

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск **Серия: Строительство и архитектура** **2013**
34(53) Научно-теоретический и производственно-практический журнал

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

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

С о д е р ж а н и е

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

Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Вайнгольц А. И., Подтелков В. В., Соловьев А. В., Ермаков О. В. Сопоставление результатов численных и физических экспериментов по отысканию областей пластических деформаций в основаниях штампов с результатами, полученными на основе приближенного аналитического решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта	6
Габибов Ф. Г. Изменение энтропии при набухании глинистых грунтов	16
Корниенко С. В. Теплотехнический расчет строительных конструкций с краевыми зонами	22
Масляев А. В. Сейсмозащита зданий с большим числом людей при землетрясении по требованиям федеральных законов РФ	30
Овчинников И. И., Мигунов В. Н., Овчинников И. Г. Учет коррозионного растрескивания арматуры при расчете предварительно напряженного армированного стержневого конструктивного элемента	37
Перехоженцев А. Г. Анализ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	48
Скляднев А. И., Попова Г. Н. Оптимальное сечение симметричного двутавра при развитии пластических деформаций и совместном действии продольной силы и изгибающего момента	57
Чиж И. Н. Оценка напряженно-деформированного состояния основания в зоне взаимовлияния соседних фундаментов	62

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Котлярова И. А., Котенева И. В. Влияние моноэтаноламин(N→V)тригидроксидобората на биостойкость древесины сосны	69
Соков В. Н., Жабин Д. В., Землянушнов Д. Ю., Колесникова В. Ф. Теоретические положения о потенциальной возможности интенсификации пенотехнологии методом гидротеплосилового поля	75

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Игнатъев А. В., Игнатъев В. А. Расчет геометрически нелинейных плоских шарнирно-стержневых систем по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода	82
Культербаев Х. П., Кармоков К. А. Об устойчивости многопролетного стержня переменной жесткости на гибких опорах	90
Старов А. В. Пластическое деформирование круглых пластинок с жестким защемлением края при локальном нагружении	99

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Москвичева Е. В., Болеев А. А., Сахарова А. А., Войтюк А. А., Сахарова Н. А., Самойленко М. А. Предотвращение биологического обрастания металлических конструкций в системах водного хозяйства	107
Москвичева Е. В., Сахарова А. А., Гончар Ю. Н., Игнаткина Д. О., Кузьмина Т. А. Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода	114

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Пушенко С. Л. Риск-менеджмент и его интеграция в систему управления охраной труда	121
Пушенко С. Л. Риск как механизм повышения эффективности управления охраной труда	129
Сенченко В. А. Требования к средствам индивидуальной защиты при работе на высоте на малых предприятиях строительной отрасли	137

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Булычев Г. А., Бурлаченко О. В., Булычев Ф. Г. Повышение эффективности строительства и эксплуатации клатратных месторождений	143
Бурлаченко О. В., Мышлинская И. Х. Сбор и утилизация отходов ГСМ при проведении строительных работ в труднодоступных районах и экстремальных природных условиях	149
Богданов В. И. Синтез механизма погрузочного грейфера с плоскопараллельным движением челюстей	154
Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В. Единая информационная трибологическая система для сопровождения и поддержки жизненного цикла строительных машин и оборудования	157

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Кириченко Г. О. Долины малых рек как ресурс территориального развития Волгограда	161
Юшкова Н. Г. Определение вектора функционирования градостроительных систем регионов в современных условиях	165

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Затонская И. Г. Анализ средовых и формообразующих концепций во время рисунка и живописи на пленэре как способ развития профессиональных компетенций будущих архитекторов	187
Колышев Ю. Б. Развивающая роль наброска в художественной подготовке бакалавра архитектуры	191

НАШИ АВТОРЫ	197
--------------------	-----

Content

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

Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Vayngolts A. I., Podtelkov V. V., Solovlev A. V., Ermakov O. V. Comparison of the results of numerical and physical experiments on search of plastic flow areas in the bases of stamps with the results received on the basis of the approximate analytical solution of the mixed task of the elasticity theory and soil plasticity theory	6
Gabibov F. G. Changing of entropy during clayey soil swell	16
Kornienko S. V. Thermophysical calculations for building constructions with rim zones	22
Maslyayev A. V. Earthquake protection of buildings with large number of people required by the federal laws of the RF	30

Ovchinnikov I. I., Migunov V. N., Ovchinnikov I. G. Accounting of corrosion cracking of reinforcement when calculating pre-stressed reinforced rod structural element	37
Perekhozhentsev A. G. The analysis of Joint Venture 50.13330.2012 "Thermal protection of buildings"	48
Sklyadnev A. I., Popova G. N. Optimal symmetric i-section under plastic deformations and joint effect of longitudinal force and bending moment	57
Chizh I. N. Estimation of the stress-strain state of the basis in the area of mutual influence of neighboring foundations	62
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
Kotlyarova I. A., Koteneva I. V. Influence of monoethanolamine(N→B)trihydrateksiborate on bioproofness of pine wood	69
Sokov V. N., Zhabin D. V., Zemlyanushnov D. Yu., Kolesnikova V. F. Theoretical regulations on potential possibility of foam technology intensification by hydro-thermal-power field method	75
STRUCTURAL MECHANICS	
Ignatev A. V., Ignatev V. A. Calculation of geometrically nonlinear flat hinged and frame systems by the finite element method in the form of the classical mixed method	82
Kulterbaev Kh. P., Karmokov K. A. Stability of multispans bar of variable rigidity on flexible bearings	90
Starov A. V. Plastic deformation of circular plates with rigid fixing of the edge at local loading	99
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Moskvicheva E. V., Boleev A. A., Sakharova A. A., Voytyuk A. A., Sakharova N. A., Samoylenko M. A. Prevention of biological fouling of metal constructions water carriage systems	107
Moskvicheva E. V., Sakharova A. A., Gonchar Yu. N., Ignatkina D. O., Kuzmina T. A. Wastewater treatment by mixed reagent derived from petroleum wastes	114
LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION	
Pushenko S. L. Risk-management and its integration to the system of labor safety management	121
Pushenko S. L. Risks as mechanism of increase of efficiency of health and safe management	129
Senchenko V. A. Requirements to means of individual protection when working at height at small construction enterprises	137
TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION	
Bulychev G. A., Burlachenko O. V., Bulychev F. G. Increase of efficiency in construction and clathrate fields development	143
Burlachenko O. V., Myshlinskaya I. Kh. Collecting and recycling of fuel wastes when carrying out construction works in remote regions and under extreme natural conditions	149
Bogdanov V. I. Synthesis of the mechanism of loading grab with plane-parallel jaw motion	154
Chetvertnov A. V., Burlachenko O. V. Single informational tribological system for support of lifecycle of construction machines and equipment	157
URBAN PLANNING	
Kirichenko G. O. Valleys of small rivers as resources for territorial development of Volgograd	161
Yushkova N. G. Determination of vector of functioning of regional town-planning systems under modern conditions	165
ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION IN FIELD OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE	
Zatonskaya I. G. The analysis of environmental and form-building concepts at drawing and painting in plein air as the way of development of professional competences of future architects	187
Kolyshchev Yu. B. Evolutive role of sketch in artistic training quality for bachelor of architecture	191
OUR AUTHORS	197

ИГНАТЬЕВУ ВЛАДИМИРУ АЛЕКСАНДРОВИЧУ — 75 ЛЕТ!



6 декабря 2013 г. исполнилось 75 лет заслуженному деятелю науки и техники РСФСР доктору технических наук, профессору Владимиру Александровичу Игнатьеву.

В 1960 г. В. А. Игнатьев получил диплом об окончании строительного факультета Саратовского автомобильно-дорожного института. В 1967 г. закончил вечернее романо-германское отделение Саратовского государственного университета по специальности «Немецкий язык и литература». С 1960 по 1962 гг. работал на производстве.

С 1962 по 1983 гг. Владимир Александрович преподавал в Саратовском политехническом институте и Саратовском высшем военно-инженерном училище химической защиты. Прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой, декана факультета. В течение 25 лет (с 1983 по 2008 гг.) был ректором Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.

В. А. Игнатьев — автор более 200 печатных работ и 12 монографий, в том числе изданных за рубежом, имеет несколько авторских свидетельств на изобретения в области строительных конструкций. Им подготовлены 40 кандидатов и 9 докторов наук.

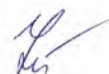
Владимир Александрович Игнатьев является основателем научной школы в области аналитических и численных методов строительной механики. В сферу его научных интересов входят разработка и совершенствование редуционных методов расчета сооружений (метод дискретных конечных элементов, метод разреженных сеток, метод конечных элементов в форме классического смешанного метода, методы частотно-динамической конденсации и др.).

В. А. Игнатьев является почетным профессором Ассоциации строительных вузов СНГ, членом Президиума правления АСВ России, советником РААСН, членом Американской ассоциации гражданских инженеров, академиком нескольких общественных академий: Международной академии наук высшей школы, Российской академии инженерных наук и др. Награжден орденом Почета и знаком «Почетный работник высшей школы». За организацию и успешное осуществление в течение 15 лет проекта немецкоязычного учебного процесса, позволившего студентам-участникам получить одновременно дипломы российских и немецких инженеров, награжден золотой медалью Университета прикладных наук г. Кёльна (Германия). В 2002 г. за большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов и научную деятельность ему объявлена благодарность Президента Российской Федерации.

Владимир Александрович осуществляет большую общественную работу, в том числе в качестве члена экспертного совета ВАК по строительству и архитектуре. Он является членом редакционных коллегий журналов «Известия вузов. Строительство», «Строительная механика и расчет сооружений» и «Вестник ВолгГАСУ», серия «Строительство и архитектура».

Уважаемый Владимир Александрович, коллектив Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, коллеги и друзья поздравляют Вас с юбилеем и желают крепкого здоровья, долгих лет жизни и больших творческих успехов!

Главный редактор журнала



С. Ю. Калашиников

БОГОМОЛОВУ АЛЕКСАНДРУ НИКОЛАЕВИЧУ — 60 ЛЕТ!

Проректор по научной работе Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета заслуженный работник высшей школы Российской Федерации доктор технических наук, профессор Богомолов Александр Николаевич родился 10 января 1954 г. в Волгограде. В 1976 г. окончил Волгоградский институт инженеров городского хозяйства по специальности «Промышленное и гражданское строительство». С ноября 1977 г. по настоящее время работает в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете.

В 1987 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1997 г. — докторскую. За годы научно-педагогической работы прошел путь от ассистента до профессора.

За период научно-педагогической деятельности профессором А. Н. Богомоловым опубликовано более 350 научных работ в отечественной и зарубежной печати, в том числе пять учебных пособий и четыре монографии, получены 4 патента на изобретение и государственное свидетельство о регистрации компьютерной программы. Практическое использование полученных результатов позволяет выполнять хозяйственные работы, объем которых за последние 10 лет превысил 23 млн руб.

Под руководством А. Н. Богомолова защищены 22 кандидатские и одна докторская диссертации, 11 защитившихся работают в ВолгГАСУ.

Научно-педагогическая и практическая работа профессора А. Н. Богомолова нашла оценку научной общественности. В 2000 г. он награжден почетной грамотой Министерства образования РФ, в 2002 г. — медалью ВолгГАСУ «За достижения в науке и подготовке научно-педагогических кадров» III степени, в 2003 г. — нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» и медалью МНАЭП им. В. С. Алтунина, в 2005 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», в 2007 г. — почетное звание «Заслуженный деятель науки и образования РАЕ» и присуждена медаль РАЕ им. В. И. Вернадского. Также юбиляр является советником Российской академии архитектуры и строительных наук.

В 2010 г. решением президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГТиФ) награжден медалью им. Н. М. Герсевича за достижения в области механики грунтов, фундаментостроения, геотехники и геоэкологии.

В 2013 г. А. Н. Богомолову присвоено звание «Почетный строитель Южного федерального округа».

Уважаемый Александр Николаевич, примите наши пожелания дальнейших успехов в развитии системы высшего строительного образования и подготовки научных кадров. Желаем Вам крепкого здоровья, благополучия, успехов в достижении целей и реализации желаний!



Главный редактор журнала

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'С. Ю. Калашников'.

С. Ю. Калашников

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

УДК 624.131

**А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, В. В. Подтелков,
А. В. Соловьев, О. В. Ермаков**

**СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ И ФИЗИЧЕСКИХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОТЫСКАНИЮ ОБЛАСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ
В ОСНОВАНИЯХ ШТАМПОВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ НА ОСНОВЕ
ПРИБЛИЖЕННОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ
ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ ГРУНТА**

Приведены примеры сопоставления численных значений результатов экспериментов по определению несущей способности оснований и определению формы и размеров областей пластических деформаций с результатами, получаемыми на основе аналитического решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта для условий экспериментов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: несущая способность основания, области пластических деформаций, фазы деформирования основания, смешанная задача теории упругости и теории пластичности грунта, деформации сдвига и их интенсивность.

The authors provide the examples of the comparison of numerical values of the results of the experiments on determination of bearing capacity of the bases and form and sizes of plastic flow areas with the results received on the basis of the analytical solution of the mixed task of the elasticity theory and the soil plasticity theory under the conditions of the experiment.

K e y w o r d s: bearing capacity of the basis, plastic flow area, phases of deformation of the basis, mixed task of the elasticity theory and the soil plasticity theory, shift deformation and its intensity.

При решении задачи о несущей способности грунтового основания необходимо определять размеры областей пластических деформаций, возникающих под краями фундамента, так как они, в свою очередь, определяют величину расчетного сопротивления и предельно допустимой нагрузки.

Практически всегда для этих целей используется условие прочности Кулона, которое может быть записано одним из приводимых ниже способов:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_2 + 2\sigma_{св}) \sin \varphi,$$

или

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2\sigma_{св})^2 \sin^2 \varphi, \quad (1)$$

или

$$\operatorname{tg} \theta_{\max} = \operatorname{tg} \varphi,$$

где σ_1 и σ_2 — главные нормальные напряжения в рассматриваемой точке; σ_x , σ_z и τ_{xz} — компоненты полного напряжения в той же точке; $\sigma_{св} = C \operatorname{ctg} \varphi$ — давление связности; C , φ и $\theta_{\max}$ — соответственно удельное сцепление, угол внутреннего трения грунта и угол максимального отклонения.

Области, границами которых являются кривые, проходящие через точки, в которых выполняются условия (1), считаются областями пластических деформаций (ОПД).

Однако найденные таким образом ОПД не являются истинными. Причина заключается в том, что в точках, расположенных внутри этих ОПД, напряжения не могут отыскиваться методами теории упругости, так как здесь они не только являются функциями главного вектора нагрузок, но и зависят и от физико-механических свойств грунтового массива. Поэтому области пластических деформаций, положение и форма которых в большей степени соответствуют действительности, могут быть найдены путем решения *смешанной* задачи теории упругости и теории пластичности грунта.

Физическая модель этой задачи подразумевает, что между упругими и пластическими областями имеется четкая граница; грунт, находящийся в упругой области, подчиняется законам линейной теории упругости, а в пластических — законам теории пластичности; в обеих областях выполняются уравнения равновесия.

В работах [1—5] показано, что напряжения в точках пластической области (помечены штрихом) вычисляются по формулам (2):

$$\begin{aligned}\sigma'_z &= \sigma_z; \\ \sigma'_x &= \frac{\sigma_z(l - \sin \varphi) - 2\sigma_{св} \sin \varphi}{l + \sin \varphi}; \\ \tau'_{xz} &= \frac{(\sigma_z + \sigma_{св})b \sin \varphi}{l + \sin \varphi},\end{aligned}\quad (2)$$

где $b = \operatorname{tg} 2\alpha^* = \operatorname{tg} 2[\alpha - (45^\circ + \varphi / 2)]$; $l = (1 + b^2)^{1/2}$; σ_z , σ_x и τ_{xz} — компоненты напряжения в рассматриваемой точке, вычисленные при решении соответствующей задачи теории упругости.

Границы между упругими и пластическими областями определяются на основе соотношений (3—4):

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2(\tau'_{zx} + \tau'_{zx})}{2\sigma_z - \sigma_x - \sigma'_x}; \quad (3)$$

$$\sin \varphi_\theta = \frac{l(\sigma_z(3 + \cos 2\theta) + \sigma_x(1 - \cos 2\theta) + 2\tau_{zx} \sin 2\theta)}{-(\sigma_z + \sigma_x) + 2\sigma_{св} + \cos 2\theta(\sigma_x - 3\sigma_z - 2\sigma_{св}) - 2\sin 2\theta(\tau_{zx} + b(\sigma_z + \sigma_{св}))}. \quad (4)$$

Посмотрим, как соотносятся численные значения предельных нагрузок, форма и размеры областей пластических деформаций, найденные на основе эксперимента, и соответствующие им значения, определенные на основе соотношений (2—4). Отметим при этом, что авторам пока не удалось отыскать в научной литературе аналитических выражений, аналогичных формулам (3)

и (4), при помощи которых можно было бы построить области пластических деформаций для условий смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта. Поэтому «обсчитывать» будем результаты экспериментов и теоретических исследований, в которых форма и размеры ОПД отыскивались исходя и из других соображений.

