразрушающего контроля состояния элементов дорожной одежды. На данный момент эти методы в отечественной практике диагностики полностью отсутствуют, в то время как необходимость в них чрезвычайно высока и в первую очередь связана с вопросами выбора рациональных ремонтных мероприятий на эксплуатируемых автомобильных дорогах.

На данный момент состояние дорожной конструкции на стадии эксплуатации оценивается по показателю общего модуля упругости дорожной конструкции. Применение этого показателя позволяет оценить несущую способность дорожной эксплуатируемой дорожной одежды в целом, но не позволяет выявить наиболее ослабленный в ходе эксплуатации элемент дорожной конструкции.

Для оценки состояния жестких дорожных одежд широкое распространение за рубежом получили установки динамического нагружения типа FWD, позволяющие производить регистрацию чаши динамических прогибов поверхности дорожной конструкции [1]. Установки, применяемые в отечественной практике, такие как УДН-НК, Дина-3М, позволяют только зарегистрировать упругий прогиб непосредственно в точке нагружения.

Для оценки состояния жестких дорожных одежд в ДорТрансНИИ РГСУ был разработан мобильный виброизмерительный комплекс, состоящий из многоканального АЦП, четырех датчиков пьезокерамических виброакселерометров и ноутбука. Динамическое нагружение дорожной одежды осуществляется малогабаритной установкой динамического нагружения с грузом массой 36 кг. В ДорТрансНИИ РГСУ была разработана методика проведения оценки состояния дорожной конструкции с использованием мобильного виброизмерительного комплекса [2]. Предложен комплекс параметров, по которым предлагалось оценивать состояние дорожной конструкции, в частности экстремумы амплитудно-

частотных характеристик точек поверхности дорожной конструкции, декременты затухания волнового поля по максимальным значениям перемещений и ускорений в контрольных точках, интегральные оценки сигналов откликов по частоте и амплитуде ускорений. Однако следует отметить, что помимо вышеприведенных параметров большое значение имеет также анализ форм амплитудно-частотных характеристик ускорений и чаш динамических прогибов дорожной конструкции, так как именно эти параметры являются своеобразными индикаторами состояния элементов дорожной конструкции.

Для обоснования выбора точек установки датчиков-акселерометров, позволяющих регистрировать данные параметры, были выявлены следующие закономерности влияния конструкции дорожной одежды на характер трансформации волнового поля, прошедшего в слоистой структуре от места ударного воздействия до места регистрации отклика дорожной одежды.

Относительно высокочастотные колебания (150...300 Гц) в ближней к точке удара зоне (0...0,5 м) включают волны, отраженные от нижней границы асфальтобетонных слоев. Средний диапазон частот (50...150 Гц) включает волны, отраженные от нижней границы основания. Наиболее энергетичны эти волны на расстоянии 0,5...1,25 м. Самые же низкочастотные колебания определяют состояние грунта земляного полотна и нижележащего геологического массива. Наиболее энергетичны эти волны на расстоянии свыше 1,5 м от источника возмущений.

Также были установлены следующие закономерности формирования чаши максимальных динамических прогибов дорожной конструкции при ударном воздействии:

уменьшение модуля упругости асфальтобетонного покрытия приводит к существенным изменениям характеристик чаши максимальных динамических прогибов в ближней к месту удара зоне (до 0,25 м);

уменьшение модуля упругости основания проявляется в изменении чаши максимальных динамических прогибов в зоне 0,75...1,25 м;

уменьшение модуля упругости грунта земляного полотна влияет на изменение формы чаш максимальных амплитуд вертикальных перемещений на расстоянии свыше 1,25 м от точки ударного воздействия.

Эти закономерности определяют критерии размещения датчиков на поверхности конструкции — не менее 4 датчиков на расстоянии 0,25; 0,75; 1,25; 2,5 м от точки воздействия (рис. 1).

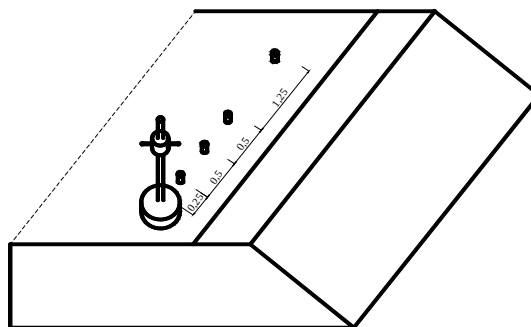


Рис. 1. Схема регистрации чаш максимальных динамических прогибов

В ходе полевых испытаний виброакселерометрами осуществляется регистрация амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) ускорения точек покрытия дорожной конструкции. В результате быстрого преобразования Фурье амплитудно-временной зависимости ускорений $\vec{A}(t)$ возможно получить спектральную плотность сигнала, или амплитудно-частотную характеристику ускорений $\vec{A}(\omega)$, [3] (рис. 2):

$$\vec{A}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{A}(t) \exp(-i\omega t) dt. \quad (1)$$

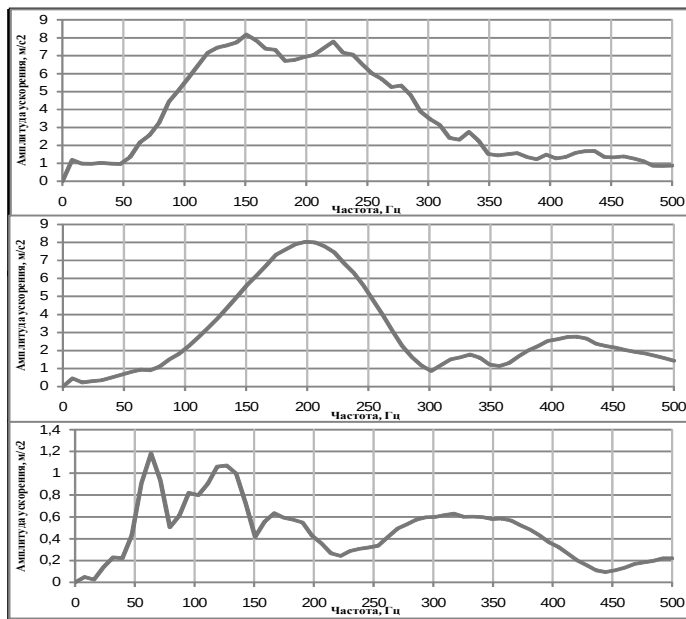


Рис. 2. АЧХ ускорений, зарегистрированные на расстоянии 0,25; 0,75; 2,5 м от точки ударного воздействия

С целью определения амплитудно-временной зависимости перемещений рабочего интервала производится следующие процедуры:

1. Вычисление амплитудно-частотной характеристики перемещений. Эта операция производится путем деления амплитудно-частотной характеристики ускорений на квадраты значений соответствующих циклических частот:

$$\vec{U}(\omega) = \vec{A}(\omega) / \omega^2. \quad (2)$$

2. Применение к амплитудно-частотной характеристике перемещений функции обратного преобразования Фурье. В результате этой процедуры рассчитывается амплитудно-временная зависимость перемещений рабочего интервала $\vec{U}(t)$.

Амплитудно-временная зависимость перемещений, регистрируемая по каждому датчику, позволяет построить чашу динамических прогибов поверхности дорожной конструкции на удалении от точки нагружения до 2,5 м (рис. 3).

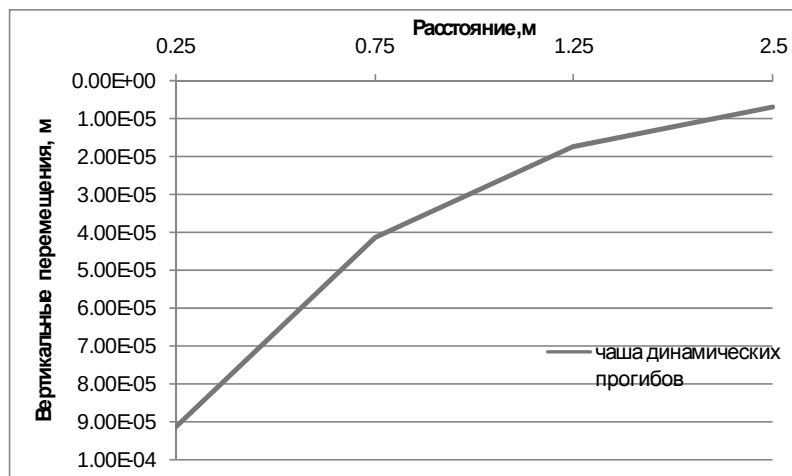


Рис. 3. Экспериментальная чаша динамических прогибов дорожной конструкции

Комплекс проведенных экспериментальных исследований показал информативность амплитудно-частотных характеристик ускорения и форм чаш максимальных динамических прогибов.

Амплитудно-частотная характеристика ускорения в зависимости от состояния элементов дорожной конструкции (покрытия, основания, земляного полотна) может быть различной формы:

- с одним выраженным экстремумом на определенной частоте (нормальная форма);
- с двумя частотными экстремумами амплитуд колебаний (двугорбая форма);
- с несколькими частотными экстремумами амплитуд колебаний (зубчатая форма).

Нормальная форма АЧХ ускорения свидетельствует об отсутствии разрушений в дорожном покрытии и о способности дорожной конструкции воспринимать динамическую нагрузку. Двугорбая форма АЧХ указывает на ослабление дорожного покрытия и повышенную нагрузку на слои основания и грунта земляного полотна. Зубчатая форма АЧХ свидетельствует о значительных разрушениях в дорожной конструкции.

Форма чаши динамических прогибов поверхности дорожной конструкции также позволяет оценить состояние элементов дорожной одежды (покрытия, основания). При ослаблении прочности слоев покрытия наименее интенсивное затухание вертикальных перемещений наблюдается в ближней зоне (0,25...0,75 м). При ослаблении прочности слоев основания наименее интенсивное затухание колебаний происходит на расстоянии 0,75...1,25 м. Аномальное строение чаши динамических прогибов (когда нарушается плавность чаши, т.е. с увеличением расстояния от точки удара наблюдается увеличение амплитуд вертикальных перемещений) свидетельствует о нарушении монолитности дорожного покрытия и о наличии сквозных трещин и существенных разрушений в дорожной конструкции.

Экспериментальные исследования состояния эксплуатируемой дорожной конструкции проводились на участке км 47 автомобильной дороги Ростов-на-Дону — Волгодонск. На данном участке были зарегистрированы АЧХ ускорения и чаша динамических прогибов, представленные на рис. 4 и 5.

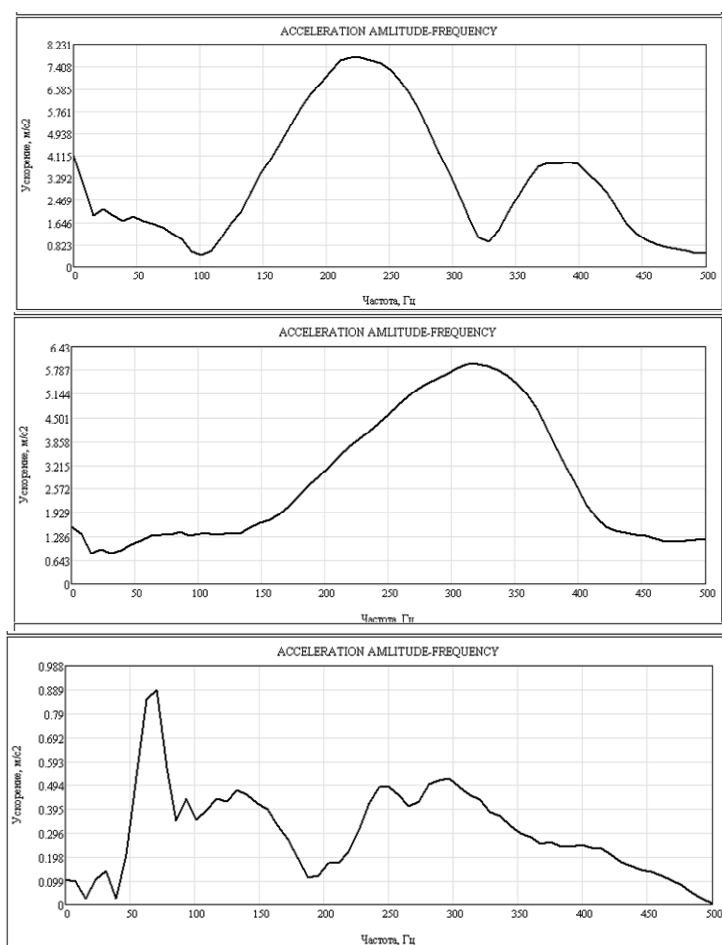


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики точек поверхности дорожной конструкции, зарегистрированные на расстоянии 0,25; 0,75; 2,5 м от точки ударного воздействия

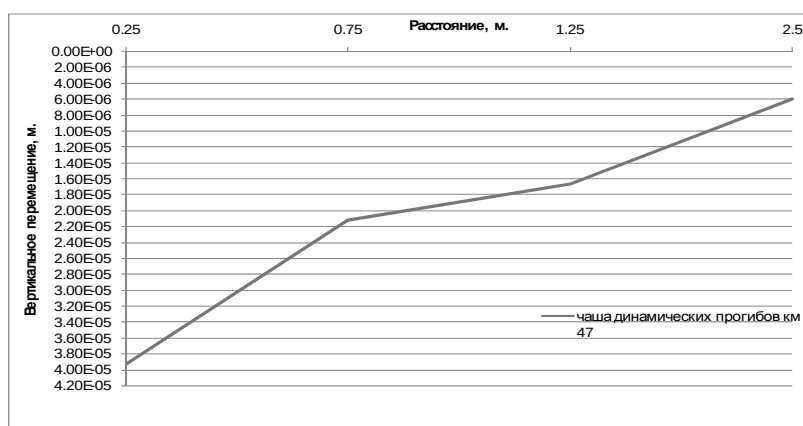


Рис. 5. Экспериментальная чаша динамических прогибов поверхности дорожной конструкции на участке км 47 трассы Ростов-на-Дону — Волгодонск

Форма АЧХ точек поверхности дорожной конструкции, зарегистрированная на расстоянии 0,25 м, имеет нормальную форму с выраженным частотным экстремумом на частоте порядка 220...240 Гц, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии слоев покрытия дорожной конструкции. Наличие смещения частотного максимума в область 300...350 Гц, зарегистрированное на расстоянии 0,75 м от точки ударного воздействия, свидетельствует о снижении несущей способности слоя основания дорожной одежды. Четко выраженный низкочастотный максимум, зарегистрированный на расстоянии 2,5 м от точки ударного воздействия, позволяет сделать вывод о достаточной несущей способности грунта земляного полотна дорожной конструкции. О снижении несущей способности слоя основания дорожной одежды свидетельствует наличие нарушения плавности чаши динамических прогибов поверхности дорожной конструкции, зарегистрированное на расстоянии 1,25 м от точки ударного воздействия.

Результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, подтверждаются результатами лабораторных испытаний проб материала дорожной конструкции, отобранных на данном участке.

Выводы. 1. Установлены закономерности влияния конструкции дорожной одежды на характер трансформации волнового поля, прошедшего в слоистой структуре от места ударного воздействия до места регистрации отклика дорожной одежды.

2. Исследованы закономерности формирования чаши максимальных динамических прогибов дорожной конструкции при ударном воздействии по поверхности дорожной одежды.

3. Разработан усовершенствованный способ спектрального анализа волновых полей, позволяющий производить оценку состояния элементов нежесткой дорожной одежды на стадии эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer measurements U.S. Department of transportation / Federal Highway Administration, 2006.
2. Илиополов С. К., Селезнев М. Г., Углова Е. В. Динамика дорожных конструкций. Ростов н/Д : Ростовский гос. строит. ун-т, 2002. 258 с.
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб. : ПИТЕР, 2003. 604 с.

1. Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer measurements U.S. Department of transportation / Federal Highway Administration, 2006.

2. Iliopolov S. K., Seleznev M. G., Uglova E. V. Dinamika dorozhnyh konstrukcij. Rostov n/D : Rostovskij gos. stroit. un-t, 2002. 258 s.

3. Sergienko A. B. Cifrovaja obrabotka signalov. SPb. : PITER, 2003. 604 s.

© Углова Е. В., Мизонов В. В., Тиратуриян А. Н., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Углова Е. В., Мизонов В. В., Тиратуриян А. Н. Оценка эксплуатационного состояния элементов дорожной конструкции усовершенствованным методом спектрального анализа волновых полей // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 97—102.

УДК 691.168

Е. В. Углова, Б. В. Бессчетнов

ДЛИТЕЛЬНАЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрены основные факторы, влияющие на длительную трещиностойкость асфальтобетона в покрытии. Предложен показатель длительной трещиностойкости и расчетно-экспериментальный метод определения минимального количества циклов нагружения асфальтобетона до образования трещины с учетом климатических факторов и транспортной нагрузки. Приведены результаты сравнительного анализа длительной трещиностойкости различных асфальтобетонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: погодно-климатические факторы, динамическое воздействие, показатель длительной трещиностойкости, оценка длительной трещиностойкости асфальтобетонов.

The main influence factors on the long-term cracking resistance of asphaltic concrete pavement are reviewed. The indicator of long-term cracking resistance and calculating experimental method of minimum quantity defining of cycles of asphaltic concrete stressing till crack formation in compliance with climatic conditions and traffic load is offered. The results of the comparative analysis of long-term cracking resistance of different asphalt concrete are described.

К е у w o r d s: weather-climatic factors, dynamic influence, indicator of long-term cracking resistance, estimation long-term cracking resistance of different asphalt concrete.

В настоящее время в России наиболее распространенными среди усовершенствованных типов покрытий автомобильных дорог являются асфальтобетонные, фактические сроки службы которых зачастую ниже нормативных. Одной из основных причин преждевременного разрушения асфальтобетона в покрытии является образование трещин в процессе эксплуатации дорог.

Согласно техническим условиям, действующим в настоящее время, трещиностойкость асфальтобетона из горячих смесей оценивают по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин для асфальтобетонов. При использовании показателя прочности на растяжение при расколе выявляются следующие недостатки:

образование трещин на покрытии связано не только с прочностью асфальтобетона на растяжение при расколе, но и с величиной растягивающих напряжений в асфальтобетоне при эксплуатации, которые не учитываются;

испытание асфальтобетона проводится при температуре и скорости деформирования, не характерных для его работы в условиях зимнего периода;

при использовании этого показателя не учитываются реологические свойства асфальтобетона;

с помощью этого показателя невозможно определить влияние климатических факторов на трещиностойкость материала в процессе эксплуатации.

Исследователи Ю. Е. Никольский, А. О. Салль, Л. С. Губач, И. П. Шульгинский установили, что трещиностойкость асфальтобетонного покрытия существенно зависит от способности асфальтобетона служить в области обратимых деформаций, от его жесткости, которая характеризуется значениями модуля упругости и прочностью асфальтобетона на растяжение при расколе.

Они предложили учитывать температурную трещиностойкость покрытия в холодный период года показателем трещиностойкости асфальтобетона [1]:

$$K_{\text{тр}} = \left(\frac{R_p}{E} \right),$$

где R_p — предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа; E — динамический модуль упругости асфальтобетона, МПа.

Следует отметить, что значение показателя трещиностойкости асфальтобетона учитывает характеристики асфальтобетона покрытия на момент строительства и никак не учитывает отрицательное воздействие факторов: водной среды, циклов замораживания-оттаивания и, главное, старения асфальтобетона под действием высокой температуры, солнечной радиации и воздушной среды, которые ведут к изменению физико-механических свойств асфальтобетона в процессе эксплуатации.

Оценивать изменение физико-механических характеристик асфальтобетона в процессе эксплуатации предлагается показателем длительной трещиностойкости асфальтобетона, учитывающим климатические условия эксплуатации. То есть на этапе строительства следует учитывать изменение показателя трещиностойкости асфальтобетона в течение всего срока его эксплуатации в покрытии, моделируя климатические факторы в лабораторных условиях:

$$K_{\text{тр}}^T = \left(\frac{R_{\text{изг}}^T}{E^T} \right),$$

где $R_{\text{изг}}^T$ — изменение предела прочности на растяжение при изгибе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин в процессе циклов климатического воздействия, моделирующих режимы эксплуатации асфальтобетона в заданном районе строительства, МПа; E^T — изменение динамического модуля упругости асфальтобетона в процессе циклов климатического воздействия, моделирующих режимы эксплуатации асфальтобетона в заданном районе строительства, МПа.

В верхние слои покрытия для увеличения их транспортно-эксплуатационных характеристик активно вводят различные модифицирующие добавки. Наиболее распространены в строительстве асфальтобетонных покрытий добавки на основе полимеров и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В связи с ускоренным снижением деформативных свойств верхнего слоя асфальтобетона покрытий, обусловленным старением битума, происходящим под действием высоких положительных температур, предлагается использовать в битуме ингибиторы старения. Введение ингибитора старения в битум позволит повысить устойчивость битумов, содержащих большое количество реакционно активных свободных радикалов, ингибировать реакции полиоксиконденсации и полимеризации в условиях эксплуатации битума в покрытиях, что приведет к повышению их длительной трещиностойкости.

Для учета воздействия климатических факторов на асфальтобетонные покрытия на юге России разработана методика лабораторных испытаний асфальтобетонных образцов, состоящая из трех стадий (рис. 1).

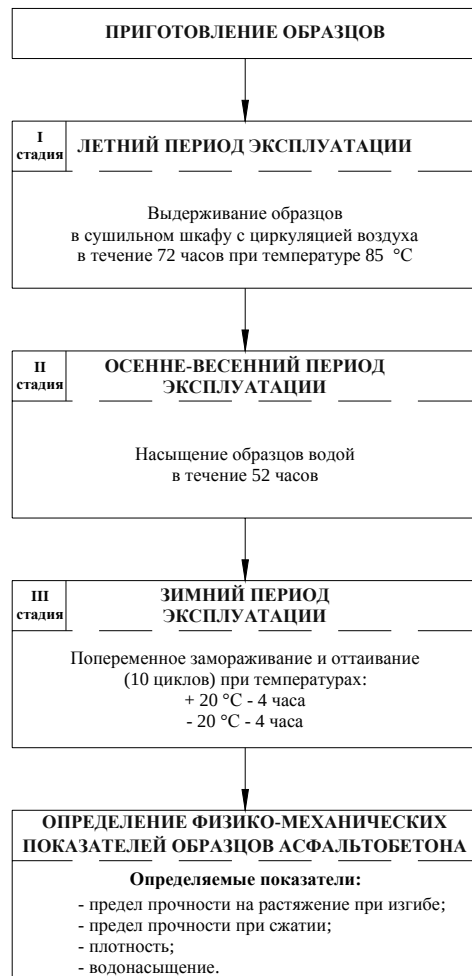


Рис. 1. Методика лабораторных испытаний асфальтобетонных образцов, учитывающая воздействие климатических факторов на верхний асфальтобетонный слой покрытия

На первой стадии моделируется воздействие на асфальтобетонное покрытие климатических факторов, соответствующих летнему периоду эксплуатации.

Выдерживание образцов в сушильном шкафу с циркуляцией воздуха при температуре 85 °С имитирует долговременный процесс старения верхнего слоя асфальтобетонного покрытия в процессе эксплуатации. По методике В. И. Братчуна [2] рассчитано эквивалентное время старения вяжущего в образцах асфальтобетона, за которое в верхнем асфальтобетонном слое покрытия на юге России произойдут годовые изменения, которое соответствует 72 ч.

Вторая стадия — насыщение образцов асфальтобетона водой под вакуумом и выдерживание их в воде в течение 52 ч. Таким образом моделируются условия осенне-весеннего периода.

Третья стадия состоит в моделировании зимнего периода эксплуатации, когда водонасыщенные асфальтобетонные образцы подвергаются попеременным циклам замораживания и оттаивания.

Таким образом, образцы (балочки размером 40×40×160 мм) после прогрева выдерживали одни сутки в нормальных температурно-влажностных условиях, затем образцы, насыщенные в вакуумной установке, выдерживали в течение 52 ч в воде. По окончании моделирования осеннее-весеннего периода образцы подвергали 10 циклам попеременного замораживания (4 ч при -20°C) и оттаивания (4 ч при $+20^{\circ}\text{C}$). После установленного количества циклов замораживания-оттаивания определяли изменение физико-механических показателей асфальтобетона.

Экспериментальные исследования проводились на мелкозернистом плотном асфальтобетоне типа «Б», приготовленном на битуме марки БНД 60/90.

С целью повышения длительной трещиностойкости асфальтобетонов в эталонный битум вводили модифицирующие добавки в процентном содержании от массы вяжущего материала. В процессе исследования установлены оптимальные дозировки добавок, которые обеспечивают максимальную прочность асфальтобетона на сжатие при температуре 20°C :

битум БНД 60/90 + 5,5 % полимерной добавки регранулят полимера этилен-пропилена («РПЭП»);

битум БНД 60/90 + 0,4 % поверхностно-активного вещества «КАДЭМ-ВТ»;

битум БНД 60/90 + 4 % ингибитора старения «Технический углерод».

Результаты изменения прочности асфальтобетона на растяжение при изгибе в процессе климатических воздействий представлены на рис. 2.



Рис. 2. Изменение прочности асфальтобетона на растяжение при изгибе при температуре 0°C и скорости плиты пресса 50 мм/мин

На основе экспериментальных данных исследований асфальтобетона типа «Б» на битуме БНД 60/90 как с модифицирующими добавками, так и без них рассчитаны функции изменения показателя длительной трещиностойкости под действием климатических воздействий (рис. 3).

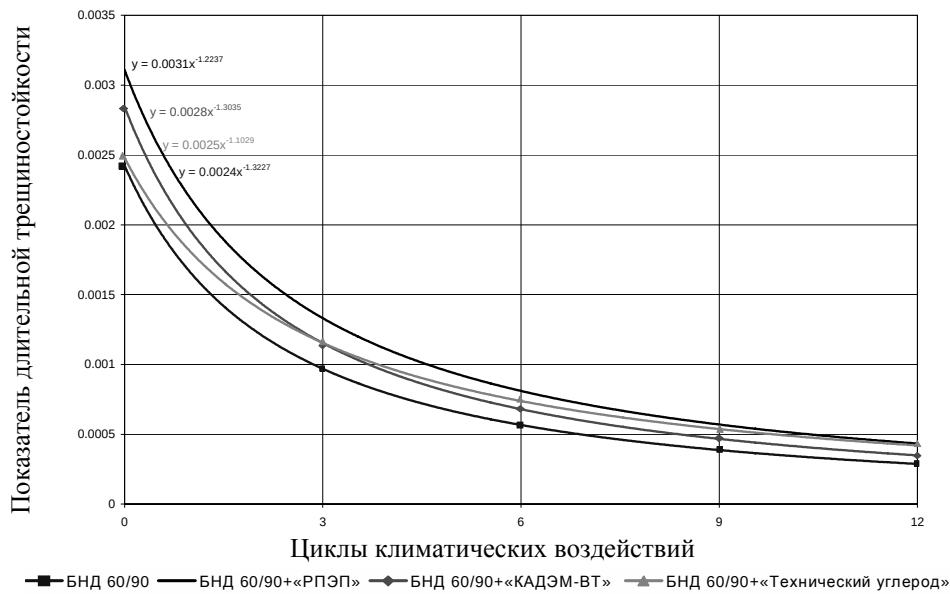


Рис. 3. Влияние климатических факторов на изменение показателя длительной трещиностойкости асфальтобетонов в лабораторных условиях

Анализ графика показывает, что в процессе воздействия климатических факторов на асфальтобетонные образцы происходит закономерное уменьшение показателя длительной трещиностойкости $K_{тр}^T$, причем наибольшее изменение этого показателя от общего снижения наблюдается за первые 3 цикла климатического воздействия. Следовательно, оценить длительную трещиностойкость того или иного материала можно, зная функцию показателя длительной трещиностойкости и, соответственно, скорость снижения в процессе трех циклов климатического воздействия.

В результате проведенных исследований предложен расчетно-экспериментальный метод определения минимального количества циклов нагружения до образования трещины в асфальтобетоне с учетом воздействия факторов на дорожные покрытия в процессе эксплуатации (рис. 4):

на *первом этапе* моделируется изменение прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}^T$ и модуля упругости $E_{дин}^T$ асфальтобетона верхнего слоя дорожного покрытия в процессе циклов климатического воздействия, моделирующих режимы эксплуатации асфальтобетона в заданном районе строительства;

на *втором этапе* рассчитывается изменение растягивающих напряжений $\sigma_{расч}^T$ в течение T лет эксплуатации, возникающих в верхнем слое асфальтобетона, при учете изменения модуля упругости, транспортных нагрузок, конструкции дорожной одежды, температурного режима работы дорожного покрытия;

на *третьем этапе* производится расчет минимального количества циклов до образования трещины в асфальтобетоне покрытия при воздействии факторов (транспортных нагрузок и климатических условий) по формуле, предложенной А. О. Салль [3]:

$$N^T = \left(\frac{R_{изг}^T}{\sigma_{расч}^T} \right)^n,$$

где $R_{изг}^T$ — прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе при температуре 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин после климатических воздействий T лет эксплуатации, МПа; $\sigma_{расч}^T$ — растягивающие напряжения, МПа; n — константа, характеризующая усталостные свойства материала.

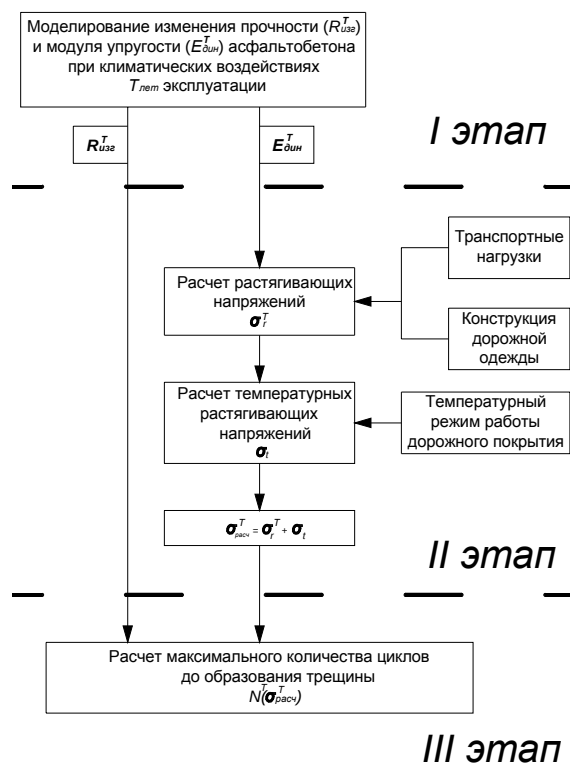


Рис. 4. Алгоритм определения минимального количества циклов нагружения до появления трещин в асфальтобетоне покрытия с учетом климатических воздействий и транспортных нагрузок

Итоги расчета количества циклов до появления трещин в асфальтобетоне покрытия с учетом 3 лет эксплуатации в климатических условиях юга России представлены на рис. 5.

Выводы. 1. Предложен показатель длительной трещиностойкости асфальтобетона — отношение предела прочности на растяжение к модулю упругости асфальтобетона, определяемый в лабораторных условиях после заданного числа циклов климатического воздействия, моделирующих режимы эксплуатации асфальтобетона в данном районе строительства. 2. Разработан новый метод оценки длительной трещиностойкости асфальтобетона, позволяющий моделировать климатические факторы: прогрев образцов асфальтобетона при расчетной температуре, водонасыщение и замораживание-оттаивание в течение заданного периода. 3. Установлено, что наибольшее снижение показателя трещиностойкости в лабораторных условиях наблюдается в течение 3 циклов климатического воздействия, что является минимальным необходимым для учета влияния климатических факторов на трещиностойкость асфальтобетона. 4. Разработан расчетно-экспериментальный

метод определения минимального количества циклов нагружения асфальтобетона до образования трещины с учетом климатических факторов и транспортной нагрузки. 5. Исследования длительной трещиностойкости асфальтобетона с учетом климатических воздействий на юге России показали целесообразность использования «Технического углерода», замедляющего процессы старения вяжущего, и полимерных модификаторов, повышающих прочность на растяжение асфальтобетона. Введение «РПЭП» и «Технического углерода» в верхний слой асфальтобетона покрытия повышает межремонтный срок службы в 1,8 и 1,5 раза соответственно.



Рис. 5. Количество циклов нагружения до образования трещин в асфальтобетоне покрытия, эксплуатируемого в IV дорожно-климатической зоне

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон для верхнего слоя покрытия автомобильных дорог Ленинградской области: технические условия / Санкт-Петербургский филиал СоюзДорНИИ ; рук. Ю.Е. Никольский. СПб., 1993. 65 с.
2. Братчун В. И., Гуляк Д. В., Беспалов В. Л. Тепловое старение дегтебетонных смесей и дегтебетоннов // Современные проблемы строительства. 2005. № 3 (8). С. 213—218.
3. Салль А. О. Уточнение расчетных параметров битумоминеральных материалов при воздействии повторных нагрузок // тр. СоюзДорНИИ. М., 1974. Вып. 78.
1. Smesi asfaltobetonnye dorozhnye i asfaltobeton dlya verkhnego sloya pokrytiya avtomobilnykh dorog Leningradskoy oblasti: tekhnicheskiye usloviya / Sankt-Peterburgski filial SoyuzDorNii ; ruk. Yu. Ye. Nikolski. SPb., 1993. 65 s.
2. Bratchun V. I., Gulyak D. V., Bepalov V. L. Teplovoye starenie degtebetonnykh smesei i degtebetonov // Sovremennye problemy stroitelstva. 2005. № 3 (8). S. 213—218.
3. Sall A. O. Utochneniye raschetnykh parametrov bitumomineralnykh materialov pri vozddeistvii povtornykh nagruzok // tr. SoyuzDorNii. M., 1974. Vyp. 78.