Все вычисления будем проводить при помощи компьютерной программы [6], в которой формализовано решение смешанной задачи [1].

Пример № 1. В работе [7] приведены результаты исследований, целью которых является «сравнительная оценка результатов расчета устойчивости на основе МКЭ. В качестве расчетной схемы системы “гибкий штамп — основание” использовалась расчетная схема из статьи [8] без учета симметрии, с размерами $28,8 \times 14,4$ м и шириной штампа 2,88 м (размер треугольных КЭ $0,144 \times 0,144$ м)». Авторы [7] «использовали модифицированные алгоритмы, приведенные в монографии А. Б. Фадеева [9], где специфическим образом учитывается выход материала в предельное состояние в зонах растяжения. При этом глинистый грунт основания, деформирующийся в соответствии с законом ассоциированного пластического течения и условием прочности Кулона — Мора, характеризовался значениями параметров $E = 0,21$ МПа; $\nu = 0,3$; $C = 0,07$ МПа; $\varphi = 20^\circ$ ». При этом авторы [7] отмечают, «что только для весомого основания в процессе его нагружения гибким штампом постепенно четко вырисовывается потенциальная поверхность скольжения при выводе на экран уровней или изолиний значений компонент тензора относительных деформаций и его инвариантов (первого и второго): ε_{xx} , ε_{yy} , ε_1 , ε_3 , ε_i . Параметры линии (по нашему мнению лучше употребить слово «следа» — прим. авт.) поверхности скольжения, такие, как ширина зоны выпора $L_b = 5,78$ м, наиболее близки к параметрам линии, вычисленным для аналогичной задачи по решению проф. В. Г. Березанцева: $L_b = 5,19$ м (невесомое основание). Угол наклона линии скольжения на выходе ее к поверхности основания равен $\alpha \approx 35^\circ$, по модели проф. В. Г. Березанцева $\alpha = 45^\circ$ (рис. 1)».

Для удобства анализа результатов вычислений авторы [7] составили табл. 1, которую мы дополнили своими данными о величинах предельно допустимых нагрузок на весоное основание для случаев гибкого и жесткого штампа и соответствующих им значениях коэффициента запаса устойчивости.

Таблица 1

Сопоставление результатов расчетов различными методами

Расчетный метод Вариант расчета	Терцаги	Маслов	Шахунянец	Крей	Бишоп	$\Sigma\tau_i/\Sigma\tau$	Богомолов
1 (p/k_{st})	0,94/1,00	0,44/1,00	0,80/0,99	1,08/1,00	1,08/1,00	1,54/1,18	—
2 (p/k_{st})	1,12/0,99	0,74/1,00	1,04/0,99	1,32/1,02	1,32/1,02	1,32/1,04	2,2/1,04
3 (p/k_{st})	1,40/1,00	0,92/0,99	1,32/0,99	1,74/1,02	1,74/1,02	1,74/1,02	2,3/1,07

Примечание: 1 — гибкий штамп ($\gamma = 0$); 2 — гибкий штамп ($\gamma = 0,02$ МН/м³); 3 — жесткий штамп ($\gamma = 0,02$ МН/м³).

Величина предельно допустимой нагрузки на основание определялась исходя из выполнения условия смыкания областей пластических деформаций, образующихся под краями фундамента, под штампом.

Величина коэффициента запаса устойчивости в точках грунтового массива, расположенных вне (k_{st}) и внутри ($k_{st}^{пласт}$) областей пластических деформаций, определяется выражениями [1]:

$$k_{st} = \frac{[\sigma_z \cos^2 \alpha + \sigma_x \sin^2 \alpha + 2\tau_{xz} \sin \alpha \cos \alpha + \sigma_{св}] \operatorname{tg} \varphi}{(\sigma_x - \sigma_z) \sin \alpha \cos \alpha + \tau_{xz} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha)}, \quad (5)$$

$$k_{st}^{пласт} = \frac{(\sigma_z + \sigma_{св}) \sin \varphi (\cos 2\alpha + b \sin 2\alpha) + \sigma_z l + \sigma_{св} b}{(\sigma_z + \sigma_{св}) (b \cos 2\alpha - 2) \cos \varphi}, \quad (6)$$

Понятно, что величина $k_{st}^{пласт}$ по определению равна 1.

Величина коэффициента запаса устойчивости основания вычисляется по формуле [1]

$$K_{st} = \frac{S'_{уд} + S_{уд}}{S'_{сд} + S_{сд}}, \quad (7)$$

где $S'_{уд}$, $S'_{сд}$ и $S_{уд}$, $S_{сд}$ — площади эпюр удерживающих и сдвигающих сил, действующих вдоль участков следа поверхности, находящихся внутри и вне областей пластических деформаций.

На рис. 1 изображены изолинии значений компоненты тензора относительной деформации ε_3 при предельном давлении гибкого штампа $p_u = 1,32$ МПа ($k_{st}[Cray] = 1,02$) на невесомое основание. При этом крайние изолинии представляются границами областей пластических деформаций.

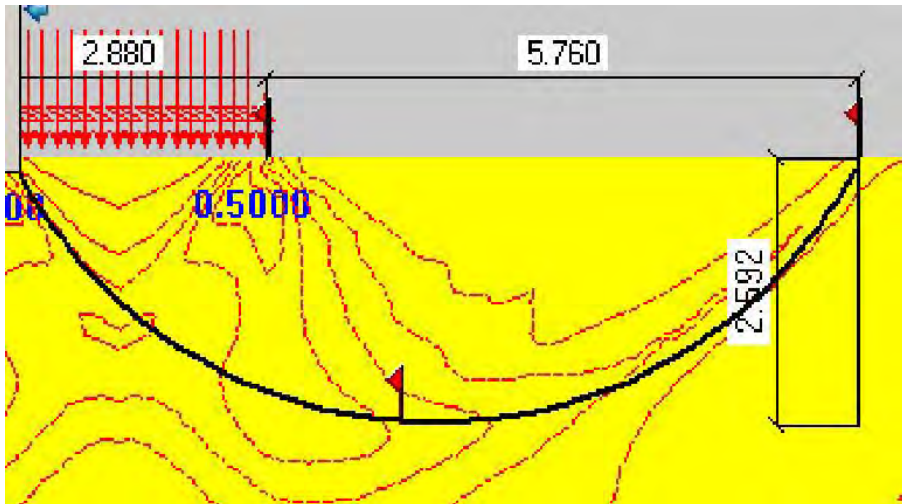


Рис. 1. Изолинии значений компоненты тензора относительной деформации ε_3 при предельном давлении гибкого штампа $p_u = 1,32$ МПа ($k_{st}[Cray] = 1,02$) на невесомое основание (цит. по [7])

Нами при помощи компьютерной программы [6] выполнены расчеты того же объекта при тех же условиях для случая весомого грунта. При этом размеры расчетной схемы составили $41,44 \times 7$ м, а ширина штампа 1,44 м. Конечные элементы имеют размеры $0,1 \times 0,1$ м. При условии передачи нагрузки через жесткий штамп величина отношения модулей деформации материала штампа и грунта основания принята $E_{шт}/E_{гр} = 10^6$.

Анализ графических изображений областей пластических деформаций для гибкого (рис. 2, а) и жесткого штампов (рис. 2, б) показывает, что:

1) формы границы областей пластических деформаций в обоих случаях практически совпадают с формой «крайних» изолиний тензора деформаций, приведенных на рис. 1 и в работе [7];

2) ширина призмы выпора $СК_1 = 10,66$ м = $7,402b$ (b — полуширина штампа), а ее глубина равна 4,76 м ($3,306b$). Те же размеры по данным работы [7] составляют 5,76 и 2,59 м;

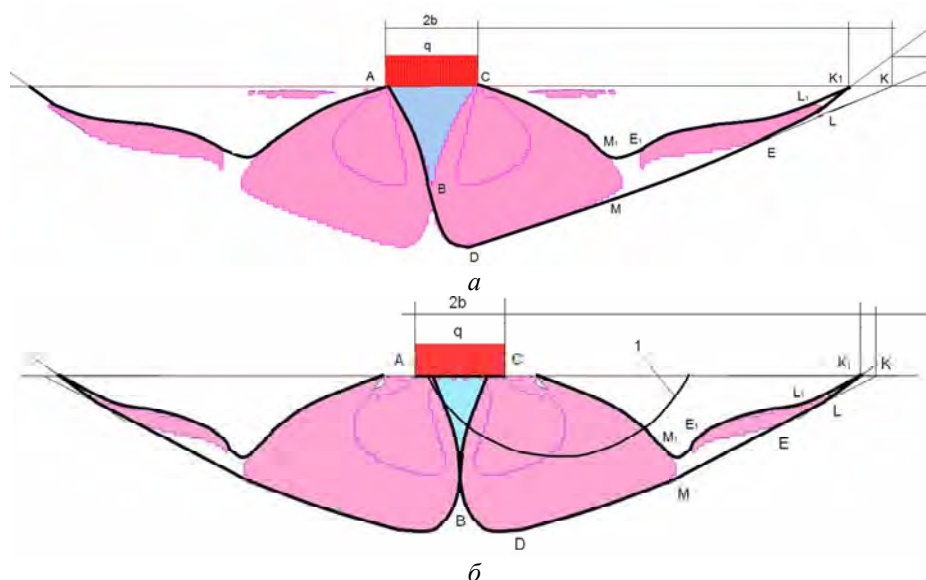


Рис. 2. Картины областей пластических деформаций в основании гибкого (а) и жесткого (б) штампов, построенные на основе приближенного аналитического решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта [1] для условий задачи, приведенной в работах [5; 7]; 1 — след поверхности выпора, приведенный в работе [7]

3) линия скольжения, приведенная в работе [7], представляет собой дугу окружности и исходит из точки, находящейся на некотором расстоянии от левого края штампа. В нашем случае можно четко выделить два следа поверхностей выпора, которые совпадают с верхней и нижней границами области пластических деформаций. Причем «верхняя» поверхность выпора будет наиболее вероятной, т. е. обладать меньшим по величине численным значением коэффициента запаса устойчивости. Это легко увидеть, если иметь в виду выражение (7) и то обстоятельство, что между длинами участков M_1E_1 и ME (участки «разрыва» ОПД) в обоих случаях (гибкий и жесткий штамп) выполняется соотношение $L(M_1E_1) \gg L(ME)$. По той же причине величина коэф-

фициента запаса устойчивости, вычисленная для кривой $CM_1E_1L_1K_1$, будет меньше коэффициента запаса, вычисленного для любой линии выпора, расположенной между верхней и нижней границами ОПД;

4) упругое грунтовое ядро в обоих случаях имеет форму равнобедренного треугольника с криволинейными вогнутыми боковыми сторонами. Его основание и высота в случае отсутствия жесткого штампа примерно в 1,5 раза превышают те же его размеры, соответствующие противному случаю;

5) угол наклона следа поверхности выпора при его выходе на дневную поверхность грунта $\alpha = \pi / 4 - \varphi / 2 = 35^\circ$, что соответствует значению, приведенному в статье [7], и решению Л. Прандтля;

6) расчетные значения интенсивности предельно допустимой нагрузки для гибкого и жесткого штампа составляют соответственно 2,2 и 2,3 МПа, что на 40 и 24 % больше значений, приведенных в работе [7].

Пример № 2. В работе [10] авторами для изучения качественной и количественной сторон процесса деформирования грунта под штампом использовались методы фотограмметрии и фотофиксации траекторий перемещений частиц песка.

Испытания проводились в лотке размерами $600 \times 600 \times 145$ мм; в качестве штампа использована стальная полоса длиной 145 и шириной 5 мм. Материалом основания служил кварцевый песок средней крупности с удельным весом $\gamma = 2,66$ МН/м³, коэффициентом пористости $e_0 = 0,58$ и углом внутреннего трения $\varphi = 35^\circ$.

На рис. 3 приведены изолинии деформаций сдвига при осадке штампа, соответствующей моменту наступления предельной нагрузки. Изолиния с размерностью 0,01 отождествляется авторами работы [10] с границей области пластических деформаций (справа). В левой части этого рисунка, в том же масштабе, изображена область пластических деформаций, построенная на основе «смешанного» решения [1] для нагрузки, соответствующей смыканию ОПД, образовавшихся под краями штампа. Эта нагрузка, в нашем понимании, является предельно допустимой.

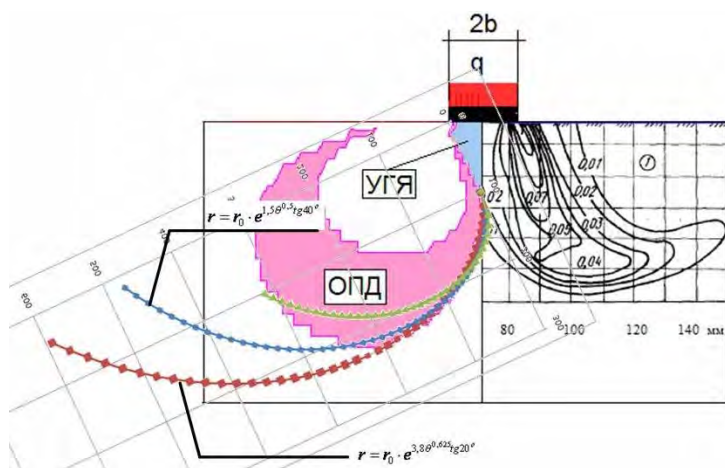


Рис. 3. Изолинии деформаций сдвига при осадке штампа, соответствующей моменту наступления предельной нагрузки (справа) (цит. по [10]); область пластических деформаций, построенная по решению [1] для условий работы [10] (слева)

Сравнивая эти изображения, можно сказать, что эти пластические области имеют подобные формы и примерно одинаковые размеры; выше ОПД в обоих случаях имеются зоны грунта, находящиеся в «допредельном» состоянии; упругое грунтовое ядро имеет форму равнобедренного треугольника с вогнутыми боковыми сторонами, а часть границы пластической области, построенной на основе «смешанного» решения, точно совпадает с дугой логарифмической спирали (черная кривая).

Пример № 3. В работе [11] приведены результаты экспериментального определения областей пластических деформаций в основании квадратного штампа. В основу эксперимента положена методика определения границ зон предельного состояния грунта, которая предложена в работе [12]. «При этом в качестве параметра упрочнения модели грунта принята интенсивность деформаций сдвига ε_i , которая позволяет однозначно сравнивать деформированное состояние в различных точках среды по величине деформации формы. С помощью параметра $\eta = \varepsilon_i^0 / \varepsilon_i^j$, где ε_i^0 — интенсивность сдвиговых деформаций грунта в основании, а ε_i^j — интенсивность деформаций сдвига при пиковой прочности грунта, производится оценка напряженного состояния грунта. В областях основания, где $\eta < 1$, грунт находится в допредельном состоянии, а в зонах, где $\eta \geq 1$, он переходит в предельное состояние с дальнейшим разупрочнением» [11].

На рис. 4 приведены изолинии параметра η и области пластических деформаций, построенные на основе приближенного аналитического решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта [1] для условий работы [11].

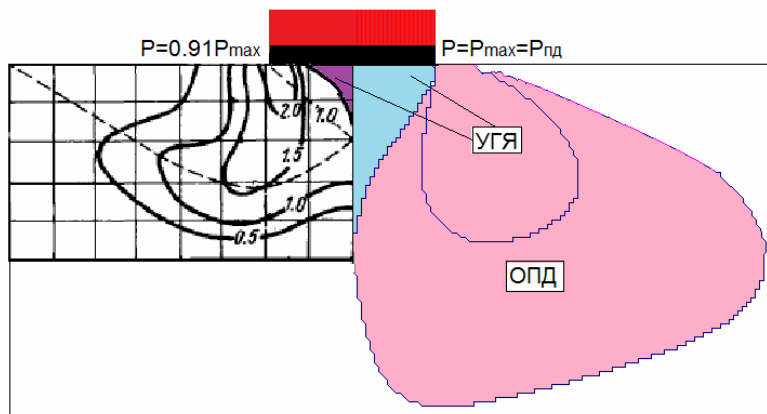


Рис. 4. Изолинии параметра η в основании квадратного штампа по данным работы [11] (слева) и области пластических деформаций, построенные на основании «смешанного» решения для условий работы [11] (справа)

Сравнивая правую и левую части рис. 4, следует отметить, что ОПД и упругое грунтовое ядро, построенные на основе «смешанного» решения, имеют поперечные размеры почти в два раза большие, чем те, что построены исходя из условия $\eta > 1$. Однако их формы весьма похожи: ОПД вытянуты в стороны и вверх от оси симметрии штампа, а уплотненные грунтовые ядра

в обоих случаях имеют форму равнобедренных треугольников с вогнутыми боковыми сторонами. Следует также подчеркнуть, что величина интенсивности предельно допустимой нагрузки, определенная экспериментально в работе [11], равна $P_{\max} = 0,172$ МПа, а найденная нами — $P_{\max}^{\text{смеш}} = 0,162$ МПа, т. е. их отличие составляет 9,4 %.

Выводы

Вопрос о корректности сопоставления результатов построения областей пластических деформаций, выполненного авторами, с результатами, полученными на основе изучения деформируемости оснований под штампом, является, по всей видимости, дискуссионным. Слишком разнятся идеология подходов. Следует также учитывать, что результаты решения смешанной задачи существенным образом зависят от множества факторов: размера расчетных схем и граничных условий, толщины штампа и отношения модулей деформации материала штампа и грунта основания, численных значений их коэффициентов Пуассона (коэффициентов бокового давления) и т. д. Поэтому при проведении вычислений адекватному соответствию всех этих параметров уделено особое внимание, и единственным исключением является толщина штампа, которая не указана ни в одной из анализируемых работ.

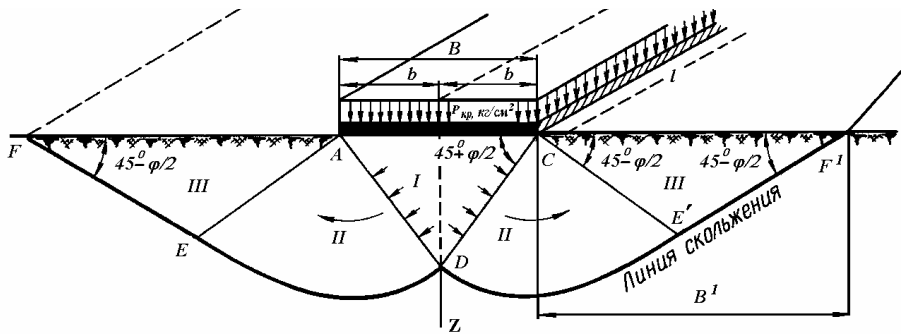


Рис. 5. Расчетная схема Л. Прандтля для грунтов типа $\varphi \neq 0$

Тем не менее, сопоставление форм областей пластических деформаций показало, что во всех рассмотренных случаях они являются подобными, а численные значения предельно допустимых нагрузок на основание, полученные при рассмотрении примеров № 1 и 3, отличаются друг от друга соответственно на 40 и 23 % (пример № 1) и 9,4 % (пример № 3), причем значения этих нагрузок, вычисленные на основе решения «смешанной» задачи, больше.

Кроме того, картины выпора грунта из-под штампа, приведенные на рис. 2, хорошо согласуются с расчетной схемой Л. Прандтля для грунтов типа $\varphi \neq 0$, приведенной на рис. 5. На рис. 2 так же, как и в расчетной схеме Л. Прандтля (рис. 5), упругое ядро имеет вид равнобедренного треугольника с углами при основании, равными приблизительно $\pi/4 + \varphi/2$; нижняя часть следа поверхности выпора представляет собой отрезок дуги логарифмической спирали (это относится и к области пластических деформаций, изображенной на рис. 3); след поверхности выпора при его выходе на дневную поверхность составляет с горизонтом угол $\beta \approx \pi/4 - \varphi/2$, что также соответствует расчетной схеме Л. Прандтля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.
2. Развитие областей пластических деформаций в однородном основании гибкого ленточного фундамента в рамках модели смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, В. В. Подтелков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BogomolovBogomolovaVaingoltsPodtelkov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BogomolovBogomolovaVaingoltsPodtelkov-2013_2(27).pdf).
3. Напряженное состояние и области пластических деформаций в однородном основании ленточного фундамента в условиях смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, А. В. Прокопенко, А. В. Соловьев // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике : материалы науч.-технич. конф. 27—29 октября 2013 г. М. : НОУ ВПО «ИНЕП» : Палеотип, 2013. С. 9—22.
4. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А.* Смешанная задача теории упругости и теории пластичности грунта для однородного основания // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 33(52). С. 13—22.
5. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A.* Mixed task of the theory of elasticity and theory of plasticity of soil for the uniform basis // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 3(38). Т. 1. 2013. ПолтНТУ. С. 3—15.
6. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние): свид. о гос. рег. программ для ЭВМ № 2009613499 № 2009612297 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков.
7. *Горшков Н. И., Краснов М. А.* Способ оценки несущей способности основания и устойчивости системы «штамп — основание» на основе МКЭ // Вестник ТОГУ. 2010. Сер. : Строительство и транспорт. № 3 (18). С. 141—150.
8. *Zienkiewicz O. C., Humpheson C., Lewis R. W.* Associated and non-associated viscoplasticity and plasticity in soil mechanics // Geotechnique. 1975. № 4. Pp. 671—689.
9. *Фадеев А. Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. М. : Недра, 1987. 221 с.
10. *Болдырев Г. Г., Никитин Е. В.* Деформации песка в основании полосового штампа // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1987. № 1. С. 26—28.
11. *Саенков А. С., Елизаров С. А., Малышев М. В.* Развитие областей предельного состояния грунта в основании квадратного штампа // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1991. № 2. С. 15—17.
12. Разрушение песчаного грунта в основании при нагружении полосовым штампом / В. С. Копейкин, В. М. Демкин, А. С. Саенков, С. А. Елизаров // Межвуз. сб. Новочеркасск, 1986. С. 121—125.
1. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. Perm' : PGU, 1996. 150 s.
2. Razvitie oblastey plasticheskikh deformatsiy v odnorodnom osnovanii gibkogo lentochного fundamenta v ramkakh modeli smeshannoy zadachi teorii uprugosti i teorii plastichnosti grunta / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, A. I. Vayngol'ts, V. V. Podtelkov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2013. Vyp. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BogomolovBogomolovaVaingoltsPodtelkov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BogomolovBogomolovaVaingoltsPodtelkov-2013_2(27).pdf).
3. Napryazhennoe sostoyanie i oblasti plasticheskikh deformatsiy v odnorodnom osnovanii lentochного fundamenta v usloviyakh smeshannoy zadachi teorii uprugosti i teorii plastichnosti grunta / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, A. I. Vayngol'ts, A. V. Prokopenko, A. V. Solov'ev // Innovatsionnye konstruksii i tekhnologii v fundamentostroenii i geotekhnike : materialy nauch.-tekhnich. konf. 27—29 oktyabrya 2013 g. M. : NOU VPO «INEP» : Paleotip, 2013. S. 9—22.
4. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A.* Smeshannaya zadacha teorii uprugosti i teorii plastichnosti grunta dlya odnorodного osnovaniya // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2013. Vyp. 33(52). S. 13—22.
5. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A.* Mixed task of the theory of elasticity and theory of plasticity of soil for the uniform basis // Zbirnik naukovikh prats' (galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo). Vip. 3(38). T. 1. 2013. PoltNTU. S. 3—15.

6. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie): svid. o gos. reg. programm dlya EVM № 2009613499 № 2009612297 ; zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009 / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov.

7. Gorshkov N. I., Krasnov M. A. Spособ otsenki nesushchey sposobnosti osnovaniya i ustoychivosti sistemy «shtamp — osnovanie» na osnove MKE // Vestnik TOGU. 2010. Ser. : Stroitel'stvo i transport. № 3 (18). S. 141—150.

8. Zienkiewicz O. C., Humpheson S., Lewis R. W. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics // Geotechnique. 1975. № 4. Pp. 671—689.

9. Fadeev A. B. Metod konechnykh elementov v geomekhanike. M. : Nedra, 1987. 221 s.

10. Boldyrev G. G., Nikitin E. V. Deformatsii peska v osnovanii polosovogo shtampa // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1987. № 1. S. 26—28.

11. Saenkov A. S., Elizarov S. A., Malyshev M. V. Razvitie oblastey predel'nogo sostoyaniya grunta v osnovanii kvadratnogo shtampa // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1991. № 2. S. 15—17.

12. Razrushenie peschanogo grunta v osnovanii pri nagruzhении polosovym shtampom / V. S. Kopeykin, V. M. Demkin, A. S. Saenkov, S. A. Elizarov // Mezhvuz. sb. Novocherkassk, 1986. S. 121—125.

© Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Вайнгольц А. И.,
Подтелков В. В., Соловьев А. В., Ермаков О. В., 2013

Поступила в редакцию
в ноябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Сопоставление результатов численных и физических экспериментов по отысканию областей пластических деформаций в основаниях штампов с результатами, полученными на основе приближенного аналитического решения смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунта / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, В. В. Подтелков, А. В. Соловьев, О. В. Ермаков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 6—15.

УДК 624.131

Ф. Г. Габибов**ИЗМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ ПРИ НАБУХАНИИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ**

На основе ранее проведенных экспериментальных исследований глинистые грунты на микроуровне представлены в виде пачек элементарных частиц. Для определения энтропии в таких грунтах используется классическое уравнение Больцмана. Глинистый грунт рассматривается как система из трехмерных статистических микроблоков и исследуется вероятность перемещений при набухании на основе применения математических методов теории вероятностей. С помощью дельта-функции Дирака определяется выражение изменения энтропии всех статистических микроблоков глинистой системы при набухании.

Ключевые слова: энтропия, глина, грунт, набухание, агрегат, микропора, частица, перемещение, микроблок, уравнение, деформация, образец.

On the basis of the previous experimental studies clayey soils on micro-level are presented in the form of elementary particles pack. Classical equation of Boltzmann is used for the determination of entropy in such soils. Clayey soils are considered as the system of three-dimensional static micro-blocks, and the possibility of displacement during swell is investigated on the basis of mathematical methods of probability theory. With the help if delta-function of Dirac the author defines the changing of entropy in all static micro-blocks of clayey system during swell.

Key words: entropy, clay, soil, swell, aggregate, micropore, particle, displacement, microblock, equation, deformation, sample.

Исследование энергетики набухания глинистых грунтов представляет интерес для нефтепромысловой и горной механики, механики грунтов и других отраслей прикладной механики. Изучению термодинамики грунтов посвящены работы К. Терцаги [1], Г. Спозито [2], А. М. Глобуса [3], В. А. Королева [4] и других специалистов.

В процессе набухания глинистого грунта «максимум энтропии» можно понимать как предельное неравномерное распределение влажности в системе глинистых частиц, которая формируется поступающей из окружающей среды энергетически активной (по отношению к глине) воды. Характер роста энтропии можно представить как стремление влажности в набухающей глине принять среднее по объему значение с доведением системы в равномерное по объему напряженно-деформированное состояние.

На основе ранее проведенных наших исследований [5, 6], если предположить, что агрегаты глинистых грунтов представляют собой одномерные пачки элементарных частиц, энтропию можно определить из уравнений

$$S = k \ln M, \quad (1)$$

где k — константа Больцмана; M — число допустимых микросостояний глинистой системы в данном состоянии.

$$M(r, n) = 2^n \exp\left(-\frac{r^2}{2nl^2}\right), \quad (2)$$

где r — единичное перемещение любой элементарной частицы или агрегата глины; n — общее число частиц или агрегатов; l — приращение линейного размера глинистого образца, как

$$S = k \ln M(r, n) = nk \ln 2 - \frac{kr^2}{2nl^2}. \quad (3)$$

Отсюда можно получить выражение для восстанавливающей силы, которая для случая сжатия набухшего образца до исходного состояния по физическому смыслу соответствует внешнему давлению или стягивающему систему внутреннему капиллярному давлению, т. е.

$$k_s = P_H = P_k = -W \frac{dS}{dr} = kW \frac{r}{nl^2}, \quad (4)$$

где W — влажность глинистого грунта.

Согласно модели мы рассматриваем глинистую систему как трехмерную структуру. Молекулы воды проникают в микропоры и между слоями в агрегатах (для внутриагрегатного набухания). Следовательно, глинистые грунты можно рассматривать как систему из трехмерных статистических микроблоков, которые образуют пространственную структуру. Рассмотрим случай, когда к одному из измерений образца в форме прямоугольного параллелепипеда (x) в результате увлажнения, прикладывается сила, вызывающая его увеличение в α раз, а величину кратности увеличения в двух перпендикулярных направлениях (β и γ) обозначим y и z . При этом будем предполагать, что компоненты (x, y, z) вектора расстояния между контактами частиц или агрегатов в результате набухания перейдут в ($\alpha x, \beta y, \gamma z$). Эта операция называется аффинным преобразованием. В тех случаях, когда число узлов сетки несоизмеримо с общим числом частиц или агрегатов, вполне допустимо предположить, что участки цепи глинистых агрегатов, расположенных между двумя узлами сетки, представляют собой статистические микроблоки. Следовательно, если обозначить общее число таких статистических микроблоков, которые содержатся в образце, через v , а число статистических микроблоков, компоненты расстояния которых перед началом набухания были (x, y, z), через dN , то последнее можно определить, исходя из следующего.

Вероятность перемещений в системе равна

$$p(r, n) = \left(\frac{r}{2\pi nl^2} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{r^2}{2nl^2} \right). \quad (5)$$

Для удобства последующих определений найдем второй момент величины r , исходя из уравнения (5):

$$\langle r^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} r^2 p(r, n) dr = nl^2, \quad (6)$$

и наоборот, применяя полученное соотношение, можно записать уравнение (5) в видоизмененной форме:

$$p(r, n) = \left(\frac{1}{2\pi \langle r^2 \rangle} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{r^2}{2 \langle r^2 \rangle} \right). \quad (7)$$

Для трехмерного случая обозначим вектор, соединяющий начальную и конечную точку i -го линейного перемещения в трехмерном пространстве через $r_i(x_i, y_i, z_i)$, тогда можно показать, что вектор $r(x, y, z)$, соединяющий точку отсчета с конечной точкой, достигнутой после n таких чередующихся перемещений, выражается уравнением

$$r = \sum_{i=1}^n r_i. \quad (8)$$

Далее, если определить вероятность нахождения вектора r между значениями $r_i - \frac{dr_i}{2}$ и $r_i + \frac{dr_i}{2}$ как

$$\begin{aligned} \tau_i(r_i) dr_i &= \tau_i(x_i, y_i, z_i) dx_i dy_i dz_i \\ (i &= 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (9)$$

то вероятность попадания вектора r в область от

$$r_o - \frac{1}{2} dr_o \left(x_o - \frac{1}{2} dx_o, y_o - \frac{1}{2} dy_o, z_o - \frac{1}{2} dz_o \right)$$

до $r_o + \frac{1}{2} dr_o$ выражается формулой

$$p(r_o, n) dr_o = \iint \dots \prod_{i=1}^n [\tau_i(r_i) dr_i]. \quad (10)$$

Допустим, интервалом интегрирования уравнения (10) является область значений r в пределах от $r_o - 1/2 dr_o$ до $r_o + 1/2 dr_o$.

Вводя граничные условия

$$\Delta(r_1, r_2, \dots, r_n) = \begin{cases} 1 & (\text{при } r_o - 1/2 dr_o \leq r \leq r_o + 1/2 dr_o), \\ 0 & (\text{в остальных случаях}) \end{cases} \quad (11)$$

уравнение (10) можно переписать в виде

$$p(r_o, n) = \iint \dots \int \Delta(r_1, r_2, \dots, r_n) \prod_{i=1}^n [\tau_i(r_i) dr_i]. \quad (12)$$

В этом случае на пределы интегрирования правой части уравнения не распространяются те ограничения, которые накладываются на уравнение (10). Поскольку интеграл

$$\begin{aligned} \delta_k &= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \alpha_k \rho_k}{\rho_k} \exp(i \rho_k \gamma_k) d\rho_k, \\ (k &= 1, 2, 3) \end{aligned} \quad (13)$$

имеет числовые значения

$$\begin{aligned}\delta_k &= 1 \text{ (при } -\alpha_k < \gamma_k < \alpha_k), \\ \delta_k &= 0 \text{ (в остальных случаях)},\end{aligned}\quad (14)$$

то, вводя обозначения

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= 1/2 dx_o, \quad \gamma_1 = x - x_o, \\ \alpha_2 &= 1/2 dy_o, \quad \gamma_2 = y - y_o, \\ \alpha_3 &= 1/2 dz_o, \quad \gamma_3 = z - z_o,\end{aligned}\quad (15)$$

получаем

$$\Delta = \delta_1 \delta_2 \delta_3. \quad (16)$$

Подставляя уравнение (13) и (16) в формулу (12), получаем

$$\begin{aligned}\rho(r_o, n) dr_o &= \frac{1}{\pi^3} \underbrace{\int \int \int}_p \underbrace{\int \int \int \dots \int}_r \left[\prod_{i=1}^n \tau_i(r_i) dr_i \right] \times \\ &\times \left[\frac{\sin\left(\frac{1}{2} dx_o \rho_1\right)}{\rho_1} \frac{\sin\left(\frac{1}{2} dy_o \rho_2\right)}{\rho_2} \frac{\sin\left(\frac{1}{2} dz_o \rho_3\right)}{\rho_3} \right] \exp \times \\ &\times \left[i \sum_{i=1}^n (x_i \rho_1 + y_i \rho_2 + z_i \rho_3) - (x_o \rho_1 + y_o \rho_2 + z_o \rho_3) \right] d\rho_1 d\rho_2 d\rho_3 = \\ &= \frac{dr_o}{(2\pi)^3} \int \int \int \exp(-i\rho r_o) A(\rho, n) d\rho,\end{aligned}\quad (17)$$

где

$$A(\rho, n) = \prod_{i=1}^n \int \int \int \exp(i\rho \cdot r_i) \tau_i(r_i) dr_i. \quad (18)$$

Величина ρ представляет собой вектор с составляющими (ρ_1, ρ_2, ρ_3) . Следовательно, решив уравнение (18) и используя для него преобразование Фурье, получим искомую вероятность (10).