© Углова Е. В., Бессчетнов Б. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Углова Е. В., Бессчетнов Б. В. Длительная трещиностойкость асфальтобетона дорожных покрытий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 103—109.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 666.949

Ю. Г. Иващенко, С. М. Зинченко

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОСТАВА СОВМЕСТНО С ПЛАСТИФИКАТОРОМ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛОАЦЕТОНОВЫХ СМОЛ В ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ

Рассмотрена актуальность применения эффективных композиционных вяжущих в современном строительстве. Освещены вопросы получения композиционных вяжущих со снижением расхода чистоклинкерного цемента с использованием минеральной добавки алюмосиликатного состава совместно с химической добавкой, получаемой на основе многотоннажных отходов производства фенола.

К л ю ч е в ы е с л о в а: цемент, прочность, минеральные добавки, суперпластификатор, активность, эффективность, алюмосиликатный состав.

The applicability of effective composite cements in modern building is described. The questions of composite cement production with the expenditure reduction of plain cement using aluminosilicate mineral admixture together with chemical admixture, obtained on the basis of large-tonnage phenol production wastes, are discussed.

K e y w o r d s: cement, strength, mineral admixtures, superplasticizer, activity, efficiency, aluminosilicate composition.

Основным направлением современного развития отрасли производства цементных вяжущих является переход на ресурсо- и энергосберегающие вяжущие нового поколения, отличающиеся высоким уровнем технологических и эксплуатационных свойств и обеспечивающие повышение качества изготавливаемой продукции при их применении.

Несмотря на некоторое увеличение в общем объеме производимого портландцемента доли многокомпонентных смешанных цементов, до сих пор не освоен серийный выпуск эффективных высококачественных композиционных вяжущих на основе портландцементного клинкера и минеральных добавок различного происхождения. Особенностью современной отечественной цементной промышленности является высокая топливо- и энергоемкость производства и низкий технический уровень оснащения производственных линий, что обуславливает выпуск портландцемента рядовых марок М400 и М500 с почти полным отказом от производства высокомарочных цементов, достаточная обеспеченность которыми определяет развитие отрасли. Однако для мировой цементной промышленности характерно значительное увеличение доли производства высококачественных многокомпонентных цементов, позволяющих существенно снижать энергозатраты на производство и полу-

чать цементы с принципиально новыми свойствами. Такое положение отечественной цементной промышленности, являющейся одной из базовых отраслей, значительно тормозит развитие строительного комплекса в целом.

Формирование стратегии развития ресурсо- и энергосберегающих высокоэффективных производственных технологий в настоящее время осуществляется на государственном уровне принятием федерального закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», а также внедрением различных программ в области ресурсосбережения и энергетической эффективности. Переориентация отрасли производства строительных материалов на энергосберегающие технологии со значительным повышением энергетической эффективности выпуска продукции требует проведения комплекса научно-технических работ и исследований, результаты которых позволили бы определить пути повышения ресурсо- и энергоэффективности.

В этом аспекте особую актуальность приобретают решения вопросов расширения сырьевой базы использования активного природного сырья и техногенных отходов в качестве минеральных добавок, а также способы активации инертных материалов для использования при производстве композиционных вяжущих.

Систематизация обширного накопленного экспериментального материала по исследованию и использованию минеральных добавок свидетельствует о том, что они в основном представлены продуктами осадочного (опоки, трепелы, диатомиты, глиежи) и вулканического (пеплы, пемзы, туфы, трассы) происхождения, а также искусственными материалами (шлаки, золы, микрокремнезем), обладающими различными технологическими свойствами и перспективностью для использования при производстве композиционных вяжущих. Сырье, используемое в качестве минеральных добавок, является полиминеральным по своему составу с преобладанием аморфного кремнезема в смеси минералов осадочного происхождения, в то время как для вулканических пород характерно присутствие большого количества минералов алюмосиликатного состава и стеклофазы [1].

При выборе сырьевых компонентов для изготовления композиционных вяжущих необходимо руководствоваться взаимосвязью состав и свойства минеральной добавки — вид пластификатора, которая позволяет путем подбора эффективного пластификатора в зависимости от свойств минеральных добавок определить пути регулирования конечных основных технологических и функциональных свойств получаемых вяжущих. Например, добавки-пластификаторы на основе продуктов конденсации нафталинсульфокислоты при высоких концентрациях, позволяющих максимально снизить водопотребность смеси, оказывают достаточно сильное блокирующее действие на формирование ранней суточной прочности в цементных композициях с высоким содержанием алюминатных фаз [2]. Особенно сильно данный эффект проявляется при применении минеральных добавок с повышенным содержанием алюминатов. Таким образом, химико-минералогический состав минеральных добавок оказывает существенное влияние на водоредуцирующий эффект и гидратационную активность вяжущего, а также на выбор пластифицирующей добавки. В свою очередь, вид и дозировка пластификатора должны назначаться, с одной стороны, исходя из максимального водоредуцирующего эффекта, с другой, — из условия минимального влияния на формирование прочности цементного камня и исключения блокирующего действия на гидратационную активность цементных композиций.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что весьма перспективным для использования в качестве активной минеральной добавки является тонкомолотый пумицит Бедьковского месторождения (Кабардино-Балкария), представляющий собой рыхлый продукт смеси пород алюмосиликатного состава вулканического происхождения [3]. С помощью химического анализа и рентгеноскопии было выяснено, что полиминеральные породы пумицита представлены олигоклазом, кварцем, цеолитами, кальцитом, адуляром, доломитом, кристаллитом и вулканическим стеклом. Анализ показал, что кремнезем SiO_2 находится в материале как в свободном, так и связанном виде, глинозем Al_2O_3 только в связанном. Связанные кремнезем и глинозем входят в состав олигоклаза, а также цеолитобразующих фаз, оксиды щелочноземельных металлов CaO и MgO в состав карбонатов — кальцита и доломита. Большей активностью обладают кремнезем, доломит, а также аморфная и цеолит составляющие пумицита, что подтверждают данные рентгеноскопического анализа. В свою очередь алюмосодержащие фазы, такие как олигоклаз и адуляр, слабо вступают в гидролитический процесс и обладают меньшей активностью. При этом эффективность минеральной добавки может быть значительно увеличена применением способов измельчения, позволяющих не только достичь необходимой степени дисперсности, но и повысить химическую активность добавки за счет увеличения числа поверхностных активных центров.

Для производства композиционных вяжущих используют шаровые, трубчатые и вибрационные мельницы. Однако, как показал статистический анализ результатов исследований, предпочтительны мельницы центробежно-ударного действия, обеспечивающие оптимальный гранулометрический состав получаемых вяжущих. Для получения активной минеральной добавки пумицит измельчался в мельнице дезинтеграторного типа, что способствует получению материала с частицами более правильной формы с проявлением эффекта механической активации. Анализ дисперсности с распределением размеров частиц измельченной минеральной добавки пумицита проводился на универсальном лазерном экспресс-анализаторе «HORIBA Partica LA-950». Зерновой состав получаемого материала характеризуется узкой гранулометрией с преобладающими размерами частиц 11...24 мкм, средний размер частиц 18 мкм (рис. 1).

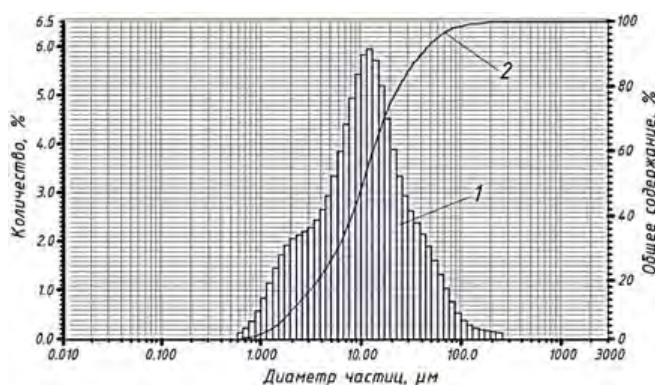


Рис. 1. Кривая распределения частиц по крупности молотого пумицита: 1 — дифференциальная кривая (гистограмма); 2 — интегральная кривая

Однако при использовании пумицита возникают сложности, вызванные повышенной водопотребностью получаемого вяжущего, а также увеличением вязкости растворов из-за большой гидрофильности пумицита, связанной с развитой поверхностью и дисперсностью, что негативно сказывается на прочностных свойствах образцов [3]. Учитывая вышеизложенный материал, был использован пластификатор, получаемый на основе многотоннажных отходов производства фенола — фенолоацетоновой смолы. Несмотря на высокое содержание ароматических веществ, фенолоацетоновая смола из-за несимметричного строения и небольшой длины молекул, а также низкой водорастворимости малоэффективна в качестве пластификатора без дополнительного синтеза. В результате реакции симметричного алкирования с последующим сульфированием фенолоацетоновой смолы образуется продукт со строго чередующимися ароматическими и алифатическими звеньями. Получаемая добавка (ФАС) обладает пластифицирующей способностью при увеличении прочностных характеристик цементных композиций, имеет технологические свойства, сопоставимые с суперпластификатором С-3 и лигносульфонатами [4].

Эффективность добавки ФАС оценивалась посредством сравнения пластичности и прочностных показателей образцов-балочек размером 40×40×160 мм, изготовленных из раствора портландцемента М500-Д0 Вольского цементного завода и стандартного песка в соотношении 1:3. Полученные данные представлены в табл. 1. Оптимальное количество добавки ФАС составляет 0,5...2 % от массы цемента, при этом наблюдаются увеличение пластичности раствора и повышение прочностных показателей образцов. Полученные результаты могут быть объяснены симметричным строением молекул добавки ФАС и наличием в их составе сульфогрупп, способствующих более быстрому протеканию гидратационных процессов [4].

Т а б л и ц а 1

Влияние добавки ФАС на пластичность и физико-механические свойства образцов цементного раствора

№ п/п	Кол-во ФАС, % по массе	В/Ц	Распływ конуса, мм	Прочность образцов, МПа			
				7 суток		28 суток	
				$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
1	—	0,41	110	2,9	26,6	5,9	47,2
2	0,5	0,41	117	3,8	35,0	6,7	54,4
3	1	0,41	132	4,1	37,2	7,1	56,8
4	2	0,41	148	4,2	38,7	7,2	57,1

Для получения композиционных вяжущих типа ТМЦ и ВНВ оптимального состава с применением молотого пумицита и добавки ФАС были разработаны составы с последующим испытанием образцов, изготовленных из раствора вяжущего (цементно-пумицитового) и стандартного песка в соотношении 1:3. Вяжущие получены путем совместного помола рядового портландцемента М500-Д0 и активной минеральной добавки молотого пумицита в лабораторной мельнице для составов ТМЦ до удельной поверхности 3550...3700 см²/г, а для ВНВ — до удельной поверхности 5100...5200 см²/г. Добавка ФАС вводилась в растворные смеси равной подвижности либо вместе с водой затворения, либо при совместном помоле при получении вяжущего. Результаты испытания прочности на сжатие и изгиб стандартных образцов размером 40×40×160 мм приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Физико-механические свойства образцов композиционного вяжущего
с применением добавки ФАС*

№ п/п	Кол-во пуми- цита, % по массе	Кол-во ФАС, % по массе*	В/Ц	Расплав конуса, мм	Прочность образцов, МПа			
					7 сутки		28 сутки	
					$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
1	—	—	0,41	110	2,9	26,6	5,9	47,2
2	10	0,5	0,35	111	3,1	31,1	6,2	51,5
		1	0,34	114	3,3	32,7	6,4	52,2
3	20	0,5	0,40	113	2,8	28,7	6,0	49,2
		1	0,39	113	3,0	27,6	6,2	50,2
4	30	0,5	0,44	112	2,6	24,3	5,6	45,2
		1	0,42	111	2,9	26,9	6,1	47,5

* от массы композиционного вяжущего (цемент + пумицит).

С помощью методов РФА и ДТА установлено, что влияние молотого пумицита имеет узконаправленный характер и значительно повышает содержание $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $2\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, а также увеличивает присутствие слабозакристаллизованных фаз, что можно рассматривать как изменение структуры цементного геля. Данный эффект можно объяснить как результат связывания гидrolитической извести с ростом количества гидросиликатов переменного состава, в результате чего количество свободной извести снижается вдвое.

Совместное присутствие молотого пумицита и добавки ФАС приводит почти к двукратному увеличению количества слабозакристаллизованных фаз и дополнительному образованию гидросульфoалюминатов кальция, при этом количественные показатели остальных фаз меняются незначительно. Характерно, что прирост слабозакристаллизованных фаз сказывается на увеличении прочностных показателей. Полученные данные свидетельствуют о синергизме добавок молотого пумицита и ФАС, что, в свою очередь, может быть связано с изменением активности пумицита в присутствии добавки ФАС.

С целью повышения эффективности технологических свойств композиционных вяжущих были изготовлены серии составов ВНВ с применением минеральной добавки молотого пумицита, а в качестве пластификатора добавки ФАС с испытанием реологических и физико-механических свойств образцов. Были разработаны следующие составы ВНВ:

ВНВ-40 (ПЦ М500-Д0 — 40 %; пумицит — 58 %; ФАС — 2 %); удельная поверхность — $5200,0 \text{ см}^2/\text{г}$; остаток на сите № 0,08 — 2,8 %;

ВНВ-60 (ПЦ М500-Д0 — 60 %; пумицит — 38 %; ФАС — 2 %); удельная поверхность — $5100,0 \text{ см}^2/\text{г}$; остаток на сите № 0,08 — 3,5 %.

Полученные результаты (табл. 2 и 3) демонстрируют эффективность применения композиционных вяжущих, разработанных с использованием минеральной добавки алюмосиликатного состава. При этом эффективность минеральной добавки может быть значительно увеличена присутствием органической добавки с направленно измененной структурой с образованием органоминеральных комплексов оптимизированного состава. Создание такого рода органо-минеральных комплексов позволяет достигнуть значительной экономии энергоемкого клинкера до 40 % без ухудшения прочностных показателей цементных композитов.

Т а б л и ц а 3

Реологические и физико-механические характеристики образцов ВНВ с добавкой ФАС

№ п/п	Вязущее	Кол-во пумицита, %	Кол-во ФАС, %	НГ, %	В/Ц	Расплав ко-нуса, мм	Сроки схватывания, ч-мин		Прочность образцов на сжатие, МПа	
							начало	конец	7 сут	28 сут
1	ПЦМ500-Д0	—	—	27,0	0,41	110	1-50	4-40	26,6	47,2
2	ВНВ-60	38,0	2,0	19,8	0,24	112	3-50	6-00	38,9	54,8
3	ВНВ-40	58,0	2,0	22,0	0,32	110	4-10	6-30	24,8	42,4

Таким образом, оптимальный многокомпонентный состав вяжущих должен назначаться в соответствии с химико-минералогическим составом и поверхностными свойствами минеральных добавок, а также свойствами водоредуцирующих пластифицирующих компонентов, совместная работа которых обуславливает формирование улучшенных показателей строительно-технических свойств композиционных вяжущих и обеспечивает получение экономического эффекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М. : Стройиздат, 1998. 768 с.
2. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
3. Иващенко Ю. Г., Зинченко С. М., Сеньков А. Н. Использование тонкомолотого пумицита для получения композиционных вяжущих // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : матер. XV Академических чтений РААСН — Междун. науч.-технич. конф. Т. 1. Казань, 2010.
4. Модифицирующая добавка для цементных композиций на основе алкилированных фенолов / Ю. Г. Иващенко, Е. А. Шошин, Д. К. Тимохин, С. М. Зинченко, Н. А. Козлов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : междун. науч.-практич. конф. Пенза : ПГУАиС, 2008.
1. Batrakov V. G. Modificirovannye betony. Teorija i praktika. M. : Stroyizdat, 1998. 768 s.
2. Bazhenov Yu. M., Demjanova V. S., Kalashnikov V. I. Modificirovannye vysokoprochnye betony. M. : Izd-vo Associacii stroitelnyh vuzov, 2006. 368 s.
3. Ivaschenko Yu. G., Zinchenko S. M., Senkov A. N. Ispolzovanie tonkomolotogo pumicita dlja poluchenija kompozicionnyh vjazhushih // Dostizhenija i problemy materialovedenija i modernizacii stroitelnoj industrii : mater. XV Akademicheskikh chtenij RAASN — Mezhdun. nauch.-tehnic. konf. T. 1. Kazan, 2010.
4. Modificirujushaja dobavka dlja cementnyh kompozicij na osnove alkilirovannyh fenolov / Yu. G. Ivacschenko, E. A. Shoshin, D. K. Timohin, S. M. Zinchenko, N. A. Kozlov // Kompozicionnye stroitelnye materialy. Teorija i praktika : mezhdun. nauch.-praktich. konf. Penza: PGUAI S, 2008.

©. Иващенко Ю. Г., Зинченко С. М., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Иващенко Ю. Г., Зинченко С. М. Эффективность использования минеральной добавки алюмосиликатного состава совместно с пластификатором на основе фенолоацетоновых смол в цементных композициях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. 2011. Сер.: Стр-во и архит. Вып. 23(42). С. 110—115.

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА.
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

УДК 614.841.45:725.5

В. Н. Азаров, Г. И. Рудченко, Н. С. Кузнецова

**О РАСЧЕТЕ ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ
ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЗДАНИЙ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

Проведен анализ факторов, влияющих на расчет времени эвакуации людей при обеспечении пожарной безопасности зданий дошкольных образовательных учреждений по существующей методике расчета эвакуации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пути эвакуации, время эвакуации, время движения людского потока.

The analysis of factors affecting the timing of the evacuation of people while ensuring fire safety of buildings of educational pre-school institutions existing method of calculating the evacuation is performed.

К e y w o r d s: evacuation routes, evacuation time, movement of human flow.

В последние годы в дошкольных образовательных учреждениях наблюдается устойчивая тенденция роста чрезвычайных ситуаций преимущественно техногенного характера. При этом в структуре техногенных катастроф преобладают пожары.

Сложность обеспечения пожарной безопасности заключается в самой специфике объектов. В дошкольных образовательных учреждениях находятся дети от 1,5 до 6 лет и их реакцию на возникновение пожара невозможно предугадать. Реальные данные, полученные в результате практических отработок планов эвакуации, показывают, что некоторые дети младших групп испытывают стресс даже от речевого сообщения о пожаре установками автоматической пожарной сигнализации и ребенок либо застывает на одном месте, либо становится крайне медлительным и неловким, либо падает без сознания. После таких тренировок отмечены случаи боязни детей возвращаться в здание. Реакция же детей ясельного возраста (1,5...3 года) не поддается прогнозированию даже детскими психологами. Эти особенности необходимо учитывать при строительстве зданий детских дошкольных учреждений, а значит, при их проектировании и нормировании требований к ним.

Рассмотрим некоторые аспекты расчета времени эвакуации, изложенные в ГОСТ 12.1.004—91 ССБТ «Пожарная безопасность». В п. 2.4 прил. 2 ГОСТ 12.004—91 определено, что общее время эвакуации людей состоит из интервала времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей $\tau_{н.э}$ и расчетного времени эвакуации t_p , которое представляет собой сумму времени движения людского потока по отдельным участкам t_i маршрута от места на-

хождения людей в момент начала эвакуации до эвакуационных выходов из помещения, этажа, здания.

В ГОСТ 12.004—91 очень кратко и нечетко дано определение времени начала эвакуации $\tau_{н.э.}$. В данном документе приведены следующие утверждения:

1. Значение времени начала эвакуации $\tau_{н.э.}$ для зданий (сооружений) без системы оповещения вычисляют по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

2. Зданиями (сооружениями) без системы оповещения считаются те здания (сооружения), возникновение пожара внутри которых может быть замечено одновременно всеми находящимися там людьми.

3. Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то $\tau_{н.э.}$ допускается принимать равным нулю.

4. При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину $\tau_{н.э.}$ следует принимать равной 0,5 мин для этажа пожара и 2 мин для вышележащих этажей.

5. При наличии в здании систем оповещения о пожаре значение $\tau_{н.э.}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности (п. 2.5 прил. 2 ГОСТ 12.004—91).

При этом возникают следующие вопросы и противоречия:

1. Неясно, каким образом возникновение пожара внутри здания, имеющего более одного этажа, может быть замечено одновременно всеми находящимися в нем людьми? Значит, зданиями (сооружениями) без систем оповещения следует считать не только те из них, которые не имеют таких систем, но и те, в которых они не работают.

2. Отсутствует обоснованность значений 0,5 и 2 мин, поскольку ни в одном из известных исследований времени начала эвакуации, включая случаи анализа наиболее известных пожаров, не было получено указанных значений.

3. Не учитываются психофизические качества человека. Авторами ГОСТа предполагается, что при получении сигнала о пожаре человек ни раздумывая ни секунды должен начать эвакуироваться. Учитывая технические особенности, например инерционность системы оповещения, они не берут в расчет тот факт, что человек имеет время реакции, а различные системы оповещения — различную эффективность воздействия на человека. По данным статистики произошедших пожаров фактическое время задержки начала эвакуации в общественных местах (с минимальным количеством маломобильного населения) по различным данным составляло от 6 до 25,6 мин, что в некоторых случаях превосходило время самой эвакуации. Все это указывает на необходимость дальнейших исследований поведения людей в этот период.

При определении значений t_p возникают разногласия между требованиями ГОСТ 12.004—91 и СНиП 21-01—97*. СНиП требует обеспечения своевременности и беспрепятственности эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния. В расчетных формулах ГОСТ есть указание учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления, что, по сути, является нарушением беспрепятственности движения. Не учитывается возможная гамма параметров людского потока для людей различного возраста и физического состояния.

Набором формул, представленных в ГОСТ, невозможно воспроизвести полной кинетики людских потоков (их переформирование и растекание в процессе движения; образование скоплений и их рассасывание; время задержки движения из-за скоплений при различной интенсивности подходящих потоков; вызванные этими процессами количественные изменения параметров движения людских потоков через границы смежных участков путей и при их слияниях; закономерности движения по участкам «неограниченной» и переменной ширины; закономерности выбора людьми маршрутов эвакуации и т.д.). Расчет, основанный на использовании только формул, рекомендуемых ГОСТ с его ограниченным пониманием теории движения людских потоков, в некоторых случаях приводит к значительному завышению или занижению времени эвакуации.

Проблема предполагаемого времени начала эвакуации в Британском стандарте PD7974-6:2004 рассмотрена с большей тщательностью. В нем приводятся разные сценарии эвакуации и учитываются такие психофизиологические особенности, как знакомство людей с внутренней планировкой здания и помещений, состояние людей (спящие, бодрствующие); определяется уровень подготовки к действиям при пожаре обслуживающего персонала и его количество, учитываются характеристики здания, его функциональное назначение (жилые помещения, гостиницы, пансионаты, клиники, госпитали, дома престарелых и т.п.) и тип системы оповещения о пожаре. Однако создатели Британского стандарта PD7974-6:2004 признают, что существует недостаток данных о поведении людей при эвакуации. В таблицах стандарта величины с высокой степенью неопределенности выделены курсивом. Авторы советуют учитывать эту ограниченность при проведении инженерных оценок поведения людей.

В Британском стандарте DD240 время задержки начала эвакуации поставлено в зависимость от функционального назначения здания и системы оповещения о пожаре. Конкретные цифры этого стандарта критикуются специалистами, однако он дает общее представление о том, как можно связать между собой некоторые факторы.

Поведение человека в начальной стадии пожара определяет ряд факторов, важных для расчета времени эвакуации: время задержки, выбор маршрута и скорость движения. Важность этих составляющих в определении расчетного времени эвакуации признано на мировом уровне. Это подчеркивается тем фактом, что за последние 5 лет в Великобритании и США было проведено два международных симпозиума, посвященных вопросам поведения человека при пожаре, на которых было представлено 156 работ.

Проблемой времени начала эвакуации в тесном контакте с их зарубежными коллегами занимаются и российские ученые и специалисты. Их исследования [1] показали, что даже служащие торговых комплексов, получающие регулярный противопожарный тренинг и имеющие четкие обязанности, при получении сигнала о пожаре тратят время на сбор дополнительной информации, не все из них сразу активируют пожарную сигнализацию, начинают эвакуировать посетителей и т.п. Полученные экспериментальные данные указывают на то, что большинство людей на этом этапе тратит время непродуктивно, а, по мнению специалистов, именно задержка начала эвакуации ведет к травмам и гибели при пожаре. Поэтому за рубежом в целях получения полной и всесторонней информации по данному вопросу сформировалось целое

направление «Human Behavior in Fires» («Поведение человека при пожарах»), которое рассматривается в настоящее время как самостоятельная область противопожарной науки.

Детально определением расчетного времени эвакуации и расчетных ситуаций движения людских потоков в зданиях различного функционального назначения занимался доктор технических наук В. В. Холщевников. Самостоятельно и в соавторстве с другими исследователями им выпущено несколько работ [2—8], которые предназначены для исследователей и специалистов, занимающихся проектированием структуры коммуникационных (эвакуационных) путей и выходов зданий (сооружений), обеспечением безопасности людей при возникновении чрезвычайных ситуаций, а также обучением студентов и слушателей пожарно-технических, строительных и архитектурных вузов.

В этих работах приведены параметры, характеризующие людской поток, психофизиологические связи между его параметрами и кинематические закономерности их изменения при движении людского потока во время эвакуации; дано математическое описание основных расчетных случаев движения и приведены примеры расчета; рассмотрены требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам, нормирование их размеров и обеспечение беспрепятственной и своевременной эвакуации людей; приведено описание аналитического и имитационного моделирования движения людских потоков; рассмотрены случаи пресечения границы смежного участка пути при эвакуации, слияния людских потоков, образования скоплений людей, время выхода людей с участка эвакуационного пути при образовании скоплений в месте слияния людских потоков, определение количества людей, формирующих скопление, а также параметры людского потока на участке пути после образования на его границе скопления людей.

Однако все расчеты, в том числе и с применением модели ADLPV (анализ движения людских потоков, вероятность) [6], рассчитаны на присутствие в потоке представителей маломобильных групп населения — 7...8 % от общего числа, а в торговых комплексах около 10 % от общего числа посетителей, хотя, например, в больницах число таких людей может достигать 20 % от общего числа пациентов. В случае с детскими образовательными учреждениями количество маломобильных людей, к которым мы можем отнести детей, достигает 90...95 %. Следовательно, требуется установление необходимых параметров «несамостоятельного перемещения» и специальных сценариев эвакуации.

Д. А. Самошин [9] указывает на недостатки существующих на данный момент методов расчета времени эвакуации, приводя сравнение разных методов. Им отмечено, что «расчет времени эвакуации по формулам ГОСТ дает значения, существенно превосходящие ожидаемые. Расчет графоаналитическим методом дает более точные результаты, но слишком трудоемок. Кроме того, он недостаточно точен из-за формализации условий образования скоплений, принятия условия мгновенного образования максимальной плотности, невозможности учесть в составе потока движение людей различных групп мобильности».

Для решения указанных проблем необходимо использовать ЭВМ. Однако вынужденное использование детерминированных зависимостей между

параметрами людских потоков и аналитических методов расчета не позволяет учесть многообразие психофизиологических данных людей. Поэтому для оценки степени риска для людей при эвакуации назрела необходимость моделирования эвакуации людей как случайного процесса. Высокий уровень теоретической обоснованности и соответствия реальным результатам позволяет считать, что в качестве стандартизированной модели должна быть принята модель ADLPV, реализуемая современным программным обеспечением. На ее основе необходимо разработать модели индивидуального поведения людей в потоке, позволяющие предвидеть особенности хода эвакуации с учетом людей, чьи психофизиологические показатели отклоняются от среднестатистических, в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. Такие модели помогут также прогнозировать необходимость и выбор рациональных способов спасения людей.

Одним из основных недостатков существующей методики расчета времени эвакуации является то, что формулы и параметры в таблицах ГОСТ 12.004—91 рассчитаны на самостоятельную эвакуацию людей, без учета того, что возраст детей ясельной группы колеблется от 1,5 до 3,5 лет и вероятность их самостоятельного выхода за расчетное время, даже под руководством воспитателей, а тем более по лестничным клеткам, приближается к нулю. Таким образом, при возникновении пожаров в зданиях дошкольных образовательных учреждений, построенных по типовым проектам, не обеспечиваются гарантии полной и безопасной эвакуации и своевременного обнаружения людей, оставшихся в здании.

К сожалению, процесс эвакуации людей в чрезвычайных условиях невозможно испытать заблаговременно и далеко не всегда чисто аналитические методы определения расчетного времени эвакуации, как указывалось выше, могут дать реальную картину. Одним из решений этой проблемы можно считать моделирование процесса эвакуации и разработку на основе моделирования методов аналитического расчета.

Для разработки моделей индивидуального движения детей и обслуживающего персонала при эвакуации и последующих исследований закономерностей движения людского потока необходимо на основе натурных наблюдений за проведением тренировочных занятий по эвакуации из дошкольных образовательных учреждений, а также учитывая имеющиеся данные о поведении детей и обслуживающего персонала при реальных пожарах, создать эмпирическую базу натурных наблюдений людских потоков в зданиях дошкольных образовательных учреждений.

В дошкольных образовательных учреждениях предлагается предусмотреть специальные помещения (зоны), в которых дети при невозможности самостоятельного выхода могли бы безопасно ожидать эвакуации; установить технические средства для быстрого обнаружения людей, находящихся в задымленных и горящих помещениях, а также оборудовать их специальными техническими устройствами для самоспасания. Приведенные факты указывают на целесообразность дальнейших научных исследований с целью поиска инженерно-технических решений, а также совершенствования существующих и внедрения новых средств автоматической пожарной защиты для обеспечения максимальной защиты людей в случае возникновения пожара.

В связи с вышеизложенным наряду с техническими решениями предлагается на основании моделей индивидуального движения детей усовершенствовать существующие методики для расчета времени эвакуации в детских дошкольных учреждениях, включающие скорость и интенсивность движения людского потока по горизонтальному пути, в дверном проеме, по лестнице вниз и вверх, а также для определения усредненного значения времени начала эвакуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холщевников В. В. Критерии своевременной и безопасной эвакуации людей при пожаре // Проблемы пожарной безопасности в строительстве : матер. науч.-практич. конф. Москва, 17 апреля 2001 г. М. : АГПС МВД РФ, 2001.
2. Draft British Standard BS DD240. Fire Safety Engineering in Buildings Part : Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles. British Standards Institution, 1997.
3. PD 7974-6:2004. Применение принципов инженерной пожарной безопасности к проектированию пожаробезопасного здания. Ч. 6. Человеческий фактор: стратегия обеспечения безопасности людей — эвакуация людей, поведение при пожаре и состояние человека (подсистема 6).
4. Самошин Д. А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы // Пожаровзрывобезопасность. 2004. № 1.
5. СНиП 21.01—97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М., 1997.
6. СНиП 35-01—2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. М., 2001.
7. Таранцев А. А. Моделирование параметров людских потоков при эвакуации с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность. 2002. № 6.
8. Таранцев А. А. Об одной задаче моделирования эвакуации с использованием теории массового обслуживания // Пожаровзрывобезопасность. 2002. № 3.
9. Холщевников В. В. Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. М. : МИПБ МВД РФ, 1999.
1. Holschevnikov V. V. Kriterii svoevremennoy i bezopasnoy evakuacii lyudei pri pojare // Problemy pojamoi bezopasnosti v stroitelstve : mater. nauch.-praktich. konf. Moskva, 17 aprelya 2001 g. M. : AGPS MVD RF, 2001.
2. Draft British Standard BS DD240 Fire Safety Engineering in Buildings Part : Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles. British Standards Institution, 1997.
3. PD 7974-6:2004. Primenenie principov inzhenernoi pojarnoi bezopasnosti k proektirovaniyu pojarobezopasnogo zdaniya. Ch. 6. Chelovecheskii faktor: strategiya obespecheniya bezopasnosti lyudei — evakuaciya lyudei, povedenie pri pojare i sostoyanie cheloveka (podsistema 6).
4. Samoshin D. A. Raschet vremeni evakuacii lyudei. Problemy i perspektivy // Pojarovzryvobezopasnost. 2004. № 1.
5. SNiP 21.01—97*. Pojarnaya bezopasnost zdanii i soorujenii. M., 1997.
6. SNiP 35-01—2001. Dostupnost zdanii i soorujenii dlya malomobilnyh grupp naseleniya. M., 2001.
7. Tarancev A. A. Modelirovanie parametrov lyudskih potokov pri evakuacii s ispolzovaniem teorii massovogo obslujivaniya // Pojarovzryvobezopasnost. 2002. № 6.
8. Tarancev A. A. Ob odnoi zadache modelirovaniya evakuacii s ispolzovaniem teorii massovogo obslujivaniya // Pojarovzryvobezopasnost. 2002. № 3.
9. Holschevnikov V. V. Issledovanie lyudskih potokov i metodologiya normirovaniya evakuacii lyudei iz zdanii pri pojare. M. : MIPB MVD RF, 1999.

© Азаров В. Н., Рудченко Г. И., Кузнецова Н. С., 2011

Поступила в редакцию в июле 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Азаров В. Н., Рудченко Г. И., Кузнецова Н. С. О расчете времени эвакуации людей при обеспечении пожарной безопасности зданий дошкольных образовательных учреждений // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 116—121.

УДК 69.003:658.562

А. И. Широков

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, НЕ ЗАВЕРШЕННЫХ СТРОИТЕЛЬСТВОМ, С УЧЕТОМ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА

Анализируется влияние качества объектов, не законченных строительством, на процесс их освидетельствования для принятия решения о дальнейшем использовании.

К л ю ч е в ы е с л о в а: объект, не заверченный строительством, качество, износ, оценка, экспертиза, освидетельствование.

The impact of the quality of the objects of unfinished construction on the process of their examination for use is analyzed.

Key words: object of unfinished construction, quality, depreciation, evaluation, examination, inspection.

Согласно [1] объект, не заверченный строительством (ОНС), как объект оценки подлежит идентификации. Поскольку ОНС не имеет инвентарного номера и технического паспорта, необходимо его описание.

ОНС хотя и предназначен в перспективе для производственной деятельности или сдачи в аренду с целью получения дохода, рассматривается не как имущественный комплекс (ИК), а как совокупность материальных затрат.