Далее, учитывая, что вероятность (9) остается неизменной для всех значений I , уравнение (18) можно упростить следующим образом:

$$A(\rho, n) = \left[\int \int \int \exp(i\rho r) \tau(r) dr \right]^n. \quad (19)$$

Кроме того, поскольку длина l каждого перемещения образца, при набухании глинистой системы является постоянной, то справедливо следующее выражение:

$$\tau(r) = \frac{1}{4\pi l^3} \delta(|r|^2 - l^2). \quad (20)$$

Здесь δ представляет собой дельта-функцию Дирака. Следовательно, уравнение (18) переходит в уравнение

$$A(\rho, n) = \left[\frac{1}{4\pi l^3} \iiint \exp(ipr) \delta(|r|^2 - l^2) dr \right]^n. \quad (21)$$

При этом в случаях, когда общее число перемещений достаточно велико по сравнению с единицей, справедливо уравнение

$$\left[\frac{\sin(|\rho|l)}{|\rho|l} \right]^n = \left(1 - \frac{1}{6} |\rho|^2 l^2 + \dots \right)^n \approx \exp \left(-n |\rho|^2 \frac{l^2}{6} \right). \quad (22)$$

Поэтому, подставляя последнее выражение в уравнение (17), получаем

$$p(r, n) = \frac{1}{\left(\frac{2\pi n l^2}{3} \right)^{\frac{3}{2}}} \exp \left(-\frac{3|r|^2}{2n l^2} \right), \quad (23)$$

или же

$$p(r, n) = \frac{1}{\left(\frac{2\pi \langle r^2 \rangle}{3} \right)^{\frac{3}{2}}} \exp \left(-\frac{3|r|^2}{2\langle r^2 \rangle} \right). \quad (24)$$

Из уравнения (24) определяем dN :

$$dN = \nu p(x, y, z) dx dy dz = \nu \left(\frac{3}{2\pi \langle r^2 \rangle} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left[-\frac{3(x^2 + y^2 + z^2)}{2\langle r^2 \rangle} \right] dx dy dz. \quad (25)$$

При этом видно, поскольку в правую часть записанного ранее уравнения (24) величина n не входит в явном виде, то и в правой части уравнения (25) параметр n выпадает из записи функции p . Кроме того, вектор r записывается в виде компонентов x, y, z в прямоугольной системе координат. Изменение энтропии одного статистического микроблока в образце грунта, сопровождающее процесс деформации, выражается как

$$\Delta S = k [\ln p(\alpha x, \beta y, \gamma z) - \ln p(x, y, z)]. \quad (26)$$

Следовательно, изменение энтропии всех статистических микроблоков равно

$$\begin{aligned} \Delta S = & -\nu k \left(\frac{3}{2\pi \langle r^2 \rangle} \right)^{\frac{3}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{3}{2\langle r^2 \rangle} [(\alpha^2 - 1)x^2 + (\beta^2 - 1)y^2 + (\gamma^2 - 1)z^2] \times \\ & \times \exp \left[-\frac{3(x^2 + y^2 + z^2)}{2\langle r^2 \rangle} \right] dx dy dz = -\frac{1}{2} \nu k (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 - 3). \end{aligned} \quad (27)$$

Поскольку восстанавливающее напряжение σ обычно выражается как восстанавливающая сила в расчете на исходную площадь поверхности образца глинистого грунта, то для случая образца, заправленного в пресс-форму и набухающего только в одном направлении, получим

$$\sigma = -W \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial l} \right)_{w,v} \frac{l_0}{V} = -\frac{W}{V} \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial \alpha} \right)_{w,v} = \frac{vkW}{V} \left(\alpha - \frac{1}{\alpha^2} \right). \quad (28)$$

Таким образом, последнее выражение имеет физический смысл, соответствующий напряжению, проявляемому в образце при компенсирующем давлении, противодействующем набуханию глинистого образца и внутреннему напряжению, вызываемому капиллярными силами при усадке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терцаги К. Строительная механика грунта. М. : Госстройиздат, 1933. 392 с.
2. Спозито Г. Термодинамика почвенных растворов. Л. : Гидрометеоиздат, 1984. 240 с.
3. Глобус А. М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена. Л. : Гидрометеоиздат, 1983. 280 с.
4. Королев В. А. Термодинамика грунтов. М. : МГУ, 1997. 167 с.
5. Габибов Ф. Г. Исследование объемных деформаций структурно-неустойчивых глинистых грунтов. Баку : Элм, 1998. 192 с.
6. Кульчицкий Л. И., Усъяров О. Г., Габибов Ф. Г. Физико-химическая модель водонасыщенной глины и ее применение при изучении объемных деформаций глинистых грунтов. Баку : АзНИИСА, 2000. 41 с.
1. Tertsagi K. Stroitel'naya mekhanika grunta. M. : Gosstroyizdat, 1933. 392 s.
2. Spozito G. Termodinamika pochvennykh rastvorov. L. : Gidrometeoizdat, 1984. 240 s.
3. Globus A. M. Fizika neizotermicheskogo vnutripochvennogo vlagoobmena. L. : Gidrometeoizdat, 1983. 280 s.
4. Korolev V. A. Termodinamika gruntov. M. : MGU, 1997. 167 s.
5. Gabibov F. G. Issledovanie ob'emnykh deformatsiy strukturno-neustoychivyykh glinistyykh gruntov. Baku : Elm, 1998. 192 s.
6. Kul'chitskiy L. I., Us'yarov O. G., Gabibov F. G. Fiziko-khimicheskaya model' vodonasyshchennoy gliny i ee primeneniye pri izuchenii ob'emnykh deformatsiy glinistyykh gruntov. Baku : AzNIISA, 2000. 41 s.

© Габибов Ф. Г., 2013

Поступила в редакцию
в октябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Габибов Ф. Г. Изменение энтропии при набухании глинистых грунтов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 16—21.

УДК 699.86

С. В. Корниенко

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КРАЕВЫМИ ЗОНАМИ

Предлагается алгоритм теплотехнического расчета строительных конструкций с краевыми зонами, который позволяет выполнить поэлементную оценку теплозащиты здания с учетом его формы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ограждающая конструкция, краевая зона, алгоритм расчета.

The author offers the algorithm of thermophysical calculations for building constructions with rim zones which allows give a bit-by-bit assessment of thermal protection of a building taking into account its shape.

K e y w o r d s: enclosing construction, rim zone, algorithm of calculation.

Данная статья посвящена решению актуальной проблемы — повышению качества теплотехнического проектирования строительных конструкций с краевыми зонами.

Согласно п. 5.1 СП 50.13330.2012, теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- 1) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);
- 2) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);
- 3) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении всех трех условий.

Такой подход отражает требования к зданию как единой энергетической системе [1]. Вместе с тем следует отметить, что нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется с учетом удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период. Эта характеристика определяется с учетом балансовых составляющих, непосредственно не влияющих на трансмиссионные потери теплоты через ограждающие конструкции (удельная вентиляционная характеристика здания, удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, удельная характеристика теплопоглощений в здание от солнечной радиации). Указанное обстоятельство затрудняет выбор нормируемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и усложняет работу проектировщика. Учет формы здания производится при расчете удельной теплозащитной характеристики здания.

В данной статье предлагается алгоритм теплотехнического расчета строительных конструкций с теплотехнически неоднородными участками (краевыми зонами) на основе характеристик, непосредственно влияющих на теплозащиту зданий. Учет влияния формы здания на уровень его теплозащиты производится при определении поэлементных требований.

Основной критерий теплозащиты оболочки здания может быть сформулирован в виде следующего неравенства [2]:

$$R_{he}^{des} \geq R_{he}^{bas}, \quad (1)$$

где R_{he}^{des} — расчетное приведенное сопротивление теплопередаче оболочки здания; R_{he}^{bas} — базовое сопротивление теплопередаче оболочки здания.

Если условие (1) выполняется, то оболочка здания отвечает требованию по теплозащите. В противном случае требуется корректировка проекта.

В [2] на основе статистической обработки данных установлена зависимость R_{he}^{bas} от показателя компактности здания k_e в виде уравнения линейной регрессии:

$$R_{he}^{bas}(k_e) = 1,03 + 1,55k_e. \quad (2)$$

Показатель компактности здания определяется по формуле

$$k_e = \frac{A_e^{sum}}{V_h} = \frac{\sum_i A_i}{V_h}, \quad (3)$$

где A_e^{sum} — суммарная площадь ограждающих конструкций оболочки здания; A_i — площадь i -й ограждающей конструкции; V_h — отапливаемый объем.

Выражение (2) позволяет определить минимально допустимый уровень теплозащиты оболочки при заданной форме здания.

Формула (2) получена при значении градусосутки отопительного периода, равном 3965 °С·сут/год (Волгоград). Для зданий, проектируемых в других климатических условиях, в эту формулу следует ввести поправочный коэффициент m_D , определяемый по формуле

$$m_D = 1,13 \cdot 10^{-4} D_d + 0,552, \quad (4)$$

где D_d — градусосутки отопительного периода, определяемые по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}, \quad (5)$$

где t_{int} — расчетная температура внутреннего воздуха здания; t_{ht} , z_{ht} — соответственно средняя температура наружного воздуха и продолжительность отопительного периода.

Методика расчета R_{he}^{des} приведена в монографии [3].

Связь между сопротивлениями теплопередаче оболочки здания R_{he} и образующих ее ограждающих конструкций $R_{h,i}$ выражается формулой

$$R_{he} = \frac{A_e^{sum}}{\sum_i \left(\frac{n_i A_i}{R_{h,i}} \right)}, \quad (6)$$

где n_i — коэффициент, учитывающий положение i -й ограждающей конструкции по отношению к внутреннему и наружному воздуху.

Для отдельных ограждающих конструкций минимально допустимое приведенное сопротивление теплопередаче определяется на основе обобщения данных СП 50.13330.2012 по формуле

$$R_{h,i}^{\min} = a_i D_d + b_i, \quad (7)$$

где a_i , b_i — эмпирические коэффициенты для i -й ограждающей конструкции.

Для ограждающих конструкций жилых зданий значения этих коэффициентов следующие:

стен — $a_i = 0,00022$, $b_i = 0,88$;

покрытий и перекрытий над проездами — $a_i = 0,0004$, $b_i = 1,76$;

перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами — $a_i = 0,00036$, $b_i = 1,52$;

окон, балконных дверей, витрин и витражей — $a_i = 0,000084$, $b_i = 0,17$.

Предлагаемый критерий теплозащиты оболочки здания в виде неравенства (1) позволяет разработать следующий алгоритм теплотехнического расчета строительных конструкций с краевыми зонами.

Исходными данными для расчета являются:

геометрические характеристики здания (площади ограждающих конструкций A_i , отапливаемый объем V_h);

параметры микроклимата (t_{int}) и наружного климата (t_{hb} , z_{ht}).

Расчет производится в два этапа.

А. Определение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с учетом формы здания.

Б. Определение расчетного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций по требуемым значениям.

Этап А

1. По формуле (3) определяется показатель компактности здания k_e .

2. По формуле (5) определяется значение градусо-суток отопительного периода D_d .

3. По формуле (2) определяется базовое сопротивление теплопередаче оболочки здания R_{he}^{bas} .

4. По формуле (7) определяются минимально допустимые приведенные сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций оболочки здания $R_{h,i}^{\min}$.

5. На основе формулы (6) при минимально допустимых сопротивлениях теплопередаче ограждающих конструкций $R_{h,i}^{\min}$ определяется минимально допустимое приведенное сопротивление теплопередаче оболочки $R_{he}^{\min}$.

6. Сравниваются полученные значения $R_{he}^{\min}$ и R_{he}^{bas} . Если $R_{he}^{\min} \geq R_{he}^{bas}$, то требуемое сопротивление теплопередаче $R_{h,i}^{req}$ приравнивается минимально допустимому $R_{h,i}^{\min}$ для всех ограждающих конструкций. В противном случае требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций $R_{h,i}^{req}$ определяется по формуле

$$R_{h,i}^{req} = m_R R_{h,i}^{\min}, \quad (8)$$

где $m_R = R_{he}^{bas} / R_{he}^{\min}$.

Полученные значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определены с учетом формы здания.

Этап Б

1. Для каждой конструкции оболочки здания определяется условное сопротивление теплопередаче $R_{h,i}^{con}$ по формуле:

$$R_{h,i}^{con} = m_{c,i} R_{h,i}^{req}, \quad (9)$$

где $m_{c,i} \geq 1$ — коэффициент перехода к условному сопротивлению теплопередаче конструкции, определяемый экспертной оценкой.

Рекомендуемые значения этого коэффициента следующие:

стен — $m_{c,i} = 1,3 \dots 2$;

покрытий и перекрытий над проездами — $m_{c,i} = 1,2 \dots 1,4$;

перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами — $m_{c,i} = 1,2 \dots 1,3$;

окон и балконных дверей — $m_{c,i} = 1,1 \dots 1,2$.

По условному сопротивлению теплопередаче $R_{h,i}^{con}$ разрабатывается конструктивное решение ограждения по глади.

2. Для каждой конструкции задается набор узлов.

3. Для каждого узла конструкции производится расчет температурного поля [3].

4. По результатам расчета температурного поля определяется коэффициент добавочных теплопотерь $\psi_{i,j}$ через узел [3].

5. Для каждой ограждающей конструкции определяется расчетное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{h,i}^{des}$ по формуле [3]

$$R_{h,i}^{des} = \frac{R_{h,i}^{con}}{1 + \sum_j \psi_{i,j}}. \quad (10)$$

6. Для каждой конструкции производится проверка условия

$$R_{h,i}^{des} \geq R_{h,i}^{req}. \quad (11)$$

Если условие (11) выполняется, то i -я конструкция отвечает теплозащитному требованию. В противном случае производится проверка условия

$$R_{h,i}^{des} \geq R_{h,i}^{\min}. \quad (12)$$

При выполнении условия (12) i -я конструкция также отвечает теплозащитному требованию, но в этом случае требуется проверка условия (1) для оболочки здания. В противном случае производится корректировка проектного решения по глади конструкции либо изменение набора узлов.

Разработанный алгоритм расчета иллюстрируется примером.

В соответствии с заданием требуется разработать проект 23-этажного жилого здания, имеющего круглую форму в плане, в г. Волгограде. Конструктивная схема здания каркасная, с монолитным железобетонным каркасом. Отапливаемый объем здания $V_h = 69221 \text{ м}^3$. Теплозащитная оболочка здания включает наружные стены, окна и балконные двери, входные двери, перекрытия теплого чердака и над техподпольем (табл. 1).

Таблица 1

Площади ограждающих конструкций теплозащитной оболочки здания

Наименование ограждающей конструкции	Площадь, м^2
Наружные стены	7300
Окна и балконные двери	2276
Входные двери	48
Перекрытие теплого чердака	912
Перекрытие над техподпольем	912

Расчетная температура внутреннего воздуха здания $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{ht} = -2,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Продолжительность отопительного периода $z_{ht} = 177 \text{ сут/год}$.

Показатель компактности здания $k_e = 0,165 \text{ м}^{-1}$.

Градусосутки отопительного периода $D_d = 3965 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{сут/год}$.

Базовое сопротивление теплопередаче оболочки здания $R_{he}^{bas} = 1,29 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$.

Значения минимально допустимого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (табл. 2) получены по формуле (7).

Таблица 2

Значения минимально допустимого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Наименование ограждающей конструкции	R_h^{req} , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$
Наружные стены	1,75
Окна и балконные двери	0,5
Входные двери	0,5
Перекрытие теплого чердака	2,95
Перекрытие над техподпольем	2,95

Минимально допустимое приведенное сопротивление теплопередаче оболочки $R_{he}^{min} = 1,21 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$.

Поскольку $R_{he}^{min} < R_{he}^{bas}$, то вычисляется коэффициент $m_R = 1,07$.

Значения требуемого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (табл. 3) получены по формуле (8).

В соответствии с заданием заказчика приняты к рассмотрению следующие ограждающие конструкции:

наружные стены кирпичные трехслойные с эффективным утеплителем и поэтажным опиранием на перекрытия;

окна и балконные двери, входные двери в виде двухкамерных стеклопакетов в деревянных переплетах;
перекрытия теплого чердака и над техподпольем с эффективным утеплителем.

Таблица 3

Значения требуемого приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Наименование ограждающей конструкции	R_h^{req} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Наружные стены	1,87
Окна и балконные двери	0,54
Входные двери	0,54
Перекрытие теплого чердака	3,16
Перекрытие над техподпольем	3,16

Значения условного сопротивления теплопередаче указанных ограждающих конструкций (табл. 4) получены по формуле (9) с использованием коэффициента m_c , определенного согласно экспертной оценке.

Таблица 4

Значения коэффициента m_c и условного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Наименование ограждающей конструкции	m_c	R_h^{con} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Наружные стены	2	3,74
Окна и балконные двери	1,15	0,62
Входные двери	1,2	0,65
Перекрытие теплого чердака	1,3	4,11
Перекрытие над техподпольем	1,25	3,95

По значениям условного сопротивления теплопередаче (см. табл. 4) разработано конструктивное решение ограждений по глади (для несветопрозрачных ограждений определена толщина утеплителя, для светопрозрачных — тип стеклопакета).

Для указанных ограждающих конструкций задаем набор краевых зон:

в наружных стенах — углы, сопряжения наружной стены с внутренними стенами и междуэтажными перекрытиями, оконные откосы, теплопроводные включения;

окнах, балконных и входных дверях — сопряжение стеклопакета со створкой (с учетом дистанционной рамки стеклопакета), сопряжение коробки оконного (дверного) блока с наружной стеной;

перекрытиях теплого чердака и над техподпольем — сопряжения перекрытий с наружными стенами.

Коэффициенты добавочных теплопотерь для указанных краевых зон ограждающих конструкций, полученные на основании расчета температурного поля [3], приведены в табл. 5.

Таблица 5

*Коэффициент добавочных теплопотерь через краевые зоны
ограждающих конструкций*

Наименование ограждающей конструкции	Наименование краевой зоны	ψ
Наружные стены	Углы	0,021
	Сопряжения наружных стен с внутренними стенами	0,0531
	Сопряжения наружных стен с междуэтажными перекрытиями	0,186
	Сопряжения наружных стен с оконными блоками	0,101
	Теплопроводные включения	0,517
Окна и балконные двери	Сопряжения стеклопакета со створкой	0,098
	Сопряжения коробки с наружной стеной	0,053
Входные двери	Сопряжения стеклопакета со створкой	0,098
	Сопряжения коробки с наружной стеной	0,053
Перекрытие теплого чердака	Сопряжения перекрытия с наружными стенами	0,252
Перекрытие над техподпольем	Сопряжения перекрытия с наружными стенами	0,252

Значения расчетного приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций представлены в табл. 6.

Таблица 6

*Значения расчетного и требуемого приведенного сопротивления теплопередаче
ограждающих конструкций*

Наименование ограждающей конструкции	R_h^{des} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	R_h^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
Наружные стены	1,99	1,87
Окна и балконные двери	0,54	0,54
Входные двери	0,56	0,54
Перекрытие теплого чердака	3,28	3,16
Перекрытие над техподпольем	3,16	3,16

Анализ полученных результатов (см. табл. 6) показывает, что условие $R_{h,i}^{des} \geq R_{h,i}^{req}$ выполняется для всех ограждающих конструкций. Проверка условия (1) для оболочки здания не требуется.

Предлагаемый в настоящей статье алгоритм теплотехнического расчета строительных конструкций с краевыми зонами позволяет выполнить поэтапную оценку теплозащиты здания с учетом его формы. Проектирование зданий компактной формы позволяет обоснованно снизить уровень теплозащиты здания. Усложнение формы здания требует применения ограждающих конструкций с более высоким уровнем теплозащиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2—6.

2. Корниенко С. В. Учет формы при оценке теплозащиты оболочки здания // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений». 2013. № 5(10). С. 1—8. URL: http://www.unistroy.spb.ru/index_2013_10/3_korniyenko_10.pdf

3. Корниенко С. В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь в краевых зонах ограждающих конструкций. Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. 108 с.

1. Gagarin V. G., Kozlov V. V. Trebovaniya k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2011. № 8. S. 2—6.

2. Kornienko S. V. Uchet formy pri otsenke teplozashchity obolochki zdaniya // Internet-zhurnal «Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy». 2013. № 5(10). S. 1—8. URL: http://www.unistroy.spb.ru/index_2013_10/3_korniyenko_10.pdf

3. Kornienko S. V. Povyshenie energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter' v kraevykh zonakh ograzhdayushchikh konstruktсий. Volgograd : VolgGASU, 2011. 108 s.

© Корниенко С. В., 2013

*Поступила в редакцию
в августе 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В. Теплотехнический расчет строительных конструкций с краевыми зонами // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 22—29.

УДК 699.841(05)

А. В. Масляев

СЕЙСМОЗАЩИТА ЗДАНИЙ С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ ЛЮДЕЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ ПО ТРЕБОВАНИЯМ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ РФ

Несмотря на то, что в нормативном комплекте карт ОСП-97 РФ предусмотрена вероятность превышения даже максимальной интенсивности землетрясения на территориях населенных пунктов России, по правилам федеральных законов РФ примерно 95 % населения России размещается в зданиях, которые рассчитываются только на минимальную сейсмическую опасность. Предлагаются другие правила проектирования зданий с большим числом людей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: землетрясение, сейсмозащита, населенный пункт, здания, население.

In spite of the fact that the probability of excess of the maximal intensity of earthquake on the territory of the settlements in Russia is provided in the normative set of maps ОСП-97 RF, according to the rules of the Federal laws of the Russian Federation about 95 % of the population of Russia is housed in buildings with minimal estimated seismic hazard. Other rules for design of buildings with large number of people are offered.

К e y w o r d s: earthquake, earthquake protection, settlement, buildings, population.

Так как надежность в эксплуатации зданий и сооружений зависит в основном от уровня их ответственности, в начале статьи рассмотрим положения федеральных законов РФ [Градостроительный кодекс Российской Федерации : федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ; Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ], которые его определяют. Так, в п. 2. статьи 48.1 «Градостроительного кодекса» перечисляются следующие проектные линейные характеристики, которые определяют повышенный уровень ответственности зданий и сооружений: 1) высота более 100 м; 2) пролеты более 100 м; 3) наличие консоли более чем 20 м. В п. 8 статьи 4 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» указывается более конкретный перечень объектов с повышенным уровнем ответственности: «К зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности относятся здания и сооружения, отнесенные в соответствии с «Градостроительным кодексом» к особо опасным, технически сложным и уникальным объектам». Сразу обращает на себя внимание слишком узкий перечень объектов с повышенным уровнем ответственности, который определен двумя федеральными законами. Первый вывод, который следует из приведенного перечня объектов с повышенным уровнем ответственности, — практически их отсутствие на территориях многих населенных пунктов России. Получается, что большая часть зданий и сооружений на территориях многих населенных пунктов проектируется и возводится с нормальным уровнем ответственности. А, как известно, здания и сооружения с нормальным уровнем ответственности, согласно требованиям [СП 14.1330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*/ Минрегион России. М., 2011], рассчитываются только на минимальную сейсмическую опасность. При этом здания и сооружения с повышенным уровнем ответственности рассчитываются на один балл большую сейсмическую опасность. Поэтому степень сейсмозащиты у зданий и сооружений

с повышенным уровнем ответственности значительно выше по сравнению со зданиями и сооружениями с нормальным уровнем ответственности. Рассмотрим некоторые обоснования авторов «Градостроительного кодекса» и «Технического регламента...» к определению такого узкого перечня объектов с повышенным уровнем ответственности. Неполный ответ можно найти в п. 26 статьи 2 «Технического регламента...»: «Уровень ответственности — характеристика здания или сооружения, определяемая в соответствии с объемом экономических, социальных и экологических последствий его разрушения». Вышеприведенный перечень объектов и основные линейные проектные размеры зданий и сооружений с повышенным уровнем ответственности показывают, что для их определения авторы федеральных законов РФ использовали только экономические и экологические характеристики последствий. А обоснования уровня ответственности для большей части жилых и общественных зданий в зависимости от объемов социальных последствий при землетрясениях в этих федеральных законах нет. Объективным подтверждением этому служит отсутствие критерия по числу людей для определения зданий с повышенным уровнем ответственности. Именно поэтому среди перечня объектов с повышенным уровнем ответственности в вышеназванных федеральных законах перечисляются только жилые и общественные здания выше 25 этажей, которые, как известно, в большинстве населенных пунктов России также отсутствуют. Ведь многим известно, что в населенных пунктах (городах) России наибольшую часть объектов составляют 5-, 9-этажные жилые и общественные здания. Поэтому с точки зрения сейсмозащиты населенного пункта при землетрясении самой сейсмозащищенной должна быть основная часть жилых и общественных зданий, в которых при сейсмических воздействиях с наибольшей вероятностью будут размещаться люди. Поэтому вполне логичным выглядит в п. 1 статьи 1 «Технического регламента...» его основная цель: «Защита жизни и здоровья граждан...». Но в еще действующем документе [СП 14.1330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*/ Минрегион России. М., 2011] к повышенному уровню ответственности относят жилые и общественные здания выше 16 этажей. Однако уже в проекте этого нового документа [СП 14.1330.2012. Проект Свода правил. Строительство в сейсмических районах / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М., 2012] для определения уровня повышенной ответственности этажность жилых и общественных зданий подняли выше 25 этажей. Поэтому из вышеприведенного перечня объектов с повышенным уровнем ответственности следует, что в Федеральных законах РФ «Градостроительный кодекс» и «Технический регламент...» не просматривается понимания того, что люди в населенных пунктах России являются самым ценным объектом для общества и их в первую очередь следует защищать при любых природных катаклизмах. Как известно, от уровня ответственности зданий и сооружений напрямую зависит выбор уровня сейсмической опасности, на которую они будут рассчитываться. А от уровня расчетной сейсмической опасности зависит сметная стоимость проектируемого здания: повышение сейсмической опасности на один балл влечет за собой увеличение сметной стоимости строительства примерно на 10 %, что в современной России является одним из факторов, который отрицательно влияет на сейсмозащиту зданий с большим числом людей.

Ниже в общих чертах рассмотрим основные характеристики сейсмической опасности в комплекте карт ОСР -97 РФ и некоторые основные правила по их использованию в строительстве. В приложении документа [СП 14.1330.2011] для каждого населенного пункта установлена сейсмическая опасность (J , в баллах) в зависимости от периода (T) повторяемости землетрясения: карта A — период (T) повторяемости землетрясения 1 раз в 500 лет и часто с наименьшей сейсмической опасностью для территории конкретного населенного пункта; карта B — период (T) повторяемости землетрясения 1 раз в 1000 лет и часто с увеличенной на один балл сейсмической опасностью (условно усредненной) для территории конкретного населенного пункта; карта C — период (T) повторяемости землетрясения 1 раз в 5000 лет с максимальной сейсмической опасностью для территории конкретного населенного пункта. В нормативных картах A , B , C отображена зависимость между периодом (T) повторяемости и интенсивностью землетрясения (J): чем сильнее землетрясение, тем реже оно происходит на Земном шаре. Но при этом важно также понимать, что в картах A , B , C указываются «расчетные» характеристики землетрясений, которые были определены учеными-сейсмологами по данным большого статистического материала по прошедшим землетрясениям на Земном шаре. Этот большой статистический материал говорит нам и о том, что сейсмическая активность на Земле является показателем очень изменчивым. На показатель изменчивости сейсмической активности строители почему-то вообще не обращают внимания, хотя он тоже должен учитываться при выборе сейсмической опасности для конкретного объекта на местности. Так, одним из наглядных примеров этой неожиданной изменчивости в сторону ее усиления служит землетрясение с магнитудой 9.0 по шкале Рихтера у берегов Японии 11 марта 2011 г. Даже по расчетам самых опытных японских ученых в этом месте могло быть землетрясение с магнитудой не больше 8 по шкале Рихтера, т. е. на одну единицу меньше произошедшего. С того времени прошло более двух лет, но и сегодня в этом районе Японии почти каждый день происходят сильные повторные толчки с магнитудой 5 и более по шкале Рихтера, которые усиливают последствия в сооружениях от воздействия основного толчка. Другими словами, изменчивый характер сейсмической активности на Земном шаре убедительно нам говорит, что основные «расчетные» характеристики землетрясений, которые указаны в нормативных картах A , B , C (период повторяемости, интенсивность), могут значительно не совпадать с характеристиками реальных землетрясений. Более того, многие специалисты считают, что изменчивый характер сейсмической активности — это результат нормального сложного геодинамического процесса в недрах Земли, происходящего при активном участии космических факторов. Именно поэтому вероятность превышения интенсивности реальных землетрясений над «расчетными» предусмотрена и в нормативных картах A , B , C . О необходимости учета изменчивости интенсивности землетрясения в сторону усиления говорил японский ученый Косюн Ямаока (Koshun Yamaoka), выступая на 33-й Генеральной ассамблее Европейской сейсмологической комиссии (ЕСК) в августе 2012 г. в Москве: «Уроки катастрофического землетрясения в Японии в марте 2011 года показывают, что при оценке сейсмической опасности следует учитывать не только события, которые повторяются и происходят часто, но и те, которые в принципе

возможны с точки зрения современной науки, даже если они происходят крайне редко». Поэтому население России не должно удивляться проявлению в любое время землетрясения с большей интенсивностью по сравнению с нормативной. Особенно это важно понимать заказчикам и проектировщикам, которым СП 14.1330.2011 поручил определять сейсмическую опасность для объектов.