Полученная затратным подходом стоимость ОНС как совокупности материальных затрат имеет вид

$$C = C_{\text{кв}} + C_{\text{оу}} + C_{\text{мс}} + AC_{\text{у}},$$

где C — стоимость ОНС, полученная затратным подходом; $C_{\text{кв}}$ — стоимость капитальных вложений в ОНС; $C_{\text{оу}}$ — стоимость оборудования к установке; $C_{\text{мс}}$ — стоимость материалов на складе, предназначенных для ОНС; $AC_{\text{у}}$ — стоимость земельного участка.

Структура затрат или издержек на строительство состоит из трех частей [2]:

$$CC = \text{ПИ} + \text{КИ} + \text{ПП},$$

где CC — стоимость нового строительства; ПИ — прямые издержки; КИ — косвенные издержки; ПП — прибыль предпринимателя.

Эту формулу представим в следующем виде [2]:

$$CC = CC_{\text{смет}} + \text{КИ}^1 + \text{ПП},$$

где $CC_{\text{смет}}$ — сметная стоимость строительства в текущих ценах; КИ^1 — не учтенные в смете косвенные издержки; ПП — прибыль предпринимателя.

Для ОНС необходимо учитывать реальное выполнение строительно-монтажных работ через так называемый коэффициент готовности ОНС $K_{\text{гот}}$, определенный как отношение выполненного объема работ к общему объему работ по объекту в соответствии с лучшим и наиболее эффективным использованием (ЛНЭИ) объекта, определенным на дату оценки в процентах или в долях от единицы:

$$K_{\text{гот}} = V_{\text{вып}} / V_{\text{о}},$$

где $V_{\text{вып}}$ — выполненный объем работ по объекту с учетом ЛНЭИ; $V_{\text{о}}$ — общий объем работ по объекту с учетом ЛНЭИ.

Для ОНС формула примет вид

$$CC = K_{\text{гот}} CC_{\text{смет}} + KI^1 + \text{ПП}.$$

Если стоимость определена в базисном уровне цен, то приведение в уровень текущих цен производится путем перемножения базисной стоимости на действующий индекс [3], [2]:

$$CC = I_{\text{тек/баз}} CC_{\text{смет}} + KI + \text{ПП},$$

где $CC_{\text{смет}}$ — сметная стоимость в базисном уровне цен; $I_{\text{тек/баз}}$ — индекс цен к базисному уровню на весь комплекс работ по зданию.

Индексы цен представляют собой отношение стоимости строительной продукции, работ или ресурсов в текущем уровне цен к стоимости в базисном уровне цен:

$$I_{\text{тек/баз}} = C_{\text{тек}} / C_{\text{баз}}.$$

Базисными в нашей стране являются уровни цен 1969, 1984, 1991 гг.

Для ОНС формула примет вид

$$CC = K_{\text{гот}} \cdot I \cdot CC_{\text{смет}} + KI + \text{ПП}.$$

Информация по текущим индексам может быть получена в Региональных центрах по ценообразованию в строительстве (РЦЦС) [4], а также из ежеквартальных бюллетеней фирмы «КО-ИНВЕСТ».

В оценке рыночной стоимости ОНС затратным подходом важно правильно определить накопленный износ. Как известно, ОНС подвержены износу гораздо интенсивнее, чем эксплуатируемые здания, а следовательно, средства, вложенные в объекты, не завершённые строительством, интенсивно уменьшаются, буквально тают.

Для оценки накопленного износа применяют следующие методы [5]: метод эффективного возраста (экономической жизни); метод разбивки (разбиения).

При использовании метода эффективного возраста (экономической жизни) не делается различий между видами износа, не рассматриваются отдельно устранимый физический и функциональный износ.

Для оценки ОНС подходит метод разбиения, суть которого заключается в последовательной оценке всех видов износа, к которым относят [5], [2]: устранимый физический износ, неустранимый физический износ, устранимый функциональный износ, неустранимый функциональный износ, внешний (экономический) износ.

Для оценки физического износа элементы сооружения делят по срокам их экономической жизни на долгоживущие и короткоживущие [2]. У долгоживущих элементов (фундамент, несущие стены, железобетонные перекрытия и т. д.) остаточный срок экономической жизни совпадает с остаточной экономической жизнью всего сооружения. Короткоживущие элементы имеют меньшую остаточную экономическую жизнь, чем весь объект, поэтому в течение срока эксплуатации предусматривается их периодическая замена.

Исследования на основе статистических наблюдений за эксплуатацией недвижимости показывают [1], что понятие устранимого физического износа, как правило, связано с короткоживущими и долгоживущими элементами, а неустранимого — только с долгоживущими элементами.

Для оценки устранимого износа короткоживущих и долгоживущих элементов можно использовать экспертную оценку на основе [6], где перечислены визуальные признаки физического износа отдельных конструктивных элементов и дана их количественная оценка. В перечне конструктивных элементов [6] есть короткоживущие и долгоживущие, поэтому речь идет об оценке устранимого физического износа в целом. Величина устранимого физического износа определяется суммированием величин износа отдельных конструктивных элементов по доле каждого из них в общей стоимости здания [7]:

$$И_{уст.физ} = \sum И_{фак} \cdot Y_{i-1}^n / 100,$$

где $И_{уст.физ}$ — устранимый физический износ, %; $И_{фак}$ — фактический износ 1-го конструктивного элемента, %; Y — удельный вес стоимости конструктивного элемента в общей стоимости здания, %; n — номер конструктивного элемента.

Полученный в процентах результат необходимо перевести в стоимостное выражение. В последующем эти результаты могут быть использованы для принятия решения о дальнейшем использовании ОНС (рис).



Вариант схемы принятия решения о дальнейшем использовании объекта, не завершеного строительством

В процессе экспертизы могут возникнуть трудности с освидетельствованием долгоживущих элементов, так как они часто недоступны визуальному наблюдению и требуют вскрытия для осмотра, что связано с большими затратами времени, труда и денежных средств. Подобные работы требуют привлечения высококвалифицированных экспертов; если оценщик не обладает специальными знаниями, то результат обследования существенно повлияет на искомую стоимость.

В методе разбивки функциональный износ также подлежит отдельной оценке по видам (устраимый и неустраимый), причем подходы к оценке функционального износа ОНС аналогичны тем, что применяют для эксплуатируемых объектов.

Согласно [4], функциональный износ имеет место в таких объектах недвижимости, в которых была сделана неудобная планировка, используются

деревянные перекрытия и перегородки, отсутствуют некоторые виды благоустройства (горячее водоснабжение).

Таким образом, в результате расчета каждого вида износа можно получить величину накопленного износа. В общем виде алгоритм расчета накопленного износа методом разбивки приведен в [2, 7 — 9].

$$I_{\text{накоп}} = 1 - (1 - I_{\text{физ}})(1 - I_{\text{функц}})(1 - I_{\text{внеш}}),$$

где $I_{\text{накоп}}$ — накопленный износ объекта оценки, %; $I_{\text{физ}}$ — физический износ объекта оценки; $I_{\text{функц}}$ — функциональный износ объекта оценки; $I_{\text{внеш}}$ — внешний износ объекта.

Следовательно, рыночная стоимость объекта, не заверщенного строительством, с учетом накопленного износа будет определяться по формуле

$$P = CC - CC \cdot I_{\text{накоп}} + \Delta C_y,$$

где CC — сметная стоимость объекта оценки, руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об оценочной деятельности в Российской Федерации : федер. закон от 29 июля 1998 г. № 135.
2. *Тарасевич Е. И.* Оценка недвижимости. СПб., 1998. 422 с.
3. Экономика строительного предприятия : учеб. пособ. / В. В. Бузырев, Т. А. Ивашенцева, А. Г. Кузьминский, А. И. Щербаков. Новосибирск : НГАСУ, 1998. 318 с.
4. Индексы изменения стоимости (строительно-монтажных) работ на территории Тульской области к базовому уровню (ценам на 01.01.91 г.)
5. Оценка рыночной стоимости недвижимости : учеб.-методич. пособ. / под ред. В. И. Рутгайзера. М., 1998. 384 с.
6. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий. М., 1988. 72 с.
7. Положение по ведению бухгалтерского учета и бухгалтерской отчетности в РФ : утв. приказом Минфина России от 29.07.98. № 34п ; введ. 01.01.1999 г.
8. *Фридман Д., Ордуэй Н.* Анализ и оценка приносящей доход недвижимости : пер. с англ. М., 1995. 480 с.
9. *Харрисон Генри С.* Оценка недвижимости : учеб. пособ. М., 1994. 231 с.
1. Ob otsenochnoy deyatel'nosti v Rossiiskoi Federatsii : feder. zakon ot 29 iyulya 1998 g. № 135.
2. *Tarasevich Ye. I.* Otsenka nedvizhimosti. SPb., 1998. 422 s.
3. Ekonomika stroitel'nogo predpriyatiya : ucheb. posob. / V. V. Busyrev, T. A. Ivashentseva, A. G. Kuzminski, A. I. Shcherbakov. Novosibirsk : NGASU, 1998. 318 s.
4. Indeksy izmeneniya stoimosti (stroitelno-montazhnykh) rabot na territorii Tuls'koi oblasti k bazovomu urovnyu (tsenam na 01.01.91 g.).
5. Otsenka rynochnoi stoimosti nedvizhimosti : ucheb-metod. posob. / pod. red. V. I. Rutgaizera. M., 1998. 384 s.
6. VSN 53-86(r). Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdaniy. M., 1988. 72 s.
7. Polozheniye po vedeniyu bukhgalterskogo ucheta i bukhgalterskoy otchetnosti v RF : utv. prikazom Minfina Rossii ot 29.07.98 № 34p ; vved. 01.01.1999 g.
8. *Fridman D., Orduei N.* Analiz i otsenka prinisyashchei dokhod nedvizhimosti : per. s angl. M., 1995. 480 s.
9. *Harrison Henry S.* Otsenka nedvizhimosti : ucheb. posob. M., 1994. 231 s.

© Широков А. И., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Широков А. И. Организация процесса освидетельствования объектов, не завершенных строительством, с учетом анализа качества // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 122—125.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.4:621.577

А. С. Штым, И. А. Маркелова

СИСТЕМЫ ТЕПЛОСБОРА ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Рассмотрены физические модели грунтовых теплообменников для описания процессов теплообмена и моделирования температурных полей в системе грунт — грунтовый теплообменник.

К л ю ч е в ы е с л о в а: грунт, грунтовый теплообменник, системы теплосбора, физическая модель, распределение температур.

The physical models of ground heat-exchangers to describe heat transfer processes and modeling of temperature fields in the ground system — ground heat-exchanger are described.

K e y w o r d s: ground, ground heat-exchanger, heat-collector systems, physical model, temperature distribution.

Грунт является практически неисчерпаемым источником энергии на данном этапе развития Земли. За небольшим исключением эта энергия имеет низкий энергетический потенциал. Тепловой режим грунта поверхностных слоев земли формируется под действием двух основных факторов — падающей на поверхность солнечной радиации и потока радиогенной теплоты из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения в грунт суточных колебаний температуры наружного воздуха и солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и солнечной радиации не превышает, как правило, 15...20 м [1].

Температурный режим слоев грунта, расположенных ниже этой глубины («нейтральной зоны»), формируется под воздействием тепловой энергии, поступающей из недр земли, и практически не зависит от сезонных, а тем более суточных, изменений параметров наружного климата. С увеличением глубины температура грунта возрастает в соответствии с геотермическим градиентом (примерно 3 °С на каждые 100 м). Величина потока радиогенной теплоты, поступающей из земных недр, для разных местностей различается. По результатам численных экспериментов по эффективности использования геотермальной теплоты низкого потенциала для целей теплоснабжения зданий, проведенных ОАО «Инсолар-Инвест», выполнено районирование территории России. Из расчетов получены достаточно высокие значения коэффициента

трансформации теплоты (3,2...3,5) для районов Дальнего Востока — районов с традиционно сложными условиями топливоснабжения, поэтому Дальний Восток является регионом приоритетного внедрения геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения [1].

Зависимость интенсивности удельного теплосъема с одного погонного метра длины грунтового теплообменника от теплопроводности и объемной теплоемкости грунта практически прямо пропорциональна. Существенное влияние на интенсивность удельного теплосъема оказывает изменение теплопроводности грунта в пределах от 0,2 до 2 Вт/(м·°C) и его объемной теплоемкости в пределах от 400 до 1000 кДж/(м³·°C), а дальнейшее их увеличение сказывается на увеличении удельного теплосъема менее заметно [2, п. 4.11]. Этот факт позволяет сделать вывод, что при эксплуатации системы теплосбора в малотеплопроводных и нетеплоемких грунтах имеется реальная возможность за счет незначительного повышения влажности грунта значительно повысить эффективность эксплуатации системы теплосбора.

Важная особенность данного вида низкопотенциального источника теплоты заключается в том, что он не имеет ограничений в локализации.

Использование геотермальных тепловых насосов, которые могут работать круглогодично, извлекая из грунта зимой теплоту для отопления, а летом холод для кондиционирования, значительно повышает эффективность этих систем. Системой теплосбора являются грунтовые теплообменники.

На практике применяется несколько типов грунтовых теплообменников, которые делятся на горизонтальные, вертикальные и наклонные. Горизонтальные грунтовые теплообменники устраиваются, как правило, рядом с домом на небольшой глубине (ниже уровня промерзания грунта в зимнее время). Использование горизонтальных грунтовых теплообменников ограничено размерами имеющейся площадки.

Вертикальные грунтовые теплообменники позволяют использовать низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива, лежащего ниже «нейтральной зоны» (15...20 м от уровня земли). Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не требуют участков большой площади и не зависят от интенсивности солнечной радиации, попадающей на поверхность. Они эффективно работают практически во всех видах геологических сред за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например сухого песка или гравия.

Обычно используется два типа вертикальных грунтовых теплообменников: U-образный, представляющий собой две параллельные трубы, соединенные в нижней части (преимуществом такой схемы является относительно низкая стоимость изготовления); коаксиальный (концентрический) теплообменник.

Для увеличения интенсивности процесса теплообмена пространство между стенками скважины и трубами заполняется специальными теплопроводящими материалами.

Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками могут использоваться для тепло- и холодоснабжения зданий различных размеров.

Наклонные грунтовые теплообменники, также как и вертикальные, используют низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива. Для извлечения теплоты грунта применяют U-образные теплообменники из медных труб диаметром 1/2...1/4 дюйма. Располагают теплообменники под углом 45° относительно поверхности земли и на глубине 15...30 м. Количество и длина теплообменников зависят от мощности теплового насоса.

Моделирование температурных полей в системе грунт — грунтовый теплообменник можно осуществлять на основе решения линейных дифференциальных уравнений теплопроводности для системы элементов, определяющих условия протекания теплового процесса.

Для решения задачи теплообмена между грунтом и грунтовым теплообменником можно представить их как многослойный цилиндр (рис. 1).

В коаксиальном грунтовым теплообменнике рабочая жидкость может поступать по внутренней трубе, а выходить по внешней, но может и наоборот: поступать по внешней, а выходить по внутренней.

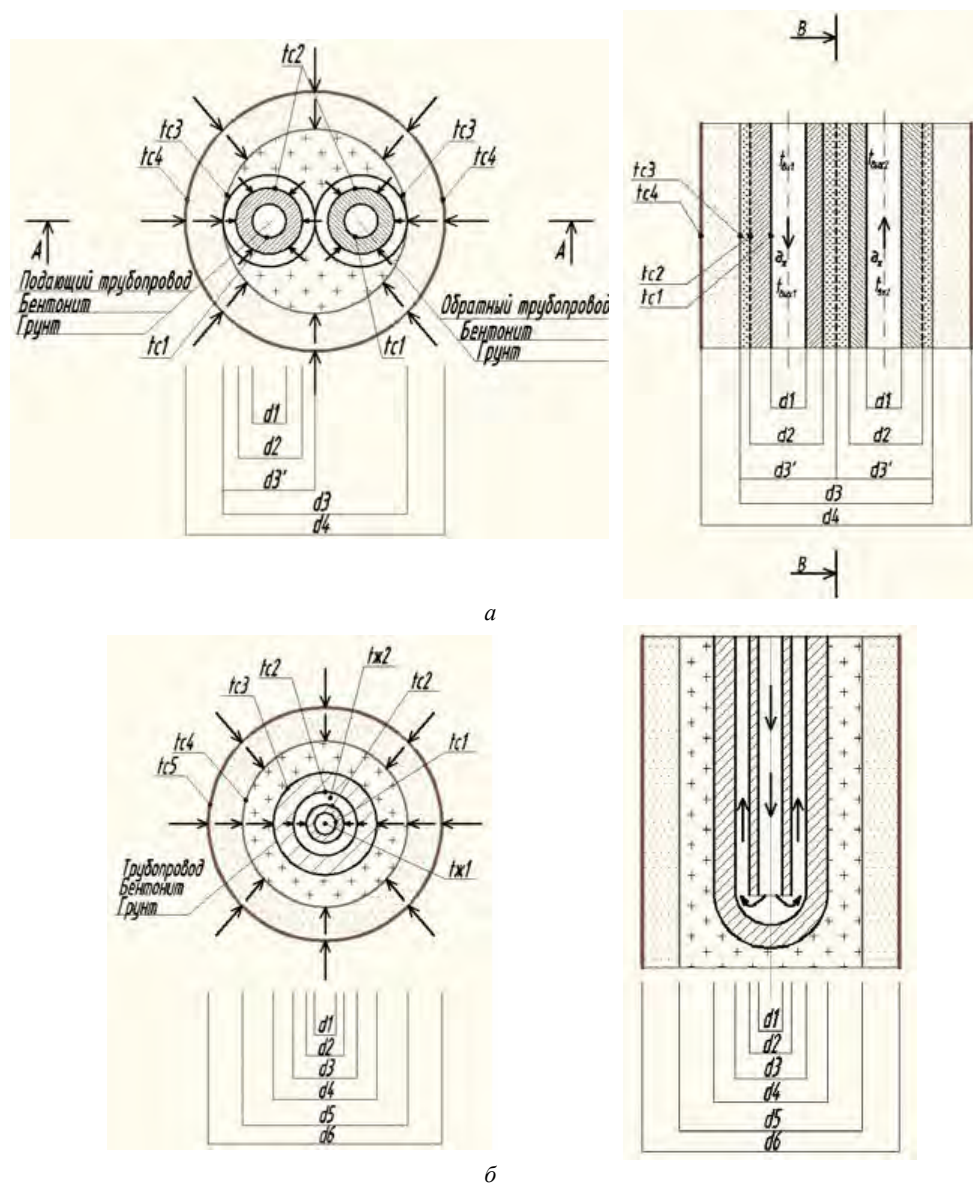


Рис. 1. Физическая модель: а — U-образного грунтового теплообменника ; б — коаксиального грунтового теплообменника

Общее дифференциальное уравнение теплопроводности в данном случае будет представлено в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_{\vartheta}}{c\rho}, \quad (1)$$

где $t = t(x, y, z, \tau)$ — температура, °С; $c\rho$ — объемная теплоемкость, Дж/(°С·м³); λ — теплопроводность, Вт/(м·°С); τ — время, с; q_{ϑ} — удельная производительность внутренних источников тепла, Вт/м³; r — радиус-вектор в цилиндрической системе координат; φ — угол.

Данное уравнение устанавливает связь между временным и пространственным изменением температуры в любой точке тела, в которой происходит процесс теплопроводности. Также оно описывает целый класс явлений теплопроводности. Чтобы из бесчисленного количества процессов выделить конкретный процесс и дать его математическое описание, к дифференциальному уравнению необходимо присоединить начальные и граничные условия.

Для решения уравнения принято, что температура изменяется только в радиальном направлении и температурное поле будет одномерным. Так как температуры на поверхностях каждого слоя цилиндра неизменны, изотермические поверхности являются цилиндрическими, имеющими с цилиндром общую ось.

При заданных условиях уравнение теплопроводности будет иметь вид

$$\frac{\partial^2 t_i(r_i)}{\partial r_i^2} + \frac{1}{r_i} \frac{\partial t_i(r_i)}{\partial r_i} = 0. \quad (2)$$

Для U-образного грунтового теплообменника граничные условия будут иметь вид $i=1, 2, 3$; $\frac{d_i}{2} \leq r_i \leq \frac{d_{i+1}}{2}$.

Граничные условия III рода:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } i=3, \frac{d_3}{2} \leq r_3 \leq \frac{d_4}{2}, r_3 = \frac{d_4}{2} \left(\frac{\partial t_4}{\partial r_3} \right)_c &= -\frac{\lambda_4}{\delta_4} (t_{c4} - t_{c3}); \\ r_3 = \frac{d_3}{2} \left(\frac{\partial t_3}{\partial r_3} \right)_c &= -\frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_{c3} - t_{c2}); \\ \text{при } i=2, \frac{d_2}{2} \leq r_2 \leq \frac{d_3}{2}, r_2 = \frac{d_3}{2} \left(\frac{\partial t_3}{\partial r_2} \right)_c &= -\frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_{c3} - t_{c2}); \\ r_2 = \frac{d_2}{2} \left(\frac{\partial t_2}{\partial r_2} \right)_c &= -\frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_{c2} - t_{c1}); \\ \text{при } i=1, \frac{d_1}{2} \leq r_1 \leq \frac{d_2}{2}, r_1 = \frac{d_2}{2} \left(\frac{\partial t_2}{\partial r_1} \right)_c &= -\frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_{c2} - t_{c1}); \\ r_1 = \frac{d_1}{2} \left(\frac{\partial t_1}{\partial r_1} \right)_c &= -\alpha_{\text{ж}} (t_{c1} - t_{\text{ж}}). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Граничные условия IV рода:

$$\lambda_1 \left(\frac{\partial t_1}{\partial r_1} \right) = \lambda_2 \left(\frac{\partial t_2}{\partial r_2} \right) = \lambda_3 \left(\frac{\partial t_3}{\partial r_3} \right), \quad (4)$$

где $\partial t_1(r_i)$ — распределение температур в многослойной цилиндрической стенке; r_i — радиус i -го слоя; λ_i — коэффициент теплопроводности i -го слоя; $\alpha_{\text{ж}}$ — коэффициент теплоотдачи от стенки трубы рабочей жидкости.

Решением уравнения (2) совместно с (3, 4) является нахождение распределения температур в многослойной цилиндрической стенке и теплового потока через нее.

Также для U-образного грунтового теплообменника необходимо найти температуру в центре условно принятого цилиндра (в слое (разрез В—В), расположенном между трубами теплообменника). Для решения задачи найдем температуры в центре однородного цилиндра со стоками теплоты. Уравнение при этом имеет вид

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{q_{\text{г}}}{\lambda} = 0. \quad (5)$$

Граничные условия:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } r = 0 \quad \left(\frac{\partial t}{\partial r} \right)_{r=0} = 0, \\ \text{при } r = r_0 \quad \left(\frac{\partial t}{\partial r} \right)_{r=r_0} = -\lambda \left(\frac{dt}{dr} \right)_c \end{array} \right\} \quad (6)$$

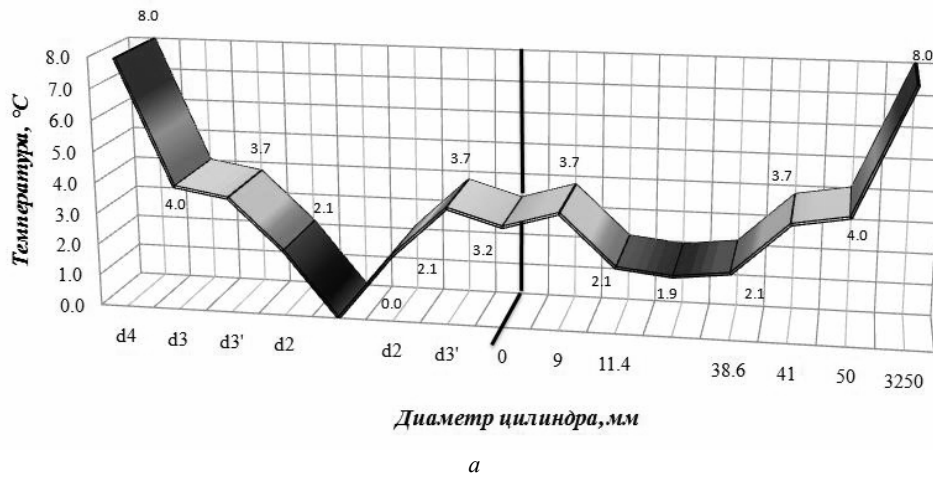
Для коаксиальных грунтовых теплообменников двух типов для построения температурных полей приняты решения, аналогичные вышеприведенным, но с учетом особенностей распределения тепловых потоков.

На основании представленной модели были произведены расчеты для некоторых типов грунтов с различными коэффициентами теплопроводности, плотности и влажности. Также для расчетных значений построены графики распределения температур в рассматриваемых слоях, состоящих из песка плотностью 1400 кг/м^3 и влажностью 25 %, заполнителя скважины бентонита. Трубы грунтового теплообменника заполнены смесью воды и 20 % этиленгликоля (рис. 2, 3).

Для U-образного грунтового теплообменника температурное поле построено на отметке $-2,0 \text{ м}$ от уровня земли, диаметр расчетного цилиндра $6,5 \text{ м}$. От оси скважины расположен слой бентонита, что соответствует пространству между труб (температура изменяется от $3,2$ до $3,7 \text{ }^\circ\text{C}$), далее трубы теплообменника, по которым поступает рабочая жидкость от теплового насоса и к тепловому насосу (температура на наружной поверхности трубы составляет $3,7 \text{ }^\circ\text{C}$, на внутренней $-2,1 \text{ }^\circ\text{C}$). Трубы находятся в слое бентонита (в этом слое температура изменяется от $3,7$ до $4 \text{ }^\circ\text{C}$), а затем в массиве грунта (изменение температуры происходит в диапазоне от 4 до $8 \text{ }^\circ\text{C}$) (рис. 2). Температура рабочей жидкости, движущейся к тепловому насосу, достигает $1,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Значение температуры в центре скважины по сечению В—В, где находится бентонит, получено $3,2 \text{ }^\circ\text{C}$, что ниже температуры на границах данного слоя — $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Это явление обусловлено тем, что температурные поля подающей и обратной труб пересекаются.

Распределение температур



Распределение температур

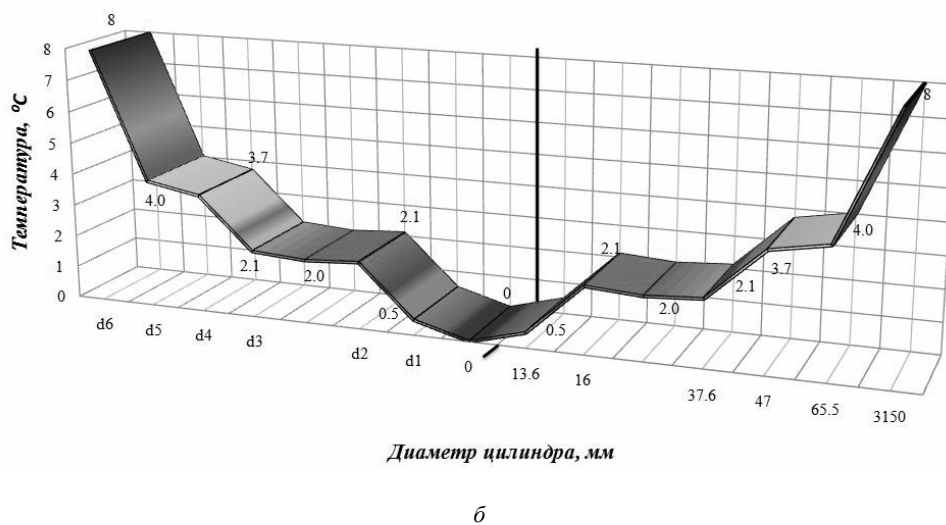


Рис. 2. Распределение температур для U-образного грунтового теплообменника:
a — сечение А—А; *б* — сечение В—В

Температурное поле для коаксиального грунтового теплообменника построено на отметке $-2,0$ м от уровня земли, диаметр расчетного цилиндра $6,3$ м (рис. 3). Ось скважины проходит по подающей трубе, разделяя цилиндр на две симметричные области. В правой области от оси скважины температуры распределяются следующим образом: температура теплоносителя на входе в грунтовой теплообменник равна 0 °С, температура внутренней поверхности стенки трубы меньшего диаметра равна $0,5$ °С, на наружной поверхности $-2,1$ °С.

Распределение температур

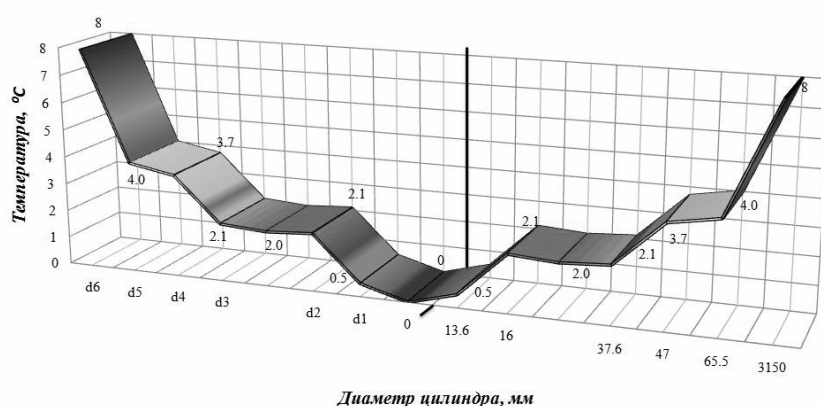


Рис. 3. Распределение температур в слое для коаксиального, грунтового теплообменника (теплоноситель поступает в скважину по внутренней трубе)

Труба большего диаметра имеет температуру на внутренней поверхности стенки $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, на внешней $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$; поток нагретой жидкости, который движется по этой трубе, имеет температуру $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; в слое бентонита изменения происходят от $3,7$ до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в рассматриваемом слое грунта изменения происходят в диапазоне от 4 до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Исходя из проведенных расчетов, построены зависимости изменения расстояния между скважинами поля грунтовых теплообменников от коэффициента теплопроводности грунта (рис. 4).

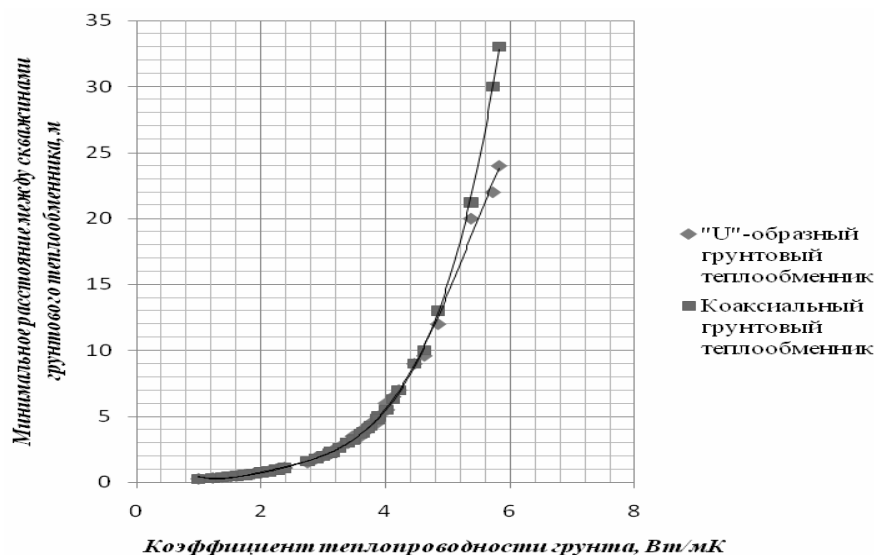


Рис. 4. Расстояние между скважинами в зависимости от коэффициента теплопроводности грунта

По построенной зависимости видно, что чем больше теплопроводность грунта, тем больше расстояние между скважинами. В случае близкого распо-

ложения скважин при высокой теплопроводности грунта может наблюдаться обмерзание массива вокруг скважины.

По результатам расчета температурных полей уточнены значения низкопотенциальной тепловой энергии, извлекаемой грунтовым теплообменником, построена зависимость расстояния между скважинами грунтовых теплообменников от коэффициента теплопроводности грунта, что является важным параметром при проектировании таких систем. Определены факторы, влияющие на интенсификацию процессов теплообмена в грунтовом теплообменнике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Г. П., Шилкин Н. В. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России // АВОК. 2003. № 2.

2. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Введ. 2001.01.31. М. : Москомархитектура, 2001.

1. Vasiliev G. P., Shilkin N. V. Geotermalnye teplonasosnye sistemy teplosnabjeniya i effektivnost ih primeneniya v klimaticheskikh usloviyakh Rossii // AVOK. 2003. № 2.

2. Rukovodstvo po primeneniю teplovyh nasosov s ispolzovaniem vtorichnih energeticheskikh resursov netradicionnih vozobnovlyаемih istochnikov energii. Vved. 2001.01.31. М. : Moskomarhitektura, 2001.

©. Штым А. С., Маркелова И. А., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Штым А. С., Маркелова И. А. Системы теплосбора для геотермальных тепловых насосов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 126—133.

УДК 621.6.01

О. Н. Медведева, В. О. Фролов

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНАБЖЕНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЖИЖЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

Приведены результаты технико-экономического анализа систем снабжения потребителей сетевым природным и сжиженным природным газами. Определены зоны их экономически целесообразного применения. Представлена экономико-математическая модель по определению местоположения завода по сжижению газа.

К л ю ч е в ы е с л о в а: природный газ, сжиженный природный газ, себестоимость.

The results of a feasibility analysis of systems of gas supply to consumers network of natural and liquefied natural gas are indicated. The zones of economic use are defined. The economic and mathematical model for determining the location of gas liquefaction plant is represented.

К e y w o r d s: natural gas, liquefied natural gas, cost.

Системы газоснабжения обеспечивают газовым топливом различные категории потребителей: население, коммунально-бытовые, сельскохозяйственные и промышленные предприятия. Сдерживающим фактором для организации газоснабжения всех регионов страны являются транспортные проблемы. Необходимость строительства весьма протяженных магистральных газопроводов по малоосвоенным и труднопроходимым территориям требует решения финансовых и технических задач. Также возникает необходимость учитывать и присущие трубопроводному транспорту недостатки (случаи хищения газа, трудности поставки газа на территории, отделяемые морями, и т.д.). Поэтому вполне обоснованной является необходимость создания системы альтернативного трубопровода варианта транспортировки природного газа в сжиженном виде, хотя практическая реализация этого проекта потребует значительных капиталовложений.

В отличие от других криопродуктов, сжиженный природный газ (СПГ) входит в число перспективных энергоресурсов. Он является экологически чистым и безопасным топливом, что открывает широкие перспективы его использования в промышленности, на транспорте и в жилищно-коммунальном хозяйстве [1]. Кроме того, сжиженный природный газ обладает уникальными свойствами, пригодными для качественной и эффективной транспортировки сырья в местах, где прокладка газопровода по каким-либо причинам затруднительна или невозможна. Развитие отрасли производства сжиженного природного газа для обеспечения внутреннего потребления, а также для экспорта за границу становится актуальным в связи с ростом цен на энергоносители и ростом энергопотребления. Ведущими странами СПГ признан как один из перспективных энергоносителей.

Если по вопросам распределения и использования сетевого природного газа в российской научной литературе имеется достаточное количество исследований, статей и монографий, то по рынку СПГ крупных аналитических работ недостаточно. Между тем в последние 10...15 лет этот рынок развивается высокими темпами и в настоящее время СПГ выступает неотъемлемым и

достаточно заметным элементом мировой торговли природным газом. По имеющимся прогнозам, среднегодовой темп прироста мирового спроса на СПГ к 2030 г. может возрасти в два и более раз.

Отсутствие сетевого газоснабжения в некоторых районах России обусловлено малой плотностью населения и, в связи с необходимостью сооружения протяженных газопроводов (что влечет за собой значительные капиталовложения), экономически оправдано. В настоящее время для газоснабжения потребителей, удаленных от магистральных газопроводов сетевого газа, используется привозной сжиженный углеводородный газ (СУГ). Рассматривая СПГ как альтернативное СУГ топливо, приведем несколько недостатков последнего. Производство СУГ на нефтеперерабатывающих заводах — достаточно сложный, трудоемкий и дорогой процесс, поэтому цена на сжиженный пропан-бутан, в отличие от сетевого природного газа, приближается к мировым ценам. Кроме этого, СУГ является ценнейшим сырьем для химической промышленности, а использование газа с повышенным содержанием бутана (в зимнее время) влечет за собой ряд технических проблем (гидратообразование, конденсатообразование, затруднение в проведении сливно-наливных операций, снижение испарительной способности и т.д.) [2]. Применение сжиженного природного газа в качестве энергоносителя для бытовых и хозяйственных нужд, технологических процессов и установок в полной мере отвечает социальным, экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям. Указанное обстоятельство в сочетании с высоким уровнем автономности и инженерного сервиса обуславливает широкие перспективы применения СПГ в качестве первичного энергоресурса для небольших населенных пунктов и сопутствующих им объектов агропромышленного комплекса, удаленных от опорных пунктов энергоснабжения.

Как показывает сравнительный анализ, себестоимость 1 Гкал при использовании сжиженного природного газа на 70 % больше, чем при использовании трубопроводного природного газа, а расчетный срок окупаемости капитальных вложений при работе котельных на СПГ почти в 1,5 раза меньше, чем на природном газе. Данное обстоятельство может оказаться определяющим при выборе энергоносителя. Свыше 50 % затрат на производство СПГ приходится на амортизацию, электроэнергию и зарплату работников, обслуживающих компрессорное и электросиловое оборудование.

В состав комплексов СПГ входят: комплексы по сжижению природного газа, хранилища и средства выдачи сжиженного газа, средства для транспортировки СПГ, хранилища газа у потребителей, газификаторы, криогенная арматура, оборудование газораспределения. Как показывает анализ, себестоимость СПГ главным образом зависит от принятой технологии сжижения и комплексной очистки природного газа. Для сжижения природного газа могут быть использованы как принципы внутреннего охлаждения (когда природный газ сам выступает в роли рабочего тела), так и принципы внешнего охлаждения (когда для охлаждения и конденсации газа используются вспомогательные криогенные газы с более низкой температурой кипения). Значительно снизить себестоимость газа возможно при использовании перепада давления на газораспределительных станциях (ГРС) или газорегуляторных пунктах (ГРП) за счет уменьшения затрат на электроэнергию, обслуживание

компрессорного и электросилового оборудования, а также отчислений на амортизацию. Например, подобные технологии, разработанные ОАО «Криогенмаш», позволяют снизить себестоимость СПГ на 30...40 % [3].

Для выявления зон конкурентоспособного применения сжиженного природного газа по сравнению с сетевым газом были проведены соответствующие исследования. Сравнение вариантов проектных решений проводилось по интегральным затратам:

$$Z_{\text{СПГ(ПГ)}} = K_{\text{СПГ(ПГ)}} + Y_{t_{\text{сл}}} I_{\text{СПГ(ПГ)}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{СПГ(ПГ)}}$ — капитальные вложения в систему газоснабжения объекта сжиженным природным газом, руб.; $I_{\text{СПГ(ПГ)}}$ — годовые эксплуатационные расходы по системе снабжения СПГ и ПГ, руб./год; $Y_{t_{\text{сл}}}$ — дисконтирующий множитель.

Оптимальному варианту соответствует минимум целевой функции (1).

В варианте снабжения СПГ рассматривалась следующая схема: завод по производству СПГ (расположенный вблизи магистрального газопровода) — доставка сжиженного газа потребителю автотранспортом. Потребители расположены на расстоянии от 10 до 200 км от источника. В расчетах было принято, что газ равномерно распределяется между потребителями, а суммарное газопотребление на базе СПГ варьирует от 1 до 30 т/год. Снабжение природным сетевым газом осуществляется по газопроводу-отводу от магистрального газопровода. Природный газ под высоким давлением подается на газораспределительную станцию (ГРС) или ГРП, где редуцируется до низкого давления и поступает в распределительную сеть населенного пункта.

Как показывает анализ проведенных исследований, величина затрат на транспорт сжиженного газа в малой степени влияет на суммарную величину интегральных затрат. В свою очередь, затраты в систему снабжения сетевым природным газом значительным образом зависят от расстояния до газифицируемого объекта. Следовательно, целесообразность применения того или иного варианта газоснабжения потребителей будет зависеть от удаленности населенных пунктов от опорных пунктов газоснабжения (завода по сжижению или магистрального газопровода). Применение систем снабжения на базе СПГ будет наиболее эффективно при расстоянии до газифицируемого объекта большем, чем 1100 км (при производительности завода свыше 20 т газа). Однако по мере увеличения численности газоснабжаемого населения конкурентоспособность СПГ будет снижаться, что можно объяснить увеличением затрат в заводы (комплексы) по сжижению природного газа.

При разработке системы снабжения потребителей сжиженным природным газом немаловажной является задача определения оптимальной посадки завода по сжижению газа. Вопросы, связанные с оптимальным размещением завода по сжижению природного газа, актуальны, но мало проработаны теоретически и практически. Для оптимального функционирования всего комплекса СПГ необходимо наладить четкое взаимодействие между его основными составляющими. Комплекс по сжижению — важное и капиталоемкое звено в технологической цепи транспорта природного газа, являющееся опорным пунктом систем газоснабжения. При большом количестве населен-

ных пунктов, требующих обеспечения природным газом, и их значительном рассредоточении определение рационального местоположения завода требует проведения предварительных технико-экономических исследований. Оптимальному местоположению будет соответствовать наименьшее суммарное расстояние от завода до газифицируемых потребителей. Расчетная схема задачи представлена на рис. 1.

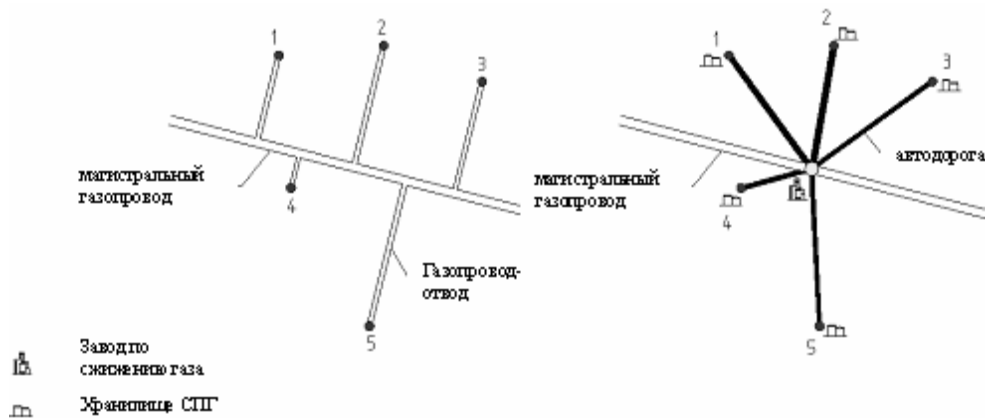


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Суммарная длина газопроводов-отводов определяется по формуле

$$L = \sum_{i=1}^n \left| \frac{-ax_i + y_i - b}{\sqrt{a^2 + 1}} \right|. \quad (2)$$

Согласно рис. 1 длина i -го газопровода-отвода, км

$$l_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}, \quad (3)$$

а суммарное расстояние до населенных пунктов

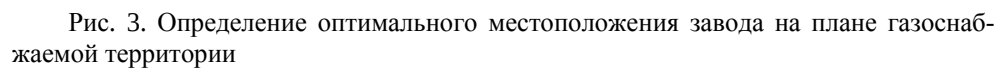
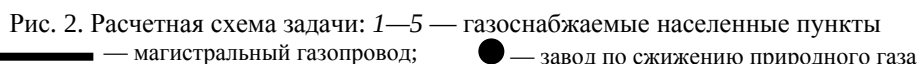
$$L = \sum_{i=1}^n l_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}, \quad (4)$$

где $x_1, y_1; x_2, y_2, \dots, x_i, y_i, \dots, x_m, y_m$ — координаты населенных пунктов, расположенных на территории области (административного района).

В качестве целевой функции задачи примем суммарную протяженность ответвлений, тогда оптимальному решению задачи соответствует условие

$$L = \sum_{i=1}^n l_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} = \min. \quad (5)$$

В результате решения находим оптимальные значения управляющих параметров (координаты местоположения завода) $x_{\text{opt}}; y_{\text{opt}}$. Данная задача успешно решается на ЭВМ [4].



138

пользования природного газа в традиционной форме и в сжиженном состоянии. Реализация результатов проведенных исследований по использованию СПГ для различных категорий потребителей позволит снизить металлоемкость систем, повысит их надежность и безопасность и улучшит экологическую обстановку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Касаткин Р. Г.* Система морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики. М. : ЛКИ, 2008. 104 с.
2. *Крылов Е. В.* Газоснабжение сжиженным природным газом. Саратов : СГАУ, 2003. 156 с.
3. *Чириков К. Ю.* Использование СПГ в народном хозяйстве. М. : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1991. 41 с.
4. *Медведева О. Н., Фролов В. О.* Разработка методики оптимального размещения завода по сжижению природного газа // Инновации и актуальные проблемы техники и технологий : матер. Всеросс. науч.-практич. конф. молодых ученых. Саратов, 2010. Т. 2. С. 221—223.
1. *Kasatkin R. G.* Sistema morskoj transportirovki sgigenного prirodnogo gaza iz Arktiki. M. : LKI, 2008. 104 s.
2. *Krilov E. V.* Gazosnabgenie sgigenным prirodnim gazom. Saratov : SGAU, 2003. 156 s.
3. *Chirikov K. Yu.* Ispolzovanie SPG v narodnom hozyaistve. M. : CINTICHIMNEFTEMASH, 1991. 41 s.
4. *Medvedeva O. N., Frolov V. O.* Razrabotka metodiki optimalnogo razmesheniya zavoda po sgigeniu prirodnogo gaza // Innovacii i aktualnie problemi tehniki i tehnologii : mater. Vseross. nauch.-prakt. konf. molodich uchenich. Saratov, 2010. T. 2. S. 221—223.

© *Медведева О.Н., Фролов В.О., 2011*

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Медведева О.Н., Фролов В.О. Разработка мероприятий по снабжению потребителей сжиженным природным газом // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 134—139.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.144.2:621.643.3

Е. В. Пустовалов, И. М. Шевцова, Т. Д. Кичёва, А. В. Горьковская

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Рассмотрены вопросы применения полипропиленовых двухслойных гофрированных труб при строительстве наружных сетей водоотведения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: полипропилен, двустенная труба, канализационная и дренажная системы.

The problems of two-layer polypropylene corrugated pipe in the construction of the external drainage networks are considered.

К e y w o r d s: polipropylene, double wall pipe, sewer and drainage systems.

Материалы, используемые для изготовления труб, должны удовлетворять строительным, технологическим и экономическим требованиям. До настоящего времени в сфере канализации и дренажа используют чугунные, асбестоцементные, железобетонные и керамические трубы [1]. Пластиковые трубы большого диаметра с трудом проникали на рынок канализационных и дренажных систем. Для прокладки водоотводящих сетей сегодня рекомендуется применять трубопроводы из полимерных материалов. Эти материалы обладают рядом достоинств.

Новинкой стали появившиеся на рынке полипропиленовые двухслойные гофрированные трубы [2]. Такие трубы изготавливаются методом экструзии с формованием гофра на наружной поверхности и сваркой слоев между собой в местах их контакта. Полипропилен (ПП) является наиболее перспективным материалом для производства канализационных труб. Его применение дает возможность получить продукцию с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками.

Система характеризуется высокой стойкостью к действию высоких температур (постоянная температура составляет +60 °С, кратковременная +95 °С) и агрессивных грунтов.

Конструкция двустенной трубы позволяет добиться ее эластичности, благодаря которой труба может деформироваться под действием больших нагрузок при одновременном сохранении надежных и герметичных соединений (рис. 1).

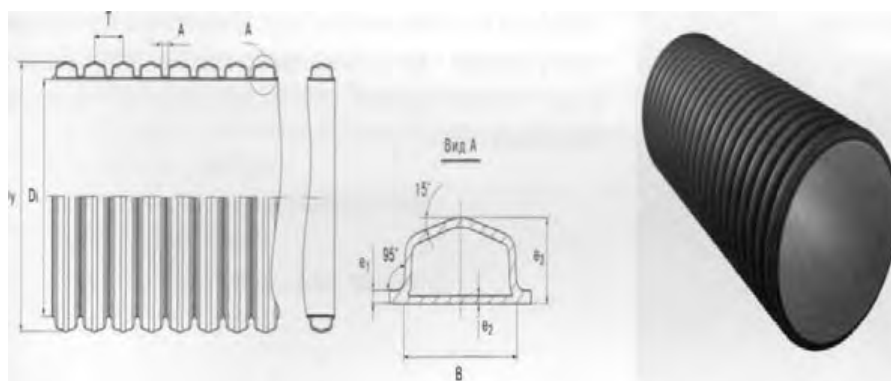


Рис. 1. Схема ПП-трубы с двухслойной стенкой

Гофрированные двухслойные ПП-трубы имеют сортамент диаметров от 150 до 1000 мм и поставляются стандартной длины 3 и 6 м по ТУ № 2248-011-70239139—2005.

Технология двухслойных гофрированных труб из полимеров позволила решить принципиальную проблему пластиковых труб большого диаметра, существенное уменьшение массы трубы при больших показателях ее кольцевой жесткости позволит в будущем потеснить другие виды труб (а некоторые вытеснит совсем) для канализационных и дренажных систем (рис. 2).

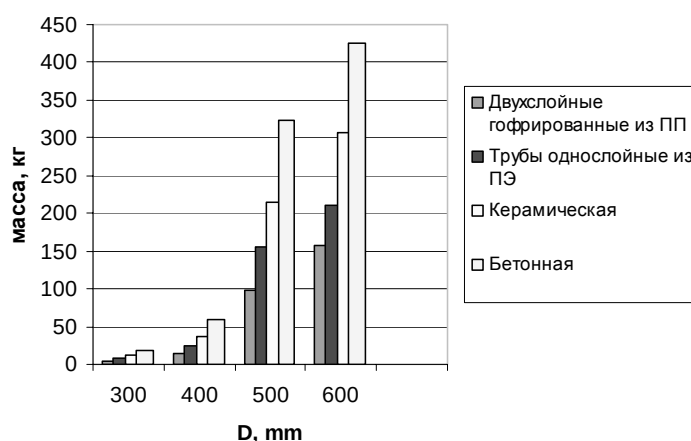


Рис. 2. Сравнение показателей массы 1 пог. м двухслойной гофрированной трубы из полимеров

Как видно из диаграммы, двухслойные гофрированные трубы из ПП существенно меньше по массе, чем их аналоги из других видов материалов или из тех же материалов, но сделанных по другой технологии. Подобное конструктивное исполнение пластиковых труб позволило сделать большой прорыв в освоении рынка канализационных систем России, ведь уменьшение массы трубы сокращает не только время монтажа, его трудоемкость, но и стоимость всей системы двухслойных гофрированных труб из ПП в сравнении с другими видами канализационных пластиковых труб. Все эти достоинства двухслойных гофрированных труб из ПП обусловили в последние годы не только

рост рынка потребления данной продукции, но и интерес отечественных инвесторов, которые собираются активно развивать производство двухслойных гофрированных труб из ПП.

Уникальная форма раструба и уплотнительного кольца гарантируют абсолютную надежность и герметичность соединения. Трубы соединяются методом раструбного соединения и уплотняются специальной профильной прокладкой.

ПП для производства труб стал применяться около 30 лет назад. Собранный практический и лабораторный опыт позволяют сегодня прогнозировать, что долговечность сетей из полипропилена, работающих в самотечном режиме и укладываемых в земле, будет составлять как минимум 50 лет.

Производство изделий из полипропилена экологически безвредно. Благодаря малой теплопроводности на их поверхности не образуется конденсат. Канализационная система хорошо поглощает шумы.

Трубы из ПП в начальный период их производства благодаря своей исключительно высокой химической стойкости нашли применение в строительстве промышленных сетей в химической промышленности. Позже в Западной Европе трубы из ПП стали применять для внутренних канализационных сетей. Причиной этого стала исключительная стойкость пропиленов при транспортировке горячих стоков, которые производят домашние стиральные и посудомоечные машины.

В последнее время новым направлением применения являются безнапорные системы наружной канализации, укладываемые в земле. Можно также предположить, что трубопроводы из полипропилена будут применяться в канализации низкого давления для транспортировки стоков от насосных станций до очистных сооружений.

Сотрудниками компании «Эгопласт» [3] проводились исследования по определению величины эквивалентных вертикальных нагрузок q_{tr} , возникающих от транспортного движения, действующих на трубу в зависимости от глубины ее укладки (рис. 3).

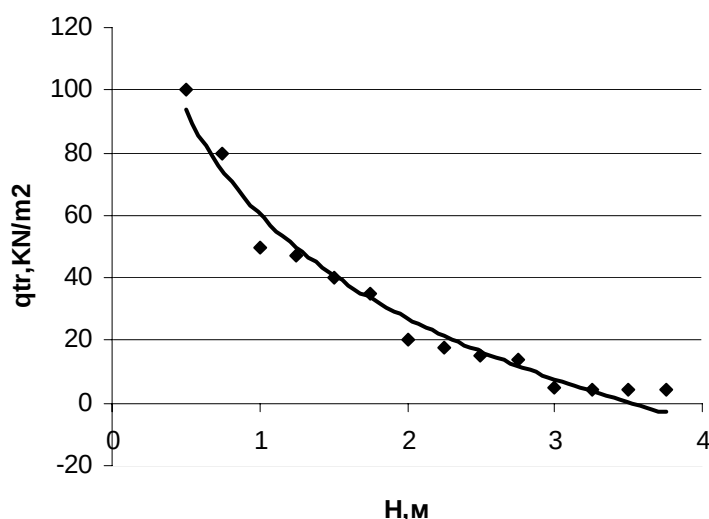


Рис. 3. Зависимость вертикальной нагрузки от глубины укладки трубы

Полная вертикальная нагрузка g , действующая на трубу, возникающая от веса грунта и транспортного движения, будет составлять:

$$g = g_s + g_w + g_{tr},$$

где g_s — напор грунта, м; g_w — напор грунтовой воды, м; g_{tr} — нагрузка от транспортного движения, кН/м².

Благодаря литой двустенной конструкции, в которой наружная стенка гофрированная, а внутренняя гладкая, трубы могут применяться для прокладки канализационных сетей санитарно-технического, ливневого и общего назначения под дорогами и другими тяжело нагружаемыми поверхностями.

Основные преимущества полипропиленовых двухслойных гофрированных труб по сравнению с трубами из других материалов приведены в таблице.

Сравнительная характеристика материалов труб

Показатель	Материал труб				
	Железобетон	Сталь	Чугун	Асбесто-цемент	Полипропилен
1. Устойчивость к коррозии, зарастанию сечений	Подвержен коррозии арматуры в короткие эксплуатационные сроки, что приводит к образованию микро- и макротрещин в теле трубы	Подвержена электрохимической коррозии и зарастанию сечений в короткий срок эксплуатации	Мало подвержен коррозии (но обязательно должен иметь антикоррозийную защиту)	Не подвержен коррозии	Отсутствие коррозии и зарастания сечений
2. Удельный вес 1 пог. м, кг	104,9	17,5	28,1	11,4	7,06
3. Уровень морозостойкости, °С	До –50	—	до –60	до –40	до –60
4. Срок службы	Не более 25...30 лет	15...25 лет	До 80 лет	Не менее 30 лет	Не менее 50 лет
5. Уровень износостойкости	Низкий	Средний	Низкий	Низкий	Высокий

Также к преимуществам таких труб относятся:

быстрая и легкая установка;

химическая устойчивость к воздействию основных видов стоков;

высокая пропускная способность;

эластичность, взаимодействие с окружающим грунтом — очень хорошая устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам;

белый цвет внутренней поверхности: идеален для проведения телевизионной инспекции сервисными службами;

высокая герметичность соединений.

На кафедре водоснабжения и водоотведения Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета в межкафедральной учебно-научно-исследовательской лаборатории были проведены исследования на модельной установке по влиянию высоких температур ($-20...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также воздействия агрессивных грунтов на материал трубы из ПП. В результате исследования было установлено, что применяемый материал труб легко сопротивляется воздействию перепада температур, что характерно для климатических условий Волгоградской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Минстрой России. М. : ГУП, 1996. 72 с.
2. ГОСТ 26996—86. Полипропилен и сополимеры пропилена. М. : Изд-во стандартов, 1988.
3. Системы водоснабжения, канализации, отопления «Эгопласт». Режим доступа: <http://www.egoplast.ru> (дата обращения: 26.06.2011).
1. SNiP 2.04.03—85. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya / Minstroy Rossii. M. : GUP, 1996. 72 s.
2. GOST 26996—86. Polipropilen i sopolimery propilena. M. : Izd-vo standartov, 1988.
3. Sistemi vodosnabzgeniya, kanalizacii, otopeniya «Egoplast». Rezgim dostupa: <http://www.egoplast.ru> (data obrasheniya: 26.06.2011).

© Пустовалов Е. В., Шевцова И. М., Кичёва Т. Д., Горьковская А. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Аспекты применения полипропиленовых двухслойных гофрированных труб для прокладки наружных сетей водоотведения / Е. В. Пустовалов, И. М. Шевцова, Т. Д. Кичёва, А. В. Горьковская // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 140—144.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК [627.8] + [621.224.8]

Д. В. Кашарин

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНЫХ ВОДОПОДПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрена многокритериальная оптимизация параметров мобильных водоподпорных конструкций сооружений инженерной защиты из композитных материалов в водохозяйственном проектировании методом Парето.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидротехническое строительство, мобильные сооружения инженерной защиты, оптимизация, воздухо- и водонаполняемые плотины, мембранно-вантовые плотины.

Optimisation of parameters mobile dam designs of constructions of engineering protection from composit materials is considered hydroeconomic projecting of Pareto method.

K e y w o r d s: water engineering, mobile constructions of engineering protection, optimisation, air- and water filled dam, membrane-truss dam.

Актуальной задачей при проектировании мобильных сооружений инженерной защиты, представляющих собой конструкции из замкнутых и незамкнутых оболочек, является оптимизация их параметров в зависимости от условий установки, работы, требований к надежности и безопасности. Автором предлагается использовать метод Парето для многокритериальной оптимизации водоподпорных конструкций, который был рассмотрен в [1]. Классификация данных сооружений представлена на рис. 1. Критерии выбора допустимых вариантов конструкции представлены в табл. 1, а допустимые параметры на примере воздухо- и водонаполняемых конструкций — в табл. 2.

В табл. 1 приведены следующие обозначения: V_{Π} — объем зарегулированной части стока; $\bar{W}_{\text{р.ст}}$ — норма годового стока водотока; $t_{\text{рег}}^{\text{к}}$ — время регулирования уровня воды в верхнем бьефе водоподпорным сооружением из композитных материалов; $t_{\text{рег}}^{\text{гп}}$ — время регулирования уровня воды в верхнем бьефе грунтовой земляной плотиной; $t_{\text{нап}}^{\text{к}}$ — время наполнения водоподпорной оболочки; $t_{\text{нап}}^{\text{гп}}$ — время наполнения грунтонаполняемой оболочки; $N_{\text{р}}$, N_{max} , $N_{\text{тр}}$, $N_{\text{об}}$ — соответственно усилия в водоподпорной оболочке расчетное и максимально допустимое; $b_{\text{я}}$ — ширина ячейки вантовой сетки; $\mathcal{E}_{\text{р}}$, $\mathcal{E}_{\text{max}}$ — соответственно энергопотребление защитного сооружения рас-

четное и максимально возможное; C_p , $C_{гр}$ — соответственно себестоимость строительства наполняемых и грунтовых сооружений.

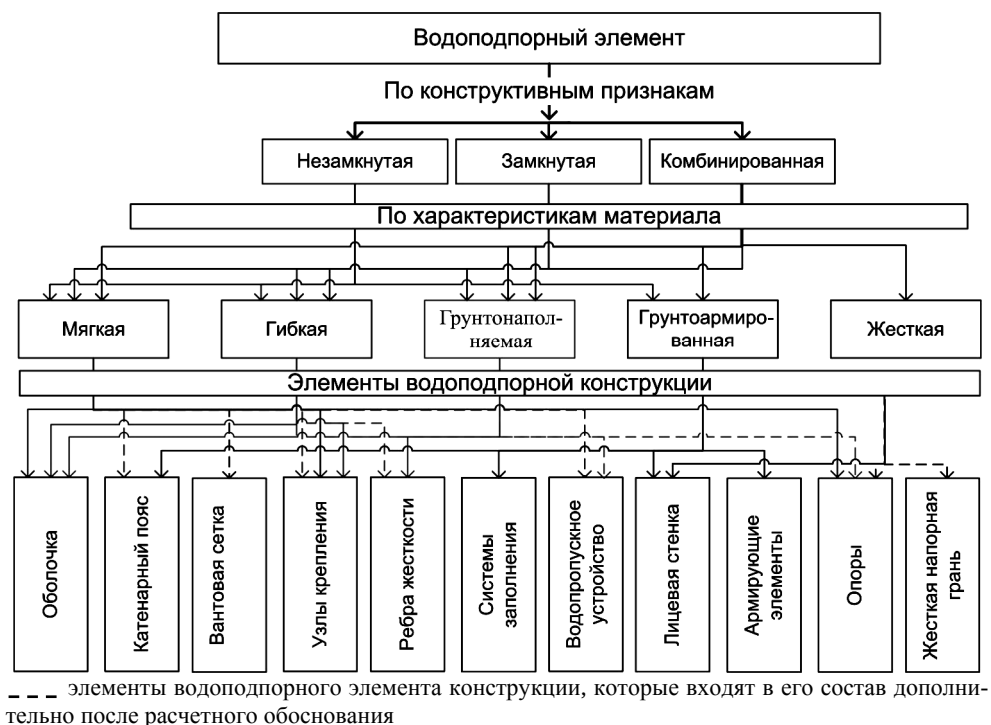


Рис. 1. Классификация и состав водоподпорных элементов конструкции

Основным преимуществом водоподпорных конструкций из мягких и гибких, замкнутых и незамкнутых оболочек является незначительное время установки, регулирования уровней, минимальное воздействие на экосистему водотока при их возведении. Данные конструкции могут применяться в сочетании с земляными, бетонными плотинами и самостоятельно.

Опыт эксплуатации водо-воздушных плотин высотой 2 м, длиной 16 м, полученный проф. Б. И. Сергеевым на р. Китерне в Тюменской области в зимний период, позволил заключить следующее [2]: вода в оболочке плотины замерзает раньше, чем в основном русле; разрушение материала оболочки вследствие расширения льда не происходит; при наличии перелива через гребень вода внутри оболочки плотины не замерзает; при замерзании воды в оболочке плотины регулирование ее высоты возможно при частичном наполнении ее воздухом.

Отличительной особенностью водоподпорных конструкций из замкнутых и незамкнутых оболочек от жестких является взаимосвязь их формы с действующими на них нагрузками. В этом случае расчет замкнутых водоподпорных оболочек должен производиться с учетом изменения их формы в зависимости от давления внутри оболочки, характеристик материала заполнителя и оболочки, условий крепления, а также от гидродинамического воздействия потока на сооружение.

Т а б л и ц а 1

Значение критериев для допустимых вариантов конструкции водоподпорной оболочки

Критерий	Номер варианта			
	1	2	3	4
Отношение создаваемого напора к периметру оболочки H_p / L	0,9	0,8	0,3	0,4
Относительный перекрываемый пролет $B_{пр} / B$	0,1	0,05	0,30	1,00
Коэффициент зарегулирования $V_{п} / \bar{W}_{р.ст}$	0,35	0,20	0,06	1,00
Относительное время регулирования уровня воды в верхнем бьефе $t_{рег}^к / t_{рег}^{гп} *$	0,60	0,20	0,50	0,30
Относительное время наполнения (возведения) оболочки $t_{нап}^к / t_{нап}^{гп} **$	0,30	0,20	0,50	1,00
Пропускная способность m	0,31	0,36	0,42	0,51
Прочностные характеристики материала оболочки N_p / N_{max}	1,50	2,30	2,10	1,10
Относительная деформация материала оболочки ε	0,10	0,05	0,20	0,22
Подкрепляющая вантовая сетка $b_{я} / B_{пр}$	0,04	0,06	0,07	1,00
Материал вантовой сетки в $N_{тр} / N_{об}$	0,04	0,06	0,07	0,01
Относительное энергопотребление $\mathcal{E}_p / \mathcal{E}_{max}$	1,00	0,50	0,30	0,40
Относительная стоимость $C_p / C_{гр}$	0,70	0,97	0,80	0,95

Примечания.

* Относительно грунтовой плотины с трубчатым водосбросом.

** Относительно грунтонаполняемой плотины.

Для определения гидравлических условий работы водоподпорных оболочек необходим их предварительный статический расчет, который приведен ниже.

Сложность статического расчета мягких оболочек для гидротехнических конструкций состоит в том, что зависимости, описывающие гидродинамические нагрузки и функции, отражающие форму поверхности оболочки и ее напряженно-деформированное состояние, взаимосвязаны неявно. В связи с этим Б. И. Сергеевым было предложено аппроксимировать нагрузку на мягкую оболочку системой линейных функций на расчетных участках, что позволяет с удовлетворительной точностью определить ее форму [2].

Используя для расчета замкнутой оболочки зависимости для безмоментной цилиндрической оболочки, принимаем, что растягивающие усилия значительно выше сдвигающих, поэтому ими можно пренебречь, как и весом оболочки. Тогда линейную зависимость отношения давления на i -м участке p_i к погонному нормальному погонному усилию N можно представить в следующем виде:

$$\frac{p_i}{N} = 2a_i y + b_i, \quad (1)$$

где a_i и b_i — коэффициенты нагрузки на i -м участке; определяются в зависимости от сочетания нагрузок и разности внутреннего и внешнего давления.

Т а б л и ц а 2

Значения параметров для допустимых вариантов конструкций замкнутых водоподпорных оболочек

Тип оболочки	Конструк- тивные особенно- сти (запол- нитель)	Параметры															
		Создавае- мый напор H_p , м		Периметр оболочки L , м		Перекрывае- мый пролет $B_{пр}$, м		Погонное натяжение, кН/м ²		Требуемое давление в оболочках, кПа		Время воз- ведения, ч		Коэффици- ент расхода m		Количество армирующих элементов	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Мягкая замкнутая	Воздух	0,50	2,00	4,20	18,00	2,00	10,00	1,00	30,00	0,20	2,00	0,5	5,0	0,32	0,43	8,00	40,00
	Воздух и вода	1,00	2,50	8,90	18,20	2,00	20,00	40,00	200,00	0,50	3,00	1,0	10,0	0,34	0,5	8,00	40,00
	Вода	1,00	3,00	9,00	20,00	2,00	30,00	5,00	30,00	0,50	3,20	1,5	15,0	0,38	0,52	8,00	60,00
	Грунт	1,00	5,00	9,00	16,00	2,00	50,00	5,00	30,00	0,50	12,50	4,0	12,0	0,38	0,52	8,00	100,00
	Полимер- ная пена	0,50	4,00	4,00	15,00	2,00	25,00	5,00	30,00	0,20	8,10	5,0	24,0	0,34	0,50	—	—
Гибкая замкнутая	Вода	1,50	5,00	3,00	15,00	2,00	40,00	30,00	100,00	1,00	12,50	1,0	10,0	0,42	0,56	25,00	100,00
	Грунт	1,50	6,00	3,00	19,00	2,00	100,00	5,00	100,00	1,00	18,00	4,0	20,0	0,42	0,56	20,00	120,00
	Полимер- ная пена	0,80	4,50	1,50	16,00	2,00	40,00	5,00	20,00	0,32	1,20	4,0	12,0	0,36	0,52	—	—

Наиболее простым случаем является формообразование мягкой водонаполняемой оболочки без воздействия на нее гидростатического давления (рис. 2). При защите населенных пунктов от затопления, локализации нефтяных загрязнений и т.п. требуется максимальная протяженность сооружения и наименьшее время его установки при отсутствии флутбета, при этом необходимо определить форму и высоту оболочки в зависимости от действующего внутреннего давления.