При этом следует сказать еще об одной важнейшей особенности комплекта карт ОСР-97 РФ, которая заключается в том, что для большей части населенных пунктов России сейсмическая опасность по карте *С* больше сейсмической опасности по карте *А* на 2 балла. Получается, что территории многих населенных пунктов России комплектом карт ОСР-97 РФ оцениваются на трех разных уровнях сейсмической опасности: 1) картой *А* — минимальный уровень; 2) картой *В* — средний уровень; 3) картой *С* — максимальный уровень. Поэтому необоснованное определение уровня ответственности проектируемого здания мгновенно приводит к серьезной (недопустимой) ошибке в определении уровня сейсмической опасности, на которую будут рассчитываться его конструкции. О том, что за использование проектировщиками в расчетах зданий заниженной сейсмической опасности люди расплачиваются своими жизнями, еще раз на конкретных примерах показывает один из авторов комплекта карт ОСР-97 РФ [1]: «Это обстоятельство (как и некоторые другие упущения и промахи), к сожалению, не было учтено в прошлых картах ОСР, что привело к целому ряду социально-экономических потерь и к человеческим жертвам на территории бывшего СССР вследствие занижения оценок сейсмической опасности на 2—3 балла (в Армении в 1988 г., Казахстане в 1990 г., Грузии в 1991 г., России (Корякии) в 1991 г., Киргизии в 1992 г., России (о. Сахалин) в 1995 г.)». Эту «нехорошую статистику» хорошо знали сотрудники Госстроя России в 90-х годах XX века. Понимая, какое огромное значение имеет правильное определение уровня ответственности зданий для обеспечения их сейсмозащиты, решением Госстроя РФ была создана рабочая группа специалистов для разработки рекомендаций по грамотному использованию комплекта карт ОСР-97 РФ в нормах проектирования. Так, рабочая группа специалистов своим решением рекомендовала использовать в массовом гражданском и промышленном строительстве на территории России именно карту *В* [2]. Однако в положениях «Градостроительного кодекса» и «Технического регламента...» как говорилось выше, для проектирования большей части жилых и общественных зданий предусмотрели карту *А* с гораздо меньшей сейсмической опасностью. Из-за этого образовалась ситуация, при которой интенсивность землетрясения по карте *С* мгновенно превратилась в опасное воздействие для многих жилых и общественных зданий. Например, территории многих населенных пунктов Волгоградской области по карте *А* не являются сейсмоопасными, а по карте *С* для средних грунтовых условий оцениваются семибалльной сейсмичностью. Поэтому почти все жилые и общественные здания на территории Волгоградской области сегодня возводятся несейсмостойкими. Но, как говорилось выше, при этом карта *С* не исключает на территории Волгоградской области в любое время вероятность землетрясения с интенсивностью 8 баллов, которое может разрушить несейсмостойкие здания, привести к гибели многих тысяч людей. Более того, в региональном законе Волгоградской

области № 1779-ОД «О защите населения и территории Волгоградской области от ЧС природного и техногенного характера» не упоминается даже слово «землетрясение». Руководители исполнительной и законодательной власти Волгоградской области настолько убеждены, что сильных землетрясений здесь не будет, что не требуют от руководителей предприятий и организаций разработки планов по эвакуации людей из большинства зданий в случае землетрясения. Поэтому использование минимальной сейсмической опасности по карте *A* для расчета основных жилых и общественных зданий на территории России следует признать ошибочным решением. Но авторы «Градостроительного кодекса» и «Технического регламента...» свой выбор карты *A* для проектирования зданий с нормальным уровнем ответственности продолжают объяснять относительно короткой длительностью жизненного цикла одного здания в 50 лет, которая значительно меньше периода повторяемости землетрясения по карте *A* — 1 раз в 500 лет ($T = 500$ лет). Действительно, если по этому проекту возвести здание где-то в степи, тогда длительность его жизненного цикла совпадет с концепцией авторов этого положения. Но, как говорилось выше, основная часть жилых и общественных зданий в России возводится в населенных пунктах (городах) по требованиям нормативного документа [СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* / Минрегион России. М., 2010], согласно которому вместо снесенного жилого здания будет возведено другое, но только жилое здание. Так как смена устаревшего здания новым на территории населенного пункта происходит непрерывно, следует при определении вероятности землетрясения для одного жилого здания признать длительность его жизненного цикла равной длительности жизненного цикла населенного пункта. А так как общие требования по сейсмозащите населенного пункта обязывают любое цивилизованное общество обеспечить его сохранность при землетрясениях даже с максимально возможной интенсивностью, то и его основные жилые и общественные здания также должны выдерживать землетрясения с максимальной интенсивностью без обрушения и гибели людей. Но если на территории какого-то города учеными прогнозируется разрушительное землетрясение (наводнение), тогда этот населенный пункт должен быть ликвидирован. Но, к сожалению, в п. 4.16 СП 42.13330.2011 по сейсмозащите людей в населенных пунктах имеется такая конкретная запись: «В районах сейсмичностью 7, 8, 9 баллов необходимо предусматривать расчлененную планировочную структуру города, а также рассредоточение размещения объектов с большой концентрацией населения...». В документе отсутствуют основные характеристики населенных пунктов, которые должны использовать проектировщики для его защиты от всех прогнозируемых стихийных бедствий. Первой такой характеристикой должно быть время расчетной длительности его жизненного цикла в одну тысячу и более лет (для крупных городов — неограниченное время). Ведь только зная время длительности жизненного цикла населенного пункта, специалисты могут на вероятностной основе определить максимальные уровни воздействий различных природных явлений. Второй характеристикой должно быть указание проектировщикам, что основными объектами в населенных пунктах следует считать жилые и общественные здания. Такая запись в СП 42.13330.2011 для проектировщиков будет означать, что позиция

государства заключается в том, что жизнеспособность населенного пункта при воздействиях любых прогнозируемых природных явлениях будет зависеть в первую очередь от устойчивого функционирования каждого жилого здания, которое может обеспечить сохранность жизни и здоровья населения. Так как, например, сегодня ученым не известно, какое из трех разных по интенсивности землетрясений, которые указаны в картах *A*, *B*, *C*, произойдет первым на местности, следует сейсмозащиту населенных пунктов, а значит и основных жилых и общественных зданий, обеспечивать с учетом вероятных максимальных сейсмических воздействий. Поэтому основную часть жилых и общественных зданий в населенных пунктах России, в которых размещается до 95 % населения, следует проектировать таким образом, чтобы максимальная интенсивность землетрясения по карте *C* не смогла привести к обрушению их конструкций. Так, например, в статье [3] обосновывается критерий по числу 100 и более человек в здании и времени более 4 мин эвакуации на безопасное пространство, который позволяет и жилые здания более трех этажей считать с повышенным уровнем ответственности. Здания с повышенным уровнем ответственности при эвакуации людей от 4 до 19 мин предлагается в статье [3] рассчитывать на воздействия основного и первого повторного сильного толчков с интенсивностью по карте *B*, а при времени эвакуации более 19 мин (при этажности более 20 этажей) — на воздействия основного и двух повторных сильных толчков с интенсивностью по карте *B*. Примерно через полтора года после опубликования статьи [3] на Гаити произошло сильнейшее землетрясение с двумя повторными сильными толчками: первый сильный толчок произошел примерно через 7 мин после основного толчка, а второй сильный повторный толчок — через 18 мин 56 с [4]. Воздействия этих первых двух повторных толчков окончательно разрушили многие жилые здания, в которых погибли тысячи людей. Но, к сожалению, федеральные законы РФ «Градостроительный кодекс» и «Технический регламент» предусматривают расчет сейсмостойких зданий и сооружений на воздействия только одного основного толчка. По суммарной эффективности воздействия на здания основного и первого повторного толчков с интенсивностью по карте *B* приравниваются к уровню воздействия одного основного толчка с интенсивностью по карте *C*, а при воздействиях одного основного и двух повторных толчков с интенсивностью по карте *B* — к уровню воздействия одного основного и первого повторного толчков с интенсивностью по карте *C*. Конкретный же выбор расчетного сейсмического воздействия на здания могут сделать проектировщики.

Выводы

1. Федеральные законы [Градостроительный кодекс Российской Федерации : федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ; Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ] не обеспечивают сейсмозащиту большей части жилых и общественных зданий на территориях многих населенных пунктов России при землетрясениях с максимальной интенсивностью по карте *C*.

2. В Федеральные законы [Градостроительный кодекс Российской Федерации : федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ; Технический регламент о безопасности зданий и сооружений :

федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ] следует ввести положение о том, что основные жилые и общественные здания населенных пунктов России следует считать с повышенным уровнем ответственности и их конструкции рассчитывать на воздействия основного и первых повторных толчков землетрясения с интенсивностью по карте В.

3. Для сейсмозащиты населенных пунктов при землетрясении необходимо предусмотреть в [СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* / Минрегион России. М., 2010] следующие положения:

а) длительность жизненного цикла населенного пункта определить в одну тысячу лет, а для крупных городов неограниченное время;

б) основные жилые и общественные здания считать основными структурными элементами капитальной застройки населенных пунктов;

в) для территории населенного пункта должен быть определен перечень опасных природных явлений с указанием максимальных уровней воздействий. Этот перечень опасных природных явлений на территории каждого населенного пункта должен быть автоматически включен в текст региональных законов РФ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера».

4. На территории Волгоградской области в строительной области не выполняются требования федерального нормативного документа [СП 14.1330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* / Минрегион России. М., 2011].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уломов В. И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инженерные изыскания. 2009. № 9. С. 28—39.

2. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1: 8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: М-во науки и технологий РФ, РАН. Объединенный ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта, 1999.

3. Масляев А. В. Основные критерии сейсмозащиты зданий и сооружений при землетрясении // Жилищное строительство. 2008. № 12. С. 24—26.

4. Масляев А. В. Время между первыми толчками землетрясения на Гаити определялось заранее // Жилищное строительство. 2010. № 2. С. 26—27.

1. Ulomov V. I. Ob inzhenerno-seysmologicheskikh izyskaniyakh v stroitel'stve // Inzhenernye izyskaniya. 2009. № 9. S. 28—39.

2. Ulomov V. I., Shumilina L. S. Komplekt kart obshchego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii OSR-97. Masshtab 1: 8000000. Ob"yasnitel'naya zapiska i spisok gorodov i naselennykh punktov, raspolozhennykh v seysmoopasnykh rayonakh. M.: M-vo nauki i tekhnologiy RF, RAN. Ob"edinennyy in-t fiziki Zemli im. O. Yu. Shmidta, 1999.

3. Maslyayev A. V. Osnovnye kriterii seysmozashchity zdaniy i sooruzheniy pri zemletryaseni // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2008. № 12. С. 24—26.

4. Maslyayev A. V. Vremya mezhdu pervymi tolchkami zemletryaseniya na Gaiti opredelyalos' zaranee // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2010. № 2. С. 26—27.

© Масляев А. В., 2013

Поступила в редакцию
в августе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Масляев А. В. Сейсмозащита зданий с большим числом людей при землетрясении по требованиям федеральных законов РФ // Вестник Волггр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 30—36.

УДК 539.4

И. И. Овчинников, В. Н. Мигунов, И. Г. Овчинников

**УЧЕТ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ АРМАТУРЫ
ПРИ РАСЧЕТЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО АРМИРОВАННОГО
СТЕРЖНЕВОГО КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА**

Рассматривается задача расчета стержневых армированных предварительно-напряженных железобетонных элементов строительных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивной среды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: агрессивная среда, предварительно напряженный железобетонный элемент, напряженно-деформированное состояние.

This paper deals with the calculation of rod pre-stressed reinforced concrete elements of building constructions exposed to the aggressive environment.

K e y w o r d s: aggressive environment, pre-stressed reinforced concrete, stress-strain state.

Как известно, предварительно напряженные армированные конструкции весьма широко применяются в строительстве гражданских и промышленных зданий [1, 2], конструкциях атомных электростанций [2], морских сооружениях и судостроении [2], мостостроении [2—5].

Условия работы предварительно напряженной армированной конструкции имеют некоторые особенности по сравнению с работой обычной армированной конструкции:

1. Предварительно напряженная конструкция находится под действием двух видов нагрузок: усилия предварительного натяжения и эксплуатационной нагрузки. При этом в отличие от эксплуатационной нагрузки, которая во многих случаях действует кратковременно и не всегда в расчетном сочетании, усилие предварительного натяжения загружает конструкцию постоянно в течение всей жизни сооружения.

2. В процессе эксплуатации под постоянным воздействием усилия натяжения арматуры в бетоне в течение нескольких лет протекают неравномерные по высоте необратимые деформации ползучести, которые могут даже вызвать увеличение строительного подъема [4]. В обычных же армированных (железобетонных) конструкциях, наоборот, со временем под нагрузкой накапливаются остаточные прогибы, направленные вниз.

3. В предварительно напряженных конструкциях основную часть потерь предварительного напряжения составляют потери, вызванные усадкой и ползучестью бетона [6, 7]. Из-за статической неопределимости либо армированных сечений, либо целиком армированных конструкций влияние этих процессов может привести к значительному перераспределению усилий.

4. В случае эксплуатации армированных конструкций в условиях воздействия агрессивной среды в предварительно напряженной арматуре развивается процесс коррозионного растрескивания, который может привести к преждевременному обрыву напряженной арматуры и последующему разрушению конструкции.

Расчет армированных предварительно напряженных конструкций, работающих в агрессивной эксплуатационной среде, с учетом всех развивающихся во времени процессов (проникание агрессивной среды, изменение свойств составляющих материалов, деформирование и накопление повреждений, усадка бетона, коррозионное поражение ненапряженной арматуры, коррозионное растрескивание напряженной арматуры и др.) представляет собой весьма сложную задачу, так как требует: построения корректных моделей, описывающих развитие указанных процессов; наличия достаточного количества экспериментальных данных и отработанных методик идентификации построенных моделей; разработанных методов решения сложных задач деформирования и разрушения армированных конструкций с учетом сопровождающих эффектов.

В работе рассматривается задача расчета стержневых армированных предварительно напряженных элементов конструкций, подвергающихся воздействию агрессивной среды. Из перечисленных выше процессов учитываются: упругое деформирование ненапрягаемой и напрягаемой арматуры, нелинейное неодинаковое сопротивление деформациям растяжения и сжатия бетона, проникание агрессивной хлоридсодержащей среды и ее влияние на свойства бетона, коррозионный износ ненапрягаемой арматуры, коррозионное растрескивание напрягаемой арматуры.

Рассматривается прямой стержень, армированный ненапрягаемой и напрягаемой арматурой так, как показано на рис. 1.

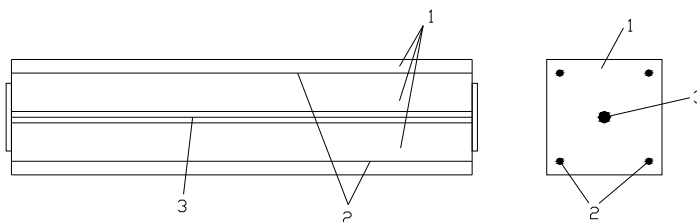


Рис. 1. Схема армирования элемента: 1 — нелинейный разномодульный материал (бетон); 2 — ненапрягаемая арматура; 3 — предварительно напряженная арматура (затяжка)

Полагаем, что арматура (и ненапрягаемая и напрягаемая) работает упруго, так что

$$\sigma_a = E_a \varepsilon; \quad (1)$$

$$\sigma_n = E_n \varepsilon, \quad (2)$$

где σ_a — напряжения в ненапрягаемой арматуре; σ_n — напряжение в напрягаемой арматуре; E_a — модуль упругости ненапрягаемой арматуры; E_n — модуль упругости напрягаемой арматуры; ε — относительная деформация.

Диаграмма деформирования бетона с учетом нелинейности деформирования и неодинаковой работы на растяжение и сжатие принимается в виде

$$\sigma = \begin{cases} A_p \varepsilon - B_p \varepsilon^3, & \sigma > 0, \\ A_c \varepsilon - B_c \varepsilon^3, & \sigma < 0, \end{cases} \quad (3)$$

где A_p, B_p, A_c, B_c — коэффициенты соответственно для растяжения и сжатия.

Если на армированный стержень действует агрессивная среда, вызывающая деградацию бетона, коррозионный износ ненапряженной арматуры и коррозионное растрескивание напряженной арматуры, то принимаем:

1. Агрессивная среда проникает в сечение армированного элемента по закону активированной диффузии [8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \operatorname{div} D(\operatorname{grad} C), \quad (4)$$

где C — концентрация агрессивной среды в точке элемента; D — коэффициент диффузии; t — время.

2. Механические свойства бетона изменяются под влиянием агрессивной среды так, что физические соотношения (3) принимают вид

$$\sigma = \begin{cases} A_p(C)\varepsilon - B_p(C)\varepsilon^3, & \sigma > 0, \\ A_{сж}(C)\varepsilon - B_{сж}(C)\varepsilon^3, & \sigma < 0; \end{cases} \quad (5)$$

3. Происходит коррозионный износ ненапрягаемой арматуры в соответствии с моделью

$$\frac{d\delta}{dt} = V_\sigma \exp(\gamma C), \quad (6)$$

где δ — глубина коррозионного износа; V — зависящая от напряжений скорость коррозии при нулевой концентрации агрессивной среды данного вида; γ — коэффициент.

При этом сохраняется совместная работа ненапряженной арматуры с окружающим материалом.

4. Происходит коррозионное растрескивание напряженной арматуры по модели [8]:

$$\frac{d\Pi}{dt} = a(C) \left(\frac{\sigma_n}{1 - \Pi} \right)^{b(C)}, \quad \Pi(0) = 0, \quad (7)$$

где σ_n — напряжение в напрягаемой арматуре.

5. Полагаем, что передача натяжения от напрягаемой арматуры происходит по торцам армированного элемента, при этом в качестве расчетного рассматриваем сечение, удаленное от концов армированного элемента так, чтобы, в соответствии с принципом Сен-Венана, влияние анкеровки не сказывалось на характере распределения напряжений.

При анализе предварительно напряженного армированного элемента рассматриваются несколько стадий его работы и определенные программы нагружения и воздействия агрессивной среды. Напомним, что коррозионное растрескивание высокопрочной арматуры происходит только при одновременном действии и напряжений, и коррозионной среды.

Рассмотрим следующую программу нагружения предварительно напряженного армированного стержня:

1) натяжение напрягаемой арматуры до напряжения σ_n^0 ;

2) передача усилия от напрягаемой арматуры на армированное сечение с формированием в нем начального уравновешенного поля напряжений, т. е. созданием предварительного напряжения;

3) загрузку предварительно напряженного элемента внешней нагрузкой — продольным усилием (сжимающим или растягивающим);

4) погружение предварительно напряженного армированного элемента в агрессивную среду и работа этого элемента с учетом влияния агрессивной среды на материал и арматуру армированного элемента.

Рассмотрим эти стадии более подробно.