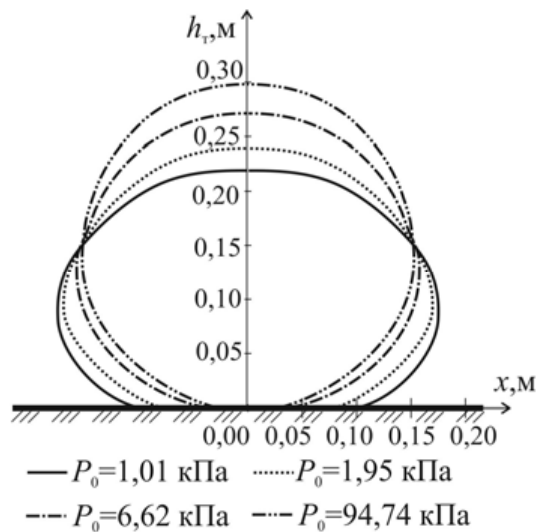


Рис. 2. Изменение напряженно-деформированного состояния мягкой оболочки с раскройным диаметром $L=0,942$ м в зависимости от внутреннего избыточного давления в оболочке P_0

Наиболее простым методом расчета является графический метод.

Определяем погонное усилие для i -го участка оболочки через шаг Δh_i по ее высоте h_t [3]:

$$N_i = \frac{p_0 \sum_i \Delta h_i}{2} + \frac{1}{4} \rho g \sum_i \Delta h_i^2.$$

Рассчитываем коэффициенты нагрузки по зависимостям

$$a_i = \frac{-\rho g}{2N_i}; \quad b_i = \frac{p_0}{N_i},$$

где p_0 — внутреннее давление в оболочке.

Затем определяем в соответствии с формулой (1) радиус на каждом i -м участке по следующей зависимости:

$$R_i = \frac{1}{2a_i \sum_i \Delta h_i + b}. \quad (2)$$

Однако устойчивость такой оболочки незначительна и требуется большая ширина дамбы при небольшом создаваемом напоре, также может наблюдаться эффект «скручивания» оболочки при ее значительной длине. Для уменьшения влияния этих процессов в мировой практике стали применять многооболочковые (многокамерные) конструкции, обеспечивающие устойчивость оболочки под действием гидростатического давления, одна из которых представлена на рис. 3.

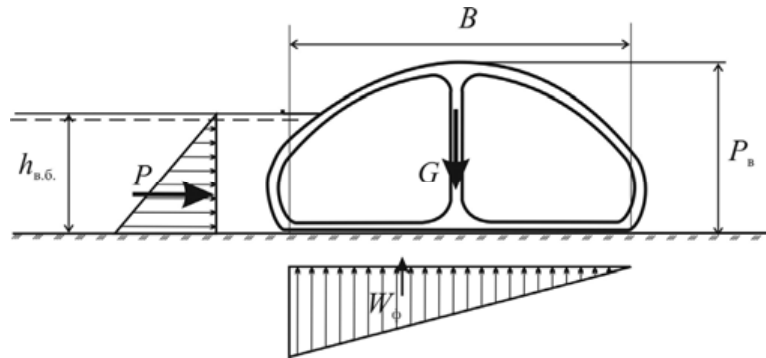


Рис. 3. Расчетная схема двухкамерной устойчивости водонаполняемой дамбы (патенты США № 5059065 и 5125767)

Рассмотрим устойчивость гибкой дамбы на сдвиг и опрокидывание при глубине в верхнем бьефе, равной высоте оболочки $h_{в.б.} = P_{в.} = h$. Данное условие получается из анализа моментов удерживающих M_R и опрокидывающих сил $M_{опр}$. Определяем моменты сил сопротивления и опрокидывания по формулам

$$M_R = \frac{\rho g h}{4} B^2, \quad (3)$$

$$M_{опр} = \frac{\rho g h^3}{6}. \quad (4)$$

Ширина оболочки, прилегающей к основанию, определяется исходя из следующего условия [2]:

$$\frac{M_R}{M_{опр}} > \gamma_n, \quad (5)$$

где γ_n — коэффициент надежности по степени ответственности сооружения, принимаемый $\gamma_n = 1,1$ для IV класса сооружений.

Тогда для обеспечения устойчивости сооружения, как следует из уравнений (3—5), необходимо выполнение следующего условия:

$$B > 1,168h.$$

Условия устойчивости на сдвиг в рассматриваемом случае определяются в соответствии

$$R = f(G - W_{\phi}),$$

где G — вес водонаполняемой оболочки, $G = \rho g S l$; S — площадь поперечного сечения водонаполняемой оболочки; l — длина водоподпорной оболочки; W_{ϕ} — сила фильтрационного давления.

$$W_{\phi} = \frac{1}{2} \rho g B l h.$$

Сдвигающая сила определяется по следующему выражению:

$$F = \frac{1}{2} \rho g B h^2.$$

Тогда

$$\frac{R}{F} = \frac{2 f [S / B + 0,5 h]}{h^2}. \quad (6)$$

Более совершенным методом расчета является аналитический. Данный метод основан на определении поперечного очертания мягкой оболочки с помощью эластиков Эйлера. В зависимости от угла ϕ можно определить минимальное и максимальное значение периметра L водоподпорной оболочки. Решение этой задачи имеет важное практическое значение, так как при обеспечении одинакового напора оболочка с максимальным периметром будет иметь минимальное погонное усилие и для ее изготовления можно применять менее дорогостоящий композитный материал, но его расход на изготовление конструкции будет больше. При минимальном периметре выбирается композитный материал более дорогостоящий, однако требуется меньшее его количество, а срок его службы будет больше. Поэтому данный метод наиболее приемлем для определения оптимальных геометрических и силовых характеристик оболочки в зависимости от требуемого напора и регулирования уровня воды, а также сочетания нагрузок.

Обозначим ординаты нижнего и верхнего концов выбранной для задания формы оболочки кривой семейства эластиков Эйлера соответственно $z_{\min}$ и $z_{\max}$ при угле $\phi \in [0, \pi]$. Параметр функции ξ в уравнении представим в виде следующего выражения:

$$k^2 = \frac{2}{\frac{b^2}{4|a|} + (1 \mp C_i)}, \quad (7)$$

где C_i — постоянная интегрирования.

Тогда уравнения ординат можно представить в виде следующих зависимостей:

$$z_{\min} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a(C_i + 1)}}{2a}; \quad (8)$$

$$z_{\max} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a(C_i + 1)}}{2a}. \quad (9)$$

Получаем следующее выражение:

$$\sqrt{b^2 - 4a(C_1 + \cos \varphi)} = 2az + b = \frac{p(z)}{N}.$$

Следовательно,

$$p(z) = N\sqrt{b^2 - 4a(C_1 + \cos \varphi)}. \quad (10)$$

После интегрирования получаем:

$$\int_{z_{\min}}^{z_{\max}} p(z) dz = \int_0^{\pi} N \sin \varphi d\varphi = -\cos \varphi \int_0^{\pi} N = 2N.$$

Отсюда погонное натяжение можно определить как

$$N = \frac{1}{2} \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} p(z) dz. \quad (11)$$

Расчет ведется по участкам. Для каждого i -го участка, с учетом начальных условий, определяют постоянные интегрирования C_i . Последующая постоянная интегрирования C_{i+1} определяется абсциссой точки предыдущего участка.

Для нахождения C_i рассмотрим характерные случаи:

$$\frac{p_i}{N} = \pm 2a_i + b_i; \quad (12)$$

$$\frac{p_{i+1}}{N} = \pm 2a_{i+1} + b_{i+1}.$$

С учетом $z = 0$ и $\varphi = \varphi_0$ в начале координат имеем $C_i = \mp \cos \varphi_0$, тогда запишем для двух соседних участков:

$$\begin{cases} \mp a_i h^2 \mp b_i h \pm C_i = -\cos \varphi_i, \\ \pm a_i h^2 \pm b_i h \mp C_i = \cos \varphi_i. \end{cases} \quad (13)$$

Окончательно постоянная интегрирования для последующего участка определяется по следующей зависимости

$$C_{i+1} = C_i \mp (a_i \pm a_{i+1})h^2 \pm (b_i \mp b_{i+1})h. \quad (14)$$

По аналогии записывается уравнение для двух соседних участков кривой.

Приведем расчет замкнутых водо- и воздушнонаполняемых оболочек (рис. 4).

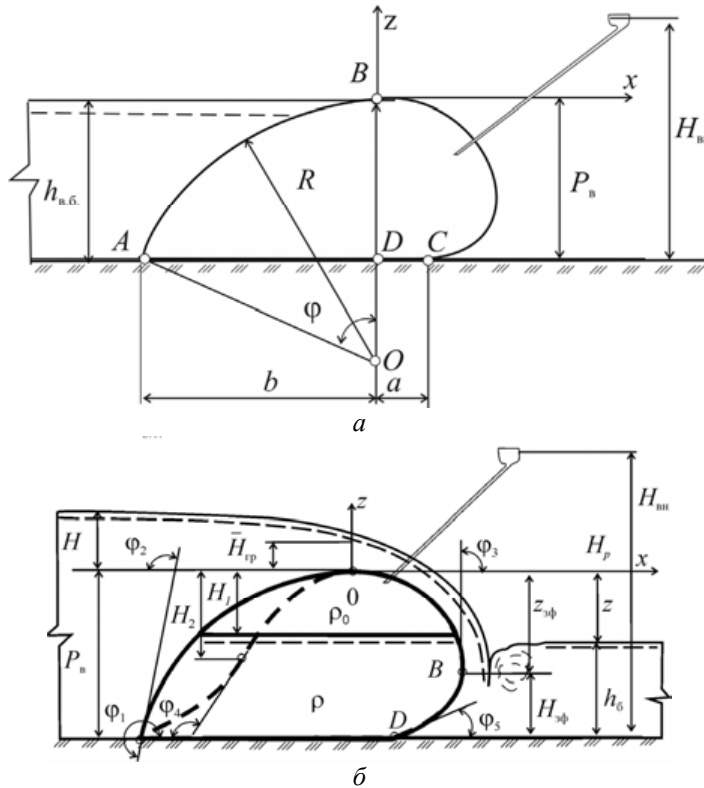


Рис. 4. Расчетные схемы водо- и воздушнонаполняемых водоподпорных оболочек: *a* — водонаполняемая оболочка под действием гидростатического давления со стороны верхнего бьефа; *б* — два возможных очертания водо- и воздушнонаполняемой оболочки в общем случае при переливе воды через гребень

Построение формы оболочки в схемах, приведенных на рис. 4, определяется аналитическим методом по участкам с различной нагрузкой. Для каждого участка определяется взаимосвязь между внешним воздействием, давлением внутри оболочки и характеристиками ее материала [2].

О. Г. Затворницким предложена следующая зависимость для определения периметра оболочки S_0 с закреплением в двух точках *A* и *D* в соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 4 [3, 4]:

$$S_0 = R_{AB} \left[\pi - \arccos \left(\frac{P_B}{R_{AB}} - 1 \right) \right] + \frac{2N}{\rho g H_{\text{вн}}} F(k; \psi) + \left\{ \left(\frac{2N}{\rho g} - P_B \right) F(k; \psi) + H_{\text{вн}} E(k; \psi) \right\} + P_B \sqrt{\frac{P_B}{2(H_{\text{вн}} - P_B)}}, \quad (15)$$

где R_{AB} — радиус на участке *AB*; P_B — высота водоподпорной оболочки; $H_{\text{вн}}$ — пьезометрическая высота внутри оболочки.

Расчетные схемы воздушнонаполняемого сооружения, представленные на рис. 4, *б* в случае перелива воды, должны учитывать гидродинамическое воз-

действие потока. На рис. 5, а представлены эпюры давления, которые были определены на экспериментальной установке в ЮжНИИГиМ. Для определения формы оболочки принимаем вторую упрощенную схему на рис. 5, б.

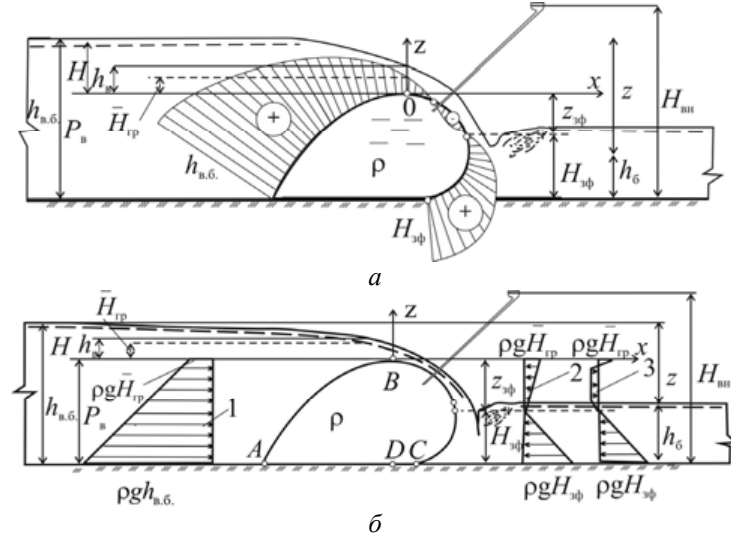


Рис. 5. Расчетные схемы водонаполняемых оболочек при переливе через гребень: 1 — эпюра гидростатического давления в верхнем бьефе; 2, 3 — эпюры со стороны нижнего бьефа

В данной схеме вводим понятие приведенной глубины на гребне $\bar{H}_{гр}$ с учетом уменьшения гидродинамического давления, а также приведенной глубины в нижнем бьефе $H_{3ф}$, тогда расчет ведем в соответствии с формулой

$$\begin{aligned}
 S_0 = & R_{AB} \left[\pi - \arccos \left(1 - \frac{h_{б6}}{R_{AB}} \right) \right] + \sqrt{\frac{Nk^2}{\rho g \zeta}} \delta F(k, \psi) + \\
 & + R_{BD} \left[\pi - \arccos \left(1 - \frac{H_{3ф}}{R_{BD}} \right) \right] + \left\{ \left[\sqrt{\frac{k^2}{\rho g \zeta}} - 2 \sqrt{\frac{N}{\rho g}} \right] F(k, \psi_{BD}) - \right. \\
 & - 2 \sqrt{\frac{N}{\rho g k^2}} E(k, \psi_{BD}) \left. \right\} + \left[\sqrt{\frac{Nk^2}{\rho g \zeta}} - 2 \sqrt{\frac{N}{\rho g \zeta k^2}} \right] F(k, \psi_{BD}) + \\
 & + 2 \sqrt{\frac{N}{\rho g \zeta k^2}} E(k, \psi_{BD}) - \sqrt{2H_{3ф}R_{BD} - H_{3ф}^2} + \sqrt{2P_{б6}R_{AB} - P_{б6}^2},
 \end{aligned} \tag{16}$$

где ζ — коэффициент, учитывающий изменение гидродинамической нагрузки;

$\zeta = 1 + \frac{\rho g \bar{H}_{гр}}{P_{б6} - h_6}$; $\bar{H}_{гр}$ — приведенная глубина на гребне водоподпорной оболочки; $\bar{H}_{гр} = (0,5 \dots 0,7) h_{б6}$; $H_{3ф}$ — приведенная глубина в нижнем бьефе;

$$H_{3ф} = \frac{h_6 - \theta P_{вн}}{1 - \theta}.$$

Расчет мембранных мягких конструкций состоит из расчета оболочки и силового пояса, обеспечивающего оболочке плоское напряженное состояние. Расчет оболочки (незамкнутой) мембранной конструкции производится в такой же последовательности, что и наполняемых конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарин Д. В.* Оптимизация выбора и обоснование параметров мобильных сооружений инженерной защиты из композитных материалов на водосборе // Изв. ВНИИГ им Б. Е. Веденеева. 2010. Т. 260. С. 50—60.
2. *Кашарин Д. В.* Оценка надежности облегченных конструкций из композитных материалов // Гидротехническое строительство. 2009. № 6. С. 22—30.
3. *Сергеев Б. И., Степанов П. М., Шумаков Б. Б.* Мягкие конструкции в гидротехническом строительстве. М. : Колос, 1984. С. 11—31.
4. *Затворницкий О. Г.* Конструкции из мягких оболочек в гидротехническом строительстве. М. : Энергия, 1975. 143 с.
1. *Kasharin D. V.* Optimisatsia vybora i obosnovanie parametrov mobilnykh sooruzheniy inzhernoy zashchity iz kompositnykh materialov na vodosbore // Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva. 2010. T. 260. S. 50—60.
2. *Kasharin D. V.* Ocenka nadezhnosti oblegchennykh konstruktciy iz kompositnykh materialov // Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo. 2009. № 6. S. 22—30.
3. *Sergeev B. I., Stepanov P. M., Shumakov B. B.* Myagkie konstrukcii v gidrotehnicheskome stroitelstve. M. : Kolos, 1984. S. 11—31.
4. *Zatvornitskiy O. G.* Konstrukcii iz myagkih obolochek v gidrotehnicheskome stroitelstve. M. : Energiya, 1975. 143 s.

© Кашарин Д. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Кашарин Д. В. Многокритериальная оптимизация параметров мобильных водоподпорных конструкций сооружений инженерной защиты из композитных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 145—155.

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА.
УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ**

УДК 725.826 (470.6)

П. В. Панченко

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРНОЛЫЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГА РОССИИ

Рассмотрены особенности перспективных горнолыжных комплексов. Особое внимание уделено вопросам формирования функциональных зон в зависимости от типа сооружения. Изложены предложения по размещению комплексов в черте города и за его пределами, а также на равнине, в низкогорье, среднегорье и высокогорье. Описаны принципиальные модели горнолыжных комплексов для крупных и крупнейших городов юга России.

К л ю ч е в ы е с л о в а: архитектура, спортивные сооружения, горнолыжные комплексы, лыжные трассы, низкогорье, среднегорье, высокогорье, юг России.

Features of perspective mountain-skiing complexes are considered. The special attention is given to the questions of functional zones formation depending on the type of a construction. Offers on accommodation of complexes in city boundaries and behind its limits, and also on a plain, in low mountains, middle mountains and high mountains are stated. Basic models of mountain-skiing complexes for great and largest cities of the south of Russia are described.

К e y w o r d s: architecture, sports constructions, mountain-skiing complexes, ski lines, low mountains, middle mountains, high mountains, south of Russia.

В настоящее время формируются новые типы горнолыжных комплексов, значительное влияние на посещаемость которых оказывает их размещение по отношению к транспортным магистралям города и окружающей застройке. Так, расположение спортивного комплекса вблизи магистрали оптимально сказывается на зрительном восприятии объекта, обеспечивая максимальную транспортную доступность. Такое размещение всегда служит основой для создания композиционно значимого архитектурного сооружения — крытого горнолыжного комплекса.

В результате картографического анализа были выделены зоны для размещения крытых горнолыжных комплексов на территории юга России. Строительство крытых горнолыжных комплексов на свободных территориях развивающихся городских районов позволяет использовать такую схему планировочного формирования, когда спортивный комплекс проектируется отдельными объектами или группами. При такой компоновке можно создавать специализированные горнолыжные комплексы.

Крытый горнолыжный комплекс спортивного назначения следует располагать на периферии крупных и крупнейших городов юга России [1]. Варианты размещения могут быть следующими: либо расположение отдельно стоящих объектов, либо формирование спортивных комплексов из групп зданий и сооружений. В подобных объектах необходимо устройство зрительских мест для проведения соревнований в присутствии зрителей и, следовательно, для рентабельности спортивных сооружений. Места для зрителей должны размещаться за стеклянной перегородкой, отделяющей снежную зону с отрицательной температурой от зоны с положительной температурой.

Предлагается и другой вариант компоновки, при котором возможно объединение сооружений спортивного назначения и зданий для отдыха населения в крупные крытые комплексы, имеющие широкий спектр различных функциональных зон. Это позволяет в одном комплексе проводить тренировки и соревнования спортсменов, привлекать любителей спортивных состязаний и одновременно дает возможность заниматься массовым спортом.

Особенностью крытых горнолыжных комплексов является то, что они обеспечивают максимально возможный период эксплуатации в течение года. По расположению над уровнем моря данные сооружения можно объединить в группы.

Первая группа представляет собой *многофункциональные горнолыжные комплексы* с преобладающей спортивно-развлекательной либо торгово-развлекательной функциями, которые могут размещаться на равнине и в низкогорье на высоте до 600 м над уровнем моря. Так как эти районы юга России имеют непродолжительный период устойчивого снежного покрытия, формирование новых крытых типов сооружений позволит проводить тренировки и соревнования спортсменов в течение всего года.

Вторая группа комплексов располагается в среднегорье на высоте 600...1300 м над уровнем моря и представляет собой *специализированные горнолыжные комплексы*. Размещение такого типа сооружения на этой высоте позволяет начать лыжный сезон в октябре, а закончить в конце мая. Подобное решение увеличивает сезон катания на лыжах в среднем на четыре месяца. При проектировании и строительстве данных комплексов желательно частично или полностью использовать существующий рельеф.

Конструктивно комплекс может представлять собой горнолыжную трассу, над которой установлена подвижная конструкция. Искусственное оснежение внутри сооружения может применяться только в самом начале сезона. В дальнейшем снежные запасы могут пополняться во время снегопадов благодаря трансформируемому покрытию, позволяя снегу накапливаться внутри. После окончания снегопада крыша может закрываться, не позволяя погодным условиям влиять на качество снега.

Крытый комплекс должен иметь такую длину спуска, которая позволит проводить тренировки и соревнования по наиболее распространенным видам горнолыжного спорта: слалому на лыжах, слалому и параллельному слалому на сноуборде, слалому-гиганту на сноуборде. Оптимальной является длина трассы 800 м. Внутри крытого спуска необходимо предусмотреть «движущийся тротуар» для учебного склона, а для наиболее длинного участка трассы — кресельный подъемник с промежуточными пунктами высадки лыжников.

Третья группа сооружений, располагаемая в высокогорье на высоте 1300...2500 м над уровнем моря, представляет собой *мобильные горнолыжные комплексы*. Особенностью сооружений данной группы является наличие трансформируемых легких покрытий, которые позволяют проводить тренировки и соревнования спортсменов как в крытом, так и открытом сооружении в зависимости от погодных условий. Для размещения спортсооружений выбираются места с максимальным соответствием рельефа профилю трассы.

В качестве покрытия таких объектов могут применяться монообъемные и полиобъемные аэростатические покрытия, которые накрывают открытую горнолыжную трассу во время проведения важных тренировок или соревнований в течение нескольких часов. После проведения тренировок и соревнований покрытие убирается. Такое решение исключает возможность влияния погодных факторов на результаты спортсменов. Также это дает возможность заниматься горнолыжными видами спорта на открытом воздухе. Чтобы избежать скопления снега на поверхности покрытия, что может привести к его падению, необходимо предусматривать системы, позволяющие подогревать обложки аэростатов.

В связи с тем, что равнинные территории юга России характеризуются достаточно теплой зимой и небольшим количеством дней с отрицательной температурой воздуха, оптимальным является проектирование и строительство крытых горнолыжных комплексов. Предлагаются две принципиальные модели.

На периферии крупнейшего города либо за его чертой предложено размещать *крытый горнолыжный комплекс с превалирующей спортивно-развлекательной функцией*. Таким городом является Ростов-на-Дону. Подходящая территория для размещения спортивного комплекса находится на левом берегу Дона вдоль выездной трассы М4, где в будущем будет сформирована спортивная зона. Комплекс может использоваться жителями городов-спутников (Аксай, Батайск) и являться общим для всей области.

Объект является многофункциональным сооружением, основной функцией которого является проведение тренировок и соревнований по горнолыжному спорту (массовый и профессиональный спорт). Также здесь возможно проведение международных соревнований в присутствии зрителей. Комплекс включает искусственные снежные склоны для детей, инвалидов, начинающих лыжников и профессионалов. В нижней части спуска за стеклянной перегородкой предложено устройство зрительских мест, внутри трассы — зона стоячих мест. Большое значение уделено снежной зоне, включающей аттракционы для детей. Планируемая максимальная вместимость горнолыжного спуска около 1500 чел.

В состав комплекса входит отдельная зона для сноубордистов — крытый халф-пайп, представляющий собой снежный желоб. Здесь также могут проводиться тренировки и международные соревнования.

Кроме крытого горнолыжного спуска комплекс включает: гостиничный блок, торгово-развлекательные помещения, спортивные залы, пункты питания, административные и офисные помещения, автостоянку и др.

Для крупного города предлагается *крытый горнолыжный комплекс с превалирующей торгово-развлекательной функцией*, размещаемый на периферии города. Городами для размещения таких объектов могут быть Астра-

хань, Ставрополь, Краснодар, Нальчик. Комплекс должен включать небольшой горнолыжный спуск длиной до 400 м, рассчитанный в основном на любителей горнолыжного спорта, и большие торговые площади, многозальный кинотеатр, ночной клуб и другие развлекательные зоны. Гостиница в здании не предусматривается.

Таким образом, сформированы региональные модели горнолыжных комплексов, каждая из которых имеет особенности построения, основанные на принципах формирования функционально-планировочной структуры.

В целях рациональной архитектурно-планировочной организации горнолыжных комплексов на территории юга России и повышения качества архитектуры при разработке проектных решений сформулированы три принципа формирования спортивных комплексов.

Принцип универсальности состоит в формировании зон для катания спортсменов и любителей горнолыжного спорта различных уровней мастерства. Это позволит сооружению долгое время быть востребованным. Также необходимо устроить зоны катания для инвалидов и детей. Горнолыжные трассы разных уровней сложности в крытом комплексе должны быть по возможности расположены на одной территории, исключая при этом пересечения.

Принцип всесезонности состоит в формировании горнолыжного комплекса круглогодичного использования, в котором можно организовать соревнования и тренировки независимо от погодных условий и времени года. Так, в Ростове-на-Дону и Сочи предложено размещать исключительно крытые горнолыжные комплексы, т.к. небольшое количество снега зимой и плюсовые температуры не позволят достаточно долго пользоваться открытыми трассами. В городах с более холодной зимой (Ставрополь, Астрахань) наиболее уместно использовать комбинированные комплексы, состоящие из открытых, полукрытых и крытых горнолыжных трасс. Такое решение позволит в зимний сезон пользоваться открытыми трассами, а в остальное время — крытыми.

В горной местности для круглогодичного функционирования горнолыжных комплексов в низкогорье и среднегорье необходимо размещать трансформируемые сооружения, в высокогорье — полукрытые горнолыжные трассы.

Принцип многофункциональности состоит в максимальном насыщении горнолыжного комплекса общественными, досугово-оздоровительными и развлекательными функциями. В комплекс могут входить следующие функциональные зоны: спортивная зона (горнолыжный спуск, ледовая арена для фигурного катания и хоккея); игровая зона (бильярд, настольные игры, дартс, игровые автоматы, детские площадки и др.); зона здоровья (фитнес, шейпинг, аэробика, йога, бассейны и т.д.); зона отдыха (прогулочные аллеи, видовые площадки, выставочные экспозиции, кинотеатры, зимние сады); зона питания (бары, кафе, рестораны); зона торговли (магазины). Параметры, количество функциональных зон и их техническое оснащение определяются в каждом проекте индивидуально в зависимости от типа горнолыжного комплекса и района размещения (табл.).

Предложения по функциональной организации различных типов горнолыжных комплексов (ГЛК) юга России

	Специализированные ГЛК	ГЛК с преобладающей спортивно-развлекательной функцией	ГЛК с преобладающей торгово-развлекательной функцией
На периферии города	●	●	●
За чертой города	●	●	●
В районах города с плотной застройкой	○	●	●
На выраженном естественном рельефе	●	○	○
Крытая горнолыжная трасса	●	●	●
Открытая горнолыжная трасса	●	●	○
Халф-пайп для сноубордистов	●	●	○
Отдельная зона катания для детей	●	●	●
Трассы различного уровня сложности	●	●	●
Крытая ледовая арена	●	●	●
Крытые помещения для различных видов спорта	●	●	●
Открытые спортивные площадки	●	●	○
Гостиница	●	●	○
Кинотеатры	○	●	●
Ночные клубы	○	●	●
Аквапарк	○	●	●
Места для зрителей	●	●	○
Крытая автостоянка	●	●	●

● - необходимо размещать ● - допускается размещать ○ - нет необходимости в размещении

Итак, в результате изучения региональной специфики территории юга России были разработаны следующие рекомендации для формирования горнолыжных комплексов. Горнолыжные комплексы, размещаемые на равнине и в низкогорье, необходимо делать крытыми наземными; в среднегорье желательно применять трансформируемые покрытия трасс; в высокогорье — легкие мобильные покрытия, которыми при необходимости можно перекрыть трассы во время тренировок и соревнований при плохих погодных условиях. Конструктивные элементы трансформируемого покрытия горнолыжных

спусков в высокогорье должны быть такими, чтобы при открытом использовании трассы они были наименее заметны. Для этого в сложенном виде они могут располагаться под землей в специальных технических помещениях.

Открытые горнолыжные стадионы, представляющие собой участки, на которых располагается зона финиша, предлагается заменить полуоткрытыми. Они должны проектироваться как единые сооружения, где будут располагаться помещения для обслуживания спортсменов, судейского аппарата и размещения оборудования. Трибуны для зрителей необходимо возводить из искусственных конструкций, используя особенности рельефа местности. Такие решения позволят при необходимости трансформировать открытые горнолыжные трассы и стадион в крытые.

Применение при проектировании изложенных рекомендаций позволит существенно расширить типологию и значительно улучшить архитектуру горнолыжных комплексов юга России, увеличив число и качество новых спортивных объектов, а также привлечь к спортивным занятиям как можно больше профессионалов и любителей спорта. Разработанная современная номенклатура горнолыжных комплексов позволит обозначить пути совершенствования архитектурно-планировочных решений горнолыжных комплексов и выбрать подходящий тип комплекса для конкретного района строительства с учетом региональной специфики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панченко П. В., Моргун Н. А. Территориальное размещение современных горнолыжных центров // Градостроительство, архитектура, искусство и дизайн : тез. докл. междунар. науч.-практич. конф., 6—9 октября 2009 г. Ростов н/Д : Ин-т архит. и искусств, 2009. С. 240—243.

1. Panchenko P. V., Morgun N. A. Territorialnoe razmeshenie sovremennyh gornolyzhnyh centrov // Gradostroitelstvo, arhitektura, iskusstvo i dizain : tez. dokl. mezhdun. nauch.-praktich. konf., 6—9 oktjabrja 2009 g. Rostov n/D : In-t arhit. i iskusstv, 2009. S. 240—243.

© Панченко П. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Панченко П. В. Пути совершенствования горнолыжных комплексов юга России // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 156—161.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

УДК 502.3:504.5:621.43.064

Н. В. Сапожкова

ПОДБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА ГОРОДСКУЮ СРЕДУ

Дана оценка многофакторного воздействия автотранспорта на городскую среду с помощью разработанной программы «ЭкоАвто» и подбора защитных мероприятий по снижению негативного воздействия на экологическую обстановку в городе.

К л ю ч е в ы е с л о в а: автотранспорт, экологическая ситуация, программа «ЭкоАвто», загрязнение окружающей среды.

Assessment of the multi-factor impact on urban environment from automobile traffic using the “EkoAvto” computer application, and planning the appropriate protective measures for minimizing the negative environmental effect in cities is evaluated.

K e y w o r d s: motor transport, environmental situation, program “EkoAvto”, pollution of environment.

В настоящее время при разработке проектов жилых зданий, детальной планировки и генпланов городов проектировщики сталкиваются с проблемой оценки воздействия автотранспорта на экологическую обстановку. Исследованиями в данной области российских и зарубежных ученых доказано многофакторное воздействие автотранспорта на жилую среду и человека [1], в связи с чем возникла необходимость применения адекватных методик комплексной оценки его воздействия на экологическую обстановку города.

Для реализации этой цели на базе Excel разработана компьютерная программа «ЭкоАвто», которая позволяет определить негативное воздействие автотранспорта на окружающую среду по основным загрязняющим факторам: шум, загазованность, запыленность и вибрация. Работа в программе начинается с заполнения вкладки «Исходные данные» по всем исследуемым факторам в соответствии с полученными данными при натурных, теоретических, экспериментальных или лабораторных исследованиях экологической обстановки на участке улично-дорожной сети города. После этого для всех узлов по каждому фактору воздействия из выпадающего списка необходимо выбрать уровень, соответствующий количественному значению фактора (табл. 1). Таким образом, каждому фактору воздействия автоматически присваивается соответствующий уровень оценки в баллах, подсчитывается суммарное значение и выводится информация об итоговой обстановке, сопровождаемая цветовой индикацией: удовлетворительная обстановка (до 4 баллов) — зеленый; критическая обстановка (от 4 до 9 баллов) — желтый; недопустимая обстановка (более 9 баллов) — красный цвет [2].

Т а б л и ц а 1

Оценка влияния автотранспорта на состояние жилой застройки [3]

Уровень комфортности	Факторы				
	Шум, дБА	Вибрация	Загазованность, ПДК	Запыленность, ПДК	Баллы
Благоприятно	До 50	Интенсивность менее 1000 авт/ч; груз. тр. отсут.	До 1,0	Менее 0,8	0
Относительно благоприятно	Св. 50...65	Интенсивность от 1000 до 2000 авт/ч; груз. тр. до 20 %	1...1,5	08...1,2	1
Неблагоприятно	Св. 65...75	Интенсивность от 2000 до 3000 авт/ч; груз. тр. 20...40 %	1,5...2,0	1,2...2,0	2
Неблагоприятно пофакторно	Св. 75	Интенсивность 3000 и более авт/ч; груз. тр. свыше 40 %	Св. 2,0	Св. 2,0	3

Для примера были выбраны участки улично-дорожной сети в Ворошиловском районе г. Волгограда с разными геометрическими характеристиками проезжей части и примагистральной территории, а также с разным составом транспортного потока. В соответствии с этим на исследуемой транспортной сети экологическая ситуация выглядит следующим образом (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Исходные данные по воздействию автотранспорта на исследуемом участке для определения итоговой экологической обстановки

№ узла	Воздействующие факторы								Сумма баллов	Итоговая обстановка
	Шум		Запыленность		Загазованность		Вибрация			
	Значение, дБА	Баллы	Значение, мг/м ³	Баллы	Значение, мг/м ³	Баллы	Значения: интенсивность, авт/ч; грузовой транспорт, %	Баллы		
1	Св. 75	3	0,12...0,18	1	Св.10	3	3000 и более; Св. 40	3	10	Недопустимая
2	51...65	1	0,19...0,3	2	Менее 5	0	Менее 1000; отсутствует	0	3	Удовлетворительная
3	66...75	2	0,19...0,3	2	Св. 10	3	2000...3000; 20...40	2	9	Критическая

Из результатов табл. 2 четко видно, какие участки улично-дорожной сети имеют критическую, удовлетворительную и недопустимую обстановку, в соответствии с чем можно определить очередность применения защитных мероприятий. В данном случае в узле 1 исследуемого участка обстановка недопустимая, а в узле 3 — критическая, таким образом выявлены участки, требующие применения защитных мероприятий в первую очередь.

Кроме того, на соответствующих вкладках программы «ЭкоАвто» формируются диаграммы уровня воздействия на окружающую среду каждого фактора в отдельности, суммарного воздействия факторов и пофакторного вклада (рис. 1) в соответствии с формулой определения комплексной оценки негативного воздействия автотранспорта: $\sum B = L + C_{\text{п}} + C_{\text{з}} + E$, где L — уровень шума; $C_{\text{п}}$ — запыленность; $C_{\text{з}}$ — загазованность; E — уровень вибрации.

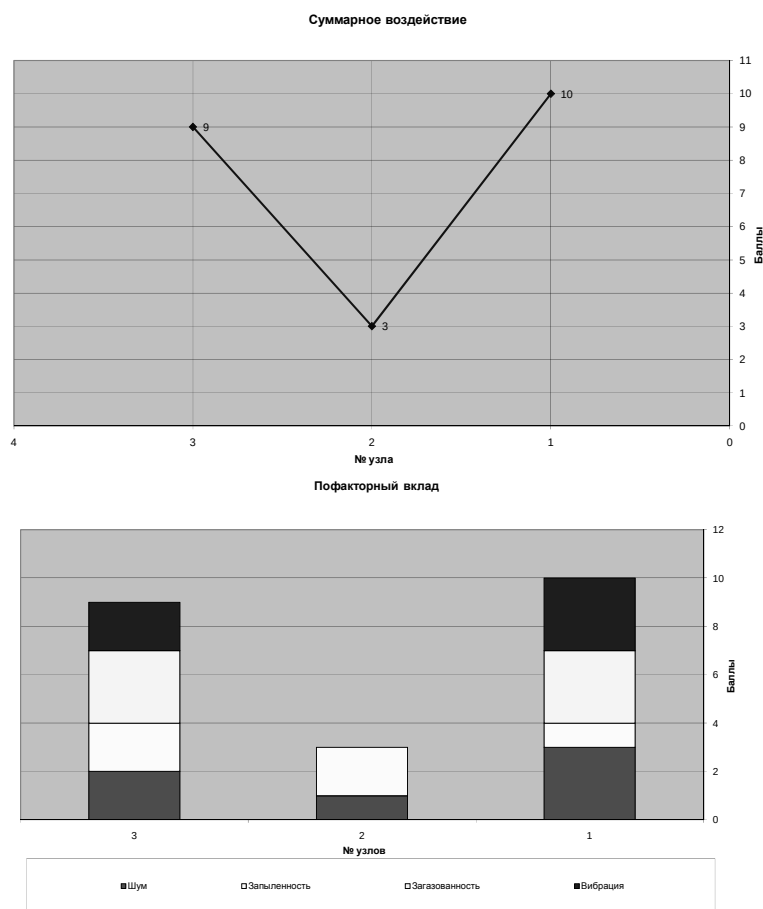


Рис. 1. Результаты программы «ЭкоАвто» на исследуемом участке до применения защитных мероприятий

Для улучшения экологической обстановки на исследуемых участках улично-дорожной сети в узлах 1 и 3 необходимо применение защитных мероприятий. Существует ряд средств, способных снизить негативное воздействие автотранспорта по одному или нескольким факторам одновременно до предельно-допустимых значений:

улучшение конструкций машин (установка глушителей, переход на электротягу и т.п.);

озеленение прилегающих к проезжей части территорий;

устройство разделительной полосы с высадкой зеленых насаждений;

снижение скорости движения;

сокращение числа проезда грузовых автомобилей у жилой застройки;

применение экранирующих устройств;

устройство оконных и дверных проемов с использованием герметичных материалов.

Для улучшения качества экологической обстановки в г. Волгограде и достижения максимального положительного результата при снижении уровней загрязнений по возможности необходимо применять перечисленные выше мероприятия в комплексе. Это в большей степени будет способствовать улучшению экологии в городе и благоприятно скажется на здоровье людей, проживающих вблизи примагистральных территорий.

В данном случае на исследуемом участке планируется применить двухрядную посадку деревьев и кустарников, это положительно скажется не только на качестве воздушного бассейна, но и на визуальной обстановке в городе. При этом снижение уровней загрязнений будет наблюдаться по трем факторам: шум — на 8...10 дБА; загазованность и запыленность — на 7...15 % [1].

Таким образом, предполагаемые значения по каждому фактору вносим в исходную таблицу «ЭкоАвто» и пересчитываем уровни экологической обстановки на участках (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Определение итоговой экологической обстановки на исследуемом участке после применения защитных мероприятий

№ узла	Воздействующие факторы								Сумма баллов	Итоговая обстановка
	Шум		Запылен-ность		Загазован-ность		Вибрация			
	Значение, дБА	Баллы	Значение, мг/м ³	Баллы	Значение, мг/м ³	Баллы	Значения: интенсивность, авт/ч; грузовой транс-порт, %	Баллы		
1	66...75	2	Менее 0,12	0	7,51... 10,0	2	3000 и более; св. 40	3	7	Критическая
2	51...65	1	0,19... 0,3	2	Менее 5	0	Менее 1000; 0	0	3	Удовлетво- рительная
3	51...65	1	0,12... 0,18	1	7,51... 10,0	2	2000...3000; 20...40	2	6	Критическая

В соответствии с этим автоматически изменяются все диаграммы программы «ЭкоАвто» (рис. 2).

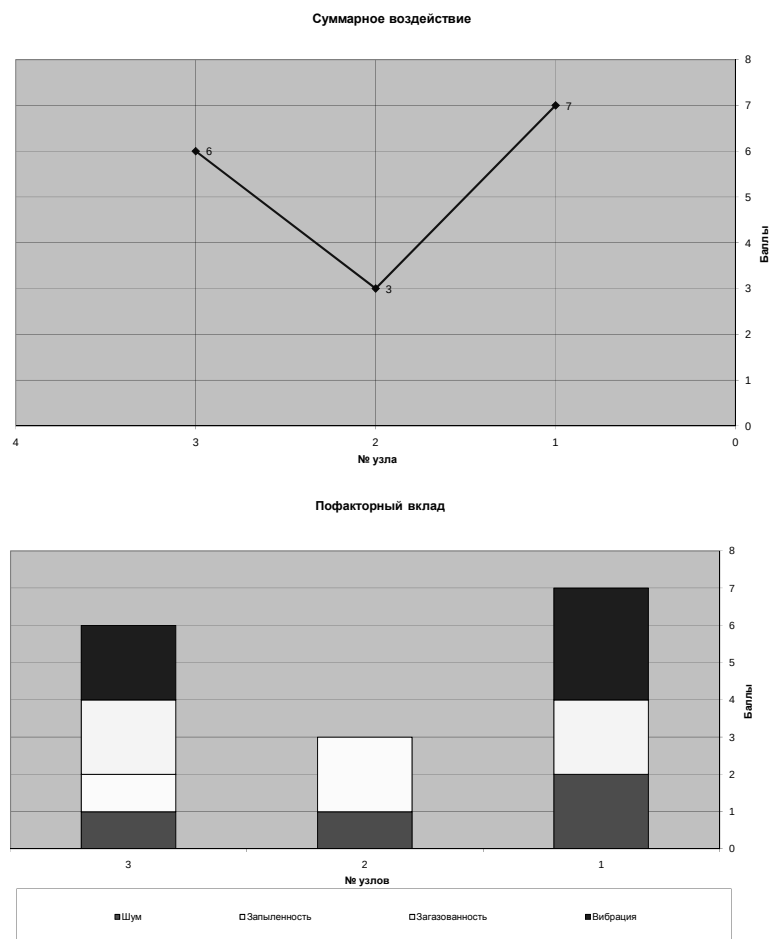


Рис. 2. Результаты программы «ЭкоАвто» на исследуемом участке после применения защитных мероприятий

В результате применения только двухрядной полосы зеленых насаждений на исследуемом участке экологическая нагрузка на окружающую среду значительно снизилась. В соответствии с табл. 2 и 3 уровень экологической обстановки в узле 1 снизился с 10 до 7 баллов, а в узле 3 с 9 до 6. Таким образом, общий уровень экологической ситуации улучшился на 30 %. С помощью разработанной методики оценки экологической обстановки и предлагаемой системы подбора защитных мероприятий по программе «ЭкоАвто» можно улучшить уровень экологической обстановки в жилой застройке города до благоприятного.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоренко В. Ф. Теоретические и методологические основы экологического строительства. Волгоград : ВолгГАСА, 2000. 200 с.

2. *Сапожкова Н. В.* Комплексная оценка воздействия автотранспорта для регулирования экологической ситуации в городе // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2010. Вып. 20(39). С. 175—179.

3. ГН 2.1.6.1338—03. Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

1. *Sidorenko V. F.* Teoreticheskiye i metodologicheskiye osnovi ykologicheskogo stroitelstva. Volgograd : VolGASA, 2000. 200 s.

2. *Sapozhkova N. V.* Kompleksnaya ocenka vozdeystviya avtotransporta dlya regulirovanya ykologicheskoy situaczii v gorode // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arhit. 2010. Vyp. 20(39). S. 175—179.

3. GN 2.1.6.1338—03. Predelno-dopustimye koncentraczii zagryznyushih veshestv v atmosfernom vozduhe.

© *Сапожкова Н. В.*, 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Сапожкова Н. В. Подбор мероприятий по снижению негативного воздействия автотранспорта на городскую среду // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 162—167.

УДК 628.517.2:711

Н. В. Коростелева

ОЦЕНКА ШУМОВОГО РЕЖИМА ПРИМАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ г. ВОЛГОГРАДА И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОЗДАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Изложены результаты научной работы по оценке шумового режима примагистральных территорий г. Волгограда. Сделан акцент на исследовании распространения звука и его влиянии на человека при различных градостроительных параметрах примагистральной территории, а именно в зависимости от этажности первого эшелона застройки и удаления защищаемого объекта от источника шума.

К л ю ч е в ы е с л о в а: шумовой режим, первый эшелон застройки, шумозащита.

The resulting of the assessment the regime noising the territories along the streets of Volgograd are produced. The emphasis is made on the research of sound propagation and its effect in humans at various town planning of parameter the territories along the street, namely, depending on the number of storeys of the first echelon of building and removal of the protected object from the source of noise.

Key words: regime noising, first echelon of building, noise protection.

В связи с резким ростом уровня автомобилизации увеличение интенсивности движения на магистралях Волгограда привело к повышению акустического дискомфорта примагистральных территорий. На сегодня шум рассматривается как один из наиболее агрессивных показателей загрязнения городской среды, причем его удельный вес среди факторов, неблагоприятно воздействующих на здоровье населения, неуклонно повышается. Многочисленные исследования, проведенные и за рубежом, и в нашей стране, подтверждают, что шум занимает второе место по неблагоприятному воздействию на население города (после загрязнения воздуха). Круглосуточное воздействие шума повышает нервное напряжение, снижает работоспособность, творческую активность и эффективность отдыха.

Согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562—96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам, эквивалентный уровень звука должен составлять 55 дБА днем и не более 45 дБА ночью, а в помещениях жилых зданий 40 и 30 дБА соответственно.

К настоящему времени в Волгограде накоплен значительный объем жилищного фонда, находящегося в зоне акустического дискомфорта, т.к. порядка 70 % территории города относятся к зоне шумового дискомфорта.

На территории и в помещениях зданий, размещенных вдоль магистральных улиц, пролегающих через сложившуюся застройку, величина акустического дискомфорта (превышение допустимых уровней) достигает порядка 30 дБА. В связи с этим реконструкция транспортной системы города требует решения не только собственно транспортной задачи, но и задачи акустической защиты жилой застройки. Это решение следует искать путем предварительного анализа акустического режима примагистральных территорий, оценки существующих и прогнозных шумовых характеристик магистрали и акустического воздействия на здания первого фронта застройки, а также раз-

работки шумозащитных мероприятий, обеспечивающих нормативный акустический режим.

Вопросами снижения шума в процессе его распространения в городской среде и влияния на него различных факторов занимались различные ученые. На сегодня разработаны основные методы оперативной оценки шумового загрязнения. Однако анализ научной и специальной литературы показал, что в основном оценка акустического режима селитебных территорий проводится непосредственно на уровне земли (1,5 м), а вопросу изменения эквивалентного уровня звука по высоте застройки уделено значительно меньше внимания.

На первый взгляд, чем дальше от магистрали, тем тише. Верхний этаж удален от дороги на большее расстояние, чем первый. Однако на территории застройки звук распространяется неравномерно. При взаимодействии звуковых волн с поверхностью происходят процессы, которые могут существенно изменить картину распределения звука. В непосредственной близости от поверхности земли звуковая волна распространяется с меньшей скоростью, чем в свободном пространстве. На небольших высотах это приводит к образованию вблизи поверхности «звуковой тени». Чем меньше акустическое сопротивление поверхности (например, газона), тем более акустически мягкой она является и тем больше звуковой энергии она поглощает. Таким образом, шум на верхних этажах будет несколько выше, чем на нижних.

Акустически жесткие поверхности (например, асфальт) не приводят к заметному уменьшению шума в приземном слое. Учитывая, что в городском пространстве озелененных территорий гораздо меньше, чем заасфальтированных, можно сделать вывод, что в большинстве случаев эффект акустического сопротивления поверхности ограничивается первым-вторым этажами.

Кроме акустического сопротивления на распределение звуковых нагрузок по вертикали влияют и другие факторы. Например, если с двух сторон улицы располагаются протяженные многоэтажные дома, то отраженная от фасадов волна, сохранив 90 % своей энергии, приходит в точку приема и складывается с прямым звуком. Если не учитывать явления интерференции, то влияние отраженного звука будет сильнее опять же на верхних этажах.

В Волгограде за последние годы проводились натурные замеры шумовых характеристик на территориях, примыкающих к основным транспортным магистралям города, но отсутствуют данные об исследовании шумового режима примагистральных территорий с учетом высоты зданий первого эшелона застройки и ширины улиц.

Для определения изменения эквивалентного уровня звука нами были использованы два метода исследования: социологический опрос населения и натурные замеры.

Социологический опрос населения выполнялся, во-первых, для того, чтобы выяснить мнение самих жителей об акустическом климате исследуемых территорий, а во-вторых, оценить реакцию людей на уровень шума в зависимости от этажа проживания.

С помощью специально разработанной автором анкеты было опрошено порядка 400 жителей Волгограда в возрасте от 18 до 80 лет, проживающих в зонах с различной степенью шумового дискомфорта. Такое количество опрашиваемых обеспечивает большую информативность, позволяет выявить как отношение к источнику шума, влияющего на условия жизни, труда и от-

дыха населения, так и эффективность проводимых мероприятий по снижению шума. Анкета включала в себя сведения о наблюдаемом (половозрастные данные, социальное положение), вопросы, характеризующие его отношение к шумовому режиму и основным источникам шума.

Как уже отмечалось автором [1], при обработке анкет были получены данные, свидетельствующие о том, что транспортный шум входит в тройку наиболее беспокоящих источников шума. На него реагируют в той или иной степени более половины респондентов. В анкете также содержались вопросы об этаже проживания респондента и ориентации окон (на проезжую часть или во двор). Полученные данные отображены на рис. 1.

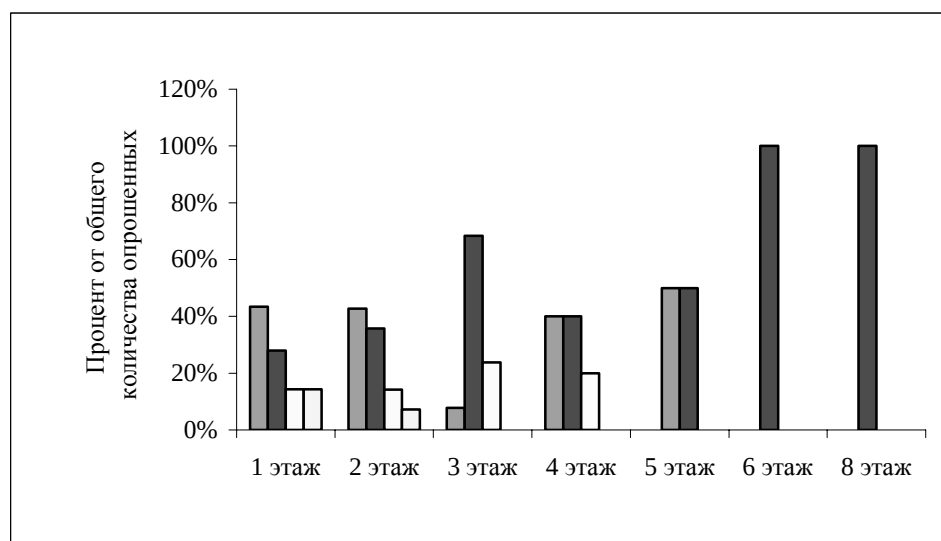


Рис. 1. Распределение жалоб людей на шум в зависимости от этажа проживания (9-этажный дом)



Из диаграммы следует, что первые два этажа испытывают меньшую нагрузку, нежели этажи последующие. Исключение, выявленное в процессе общения с опрашиваемыми людьми, составило незначительное количество людей, имеющих большую чувствительность к шумовому загрязнению, нежели остальное опрошенное население. Очевидно, что неравномерность влияния звуковых волн на различные этажи здания обуславливается тем, что шумовая нагрузка на первых этажах снижается за счет абсорбции грунта и поглощающего эффекта зеленых насаждений.

Наряду с так называемым субъективным методом исследования нами был применен и объективный метод. Наиболее объективными сведениями, отражающими реальную шумовую обстановку, являются данные натурных акустических измерений. Измерения проводились как на уровне земли, так и по высоте здания.

На основании полученных данных был сделан вывод, что практически все магистрали Волгограда по шумовому фактору входят в неблагоприятную

зону. В зависимости от интенсивности и структуры транспортных потоков на отдельных участках улично-дорожной сети шумовая характеристика движущегося транспорта составляет от 70 (улицы районного значения с долей грузового транспорта менее 10 %) до 82 дБА (общегородские магистрали с долей грузового транспорта 10...30 %). Это превышает санитарные нормативы по уровню шума на территориях, расположенных в непосредственной близости от магистралей, на 10...20 дБА, а в квартирах жилых домов, обращенных в сторону проезжей части, без специального шумозащитного остекления — на 20...30 дБА. Все это говорит о необходимости серьезного отношения к требованиям снижения шума как при проектировании новых жилых образований, так и при реконструкции сложившихся.

Также по результатам исследований нами был построен график изменения эквивалентного уровня звука по высоте в зависимости от удаления линии застройки (рис. 2).

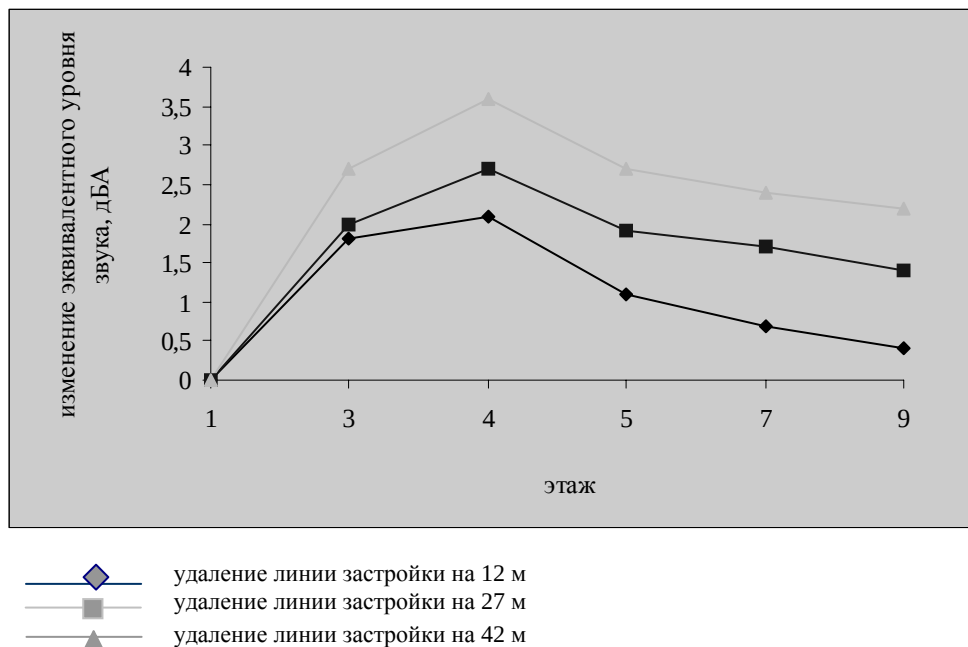


Рис. 2. Изменение эквивалентного уровня звука по высоте здания на различных расстояниях от проезжей части

На основе данного графика можно сделать следующие выводы. До четвертого этажа включительно (12 м) влияние абсорбции земной поверхности ослабевает и имеет место тенденция увеличения эквивалентного уровня звука (в среднем 2,5 дБА). Начиная с пятого этажа наблюдается понижение уровня звука (около 1,5 дБА на 9-м этаже относительно 4-го). Причиной общего снижения звука является абсорбция воздуха и геометрически обусловленное увеличение расстояния от источника распространения шума.

На графиках можно увидеть еще одну закономерность: с увеличением расстояния от источника шума увеличивается превышение эквивалентного уровня звука по высоте здания. Это связано с тем, что при распространении над земной

поверхностью звуковые волны частично поглощаются ею, частично отражаются от нее. При отражении от земной поверхности с увеличением расстояния увеличивается высота отражения волны и общее количество звуковых волн.

Таким образом, высота этажа действительно играет значительную роль в оценочном критерии и эквивалентный уровень звука увеличивается по высоте дома. Максимальное увеличение наблюдается на 3...5 этажах. На последующих этажах эквивалентный уровень звука по сравнению с уровнем земли увеличивается незначительно, и чем выше этаж, тем меньше увеличение.

Не менее важным критерием является удаление источника звука от линии застройки. Нами было выявлено, что до определенного расстояния (приблизительно 100 м) по высоте здания присутствует закономерность увеличения эквивалентного уровня звука в зависимости от расстояния. При дальнейшем удалении линии застройки от источника шума затухание звука по высоте и по длине происходит вследствие геометрически обусловленного уменьшения уровня звука и абсорбции воздуха. Очевидно, что только при комплексном учете двух факторов можно выбрать наиболее оптимальное решение по шумозащите с акустической и экономической точек зрения.

Таким образом, учитывая результаты натурных измерений шумовых характеристик на уровне земли, которые показывают значительные превышения над нормативным значением, можно с уверенностью говорить о том, что на верхних этажах домов картина только ухудшается.

На основе проведенного анализа мы предлагаем следующие рекомендации:

1. Внести в СНиП 23-03—2003 изменения, касающиеся допустимых значений эквивалентного уровня звука на линии застройки. Понизить ПДУ с 55 до 52 дБА в дневное время для новых проектируемых жилых районов и с 65 до 62 дБА для реконструируемых жилых районов и для жилых районов со сложившейся застройкой. Тем самым будет достигнуто предельно допустимое значение по всей высоте здания.

2. При строительстве новых зданий и реконструкции существующей застройки особое внимание по шумозащите уделять 3...5 этажам, т. е. использовать строительные материалы с повышенной звукоизоляцией. Данное мероприятие позволит добиться оптимального акустического режима с минимальными экономическими затратами.

3. При строительстве новых многоэтажных домов, расположенных ближе чем 30 м от проезжей части, первые четыре этажа отдавать под нежилые помещения либо строить полностью шумозащищенные дома.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коростелева Н. В., Косицына Э. С. Оценка акустического режима примагистральных территорий города Волгограда // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. Вып. 5 (17). С. 240—243.

1. Korosteleva N. V., Kosicsina Y. S. Otsenka akusticheskogo rezshima primagistralnyh territoriy goroda Volgograda // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un.-ta. Ser. : Str-vo i arhit. Vyp. 5(17). S. 240—243.

© Коростелева Н. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Коростелева Н. В. Оценка шумового режима примагистральных территорий г. Волгограда и разработка рекомендаций по созданию оптимальных условий проживания населения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 168—172.

**ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ,
РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ
ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 747.012.3

А. В. Еретин

**РОЛЬ ПРИНЦИПА СИММЕТРИИ В МЕТОДОЛОГИИ ЭРГОДИЗАЙНА
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ «КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА»**

На основе принципа симметрии и обобщенной кристаллографии исследована проблема корреляции методов художественного проектирования с опытными приемами эргономического моделирования предметной среды обитания конкретного человека. Предложена структурно-геометрическая модель координации событий, происходящих в моторном пространстве объектов живой природы, разработана математическая основа бионографии — нового метода формообразования в эргодизайне.

К л ю ч е в ы е с л о в а: принцип симметрии, обобщенная кристаллография, геометрия моторного пространства, эргодизайн.

The problem of correlation methods of artistic design with experienced ergonomic methods of modeling of the habitat of the individual was investigated on the base of the principle of symmetry and the generalized crystallography. A structural-geometric model of the coordination of events occurring in the engine area of wildlife objects was proposed. The mathematical basis bionography, as a new method of forming an ergodesing was proposed.

K e y w o r d s: principle of symmetry, generalized crystallography, geometry engine area, ergo-design.

Значительна роль дизайна и эргономики в реализации магистральных научно-исследовательских программ культурного, социального и экономического развития России, особенное внимание уделяется механизмам их взаимодействия и интеграции, определению целостной, синтетической системы координации событий, протекающих в этих областях научного знания, выработки производственных стандартов и нормативов. В русле деятельности Всероссийского научно-исследовательского института технической эстетики (ВНИИТЭ) разработана стратегия социально-экономического развития России, основанная на ее имеющихся потенциальных ресурсах (научно-технических, интеллектуальных, природно-сырьевых и т.д.), и начато ее практическое осуществление. Специфика этого подхода состоит в том, что «качество жизни изучается и исследуется в единстве и соотношении с базовыми задачами развития предметной среды, средств техники и научно-технического прогресса» [1].

В 1998 г. был открыт междотраслевой научно-исследовательский проект «Качество жизни: сущность, оценка, стратегия формирования». Эргономисты считают, что «качество жизни человека есть системное свойство его состояния, проявляющееся для каждого индивида в конкретных условиях жизнедеятельности, через качество деятельности, здоровье и удовлетворение его потребностей» [2]. Из этого следует актуальность ориентации проектного метода на анализ обстоятельств и условий жизнедеятельности, определение критериев оценки и оптимального варианта художественного конструирования для каждого конкретного случая.

Методология дизайна при обосновании индивидуально ориентированного проектного метода вынуждена включать в свои технологии человеческие факторы, которые исследуются эргономикой. В зависимости от конкретного случая могут преобладать дизайнерские проблемы, связанные с образно-эстетическими задачами проектирования, эргономические подходы, акцентирующие внимание на условиях взаимодействия человека со средствами и обстановкой труда в процессе его трудовой деятельности. При этом необходимо учитывать, что решение дизайнерских проблем связано с ориентацией на те или иные дизайнерские школы, направления, стили.

Отсюда, если говорить об эргодизайне как о целостной научной дисциплине, необходимо учесть три фактора: во-первых, должна существовать взаимосвязь между событиями в дизайне и эргономике. Во-вторых, должны существовать закономерности, позволяющие, используя принцип инвариантности, предвидеть одни явления на основе знаний о других явлениях. В-третьих, должны существовать структурные взаимосвязи между законами природы. По мнению Е. Вигнера, эти три фактора соответствуют трем уровням познания: уровню явлений, уровню законов природы и уровню принципов симметрии. При этом третий уровень наделяет «структурой законы природы или устанавливает между ними внутренние связи, так же как законы природы устанавливают структуру или взаимосвязь в мире явлений» [3].

Взаимосвязь явлений в мире дизайна и эргономики выражается в организации отношений пользователя с объектами предметной и визуальной среды. Дизайнеры устанавливают гармонические, а эргономисты — оптимальные отношения между человеком и вещью. Известны закономерности, позволяющие оптимизировать и гармонизировать отношения элементов в системе человек — машина — среда, например позно-тонический рефлекс, который, выражаясь в моторной активности звеньев опорно-двигательного аппарата человека, позволяет гармонизировать функциональные параметры машин с функциональными параметрами формы тела человека (В. В. Зефельд). Опытные исследования моторного пространства человека доказали, что это пространство геометрично, т.е. обладает собственными метрико-позиционными характеристиками и подвержено процедуре проектирования. Проект отражает специфичность геометрической структуры моторного пространства, которое строится каждый раз заново в зависимости от целеполагания субъекта и предметных условий его трудовой деятельности. Геометрия моторного пространства человека выражается в форме антропометрии средствами пропорционирования.

Отсюда следует целесообразность поиска внутренних связей между моторным пространством у различных типов субъектов деятельности живой

природы, который позволит определить проектные характеристики третьего уровня познания — уровня принципа симметрии. Е. Вигнер подчеркивал, что принцип симметрии, во-первых, играет роль пробного камня при проверке справедливости тех или иных законов природы, степени их общности; во-вторых, позволяет в ряде случаев непосредственно открывать новые законы.

Известны три типа субъектов трудовой (творческой) деятельности живой природы, влияющих непосредственно на качество жизни человека. Высший уровень — деятельность на уровне этносов, человеческих сообществ (по Л. Н. Гумилеву). Средний уровень — деятельность на уровне человеческого индивида. Низший уровень — деятельность на физиологическом уровне.

Законы действия эволюционных сил (законы биологического морфогенеза), создающие по своему собственному плану многообразие форм живой природы, пока не достаточно изучены. Поэтому целесообразно вести проектные исследования форм оптимального и гармоничного взаимодействия человека с вещами в процессе труда на уровне, где силами самоорганизации можно пренебречь. Накоплен большой фактологический материал по двум таким уровням — проорганизменному, где формообразующий поиск ведется на уровне первичных элементов самоорганизующихся систем, и социокультурном, где человек реализует свое коренное свойство строить отношения с миром на основе порождаемых им вещей — результатов «второй природы». В последнее время плодотворные исследования на первом уровне ведутся в научной сфере нанотехнологий, на втором — в рамках направлений, исследующих корреляту эстетической и психологической деятельности человека.

Теоретик дизайна В. И. Тасалов еще в 80-х гг. прошлого столетия обосновал возможность строго научного исследования процессов формообразования в живой природе на примерах творческой деятельности людей. Ученый писал: «У нас есть серьезные основания полагать, в той мере, в какой на протяжении тысячелетий сущность жизнеспособных организаций оставалась и до сих пор еще остается скрытой от научного понимания, интуитивное порождение людьми «искусственных целостностей» искусства представляло собой ничем не заменимый творческий аккумулятор соответствующих способностей построения всех форм ноосферной культуры общества» [4].

В русле этих идей определенный интерес для нас имеют результаты исследований, полученные Н. Н. Александровым [5], изучавшим динамику усложнения пространственно-временных представлений в истории культуры. Ученый доказывает опосредованность этих представлений постепенным освоением в менталитете народов фундаментальных типов симметрии. По его мнению, временной порядок освоения фундаментальных типов симметрии развивается от простого к сложному: от зеркальной к поворотной, далее к винтовой, от нее к спиральной (конической).

Согласно выводам Н. Н. Александрова, зеркальная симметрия была востребована в начальные периоды культурно-исторического цикла — в первобытном обществе, Египте, Ассирии, на ранних периодах развития греческого искусства, в раннем Средневековье, в начальные периоды Нового времени и в середине XX в. Поворотная симметрия — в поздней Античности,

в Средневековье (особенно романском искусстве), Ренессансе (после прямоугольно-треугольных композиций Средневековья), в середине Нового времени и второй половине XX в. Винтовая симметрия осваивается в конце каждого культурно-исторического цикла. Спиральные формы создаются в двух точках цикла: либо в его начале, где они несут идею роста и развития во времени — здесь они откровенно лаконичны, энергичны и огромны по масштабу, либо при исчерпании формального многообразия в конце циклов, где они приобретают признаки сложных и преувеличенных напряжений, но все это — в микромасштабе человека и его дома. Стиль рококо завершает классический период Античности и Возрождения, модерн — цикл Нового времени. Следует также заметить, что западной культуре ближе зеркальная и поворотная типы симметрии, а культуре Востока — винтовая и спиральная.

В отношении определения типа симметрии художественной культуры настоящего, текущего исторического периода времени ученый высказывается следующим образом: «Сегодня ситуация противоположна: аналитически освоив весь этот мир очищенных форм и конструкций, искусство застыло перед необходимостью нового модерна. Время от времени в нем прорывается нота отрицания идеологии конструктивизма (аконструктивизм, деконструктивизм), но это — позиция без продолжения, одноразовая в своей эффектности. К гиперпорядку напрямую приплюсовывают намеренные вставки хаоса, но это лишь приводит к временному контрасту — формальному и содержательному. Что же должен освоить новый стиль? Конечно, спираль, конечно же, «природные формы», конечно же, овалы и эллипсы, треугольники и комбинации из всего этого набора. И где? Только в индивидуальном жилище».