Стадия 1. Натяжение напрягаемой арматуры усилием P_0 . В этом случае напряжение в напрягаемой арматуре будет $\sigma_n^0 = P_0 / F_n$, а деформация напрягаемой арматуры составит $\varepsilon_n^0 = \sigma_n^0 / E_n$. В ненапрягаемой арматуре и бетоне напряжения и деформации отсутствуют.

Стадия 2. Передача натяжения на армированный элемент. При этом напрягаемая арматура разгружается, а ненапрягаемая арматура и бетон нагружаются сжатием. После передачи натяжения с напрягаемой арматуры на стержень его сечения получают деформацию сжатия ε_1 , при этом деформация напрягаемой арматуры уменьшается на эту величину и напряжение в ней станет равным

$$\sigma_n = E_n (\varepsilon_n^0 - \varepsilon_1). \quad (8)$$

Сжимающее напряжение в ненапрягаемой арматуре будет

$$\sigma_a = -E_a \varepsilon_1, \quad (9)$$

а сжимающие напряжения в бетоне окажутся следующими:

$$\sigma_b = -(A_{сж} \varepsilon_1 - B_{сж} \varepsilon_1^3). \quad (10)$$

Рассмотрим равновесие отсеченной части армированного стержня (рис. 2).

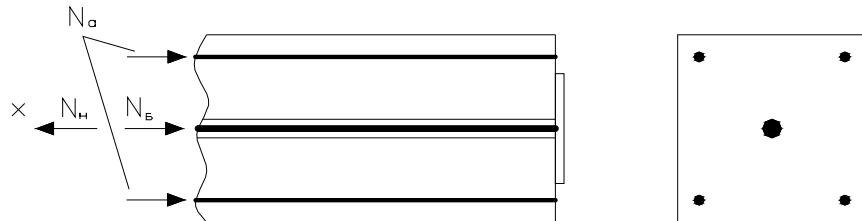


Рис. 2. Усилия в армированном стержне после передачи предварительного напряжения на элемент

В соответствии с методом сечений имеем $\sum x = 0$ или

$$N_n - N_a - N_b = 0, \quad (11)$$

где N_n — усилие в напрягаемой арматуре; N_a — усилие в ненапрягаемой арматуре; N_b — усилие в бетоне.

С учетом (8)—(10) запишем (11) в виде

$$E_n (\varepsilon_n^0 - \varepsilon_1) F_n - E_a \varepsilon_1 F_a - (A_{сж} \varepsilon_1 - B_{сж} \varepsilon_1^3) F_b = 0. \quad (12)$$

Отсюда получаем нелинейное уравнение для определения деформации ε_1 :

$$J_1 \varepsilon_1 + I_1 \varepsilon_1^3 = \sigma_n^0 F_n, \quad (13)$$

где обозначено

$$J_1 = E_n F_n - E_a F_a - A_{сж} F_6; \quad I_1 = B_{сж} F_6, \quad (14)$$

где F_n — площадь сечения напрягаемой арматуры; F_a — площадь ненапрягаемой арматуры; F_6 — площадь сечения бетона.

Решив уравнение (13), найдем ε_1 , а затем по формулам (8)—(10) определим напряжения в напрягаемой и ненапрягаемой арматуре, а также в бетоне после предварительного напряжения.

Стадия 3. Загружение предварительно напряженного элемента внешней нагрузкой.

Случай 3.1. Внешняя нагрузка сжимающая $P_{сж}$. В этом случае (рис. 3) под действием внешней нагрузки в стержне возникнет деформация ε_2 .

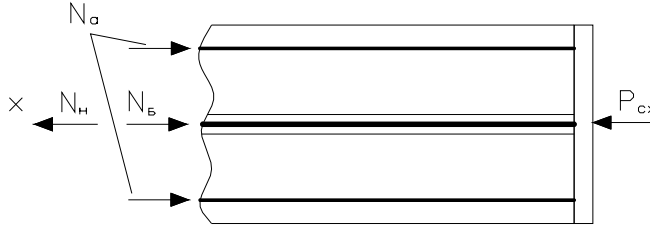


Рис. 3. Усилия в армированном элементе после приложения внешней сжимающей нагрузки $P_{сж}$

В силу принятой гипотезы плоских сечений деформации у всех компонентов сечения, т. е. напрягаемой и ненапрягаемой арматуры и бетона, будут одинаковы.

Напряжения в напрягаемой арматуре будут

$$\sigma_n = E_n (\varepsilon_n^0 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2) = \sigma_n^0 - E_n \varepsilon_1 - E_n \varepsilon_2. \quad (15)$$

Напряжения в ненапрягаемой арматуре

$$\sigma_a = -E_a (\varepsilon_1 + \varepsilon_2), \quad (16)$$

а напряжения в бетоне

$$\sigma_6 = -[A_{сж} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - B_{сж} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3]. \quad (17)$$

Подставляя выражения (15)—(17) в уравнение равновесия

$$N_n - N_a - N_6 + P_{сж} = 0, \quad (18)$$

получим:

$$J_1 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + I_1 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3 = \sigma_n^0 F_n + P_{сж}. \quad (19)$$

Решив уравнение (19), определим $(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$, а затем по формулам (15)—(17) найдем напряжения в составляющих предварительно напряженного сечения после приложения нагрузки.

Очевидно, что армированный стержень будет сохранять предварительное напряжение до тех пор, пока напряжения в напрягаемой арматуре не достигнут нулевого значения $\sigma_n = 0$. В этом случае $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon_n^0$, а величина сжимающей силы, при превышении которой напрягаемая арматура выключается из работы, будет равна

$$P_{сж} = [E_a F_a \varepsilon_n^0 + A_{сж} F_6 \varepsilon_n^0 - B_{сж} F_6 (\varepsilon_n^0)^3]. \quad (20)$$

Случай 3.2. Внешняя нагрузка растягивающая. В этом случае очевидно, что если внешняя нагрузка будет равна усилию в напрягаемой арматуре, т. е.

$$P_{раст}^* = \sigma_n^0 F_n, \quad (21)$$

то почти все сечение (и бетон, и ненапрягаемая арматура) будет ненапряжено.

Если внешняя растягивающая нагрузка будет меньше $P_{раст}^*$, т. е.

$$P_{раст} < P_{раст}^*, \quad (22)$$

то для определения напряжений в компонентах армированного сечения рассмотрим рис. 4.

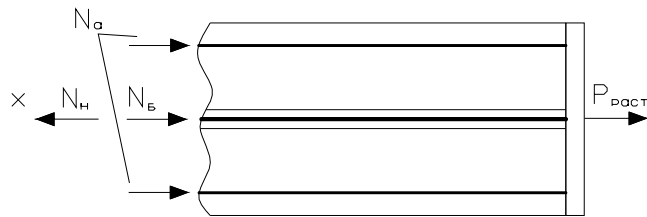


Рис. 4. Усилия в армированном элементе при действии растягивающей нагрузки

Из условия равновесия $\sum x = 0$ имеем

$$N_n - N_a - N_6 - P_{раст} = 0. \quad (23)$$

Полагая, что рассматриваемое сечение получило деформацию ε_3 , противоположную по направлению деформации предварительного напряжения ε_1 , запишем следующие выражения для напряжений:

$$\sigma_n = E_n (\varepsilon_n^0 - \varepsilon_1 + \varepsilon_3); \quad (24)$$

$$\sigma_a = -E_a (\varepsilon_1 - \varepsilon_3); \quad (25)$$

$$\sigma_6 = -[A_c (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) - B_c (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^3]. \quad (26)$$

Подставляя (24)—(26) в (23), получим уравнение

$$J_1 (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) + I_1 (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^3 = \sigma_n^0 F_n - P_{раст}, \quad (27)$$

решив которое, найдем $(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)$, а затем по формулам (24)—(26) определим напряжения в компонентах предварительно армированного сечения. Напомним, что уравнение (27) справедливо только при положительной правой части.

Если же внешняя растягивающая нагрузка $P_{\text{раст}}$ будет больше $P_{\text{раст}}^*$, то бетон в армированном сечении начнет работать на растяжение совместно с напрягаемой и ненапрягаемой арматурой, но в этом случае растяжение будет вызывать только часть внешней нагрузки, равная $P_{\text{раст}} - P_{\text{раст}}^* = P_{\text{раст}} - \sigma_n^0 F_n$.

Из условия равновесия $\sum x = 0$ (рис. 5) имеем

$$N_n + N_a + N_b - P_{\text{раст}} - \sigma_n^0 F_n = 0. \quad (28)$$

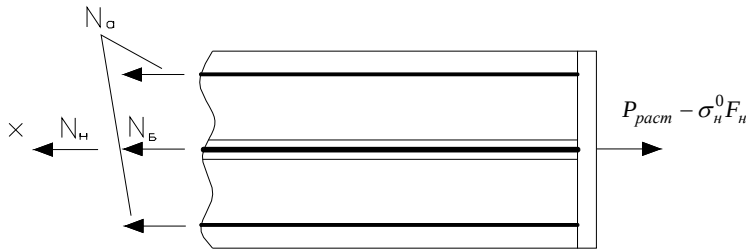


Рис. 5. Усилия в армированном сечении при действии растягивающей нагрузки, большей усилия натяжения

Полагаем, что в силу справедливости гипотезы плоских сечений деформации всех компонентов сечения равны ε , а напряжения в них имеют вид

$$\sigma_n = E_n \varepsilon; \quad (29)$$

$$\sigma_a = E_a \varepsilon; \quad (30)$$

$$\sigma_b = A_p \varepsilon - B_p \varepsilon. \quad (31)$$

Подставляя (29)—(31) в (28), получим следующее уравнение:

$$J_2 \varepsilon - I_2 \varepsilon^3 = P_{\text{раст}} - \sigma_n^0 F_n, \quad (32)$$

где

$$J_2 = E_n F_n + E_a F_a + A_p F_b; \quad (33)$$

$$I_2 = B_p F_b.$$

Если предельная растягивающая нагрузка, которую выдерживает армированное сечение, определяется предельной деформацией бетона на растяжение, то из условия $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = A_p - 3B_p \varepsilon^2 = 0$ найдем

$$\varepsilon_{\text{max}} = \sqrt{\frac{A_p}{3B_p}}. \quad (34)$$

Подставляя (34) в (32) после некоторых преобразований, получим выражение для предельной растягивающей нагрузки, при которой образуются трещины в бетоне:

$$P_{\text{раст}}^{\text{пред}} = \sigma_n^0 F_n \left(E_n F_n + E_a F_a + \frac{2}{3} A_p F_6 \right) \sqrt{\frac{A_p}{3B_p}}. \quad (35)$$

Стадия 4. Погружение предварительно напряженного армированного элемента в агрессивную среду и работа его с учетом влияния агрессивной среды.

Рассмотрим случай, когда внешняя нагрузка — сжимающая $P_{\text{сж}}$ (рис. 6).

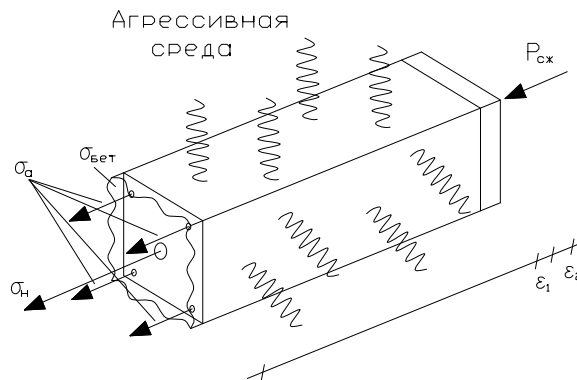


Рис. 6. Одновременное действие сжимающей нагрузки и агрессивной среды

В этом случае напряжение в произвольной точке бетонного сечения будет зависеть и от деформации сечения ϵ_2 , и от концентрации агрессивной среды в этой точке $C(y, z)$ (которая находится из решения уравнения (4) с соответствующими начальными и граничными условиями):

$$\sigma_6 = - \left[A_{\text{сж}}(C)(\epsilon_1 + \epsilon_2) - B_{\text{сж}}(C)(\epsilon_1 + \epsilon_2)^3 \right]. \quad (36)$$

Напряжение в ненапрягаемой арматуре будет определяться выражением

$$\sigma_a = -E_a (\epsilon_1 + \epsilon_2), \quad (37)$$

а площадь сечения ненапрягаемой арматуры $F_a(t)$ будет зависеть от глубины коррозионного износа стержней. Если сечение армировано K арматурными стержнями начальным диаметром d_0 , то к моменту времени t площадь $F_a(t)$ будет

$$F_a(t) = \sum_{j=1}^K \frac{\pi}{4} (d_0 - 2\delta_j)^2, \quad (38)$$

где δ_j — глубина коррозионного износа j -го стержня, определяется с использованием модели (6).

Напряжение в напрягаемой арматуре будет определяться выражением

$$\sigma_n = E_n (\epsilon_n^0 - \epsilon_1 - \epsilon_2). \quad (39)$$

Во всех выражениях (36)—(38): ε_1 — деформация армированного элемента вследствие предварительного напряжения, определяемая из (13), ε_2 — дополнительная деформация, вызванная совместным действием внешней нагрузки и агрессивной среды.

Для нахождения ε_2 составим уравнение равновесия всех сил, действующих на армированный элемент с учетом происходящих деструктирующих процессов:

$$N_n - N_a - N_b + P_{сж} = 0$$

или

$$\sigma_n F_n - \sigma_a F_a(t) - \int_{F_b} \sigma_b dF + P_{сж} = 0. \quad (40)$$

С учетом (36)—(39):

$$J_3 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + I_3 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3 = \sigma_n^0 F_n + P_{сж}, \quad (41)$$

где

$$J_3 = E_n F_n - E_a \sum_{j=1}^K \frac{\pi}{4} (d_0 - 2\delta_j)^2 - \int_{F_b} A_{сж}(C) dF, \quad (42)$$

$$I_3 = \int_{F_b} B_{сж}(C) dF.$$

Решив уравнение (41), определим $(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$, а затем по формулам (36)—(39) определим напряжения в бетоне и арматуре в заданный момент времени. Ввиду того, что коэффициент диффузии D в (4) может зависеть от напряженного состояния бетона, скорость коррозии предварительно напряженной арматуры, а также величина коррозионного растрескивания предварительно напряженной арматуры, характеризуемая параметром поврежденности Π из уравнения (7), зависят от напряженного состояния соответствующих элементов сечения, а те, в свою очередь, зависят от закона распределения концентрации агрессивной среды по сечению, поставленная задача относится к связанным задачам механики деформируемого твердого тела, для решения которой может быть применен следующий алгоритм:

1. Задание исходных данных E_n , E_a , D , $V(\delta)$, γ , $A_{сж}(C)$, $B_{сж}(C)$, $a(C)$, $b(C)$, F_n , $F_{бет}$, F_a^0 , $P_{сж}$, σ_n^0 , d_0 , K .

2. Определение напряжений в элементах сечения от предварительного напряжения. Решение уравнения $J_1 \varepsilon_1 + I_1 \varepsilon_1^3 = \sigma_n^0 F_n$ и нахождение $\sigma_n = \sigma_n^0 - E_n \varepsilon_1$; $\sigma_a = -E_a \varepsilon_1$; $\sigma_b = -[A_{сж}^0 \varepsilon_1 - B_{сж}^0 \varepsilon_1^3]$.

3. Определение напряжений от совместного действия предварительного напряжения и нагрузки. Решение уравнения

$$J_1 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + I_1 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3 = \sigma_n^0 F_n + P_{сж}$$

и нахождение напряжений

$$\sigma_n = \sigma_n^0 - E_n (\varepsilon_1 + \varepsilon_2); \quad \sigma_a = -E_a (\varepsilon_1 + \varepsilon_2);$$

$$\sigma_b = - \left[A_{сж}^0 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - B_{сж}^0 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3 \right].$$

4. Задание начальных условий: $t = 0$, $\delta_0 = 0$, $\Pi = 0$, $C(y, z) = 0$.

5. Задание шага по времени Δt , $t = t + \Delta t$.

6. Задание $D(\sigma_{бет})$ и нахождение концентрационного поля агрессивной среды $C(y, z)$ из решения уравнения диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div} [D(\sigma) \text{grad } C].$$

7. Нахождение поля механических характеристик $A_{сж}(C)$, $B_{сж}(C)$.