Такой аспект культурологического осмысления принципа симметрии полностью согласуется с доктриной качества жизни. Исследование ментальности народов на основе принципа симметрии Н. Н. Александровым позволяет выявлять актуальные тенденции формообразования в архитектуре и дизайне, открывать новые возможности в индивидуальном дизайн-проектировании.

На другом, проорганизменном уровне формообразования, на уровне первичных элементов самоорганизующихся систем — наномире — большое внимание уделяется именно поисковым возможностям принципа симметрии. Ученые В. Е. Шудегов и В. Я. Шевченко, определяя задачи фундаментальных исследований Российской Федерации в области развития нанотехнологий, определяют коренные характеристики новых научных объектов: «Наноразмерные объекты имеют такие физические свойства и особенности строения, которые выделяют их как независимую часть Природы, промежуточную между микро- и макромиром. Эта проблема носит междисциплинарный характер и в одинаковой степени важна для физики, химии и биологии. Более того, строение наночастиц любого происхождения объясняется принципами обобщенной кристаллографии, в основе которой лежит алгебраическая геометрия (неэвклидова) и принцип локально-минимальных многообразий. Современные экспериментальные методы исследования вещества позволили обнаружить и изучить многообразие структурных типов, реализуемых в наномире. Особый интерес представляют структурно-неоднородные наночастицы с когерентными границами раздела между структурными фрагментами различной симметрии — кентавры,

квазикристаллы, фантазмагорические фуллероиды и т.п. Для этих частиц характерен принцип сплошного заполнения пространства — обычного трехмерного или двухмерного в случае фуллероидов. Структурные же состояния не всегда соответствуют незыблемым в макром мире законам классической кристаллографии, базирующимся на трансляционной инвариантности. Для их описания требуется привлечение понятий обобщенной симметрии и введение разрывов симметрии между областями локальной симметрии».

Авторы, опираясь на экспериментальные данные, говорят о самоорганизации наносистем, которые далеки от равновесия из-за наличия развитой поверхности: «В классических нелинейных неравновесных системах взаимодействия на надмолекулярном уровне могут приводить к возникновению пространственных, временных и пространственно-временных диссипативных структур».

Известно, что идея обобщенной кристаллографии принадлежит В. И. Вернадскому, который считал, что на самом деле всякий организм представляет собой «биокосное» тело, ибо в нем не все живое, и отсюда происходит необходимость изучать самый процесс влияния жизни на «косную» природу. Ученый утвердил положение о неевклидовости биосимметрий и несводимости ее к замкнутому классическому пространственному порядку неорганической, «косной» материи. Он доказывал, что программной задачей биологии является установление на базе изучения биологических симметрий, какой же из многих возможных видов неевклидовых геометрий характеризует пространство живой материи, и на этом положении обосновывал единый подход к объективному представлению биоэнергетических взаимодействий, выраженных им в виде идеи существования обобщенной кристаллографии [6].

Считаем уместным внести следующую корреляту. Согласно доктрине фундаментальных исследований Российской Федерации в области развития нанотехнологий, коренным свойством нанообъектов считаются неевклидовые симметрии, включенные в геометрический аппарат обобщенной кристаллографии. Отсюда получается, что любые объекты с неевклидовой симметрией, описанные группами обобщенной кристаллографии, должны иметь значение при объяснении пространственной структуры нанообъектов.

Исходя из фундаментального положения о существовании трех самостоятельных типов симметрий: классической (евклидовой) кристаллографии, неевклидовой геометрии биосимметрий и обобщенной кристаллографии (описывающей «процесс влияния жизни на косную природу»), нами разрабатывается структурно-геометрический аппарат биографии, строго описывающий координацию моторного пространства объекта живой природы и целей, мотивов, определяющих его деятельность.

В качестве физической основы биографии было принято агрегатное состояние из пяти молекул воды, которые взаимодействуют друг с другом направленным образом благодаря водородным связям. Каждая молекула воды может присоединить к себе только четыре соседние молекулы, центры которых в результате присоединения будут образовывать тетраэдр. Комбинируя комплексы из пяти равнодиаметральных шаров (инвариантные комплексы), мы упаковали эти комплексы по поворотной симметрии 5-го порядка относительно некоторого центра или оси (комплексы 2-го порядка). Экспериментируя с этими

комплексами равнодиаметральных шаров, мы смогли построить фигуры с винтовой симметрией, была получена конфигурация со схемой укладки шаров, совпадающей со схемой расположения чешуек на поверхности еловой шишки. Были получены также конфигурации, совпадающие с изображением радиолярии (частицы аденовируса в форме икосаэдра). Дальнейшее наращивание инвариантных комплексов шаров на полученную модель радиолярии позволило построить конфигурацию шаров с симметрией фуллерена.

После апробации комбинаторных возможностей инвариантной модели межмолекулярных связей воды нами была поставлена задача моделирования конкретного объекта живой природы с четко выраженной в форме системы плотной укладкой структурных элементов. Была выбрана шляпка подсолнуха с симметрией укладки семян по числовому ряду Фибоначчи. После расшифровки схемы укладки обнаружили ряд структурно-геометрических закономерностей, позволяющих объяснить способ построения пространственной структуры спиралей раковин моллюсков. Нами было также обнаружено бесконечное множество рекуррентных (возвратно-поступательных) рядов чисел, в которых ряды Фибоначчи и Люка занимают начальные позиции (табл.). Напомним, что рекуррентным ряд чисел считается, когда сумма двух соседних чисел дает значение третьему числу ряда, при этом отношение двух соседних чисел стремится к числовому значению «золотой пропорции» $\phi = 1,618$.

Ряд Фибоначчи	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	233
Ряд Люка	1	3	4	7	11	18	29	47	76	123	199	322
Без названия	—	4	5	9	14	23	37	60	97	157	254	411
—	—	5	6	11	17	28	45	73	118	191	309	500
—	—	6	7	13	20	33	53	86	139	225	364	589
—	—	7	8	15	23	38	61	99	160	259	419	и т.д.

В результате моделирования шляпки подсолнуха инвариантным комплексом шаров мы вышли на конус, состоящий из плотной укладки равнодиаметральных шаров в соответствии с величинами чисел ряда Фибоначчи. Следует заметить, что в основе полученной модели конуса лежит спираль. Обнаружена принципиальная возможность построения неограниченного семейства конусов на основе указанного выше бесконечного множества рекуррентных рядов чисел. Отметим, что на форму спиралей, выявленных на конусе, точно накладываются профильные изображения черепа человека, взятых в состоянии трех возрастов. Проводятся исследования по метрической классификации семейства конусных спиралей с целью выявления группы преобразования, отвечающей за индивидуальные характеристики форм биологических объектов.

Таким образом, выявлены и успешно развиваются средства структурно-геометрического моделирования в эргодизайне, ориентированные на индивидуализацию предметной среды обитания конкретного человека с учетом его требований к образно-эстетическим и функциональным характеристикам проектируемого объекта. Полученные результаты в итоге создают условия для реализации программы «Качество жизни человека».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Калиничева М. М., Жердев Е. В., Новиков А. И.* Научная школа эргодизайна ВНИИТЭ: предпосылки, истоки, тенденции становления. М. : ВНИИТЭ ; Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. 368 с.
2. *Шлаен П. Я., Львов В. М.* Эргономика для инженеров / под общ. ред. А. Н. Кудинова. Тверь, 2004. С. 361.
3. *Вигнер Е.* Этюды о симметрии. М. : Мир, 1971. 320 с.
4. *Тасалов В. И.* О социоприродной органичности художественного творчества // Искусство и точные науки / под. ред А. Я. Зися и др. М. : Наука, 1979. С. 199.
5. *Александров Н. Н.* Эволюция симметрии в искусстве. Эл. № 77-6567, публ. 16294, 15.01.2011. 76 с.
6. *Вернадский В. И.* Кристаллография: избранные труды. М. : Наука, 1988. 343 с.
1. *Kalinicheva M. M., Zherdev Ye. V., Novikov A. I.* Nauchnaya shkola ergodizayna VNIITE: predposylki, istoki, tendentsii stanovleniya. M. : VNIITE ; Orenburg : IPK GOU OGU, 2009. 368 s.
2. *Shlaen P. Ya., Lvov V. M.* Ergonomika dlya inzhenerov / pod obshch. red. A. N. Kudinova. Tver, 2004. S. 361.
3. *Vigner Ye.* Etyudy o simmetrii. M. : Mir, 1971. 320 s.
4. *Tasalov V. I.* O sotsioprirodnoy organichnosti khudozhestvennogo tvorchestva // Iskusstvo i tochnye nauki / pod. red. A. Ya. Zisya i dr. M. : Nauka, 1979. S. 199.
5. *Alexandrov N. N.* Evolyutsiya simmetrii v iskusstve. El. № 77-6567, publ. 16294, 15.01.2011. 76 s.
6. *Vernadski V. I.* Kristallografiya: izbrannye trudy. M. : Nauka, 1988. 343 s.

© Еретин А. В., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Еретин А. В. Роль принципа симметрии в методологии эргодизайна при реализации программы «Качество жизни человека» // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 173—179.

УДК 725.86

Г. Н. Черненко

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЗДАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ УНИВЕРСИТЕТСКИХ БИБЛИОТЕК

Рассмотрены изменения, произошедшие в архитектурно-планировочной структуре зданий университетских библиотек за последние шестьдесят лет. Изложена концепция формирования их планировочной структуры на основе многоуровневой системы общественных пространств, а также предложены три проектные модели современных университетских библиотек.

К л ю ч е в ы е с л о в а: университетские библиотеки, зонирование, общественные пространства, планировочная структура, проектные модели.

Some changes in the university libraries buildings architectural and planning structure are described in the latest sixty years. The formation concept of their plan structure based on the multilevel system of public spaces is presented. Three project models of modern university libraries are proposed.

Key words: university libraries, zoning, public space, planning structure, project model.

С появлением в XX в. электронных технологий, определивших направление развития человечества на многие годы вперед, изменились способы общения, обучения и хранения информации. Университетские библиотеки в настоящее время выполняют роль крупных узлов в мировой информационной сети. Здания библиотек как материальное воплощение таких узлов должны соответствовать сложным социальным функциям, которые на них возлагаются.

Современная университетская библиотека — это развитый архитектурный комплекс, необходимый для размещения учреждения, осуществляющего информационную, образовательную, научно-исследовательскую, культурную и общественную деятельность.

К первой половине XIX в. в Европе сложилась трехчастная структура зданий библиотек, основанная на четком выделении трех функциональных зон: фондохранилища, служебно-производственных и читательских помещений [1]. Дальнейшее развитие технологии библиотечного дела и строительства сделало выбор типа и формы хранилища определяющим фактором для формирования объема здания. Во второй половине XX в. трехчастная структура сменилась модулярной системой по принципу «one room library», когда все библиотечные службы расположены в едином пространстве, формирующемся на основе гибкой планировки. При этом функционально-планировочная структура библиотеки состоит из следующих функциональных зон: обслуживания читателей, администрации и помещений культурно-массового обслуживания. В этот период строительства библиотек под влиянием активного внедрения свободного доступа к фондам и появления электронных носителей информации необходимость больших площадей хранения утратила актуальность [2].

Целью данной публикации является попытка исследования изменений, произошедших в функционально-планировочной структуре зданий университетских библиотек, запроектированных и построенных в период с 1950 по 2010-е гг., и формирование научно-обоснованных рекомендаций для их проектирования в соответствии с современными требованиями.

Проведенное исследование позволяет констатировать следующее.

1. За указанный период площадь группы помещений читательского обслуживания существенно увеличилась (в среднем с 30 до 40 % от общей площади здания) за счет применения открытого доступа к фондам и развития пространств, позволяющих читателям получить доступ к медиаресурсам. В последнее десятилетие пространства читательского обслуживания имеют тенденцию к незначительному уменьшению из-за применения более компактного и совершенного оборудования, технических средств, а также частичного перевода фондов в электронные формы.

2. Площадь помещений закрытого хранения значительно сократилась (в среднем с 35 до 7 % от общей площади здания). Некоторые библиотеки, не имеющие архивных материалов, редких и ценных фондов, получили возможность полностью отказаться от закрытого хранения.

3. Доля служебно-производственных помещений в общей площади университетской библиотеки увеличилась с 15 до 20 % в результате расширения номенклатуры служебных помещений (телестудия, радиоузел и т.д.), внедрения в планировочную структуру библиотеки служебных помещений, связанных с применением современных электронных средств (лаборатории оцифровки, серверные и т.д.) и появления больших площадей подземных автостоянок.

4. В планировочной структуре университетской библиотеки активно развиваются помещения, предназначенные для коллективной работы, такие как видеолекционные залы, аудитории для групповых и полугрупповых занятий, конференц-залы, аудитории центров повышения квалификации и т.д.

5. Происходит внедрение в функционально-планировочную структуру университетской библиотеки помещений, связанных со смежным обслуживанием посетителей: общественных организаций, отделений банков и почты, клубов по интересам и т.д.

Структура современной университетской библиотеки по сравнению с традиционными образцами значительно усложняется за счет расширения коммуникативных функций данного учреждения. Наряду с помещениями, связанными с библиотечным технологическим процессом, огромное значение приобретает развитие в структуре университетского библиотечного комплекса общественных пространств, которые представляют собой существенный объемно-планировочный компонент. Их площадь в структуре здания за полвека в среднем увеличилась почти вдвое. Особенно активный рост площадей общественных пространств и расширение их номенклатуры происходит с начала XXI в. В некоторых современных зданиях (например, построенной в 2010 г. библиотеки Политехнического университета в Лозанне) их процентное соотношение к общей площади доходит до 50 %.

Общественными следует считать многоцелевые и специализированные пространства, не связанные с выполнением основного библиотечного технологического процесса и обеспечивающие следующие виды деятельности пользователя: межличностное общение, отдых, переключение с одного вида деятельности на другой, свободную ориентацию в сложной планировочной структуре и получение дополнительной информации. Такие пространства служат элементами, объединяющими различные функциональные зоны в объемно-планировочной структуре здания, и участвуют в дифференциации функциональных потоков.

Общественные пространства обеспечивают позиционирование современных университетских библиотек как коммуникативных центров, аккумулирующих межличностные контакты пользователей, и являются неотъемлемой частью библиотечного комплекса. Предлагается концепция формирования планировочной структуры зданий университетских библиотек на основе многоуровневой системы общественных пространств. Для этого следует разделить общественные пространства в современной университетской библиотеке по *функциональному признаку* на следующие виды:

коммуникативно-утилитарные пространства (холлы, вестибюли, фойе, атриумы, коридоры, галереи, пассажи, переходы), служащие для распределения и направления людских потоков и обеспечивающие комфортное и безопасное пребывание в здании, свободную ориентацию в сложной структуре комплекса;

коммуникативно-экспозиционные пространства (специализированные музеи, универсальные выставочные пространства) — это группа помещений в структуре современной университетской библиотеки, обеспечивающих не только проведение временных и постоянных выставок, но и организацию различных культурных мероприятий. Такие пространства существенно обогащают коммуникативные возможности университетских библиотек, расширяя межличностные контакты пользователей;

коммуникативно-релаксационные пространства (террасы, зимние сады, кафе, буфеты, внутренние дворы, благоустройство на участке, помещения для активного отдыха) предназначены для отдыха, смены рода деятельности, питания, развлечения пользователей. В здании современной университетской библиотеки необходимо предусматривать помещения для релаксации с большим количеством растений, фонтанами, мини-бассейнами, аквариумами и т.п. Такой архитектурно-планировочный прием позволит облегчить и разнообразить долговременную работу посетителей.

Проблема гиподинамии в современном обществе приобретает все большие масштабы. Недостаточная подвижность человека приводит к различным заболеваниям и повышенной утомляемости, поэтому в современных библиотеках необходимо предусмотреть специализированные помещения, позволяющие пользователям физически размяться. В настоящее время помещения для активного отдыха в библиотеках встречаются довольно редко, но их применение имеет широкую перспективу.

По расположению в планировочной структуре библиотеки общественные пространства могут быть внутренними и внешними. Внутренними являются пространства, находящиеся в пределах ограждающих конструкций здания (холлы, зимние сады, атриумы и т.п.). Внешними следует считать пространства, выходящие за ограждающие конструкции (террасы, эксплуатируемые кровли, замкнутые и разомкнутые внутренние дворы и т.д.), а также благоустройство на прилегающем участке.

По значению в объемно-планировочной структуре здания общественные пространства в современных университетских библиотеках подразделяются следующим образом:

композиционные центры — крупные общественные пространства, играющие центральную роль в композиционной структуре всего сооружения или его значительной части. В качестве композиционных центров в современных университетских библиотеках чаще всего используются атриумы, внутренние дворы, крупные холлы, зимние сады;

субцентры — самостоятельные композиционные образования в структуре университетского библиотечного комплекса. Роль общественных субцентров в университетской библиотеке могут играть фойе, площадки перед входами, кафе, террасы, музеи, выставочные пространства;

буферные пространства — общественные пространства, выполняющие функцию дифференциации различных по назначению функциональных зон в структуре библиотечного сооружения. Роль буферных, как правило, выполняют пространства между объемами комплекса, рекреации, зоны отдыха.

Построение объемно-планировочной структуры современной университетской библиотеки целесообразно осуществлять с помощью внедрения в структуру сооружения общественных пространств различных видов. Такие пространства следует применять как средство зонирования.

В здании современной университетской библиотеки следует предусматривать как минимум один композиционный центр в виде крупного общественного пространства, внутреннего или внешнего, и несколько общественных субцентров. Характеристики этих пространств необходимо принимать в зависимости от конкретных условий проектирования: окружающей застройки, формы и площади участка. Основные функциональные зоны библиотеки следует разделять буферными общественными пространствами. Такие решения позволяют эффективно направить различные функциональные потоки, облегчат ориентацию в пространстве библиотеки, обеспечат возможность отдыха посетителей.

Автором предлагается формирование планировочной структуры современной университетской библиотеки на основе шести основных функционально-планировочных зон:

- обслуживания (читальные залы, абонементы, каталоги, медиапространства);
- хранения (стационарное хранилище книг, аудио-, видеоматериалов и др.);
- служебно-производственной (служебные отделы, лаборатории, административные, хозяйственные и вспомогательные помещения, подземные стоянки и гаражи);

- аудиторной (помещения для групповых и индивидуальных занятий, лекционные аудитории, конференц-залы, центры повышения квалификации);

- смежного обслуживания (помещения клубов и общественных организаций, отделения почты и банков, рестораны, магазины и т.п.);

- общественной (выставочные пространства, музеи, кафе, буфеты, зоны отдыха, террасы, атриумы, холлы, вестибюли, помещения для активного отдыха, зимние сады и т.п.).

На основе проведенного исследования предлагаются следующие проектные модели современных университетских библиотек: базовая, расширенная и композитная.

Базовая модель — это университетская библиотека с минимальным составом помещений, деятельность которой направлена на выполнение основного библиотечного функционально-технологического процесса. Хорошо оснащенная современными техническими средствами университетская библиотека, соответствующая базовой модели, имеет все необходимое для осуществления образовательной, информационной и научной деятельности.

Осуществление культурной и коммуникативной деятельности в такой библиотеке ограничено, поскольку отсутствуют помещения, необходимые для проведения различных мероприятий. Для осуществления всего спектра

современной библиотечной деятельности она должна задействовать либо площади ближайших подразделений университета, либо, если является филиалом библиотечной сети, передать часть функций центральной библиотеке. Библиотеки базовой модели могут быть достаточно крупными по объему фондов, иметь развитые зоны хранения и обслуживания.

В номенклатуре помещений читательского обслуживания библиотечного здания обязательно присутствие абонементов, студенческого и научного читальных залов. Другие виды читальных залов (редкого фонда, периодики и т.д.) могут быть предусмотрены в зависимости от потребностей университета, места библиотеки в библиотечной сети и других факторов. В современных университетских библиотеках, соответствующих базовой модели, обязательно присутствие медиапространства, в которое входят справочная служба и компьютерная рабочая зона.

Мастерские и лаборатории, обслуживающие такую библиотеку, могут располагаться в одном из подразделений библиотечной сети.

Аудиторные помещения представлены ограниченно (групповые и полугрупповые аудитории); зона смежных функций, как правило, отсутствует.

В этой модели университетской библиотеки в качестве объединяющих композиционных элементов следует использовать коммуникативно-утилитарные и коммуникативно-релаксационные пространства. Рекомендуется предусматривать площадь общественных пространств до 25 % от общей площади здания.

Базовая модель имеет широкие перспективы развития в филиалах центральной библиотеки при различных подразделениях вуза.

Расширенная модель — это университетская библиотека, имеющая дополнительный состав помещений по сравнению с базовой моделью и, следовательно, получающая возможность выполнять более широкий спектр социальных задач.

Сектор читательского обслуживания отличается развернутым составом читальных залов и медиапространств, желательны наличие фонотеки, видеотеки и диатеки.

Библиотека с расширенными функциями вполне может взять на себя роль центральной библиотеки университета, что потребует более сложной структуры административно-производственных помещений, дополнительных отделов и лабораторий, таких как лаборатории реставрации, типография, художественная мастерская.

В функционально-планировочной структуре библиотеки этой модели могут присутствовать помещения университетской телестудии и радиоузла, а также гараж и крытые автостоянки.

В данной модели более развита аудиторная группа, в которой присутствуют лекционные аудитории, конференц-залы.

Общественная зона в таких библиотечных зданиях представлена не только утилитарными и релаксационными пространствами, но и специализированными и универсальными экспозиционными помещениями. В расширенной модели университетской библиотеки рекомендуется предусматривать площади общественных пространств до 35 % от общей площади здания.

Зона смежных функций в таких библиотеках развивается в зависимости от потребностей университета.

Библиотеки с расширенными функциями являются перспективными как в качестве центральных библиотек университетов, так и в качестве филиалов при крупных подразделениях вуза. Спектр дополнительных функций этой модели достаточно широк и варьирует в зависимости от конкретных задач, стоящих перед библиотекой и университетом в тех или иных социокультурных, исторических, градостроительных условиях.

Композитная модель, или университетский интеллект-центр (learning center, center of knowledge). Интеллект-центр — крупное многофункциональное общественное здание, формирующееся на основе университетской библиотеки и обладающее функциональными возможностями для создания высокого образовательного уровня пользователей, научной работы, интеллектуального досуга и общения посетителей. Деятельность интеллект-центров основана на комплексном использовании различных систем библиотечного обслуживания и дополнительного спектра услуг, направленных на интеллектуальное и творческое развитие личности.

В архитектурном комплексе интеллект-центра университета все функциональные зоны представлены максимально полно. В планировочную структуру здания, кроме помещений основных библиотечных служб, входят блоки помещений для деловой, развивающей и досуговой деятельности, такие как творческие мастерские, студенческие клубы, общественные организации, конгресс-центр, студии звукозаписи, школы информационной культуры, мемориальные, литературно-художественные музеи и др.

В композитной модели университетской библиотеки максимально развита общественная зона, представленная всеми видами коммуникативных пространств. В интеллект-центрах следует предусматривать площадь общественных пространств до 50 % от общей площади здания.

Применение композитной модели при проектировании университетских библиотек в настоящее время — наиболее перспективное направление, оптимально отвечающее потребностям современных пользователей.

Интеллект-центры целесообразно использовать как центральные библиотеки крупных университетов.

Приведенный выше подход к формированию функционально-планировочной структуры зданий современных университетских библиотек позволяет более рационально организовать проектирование библиотечных зданий университетов в зависимости от социально-функциональных, технологических, экологических факторов, а также от конкретных потребностей вуза и региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амлинский Л. З. Композиционно-планировочные решения и техническое оснащение научных библиотек. Киев : Наукова думка, 1988. 295 с.
2. Гаскюэль Ж. Пространство для книги : пер. с фр. М. : Рудомино, 1995. 303 с.
1. Amlinsky L. Z. Kompozitsionno-planirovochnye resheniya i tehicheskoe osnashenie nauchnyh bibliotek. Kiev : Naukova dumka, 1988. 295 s.
2. Gaskuel J. Prostranstvo dlya knigi : per. s fr. M. : Rudomino, 1995. 303 s.

© Черненко Г. Н., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Черненко Г. Н. Формирование функционально-планировочной структуры зданий современных университетских библиотек // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 180—185.

УДК 719: 72:378:7

Н. В. Иванова, Н. Н. Антонова

ИЗУЧЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ТВОРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АРХИТЕКТОРА-БАКАЛАВРА

Рассматривается проблема изучения архитектурного наследия в процессе подготовки студентов-архитекторов. Предлагается классификация памятников архитектуры г. Волгограда с выделением «поселкового строительства» XVIII—XX вв. Рассматривается участие студентов-архитекторов и преподавателей кафедры ОАПРЖС в проекте по изучению и сохранению фасадов исторической застройки г. Волгограда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: архитектурное наследие, изучение объектов, исследование застройки, обследование фасадов, подготовка архитекторов, паспортизация, сохранение архитектурных памятников.

The research issue of architectural heritage is described in the process of preparing students of Architects. The classification of architectural monuments of Volgograd especially “of the village construction” XVIII—XX centuries is proposed. The participation of students of Architects and lecturers of the FADDPS department in a project to research and preserve the facades of historic buildings in Volgograd is described.

K e y w o r d s: architectural heritage, learning objects, research buildings, survey of facades, architects training, certification, preservation of architectural monuments.

Современный Волгоград является комплексным объектом культурного и исторического архитектурного наследия. Все его элементы и временные исторические этапы формирования заслуживают одинаково заинтересованного отношения и сохранения. В наши дни особенно возрос интерес к объектам архитектуры дореволюционного и послевоенного периодов, приобретших ценность раритетов и подлинных свидетельств мастерства таких выдающихся архитекторов, как К. С. Алабян, Г. Ф. Борисенко, В. С. Брискин, К. В. Дынкин, Б. А. Геккер, А. В. Куровский, Е. И. Левитан, В. Е. Масляев, В. Н. Симбирцев, В. П. Статун, И. Е. Фиалко и др. Эти объекты, связанные с историей государства и обликом нашего города, навсегда входят в сознание людей как неотъемлемые составляющие городской среды. Большинство из них являются комплексами историко-градостроительных памятников, расположенных в основных композиционных узлах города. С течением времени, со сменой социокультурных потребностей в нашем обществе произошла некоторая утрата их былой значимости. Это касается потери актуальности в функциональной и смысловой направленности, повлекшей значительное ухудшение инженерно-технического состояния, что привело к снижению уровня художественно-эстетических качеств. Актуальными становятся вопросы переосмысления их значимости, возможностей использования в условиях современной трансформирующейся среды города. Исходя из этого, становится очевидным, что будущие квалифицированные архитекторы должны быть готовы к решению в рамках своей деятельности ряда немаловажных профессиональных задач, а также реализации полученных в вузе общекультурных и профессиональных компетенций. Они должны:

толерантно воспринимать различные культуры;
исследовать проблемы с применением анализа, синтеза и других методов интеллектуальной деятельности;
оценивать последствия своей профессиональной деятельности и др.

В рамках модульных образовательных программ бакалавра архитектуры выступают приоритетными разделы, посвященные методике исследования исторически и архитектурно значимых объектов с позиции выявления их ценностных характеристик и определения степени их значимости, а также архитектурной и социокультурной роли. Содержание разделов базируется на приобретении навыков аналитического мышления и критической оценки существующих архитектурных объектов и архитектурно-градостроительных решений, а также составлении отзывов и рекомендаций по сохранению и смысловой реабилитации объектов и комплексов, ставших своеобразными адресными точками и территориями на карте города.

Уникальность географического местоположения и линейной градостроительной структуры Волгограда как приречного города, ярко проявившаяся в особенностях его историко-архитектурного наследия, требует оценки и среднего анализа отдельных структурных блоков исторических территорий г. Волгограда. Бывшие прежде несвязанными частями формирующейся системы расселения и до сих пор остающиеся значимыми доминантами специфической пространственно-планировочной композиции города, они являются также богатой аналитической базой формирования творческого потенциала профессионала-архитектора.

Выявляя и изучая архитектурное наследие г. Волгограда, можно выделить несколько основных групп памятников. Это объекты исторически сложившейся планировочной структуры и комплексы историко-градостроительных памятников нашего города, которые по архитектурно-градостроительным признакам подразделяются:

на отдельные здания (архитектурные памятники гражданского и культового назначения);

градостроительные элементы (историко-архитектурные комплексы и ансамбли застройки улиц);

архитектурно-планировочные территории (рабочие поселки при промышленных центрах и заводах, историко-культурные поселения).

Первая группа представлена сохранившимися жилыми купеческими зданиями: дом братьев Рысиных (Дом архитектора), особняк Репниковой (Музей обороны г. Царицына); крупными общественными зданиями, такими как здание гостиницы «Столичные номера» купца Репникова (1890 г.) — ныне гостиница «Волгоград»; Дом науки и искусства (1915 г.); здание пожарной команды (1890 г.); здание городской управы (1910 г.); здание Мариинской 1-й женской гимназии (1877 г.) и 4-й женской гимназии (1910 г.).

Ко второй группе относятся территории исторической застройки: улица Волгодонская (бывшая Анастасийская), трасса которой просматривается на планах города конца XVII в. (до нашего времени на улице располагаются 5 купеческих домов с богатым историческим прошлым); комплекс застройки ул. Мира (1945—1950 гг.) архитектора В. Н. Симбирцева. В пределах улицы расположено 26 зданий, в числе которых историко-архитектурные памятники, театр, планетарий, гостиница, жилые дома.

Исследование объектов архитектурного наследия нашего города помогает студентам-архитекторам укрепиться в мысли, что бережное отношение к историко-культурному наследию прошлого является одной из основных задач формирования запоминающегося индивидуального облика города.

К сожалению, последние годы наблюдается ослабление контроля за деятельностью хозяйствующих служб. Владельцы зданий и сооружений руководствуются лишь личными предпочтениями, видоизменяют решения фасадов (самостоятельная перепланировка, модернизация оконных и дверных проемов, изменение входных узлов, добавление этажности, пристройка новых корпусов, самовольное остекление балконов и лоджий). Меняется также архитектурно-художественный облик зданий: появляются вывески, устанавливаются кондиционеры, спутниковые антенны и пр. Исторические здания и их фасады перестают гармонировать с окружением, нарушаются историко-архитектурные виды города. Для сохранения индивидуальности зданий и их исторической ценности новым для вуза направлением деятельности становится обследование (и дальнейшая паспортизация) фасадов зданий и сооружений города при активной помощи студентов.

Обследование, подготовка материалов для паспортизации необходимы для сохранения города в первоначальном историческом облике, а студенты, приобретая навыки выявления, обследования архитектурного наследия, начинают ответственно относиться к истории, воспитывают в себе гордость за свой труд, будущую профессию. Учащиеся понимают, что актуальность их работы обусловлена также назревшей необходимостью упорядочить ремонтно-восстановительные, реставрационные работы, проводимые на фасадах Волгограда и городов области.

Особый интерес у нас вызывает архитектурное наследие, представляющее третью группу. Это исторические территориальные единицы, которые и в современной планировочной структуре г. Волгограда не потерялись, не растворились в ткани застройки, а сохранили историческую целостность и индивидуальность градостроительного и архитектурно-объемного значения. Мы попытаемся рассмотреть историческую специфику создания, культурные основы и социальные черты исторических планировочных территорий нашего города — поселков. Это поможет будущим архитекторам расширить профессиональный кругозор и научиться не только аналитически обозначать проблемы адаптации объектов архитектурного наследия в современной среде города и определять критерии их значимости, но и формулировать верные, обоснованные цели и задачи, которые дадут возможность прогнозирования развития этих объектов в будущем.

В Царицыне с 1820 г. начинают складываться различные функциональные типы рабочих поселков: поселки-трущобы без какого-либо благоустройства (знаменитый Кавказ), поселки-казармы, поселки-сегрегации (Французский поселок) и поселок нового социального типа (Нобелевский). Свообразными и уникальными в своем роде можно назвать резко выделявшийся из городской застройки Царицына Нобелевский поселок и совершеннейший феномен, которым было поселение колонистов-гернгутеров — Сарепта. Но наиболее значительными по количеству, стихийности возникновения и особой хаотичности в планировке, влияющей на расчлененность города Царицына, были рабочие поселки: Бугорки, Балканы, Голубинка, Завертяевка, Сусли-

ный, Завальный, Сибирь-город, Дар-гора, Кавказ, Нахаловка, Ельшанка, Курпоросный, Французский и др.

Типичен своими социальными контрастами для царицынской застройки исторический комплекс Французского поселка. Французский поселок при заводе «ДЮМО» резко разграничивался на привилегированную и общую жилую застройку. В поселке, получившем в народе название Большая Франция, жила администрация Царицынского завода Урало-Волжского металлургического общества. Он состоял из благоустроенных особняков, огороженных чугунными решетками. По поселку были проложены деревянные тротуары, электрическое освещение, что для того времени было особой роскошью. Построенные спортивные площадки также выявляли определенный уровень благоустройства и служили границей с другим поселком, названным Малой Францией. Этот поселок состоял из двух- или четырехквартирных домов. Мощение улиц отсутствовало, но они были засыпаны шлаком, освещение производилось с помощью керосиновых ламп. Тут жили иностранные рабочие и служащие, высококвалифицированные русские рабочие.

К западу от завода расположился поселок, носивший название Русская деревня, где проживали простые рабочие. Застраивался он стихийно. Это были в основном деревянные бараки, врытые в землю, с выступающими на поверхность крышами. В центре поселка располагались полицейский участок и казарма для стражников. Процветали питейные заведения. Поселок не имел ни тротуаров, ни освещения, ни водопровода. По краю оврага предприимчивые люди строили баньки. Они были примитивны, грязная вода вытекала в овраг. Центром жизни поселка был базар, где торговцы каждый на свой лад сооружали свои заведения. Таковы были социальные противоречия, повлекшие социальный кризис градостроительства, сложившийся в Царицыне накануне Октябрьской революции 1917 г.

На сегодняшний момент застройка этих поселков находится в технически неудовлетворительном состоянии и требует серьезных мер по реконструкции. В этой ситуации нужно принимать решение, находящееся между двумя крайними вариантами: сохранением исторической застройки поселков в режиме реставрации и приспособления к современным требованиям и сохранением внешнего вида и объемно-планировочной структуры поселка с заменой ветхой и неблагоустроенной застройки новыми сомасштабными и стилистически схожими комфортабельными домами. А в целях обеспечения сохранности объекта культурного наследия в его исторической среде и на прилегающей территории необходимо изучение общих и различных подходов по сохранению исторических стиливых корней, прививание молодежи культуры и осознания сопричастности.

Сотрудники кафедры ОАПРЖС, студенты-архитекторы приняли активное участие в проекте исследования архитектурного наследия — зданий поселка Малая и Большая Франция. Исследование основывалось на рассмотрении существующей структуры градостроительного образования, состояния фасадов, размещения на фасадах носителей рекламных и информационных сообщений, дополнительного оборудования. Целью проекта явился мониторинг исторического развития внешнего облика фасадов, направленный на сохранение архитектурного единства градостроительного комплекса Французского поселка.

В задачи проекта входило:
историко-архитектурный поиск;

- обследование фасадов и фотофиксация;
- выявление стилистических, композиционных типов фасадов поселка;
- выявление внесенных изменений на фасадах;
- обмеры участков под здания;
- выполнение моделей — представителей типов фасадов;
- составление рекомендаций.

Актуальность работ по исследованию архитектурного наследия г. Волгограда — комплекса поселков Малая и Большая Франция — подкрепляется следующими обстоятельствами: отсутствие конкретных справочных материалов, нормативно-методической базы системы паспортизации фасадов, объектов и сооружений недвижимости и необходимого учета местных особенностей в обследовании внешнего вида фасадов, вследствие чего фасады зачастую не соответствуют общей концепции архитектурного облика города, поселка, не сохраняется их индивидуальность и историческая ценность.

В научно-исследовательском проекте была начата важная, сложная и кропотливая работа, преследующая и научную новизну, а именно:

- рассматривается вопрос о необходимости обследования фасадов;
- проводится архивный историко-архитектурный поиск облика фасадов зданий, расположенных в пределах поселка;
- составляется типология фасадов в зависимости от стилистических и композиционных особенностей;
- проводится выявление тенденций размещения на фасадах носителей рекламных и информационных сообщений, а также дополнительного оборудования;
- составляются описательные, фотографические материалы фасадов поселка;
- выявляются типы фасадов по стилистической принадлежности;
- впервые разрабатываются модели разных типов фасадов с возможными современными изменениями.

Вторым примером исторического поселкового строительства в Царицыне является немецкая колония. Сложившаяся расчлененная структура линейного города, вытянувшегося вдоль берега Волги, способствовала формированию этого культурного центра — Историко-архитектурного комплекса «Сарепта», который сейчас стал крупнейшим музейным комплексом Нижнего Поволжья. Ценность Сарепты как архитектурного комплекса заключается в уникальном сочетании отдельных построек и строительной технологии. Архитектуру поселения Сарепты нельзя отнести к «богатой», скорее это «простая» застройка, но несущая в себе обширную информацию об обществе тех людей, которые ее создали. Сарепта — это интереснейший, а для нашего региона и уникальный памятник градостроительного искусства, связанный с нашей историей и культурой. Поэтому нужно постоянно помнить о необходимости сохранности таких объектов и прилагать все усилия к реконструктивно-реставрационным мероприятиям для дальнейшего воссоздания архитектурного достояния и культуры.

Поселение Сарепта появилось в наших краях во второй половине XVIII в. как германская колония. Руководителем экспедиции был Даниэль Фик. Под его руководством проводились проповеди среди язычников — калмыков. Но неприязнь к вере гернгутеров вылилась в нападения и грабеж с их стороны. Поэтому в 1768 г. было принято решение о строительстве крепости вокруг поселка. Началось строительство и внутри поселения, первой возвели кирху (1772 г.), вслед за ней построили дома для холостых мужчин и незамужних женщин. Вместо жилых домов, намечавшихся по плану, здесь стали

строить и возводить в основном общественные здания, связанные с развивающейся торгово-промышленной деятельностью колонистов (торговый дом Гольдбаха, сборка машинок «Зингер»). Планировка главной площади носила строгий традиционный характер, присущий городам Германии, Польши, Голландии и других стран Европы. В Сарепте еще был кирпичный завод, поэтому дома строили наполовину из дикого камня, а наполовину из кирпича. Спустя несколько десятилетий Сарепта, возникшая как религиозное поселение, стала стремительно превращаться в один из крупных центров Нижнего Поволжья. В ней начали работать лесопилки и мельницы, получили развитие горчичное, бальзамовое, гончарное, мыловаренное производства. Сарептяне полностью снабжали себя и ни в чем не нуждались, а часть своей продукции продавали (ткань, горчицу, масло и т.д.). По мере экономического укрепления колонии менялся и внешний облик поселка, и функциональное назначение центральной площади — она становилась своего рода общественно-торговым центром колонии. Сарепта быстро стала значительным перевалочным пунктом грузов с Волги на железную дорогу и обратно.

В мае 1920 г. решением Губисполкома Сарепта переименована в поселок Красноармейск.

К сожалению, обличье Старой Сарепты не удалось полностью сохранить до наших дней. Просуществовала колония Сарепта почти 200 лет до начала Сталинградской битвы. Колоритные сарептские улочки, деревянные и булыжные мостовые были утрачены уже после Великой Отечественной войны. Фундаментом новостроек были разрушены уникальные подземные ходы знаменитой Сарептской крепости, и лишь в середине 80-х гг. XX в. территория крепости была взята под охрану и вместе со всеми постройками объявлена государственным музеем-заповедником.

В начале XX в. А. А. Богданов подчеркивал, что «архитектура — язык длительных и глубоких коллективных настроений, ... воплощает, и закрепляет, и непрерывно передает от поколения к поколению преобладание эмоций; она — хранительница организующей традиции» [1]. Поэтому так важно донести до студентов мысль о бережном отношении к архитектурному наследию, привить навыки ответственного отношения к символам старины, а также умение использовать в своем творчестве исторические мотивы выдающихся архитекторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аргасцева С. А., Гуренко Л. В.* Свод историко-архитектурного наследия Царицына — Сталинграда — Волгограда (1589—2004 гг.). Волгоград : Панорама. 240 с.

1. *Argasceva S. A., Gurenko L. V.* Svod istoriko-arhitekturnogo naslediya Czariczyna — Staligrada — Volgograda (1589—2004 gg.). Volgograd : Panorama. 240 s.

© *Иванова Н. В., Антонова Н. Н., 2011*

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Иванова Н. В., Антонова Н. Н. Изучение архитектурного наследия как способ формирования творческого потенциала и конкурентоспособности архитектора-бакалавра // Вестник Волгogr. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 186—191.

УДК 72.012.32:72.013:7.038.16

А. А. Григорьев

ТИПОЛОГИЯ РЕШЕНИЙ ОСНОВНОГО ОБЪЕМА ЗДАНИЙ В АРХИТЕКТУРЕ ФУНКЦИОНАЛИЗМА/НЕОФУНКЦИОНАЛИЗМА

Представлены основные типы объемных композиций зданий, присущих архитектуре функционализма/неофункционализма. Приведен «алфавит» базисных объемных форм, а также принципы, легшие в основу компоновочных многофигурных типов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: функционализм, неофункционализм, композиция объемов зданий.

The typology of main volumes in architecture of functionalism and neofunctionalism is presented. The “alphabet” of basic volumetric forms and the principles laid down in a basis of multi-image layout types is described.

K e y w o r d s: functionalism, neofunctionalism, composition of main volume.

Ориентация архитектуры функционализма на работу бездекорной формой «автоматически» привела к увеличению значимости объемной композиции зданий. В архитектуре функционализма/неофункционализма наметилось два принципиальных пути работы с формой: первый — отражение в форме здания его сложной функциональной структуры и второй — разработка универсальной формы, застрахованной от быстрой моральной амортизации [1].

Столкновение требований повышения выразительности объемных форм с отказом от элементов, не обусловленных функционально, выразилось в возникновении богатой и инновационной (по отношению к практике прошлого) вариативности решений основного объема зданий в практике функционализма, а затем и неофункционализма. В настоящей статье для краткости конструктивизм-функционализм будет обозначаться одним термином «функционализм», тем более что это направление является первичным по отношению к конструктивизму.

В результате проведенного обследования проектов и построек, относящихся к практике функционализма/неофункционализма, установлено три принципиальных типа композиции объемных форм: компактный, блокированный и павильонный.

Компактный тип композиции отличается предельной лаконичностью, имея в основе одну объемную форму, подвергаемую формотворческим обогащениям, речь о которых пойдет ниже. Этот тип композиции является исходным, т.к. по сути представляет собой первичный «алфавит» форм архитектуры функционализма и неофункционализма, которыми, в свою очередь, оперируют компоновочные блокированный и павильонный типы. Блокированный тип образуется посредством стыковки форм компактного, а павильонный — за счет организации объемов компактного и блокированного типов в цельную функциональную структуру, части которой отстоят друг от друга.

В результате исследования выявлен базисный, исходный элемент всего «алфавита» функционалистского формотворчества. Этим элементом был параллелепипед, что вполне естественно, учитывая принципиальную установку функционализма на максимальное использование естественного освещения, инсоляции, аэрации, зеленого окружения, а также его ориентацию на индустриальные строительные технологии, массовость и свободную планировку. Также установлено, что

второй по значимости являлась форма цилиндра. Не получив обширного распространения в архитектуре зданий, относящихся к компактному типу, она активно проявилась в композициях блокированного типа в качестве эффектного пластического контраста, а также нашла отражение в решении архитектурных деталей.

Для периода функционализма характерна форма параллелепипеда, одна из сторон которого завершается полуцилиндром. Эта форма проявилась как в решении крупных объемов зданий, так и в виде второстепенных элементов — тамбурной зоны, консолей и балконов. Установлено, что в практике неофункционализма эта форма не получила широкого распространения, оставшись характерной чертой эстетики функционализма.

Также к разряду «редких» первичных форм относится пирамидальная ступенчатая форма, проявившаяся преимущественно в виде террасных зданий.

Среди других формотворческих установок функционализма по своей значимости выделяется полное отрицание архитектурного декора. Однако выработанная тысячелетиями «генетическая» потребность в пластическом обогащении крупномасштабных объектов искусственной среды обитания заставляла функционалистов усложнять, индивидуализировать исходную аскетичную форму за счет пластических «операций» с самой этой формой. Этот путь замены декора богатой объемной пластикой (хотя и на основе прямоугольной системы координат) в «лабораторных» условиях выработал еще супрематизм. Но практика функционализма оказалась гораздо аскетичнее, что показало проведенное исследование.

Установлено два пути развития типологии форм компактного типа: первый путь — изменения пропорций, давшие четыре основные конфигурации форм функционализма/неофункционализма: кубовидная, горизонтальная пластина, вертикальная пластина, столб (рис. 1). Каждый из названных типов характерен для своего функционального типа зданий: так, кубовидная форма преимущественно проявилась в архитектуре вилл с компактным планом, формы горизонтальных пластин — в архитектуре общественных зданий, вертикально стоящей пластины и столба — среди многоэтажных жилых и конторских зданий.

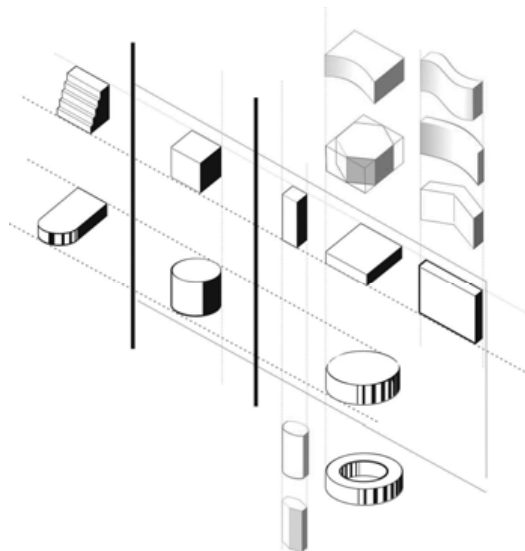


Рис. 1. Основные объемные формы и их конфигурации

На этапе функционализма гегемония этих принципиальных конфигураций терялась в присущем функционализму (особенно конструктивизму) богатстве объемных композиций, однако в период неофункционализма, когда поиски объемной выразительности уступили место выразительности композиции фасада, доминирующая роль четырех основных конфигураций форм стала очевидной.

Также на этапе неофункционализма к палитре основных элементов добавляются криволинейные формы, потенциал которых, по словам Вальтера Гропиуса, «был сильно недооценен». Эта криволинейность проявилась как в решении одной из плоскостей параллелепипеда, так и в виде криволинейного плана. Стоит отметить, что потенциал криволинейных поверхностей проявился в основном в виде дугообразных форм, укладывающихся в аскетичное функционалистское виденье формы.

Второй путь — обогащение объемов исходных форм за счет приращения и изъятия дополнительных элементов. В классификации выделены четыре участка объемной формы, в которых происходит обогащение, а именно нижний, средний, верхний и во всю высоту сооружения (рис. 2).

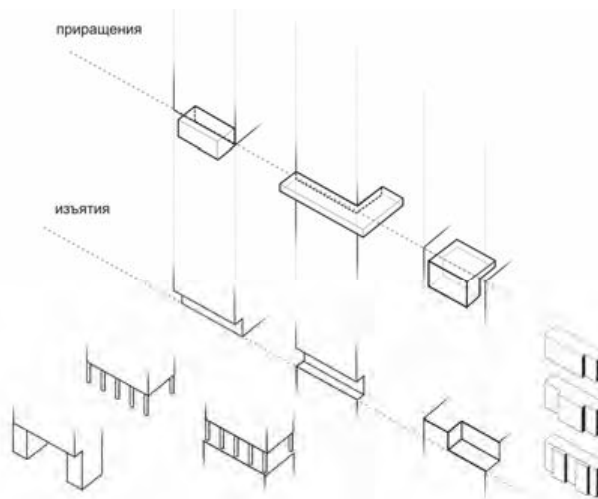


Рис. 2. Приемы формотворческого обогащения исходных форм

В случае приращения в нижней зоне зданий такими дополнительными элементами преимущественно служили выступающие цокольные этажи, часто в них располагались функции, отличные от остального здания (магазины, поликлиники и пр.), также в качестве выноса мог решаться объем входной зоны здания. Выступающие зоны могли быть как протяженными по всему фасаду здания, так и «очаговыми». В средней и верхней зоне здания в качестве присоединенных объемов выступали консольные плоскости и консольные этажи, эстетически часто решенные в контрастной манере по отношению к остальной части фасада.

Прием изъятия фрагмента основного объема фактически является «инверсией» приема приращения. В нижней части здания прием проявился в виде устройства традиционных для функционализма подсечек, постановки зда-

ния на колонны или устои (здание-мост), в средней — в виде разрывов этажей или устройства этажей-лоджий, в верхней в виде устройства террас.

Также широко распространены объемные модификации во всю высоту здания. В качестве объемных элементов в этом случае выступали группы балконов, лоджий или отдельные плоскости, пластическое решение которых создавало более выразительную композицию фасада за счет усложнения абриса плана.

Необходимо отметить, что перечисленные усложнения объема носили лишь характер обогащения основной формы, что принципиально отличает их от приемов компоновки крупных объемных форм в блокированном типе, освещенных ниже.

Перечисленные выше методы обогащения объемной формы хронологически возникли в период функционализма. Характерным новшеством неофункционализма явился прием усечения формы под углом. Использование этого формотворческого приема, не связанного с прямоугольной системой координат, позволило обогатить практику разнообразными композициями из многогранников и призм.

Как отмечалось выше, формы компактного типа служат элементами для композиции блокированного типа (рис. 3). Таким образом *блокированный тип* может рассматриваться как группа композиционных принципов, представленных ниже:

1. Расположение одного или нескольких вертикально стоящих элементов на основании — горизонтальной пластине (стилобате). Композиционно вертикальные элементы могут как располагаться поверх горизонтального объема, так и быть врезаемыми в него.

2. Линейная компоновка объемов. Осуществляется за счет поочередной стыковки объемов. При этом элементы могут располагаться как соосно, так и в свободном порядке или же с фиксированным шагом смещения, за счет чего образуется эффектная ступенчатая композиция с активным метрическим порядком. Также линейная группировка объемов может осуществляться на основе протяженной объединяющей формы, по сторонам которой располагаются дополнительные. При этом стержневая форма может быть как прямой, так и ломаной.

3. Радиальная компоновка. Образуется за счет стыковки нескольких схожих элементов в виде трех- и четырехлепестковой формы. Преимущественно в качестве элементов радиальной компоновки использовались вертикальные пластины.

4. Симметричное воспроизведение элемента с активно выявленной осью. Характерные для функционализма лаконичные чистые объемы усиливали волевой образ, производимый симметричной композицией, это предопределило преимущественное использование данного приема в архитектуре представительских и административных зданий. В архитектуре зданий, не нуждающихся в усилении репрезентативности, для смягчения композиционного эффекта применялось «игровое» смещение элементов относительно оси.

5. Присоединение к основному объему здания одного или нескольких второстепенных элементов. Для общественных сооружений характерно симметричное расположение дополнительных помещений относительно центрального объема.

6. Замкнутая (кольцевая) компоновка является частным случаем линейной композиции, элементы которой в плане образуют замкнутую форму. Кольцевые здания могут быть решены как в компактном виде, где все стороны образованы элементами одинаковых габаритов (и, как правило, с единым решением фасадов), так и группой различных распластанных элементов с существенными выносами за пределы «кольца». Для кольцевой композиции традиционным является подъем одного или нескольких блоков (или их фрагментов) на колонны, за счет чего обеспечивается доступ в образующийся внутренний двор.

7. Свободная компоновка объемов может использовать как отдельно взятые свободно «раскинутые» объемы, так и сочетания свободной компоновки с группами элементов, объединенных на основе композиционных принципов шести предыдущих типов.

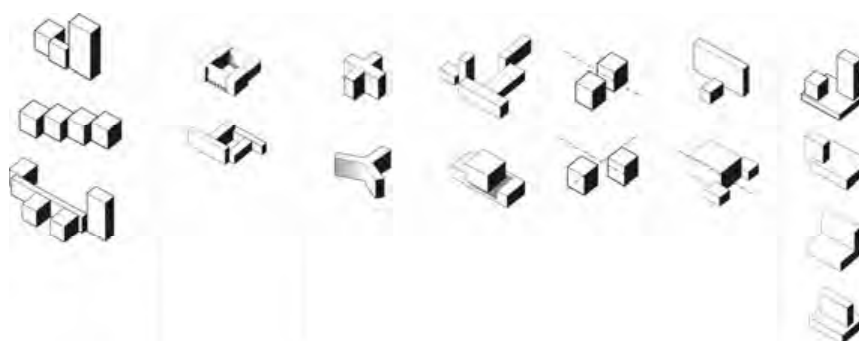


Рис. 3. Виды композиций объемного типа

Следует отметить, что во всех вариантах группировки форм их фактическое соединение осуществлялось на основе одних и тех же методов сопряжения: примыкание форм, взаимное пересечение, угловая стыковка [2].

Опираясь только на специфику функциональных взаимосвязей и участка, свободная композиция явилась олицетворением экспрессивного потенциала архитектуры конструктивизма. В его романтических формах виделся переход к новой эстетике объемных композиций, пришедших на смену орнаментальной экспрессии фасадов.

Несмотря на богатый потенциал композиционных приемов, формотворческие поиски на этапе функционализма преимущественно развивались в прямоугольной системе координат. Существенным достижением неофункционализма стало привнесение компоновки элементов под острыми и тупыми углами, что вкупе с распространением пластичных криволинейных элементов придало новое звучание всем композиционным типам.

Павильонный тип композиции, как отмечалось выше, оперирует формами компактного и блокированного типов. При этом элементы отстоят друг от друга, объединяясь открытыми или закрытыми переходами, отражающими специфику функциональной взаимосвязи.

С точки зрения композиционной выразительности практика неофункционализма в массе существенно уступает богатству объемных решений функционализма. Рассудочная, подчиненная утилитарным целям архитектура

неофункционализма оперирует более сдержанными композициями компактного и блокированного типов с преимущественным использованием горизонтальных и вертикальных пластин. Многофигурные выразительные композиции функционализма (а особенно конструктивизма), «подогреваемые» романтической жизнеустроительной идеологией, не получили распространения в условиях неофункционализма.

Ответом на требования времени стали протяженные линейные композиции из стыкованных вертикальных пластин жилых многоквартирных домов. Их однородные объемы явились своеобразным «клеямом» зрелого периода неофункционализма, надолго закрепив в обществе отторжение эстетики массового строительства. Логичной реакцией на эту монотонность явились вспышки «образных» архитектурных направлений, и прежде всего постмодернизма, захлестнувшего сначала западную, а с крушением Советского Союза и российскую архитектурную практику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иконников А. В.* Основы архитектурной композиции. М. : Искусство, 1971. С. 55
2. *Кринский В. Ф., Ламцов И. В., Туркус М. А.* Элементы архитектурно-пространственной композиции. М. : Стройиздат, 1967. 168 с.
1. *Ikonnikov A. V.* Osnovy arhitekturnoy kompozicii. M. : Iskusstvo, 1971. S. 55
2. *Krinsky V. F., Lamtsov I. V., Turkus M. A.* Elementy arhitekturno-prostranstvennoy kompozicii. M. : Stroiizdat, 1967. 168 s.

© Григорьев А. А., 2011

Поступила в редакцию в июне 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Григорьев А. А. Типология решений основного объема зданий в архитектуре функционализма/неофункционализма // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 192—197.

НАШИ АВТОРЫ

Артёмова Светлана Георгиевна
Artemova Svetlana Georgiyevna

старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Азаров Валерий Николаевич
Azarov Valeri Nikolayevich

Senior lecturer of construction and operation of transport works department, VSUACE д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Алексиков Сергей Васильевич
Aleksikov Sergei Vasilevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department Chairman of safety of living in technosphere, VSUACE д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, asv034rus@mail.ru

Антонова Наталья Николаевна
Antonova Natalya Nikolayevna

Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of construction and operation of transport systems, VSUACE

Бабаханов Борис Станиславович
Babakhanov Boris Stanislavovich

доц. кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-98-44, natusa_1967@mail.ru

Бессчетнов Борис Владимирович
Besschetnov Boris Vladimirovich

Associate professor of architectural engineering, draw, art and sculpture basic department, VSUACE

Богомолов Александр Николаевич
Bogomolov Alexandr Nikolayevich

соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Волченко Федор Викторович
Volchenko Fedor Viktorovich

Degree-seeking student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Горьковская Анна Владимировна
Gorkovskaya Anna Vladimirovna

ассистент кафедры автомобильных дорог, Ростовский государственный строительный университет, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, (8634)24-02-79, besboris@yandex.ru

Григорьев Александр Алексеевич
Grigorev Alexandr Alexeyevich

Assistant of highway department, Rostov State Building University д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе ВолгГАСУ, (8442)96-99-54, banzaritcyn@mail.ru

Евтущенко Сергей Иванович
Yevtushenko Sergei Ivanovich

Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of hydraulic and earthwork structures, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE

Еретин Александр Владимирович
Eretin Alexandr Vladimirovich

аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-904-7777-687, fedot1604@mail.ru

Зинченко Сергей Михайлович
Zinchenko Sergei Mikhailovich

Post-graduate student of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Иванова Нина Васильевна
Ivanova Nina Vasilevna

студентка ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1 (8442)96-99-13, anna_gor_1991@mail.ru

Ивашенко Юрий Григорьевич
Ivashchenko Yuri Grigorevich

Student, VSUACE

Кашарин Денис Владимирович
Kasharin Denis Vladimirovich

аспирант кафедры истории и теории архитектуры, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4, sasha@grigorev.com

Post-graduate student of history and theory of architecture department, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой сопротивления материалов, строительной и прикладной механики, Южно-Российский государственный технический университет, 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, evtushenko_s@novoch.ru

Candidate of Science (Engineering), Professor, Department Chairman of structural resistance, construction and applied mechanics, South-Russia State Technical University

канд. искусствоведения, декан факультета дизайна, Московский гуманитарно-экономический институт, Волгоградский филиал, 400048, Волгоград, ш. Авиаторов, 8, eretin-a@yandex.ru

Candidate in Art history, Dean of design department, Moscow Humanitarian-Economics Institute, Volgograd Branch

аспирант кафедры производства строительных изделий и конструкций, Саратовский государственный технический университет, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, sergei_zinchenko@bk.ru

Post-graduate student of building products and constructions industry department, Saratov State Technical University

канд. арх., проф., зав. кафедрой основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-98-44

Candidate of Architecture, Professor, Department Chairman of architectural engineering, draw, art and sculpture basic department, VSUACE

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой производства строительных изделий и конструкций, Саратовский государственный технический университет, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, snstosstu@bmail.ru

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department Chairman of building products and constructions industry department, Saratov State Technical University

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры водного хозяйства предприятий и населенных мест, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, dendvk1@mail.ru

Candidate of Science (Engineering), Associate professor, Associate professor of enterprises and populations aggregates water industry department, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Киселева Татьяна Алексеевна Kiseleva Tatyana Alexeyevna	ассистент кафедры высшей математики, Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, moonway13@rambler.ru(8442), (8442)41-13-24 Assistant of higher mathematics department, Volgograd State Agricultural Academy
Кичёва Тамара Даниловна Kicheva Tamara Danilovna	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1 (8442)96-99-13, viv_vgasu@mail.ru Candidate of Science (Engineering), Associate professor, Associate professor of water supply and water removal department, VSUACE
Клочков Юрий Васильевич Klochkov Yuri Vasilevich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой высшей математики, Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, Klotchkov@bk.ru , (8442)41-13-24 Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department Chairman of higher mathematics, Volgograd State Agricultural Academy
Коростелева Наталия Владимировна Korosteleva Nataliya Vladimirovna	канд. техн. наук, доц. кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-98-64, korostelevanv@mail.ru Candidate of Science (Engineering), Assistant professor of ecological building and municipal facilities department, VSUACE
Крахма́льный Тимофей Александрович Krakhmalny Timofei Alexandrovich	канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры сопротивления материалов, строительной и прикладной механики, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, Timon_82@mail.ru Candidate of Science (Engineering), Senior lecturer of structural resistance, construction and applied mechanics, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)
Кужель Владимир Николаевич Kuzhel Vladimir Nikolaevich	Кубанский государственный аграрный университет, соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ Kyban State Agrarian University, Degree-seeking student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE
Кузнецова Наталья Сергеевна Kuznetsova Natalia Sergeevna	канд. техн. наук, заместитель генерального директора, ООО «Научно-исследовательский и проектный институт "Волгогорхимстрой"» Candidate of Science (Engineering), Deputy Director General, LLC "Research and Development Institute "Volgogorkhimstroj"
Маркелова Ирина Александровна Markelova Irina Alexandrovna	ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Дальневосточный государственный технический университет, 690014, Владивосток, пр. Красного Знамени, 66, (4232)45-17-90, angelleech@mail.ru Assistant of warm and gas feed and ventilation department, Far Eastern State Technical University
Маркович Алексей Семенович Markovich Alexei Semenovich	аспирант кафедры архитектурно-строительного проектирования, Московский государственный архитектурно-строительный университет, филиал г. Мытищи, 141006, г. Мытищи, Олимпийский пр., 50, madden_06@mail.ru , (906)412-36-40 Post-graduate student of architecture and construction design, Mytishchi Branch of Moscow State University of Architecture and Civil Engineering
Медведева Оксана Николаевна Medvedeva Oksana Nikolayevna	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Строительно-архитектурно-дорожного института, Саратовский государственный технический университет, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, medvedeva-on@mail.ru. Candidate of Science (Engineering), Associate professor, Associate professor of warm and gas feed and ventilation department of Construction, Architecture and Transport Institute, Saratov State Technical University
Мизонов Валентин Владимирович Mizonov Valentin Vladimirovich	ассистент кафедры автомобильных дорог, Ростовский государственный строительный университет, dortransnii@mail.ru Assistant of highway department, Rostov State Building University
Николаев Анатолий Петрович Nikolayev Anatoli Petrovich	д-р техн. наук, проф. кафедры водохозяйственного строительства, Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, (8442) 41-98-29 Doctor of Engineering Sciences, Professor of water engineering department, Volgograd State Agricultural Academy
Панченко Павел Валерьевич Panchenko Pavel Valerevich	аспирант кафедры дизайна архитектурной среды, Южный федеральный университет, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, ppv001@mail.ru Post-graduate student of architectural space design department, Southern Federal University
Пустовалов Евгений Владимирович Pustovalov Yevgeni Vladimirovich	ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-99-13, pustovalov_viv@mail.ru Assistant of water supply and water removal department, VSUACE
Романов Сергей Иванович Romanov Sergei Ivanovich	д-р техн. наук, проф., ВолгГАСУ, Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-917-842-71-69 Doctor of Engineering Science, Professor, VSUACE
Рудченко Григорий Иванович Rudchenko Grigori Ivanovich	консультант ООО «Научно-исследовательский и проектный институт "Волгогорхимстрой"» Consultant, LLC «Research and Development Institute "Volgogorkhimstroj"»
Сапожкова Наталья Васильевна Sapozhkova Natalya Vasilievna	ст. преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, sapozhkovannv@rambler.ru Senior lecturer of construction and operation of transport systems department, VSUACE
Соловьёв Александр Владимирович Solovyev Alexandr Vladimirovich	канд. техн. наук, соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, Волгоград, ул. Академическая, 1 Candidate of Science (Engineering), Degree-seeking student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Стадник Александр Юрьевич
Stadnik Alexandr Yurevich

аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, 8-906-168-58-32
Post-graduate student of construction and operation of transport systems department, VSUACE

Стешенко Дмитрий Михайлович
Steshenko Dmitri Mikhailovich

канд. техн. наук, Северо-Кавказский государственный технический университет, 355000, Ставрополь, пр. Кулакова, 2, dmitristeshenko@mail.ru
Candidate of Science (Engineering), North Caucasus State Technical University

Тиратурян Артем Николаевич
Tiraturyan Artem Nikolayevich

лаборант кафедры автомобильных дорог, Ростовский государственный строительный университет, dortransnii@mail.ru
Lab assistant of highway department, Rostov State Building University

Углова Евгения Владимировна
Uglova Yevgeniya Vladimirovna

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры автомобильных дорог, Ростовский государственный строительный университет, dortransnii@mail.ru
Doctor of Engineering Sciences, Associate professor, Professor of highway department, Rostov State Building University

Ушаков Андрей Николаевич
Ushakov Andrei Nikolaevich

докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
Postdoctoral student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

Фролов Владимир Олегович
Frolov Vladimir Olegovich

аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Строительно-архитектурно-дорожного института, Саратовский государственный технический университет, Саратов, ул. Политехническая, 77, morozz_F_V@mail.ru

Черненко Глеб Николаевич
Chernenko Gleb Nikolayevich

Post-graduate student of of warm and gas feed and ventilation department of Construction, Architecture and Transport Institute, Saratov State Technical University

Шевцова Ирина Михайловна
Shevtsova Irina Makhailovna

ассистент кафедры дизайна архитектурной среды, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, (8652)72-50-09, archchernenko@mail.ru
Assistant of architectural space design department, Southern Federal University

Широков Алексей Игоревич
Shirokov Alexei Igorevich

ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, (8442)96-99-13, irinash84@mail.ru

Шиян Станислав Иванович
Shiyan Stanislav Ivanovich

Assistant of water supply and water removal department, VSUACE

Штым Алла Сильвестровна
Sh Tym Alla Silvestrovna

Тульский государственный университет
Tula State University

канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, banzaritcyn@mail.ru
Candidate of Science (Engineering), Postdoctoral student of hydraulic and earthwork structures department, VSUACE

канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, Дальневосточный государственный технический университет, 690014, Владивосток, пр. Красного Знамени, 66, (4232)45-17-90, shtym_alla@mail.ru

Candidate of Science (Engineering), Assistant professor, Department Chairman of warm and gas feed and ventilation, Far Eastern State Technical University

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: info@vqasu.ru (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографические сведения о публикациях в журнале и пристатейные списки литературы представлены в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных DOAJ — Directory of Open Access Journals (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором лицензионного

договора (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf>), анкеты согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf>), выписки из протокола заседания кафедры и одной рецензии. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В отдельном файле помещаются сведения об авторах на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке анкеты (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: индекс УДК; на русском и английском языках: фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), ключевые слова. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 3 до 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ Microsoft Office (Word 2003); шрифт основного текста — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для набора формул используется редактор формул Microsoft MathType 5; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, растровые — в TIF или BMP; графики и диаграммы, построенные в Microsoft Excel, а также рисунки, созданные в Corel Draw 12 или AutoCAD 2006 и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, иллюстрации обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. Подписи к рисункам выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисункной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы Arj и WinZip, WinRAR.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст таблиц набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные библиографические списки размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится дважды. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся на латинице, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. 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).

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ www.vgasu.ru, в разделе *Издательская деятельность / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета* (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-46 у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева**.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» временно выходит в одной серии

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).

Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343

(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета *В.И. Воробьеву*

Продолжается прием статей в очередные выпуски серий «Политематическая» и «Строительная информатика» электронного сетевого научно-технического журнала «ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ».

*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*

***утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286** от **17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство № **444** от **20.10.10**, номер гос. рег. **0421100065** (на 2011 г.), включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация на сайте журнала www.vestnik.vgasu.ru

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»

обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.

Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**

и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **Е 29507**.

*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*

***утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286** от **17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru
в разделе Издательская деятельность / Научные журналы.