8. Определение глубины коррозионного износа ненапрягаемой арматуры

$$\delta_j \text{ из решения уравнения } \frac{d\delta_j}{dt} = V(\sigma_a) \exp(\gamma C).$$

9. Определение уровня коррозионного растрескивания напрягаемой арматуры Π из решения уравнения

$$\frac{d\Pi}{dt} = a(C) \left(\frac{\sigma_n}{1 - \Pi} \right)^{b(C)}.$$

10. Нахождение площади сечения ненапряженной арматуры:

$$F_a(t) = \sum_{j=1}^n \frac{\pi}{4} (d_0 - 2\delta_j)^2.$$

11. Решение уравнения

$$J_3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + I_3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3 = \sigma_n^0 F_n + P_{сж}$$

и нахождение напряжений

$$\sigma_n = \sigma_n^0 - E_n (\varepsilon_1 + \varepsilon_2); \quad \sigma_a = -E_a (\varepsilon_1 + \varepsilon_2);$$

$$\sigma_b(y, z) = - \left[A_{сж}(C)(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - B_{сж}(C)(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^3 \right].$$

12. Проверка выполнения условий прочности по ненапрягаемой арматуре $\sigma_a \leq \sigma_a^T$ и по бетону $\sigma_{бет}(y, z) \leq \sigma_{бет}^{прел}(C)$; проверка сопротивляемости коррозионному растрескиванию $\Pi < 1$.

13. Если условие выполняется, то остановка по этому условию с выдачей информации, если нет, то переход к пункту 5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Предварительно напряженный железобетон / К. В. Михайлов, Г. И. Бердичевский, Ю. С. Волков и др. М. : Стройиздат, 1983. 208 с.
2. Леонгардт Ф. Предварительно напряженный железобетон / пер. с нем. В. Н. Гаранина. М. : Стройиздат, 1983. 246 с.

3. Захаров Л. В., Колоколов Н. М., Цейтлин А. Л. Сборные неразрезные железобетонные пролетные строения мостов. М. : Транспорт, 1983. 232 с.
 4. Иосилевский Л. И. Долговечность предварительно напряженных железобетонных балочных пролетных строений мостов. М. : Транспорт, 1967. 288 с.
 5. Штильман Е. И., Березецкий В. И. Объединение балок мостов напрягаемыми стержнями. М. : Транспорт, 1968. 56 с.
 6. Голышев А. Б., Полищук В. П., Руденко И. В. Расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом фактора времени. Киев : Будивельник, 1975. 112 с.
 7. Лившиц Я. Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона. Киев : Вища школа, 1975. 280 с.
 8. Овчинников И. И., Наумова Г. А. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. 272 с.
-
1. Predvaritel'no napryazhennyy zhelezobeton / K. V. Mikhaylov, G. I. Berdichevskiy, Yu. S. Volkov i dr. M. : Stroyizdat, 1983. 208 s.
 2. Leongardt F. Predvaritel'no napryazhennyy zhelezobeton / per. s nem. V. N. Garanina. M. : Stroyizdat, 1983. 246 s.
 3. Zakharov L. V., Kolokolov N. M., Tseytlin A. L. Sbornye nerazreznye zhelezobetonnye proletnye stroeniya mostov. M. : Transport, 1983. 232 s.
 4. Iosilevskiy L. I. Dolgovechnost' predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh balochnykh proletnykh stroeniy mostov. M. : Transport, 1967. 288 s.
 5. Shtil'man E. I., Beretzetskiy V. I. Ob"edinenie balok mostov napryagaemymi sterzhnyami. M. : Transport, 1968. 56 s.
 6. Golyshev A. B., Polishchuk V. P., Rudenko I. V. Raschet zhelezobetonnykh sterzhnevyykh konstruktsiy s uchetom faktora vremeni. Kiev : Budivel'nik, 1975. 112 s.
 7. Livshits Ya. D. Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy s uchetom vliyaniya usadki i polzuchesti betona. Kiev : Vishcha shkola, 1975. 280 s.
 8. Ovchinnikov I. I., Naumova G. A. Nakoplenie povrezhdeniy v sterzhnevyykh i plastinchatykh armirovannykh konstruktsiyakh, vzaimodeystvuyushchikh s agressivnymi sredami. Volgograd : VolgGASU, 2007. 272 s.

© Овчинников И. И., Мигунов В. Н., Овчинников И. Г., 2013

Поступила в редакцию
в августе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Овчинников И. И., Мигунов В. Н., Овчинников И. Г. Учет коррозионного растрескивания арматуры при расчете предварительно напряженного армированного стержневого конструктивного элемента // Вестник Волггр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 37—47.

УДК 692:536.2

А. Г. Перехоженцев

АНАЛИЗ СП 50.13330.2012 «ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ»

Анализируется актуализированная редакция СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий» в виде свода правил СП 50.13330.2012 с таким же названием.

Ключевые слова: теплозащита зданий, комфортные условия в помещениях, наружные ограждающие конструкции, нормативные требования.

The article provides the analysis of the updated version of Construction Rules and Regulations 23-02—2003 "Thermal Protection of Buildings" in the form of a set of rules of Joint Venture 50.13330.2012 named the same.

Key words: thermal protection of buildings, comfortable indoors conditions, outside building envelopes, regulatory requirements.

С 1 июля 2013 г. введена актуализированная версия СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий» — СП 50.13330.2012 с таким же названием. Проектировщики, архитекторы и конструкторы, формирующие наружную оболочку здания, ждали этого. Надеялись, что авторы нового документа устранят все ошибки предыдущей версии и создадут более полный, методически выверенный документ.

Основными задачами, которые стоят перед специалистами (архитекторами и конструкторами), проектирующими наружную оболочку здания, должны быть:

- 1) обеспечение требуемых санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещении при нормируемых условиях эксплуатации;
- 2) обеспечение надежности, долговечности и ремонтпригодности конструкции;
- 3) энергоэффективность конструктивного решения, т. е. выполнение условия, при котором затраты на получение энергосберегающего эффекта должны быть меньше затрат на получение энергии.

Решение этих задач обеспечивается обоснованным выбором конструктивного решения ограждения с учетом энергосбережения. Почему на первом месте стоит обеспечение требуемых санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещении, а не удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию и не требование «нулевого потребления энергии»? Это объясняется логикой необходимости энергопотребления. Так, например, к помещению с условно нулевым потреблением энергии можно отнести туристическую палатку. Однако в палатке летом жарко, а зимой холодно, т. е. не комфортно. Следовательно, все мероприятия по утеплению зданий, отоплению и вентиляции выполняются лишь с одной целью — обеспечить требуемые санитарно-гигиенические и комфортные условия в помещении при реальных условиях эксплуатации.

В новом документе приоритеты расставлены несколько иначе. Основной является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, которая определяет класс энергосбережения здания. Не кажется ли странным появление этого раздела в данном нормативном документе,

когда есть СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»? Да и каким образом можно определить удельную характеристику расхода энергии на начальной стадии проектирования, если не известно, какое оборудование и какая система отопления и вентиляции будет принята в проекте? Это можно определить только на стадии завершения проекта, когда готовы все его разделы (что и приведено в примере в СП — рассмотрено готовое здание). Наружные ограждающие конструкции здания приходится проектировать и конструировать на начальном этапе проектирования при помощи поэлементного теплотехнического расчета. К сожалению, «ручной» расчет приведенного сопротивления теплопередаче неоднородных участков ограждений в данном документе неоправданно усложнен (сопротивление теплопередаче определяется через коэффициент теплопередачи). Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента конструкции по неизвестной компьютерной программе вообще непонятно для чего приведен. Необходимо было определиться с методикой представления расчетов в данном документе. Если принимаем методику компьютерного проектирования, то необходимо привести в приложении комплекс рекомендуемых компьютерных программ или единую комплексную программу, которая будет решать все задачи, представленные в данном СП. Что, кстати, уже сделано в некоторых зарубежных программных комплексах архитектурно-строительного проектирования.

Однако что же в результате введения нового СП мы получили?

Прежде всего, в п. 5.1 сформулированы следующие требования, при которых теплозащита здания будет обеспечена:

- а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);
- б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);
- в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а, б и в.

Однако по порядку. Что нового внесено в условие а — поэлементные требования, которые являются основными при определении конструкции ограждения?

Пункт 5.2 СП. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} m_p,$$

где $R_0^{\text{тр}}$ — базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ГСОП, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ (если количество суток отопительного периода разделить на год, т. е. на 365, то получим другие значения ГСОП), региона строительства и определять по табл. 3 СП; m_p — коэффициент, понижающий это базовое сопротивление теплопередаче, который будут определять в регионах. Однако значения этого коэффициента почему-то не зависят ни от климатической характеристики региона, ни от условий

эксплуатации помещения и при этом должны быть не менее: 0,63 — для стен; 0,95 — для светопрозрачных конструкций; 0,8 — для остальных ограждающих конструкций. Кто и как определил эти значения?

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

$$R_0^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где ГСОП — градусо-сутки отопительного периода, °С·сут; a , b — коэффициенты, значения которых принимают по табл. 3 (как и в прежней редакции СНиП).

Возникает вопрос: недоумение, каким образом получен коэффициент b в табл. 3 для определения базового сопротивления теплопередаче, который почему-то не зависит от условий эксплуатации здания?

Очевидно, что в уравнении (1) оба слагаемых правой части должны иметь размерность сопротивления теплопередаче, т. е. первое и второе слагаемые представляют собой сопротивления теплопередаче. Следовательно, для того чтобы первое слагаемое имело размерность сопротивления теплопередаче, коэффициент a должен иметь размерность $\text{м}^2/\text{Вт} \cdot \text{сут}$, и по своей сути он является коэффициентом энергосбережения.

Основная ошибка норм заключается в том, что второе слагаемое b по физической сути не безликий коэффициент (как его представляют в данных нормах), который не зависит от условий эксплуатации здания, а минимальное допустимое сопротивление теплопередаче при нулевом значении коэффициента a . Следовательно, b — это сопротивление теплопередаче конструкции, которое должно обеспечить минимальные санитарно-гигиенические условия.

Ошибка очевидна. Не могут приведенные в табл. 3 коэффициенты b иметь постоянные значения, не зависящие от климатических условий и от требуемых условий эксплуатации помещений. Однако таблица базовых сопротивлений без изменения перенесена из СНиП в СП. На самом деле можно говорить о каком-либо сбережении только после того как будут обеспечены минимальные требования к ограждающим конструкциям.

Из уравнения (1) следует, что требуемое сопротивление теплопередаче ограждения должно складываться из двух составляющих: сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{мин}}$, обеспечивающего минимальные санитарно-гигиенические требования, и дополнительного сопротивления теплопередаче R_0^3 , обеспечивающего заданный уровень энергосбережения и требуемый уровень комфорта в помещении, т. е.

$$R_0^{\text{тп}} = R_0^{\text{мин}} + R_0^3. \quad (2)$$

Минимальное нормативное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{мин}}$, безусловно, зависит от климатических условий района строительства и условий эксплуатации здания. Это сопротивление определяется по известной формуле (5.4) данного СП, в которой в качестве нормируемого перепада температур $\Delta t^{\text{н}}$ должна быть принята минимальная допустимая санитарная норма, т. е.

$(t_b - \tau_p)$ — разность между температурой воздуха помещения и температурой точки росы. Это позволит учитывать не только температурный, но и влажностный режим эксплуатации помещения.

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

$$R_o^{TP} = \frac{n(t_b - t_n)}{(t_b - \tau_p)\alpha_b} + k_{эн}(t_b - t_{оп})z_{оп}, \quad (3)$$

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

Для светопрозрачных конструкций остекления вместо температуры точки росы τ_p в формуле (3) принимают допустимую температуру на поверхности стекла, равную $\tau_o = 3^\circ\text{C}$, т. е. требуемое сопротивление таких конструкций определяют по формуле

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

Как видно из табл. 1, коэффициенты энергосбережения имеют достаточно высокие значения (к дискуссии о дальнейшем их повышении). Так, например, для первой группы зданий: для стен — 3,5; для чердачных перекрытий — 4,5; для покрытий — 5,0.

Таблица 1

*Нормируемые коэффициенты энергосбережения**

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

* Коэффициенты энергосбережения $k_{эн}$ соответствуют коэффициентам $a \cdot 10^4$, приведенным в табл. 3 СП 50.13330.

Эти коэффициенты и ГСОП определяют величину добавочного сопротивления теплопередаче к минимальному значению, сумма которых должна обеспечить комфортные условия.

Для обеспечения комфортных условий допустимые колебания температуры внутренней поверхности наружных непрозрачных ограждений $\tau_{\text{в}}^{\text{доп}}$ должны определяться следующим образом:

$$\tau_{\text{в}}^{\text{доп}} = t_{\text{в}} - \Delta t^{\text{н}} \pm A_{\tau}, \quad (5)$$

где $t_{\text{в}}$ — нормируемая температура внутреннего воздуха помещений; $\Delta t^{\text{н}}$ — нормируемый температурный перепад, определяемый по табл. 5 СП; A_{τ} — допустимая амплитуда колебания температуры внутренней поверхности наружного ограждения, принимаемая при центральном отоплении 1,5 °С, стационарном электротеплоаккумуляционном отоплении — 2,5 °С, печном отоплении — 3 °С.

Так, например, для первой группы зданий температура внутренней поверхности ограждения, обеспечивающая комфортные условия, в соответствии с формулой (5) будет равна $\tau_{\text{в}}^{\text{доп}} = 20 - 4,0 \pm 1,5 = 16 \pm 1,5$ °С.

В табл. 2 приведены значения температур при определении сопротивления теплопередаче по СП и предлагаемым формулам.

Таблица 2

Сравнение значений, рассчитанных по СП и по формулам (3, 4)

Город	$t_{\text{хп}},$ °С	ГСОП, °С сут	$R_{\text{о}}^{\text{тп}}$ СНиП	$R_{\text{о}}^{\text{тп}}$ (ф-ла)	$\Delta R_{\text{о}},$ %	$\tau_{\text{в}},$ °С СНиП	$\tau_{\text{в}},$ °С (ф-ла)	$R_{\text{о}}^{\text{тп}}$ окна (ф-ла)
Волгоград	–25	3952	2,78	1,936	30,3	18,1	17,3	0,438
Калининград	–19	3648	2,68	1,762	34,2	18,3	17,4	0,392
Краснодар	–19	2682	2,34	1,422	39,2	18,1	16,8	0,334
Красноярск	–40	6341	3,62	2,96	18,2	18,1	17,6	0,628
Москва	–28	4943	3,13	2,32	25,7	18,2	17,6	0,498
Ростов-на-Дону	–22	3523	2,63	1,74	3,5	18,2	17,2	0,407
Сочи	–3	979	1,74	0,55	68,4	18,5	16,4	0,189

Как видно из табл. 2, при расчете по формулам (3, 4), при сохранении требований по энергосбережению, во всех климатических районах выполняются условия комфортности ($\tau_{\text{в}}$), при этом требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен можно сократить от 18,2 % в Красноярске до 68,4 % в Сочи. Температура $\tau_{\text{в}}$, рассчитанная по СП, практически во всех климатических районах превышает комфортную, определяемую по формуле (5). При этом нормируемая по СП температура внутренней поверхности стен холодного периода года в Сочи 18,5 °С, а в Красноярске 18,1 °С?

Таким образом, расчет требуемых сопротивлений теплопередаче по формулам (3, 4) обеспечивает выполнение одновременно условий а) и в) пункта 5.1 СП.

Удельная теплозащитная характеристика здания, которая должна обеспечить комплексные теплозащитные требования, представляет собой произведение коэффициента компактности на приведенный (общий) коэффициент теплопередаче здания. Для этого показателя авторами определены нормируемые значения, приведенные в табл. 7 СП, принимаемые в зависимости от отапливаемого объема и ГСОП района строительства. Таким образом, определив удельную теплозащитную характеристику здания, мы полностью выполнили требования п. 5.1, т. е. обеспечили требования по теплозащите здания.

Однако появляется еще один показатель, совершенно новый для проектировщиков наружной оболочки здания, — это удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, в соответствии с которой определяют класс энергосбережения здания. По всей вероятности, этот раздел, зависящий от принятого инженерного оборудования здания, которым занимаются специалисты другого профиля, было бы логичнее поместить в СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Вообще, следуя методике и логике архитектурно-строительного проектирования, раздел «Энергоэффективность», включая энергетический паспорт здания, для того чтобы он соответствовал требованиям реального энергоаудита и учитывал не только теплопотери, но и другие виды энергии, например расход электроэнергии, горячей и холодной воды и т.п., необходимо выделить в отдельный документ или поместить в СП 60.13330.2012.

Раздел «Воздухопроницаемость ограждающих конструкций» практически без существенных изменений перенесен в новый СП. Однако высокие требования по энергосбережению приводят к необходимости проектировать многослойные ограждающие конструкции с эффективными, но воздухопроницаемыми утеплителями. Поэтому, если и конструктивная часть стены имеет низкое сопротивление инфильтрации (например, многослойная кирпичная стена), то очень часто происходит промерзание нижней части стены вследствие инфильтрации холодного воздуха при отрицательных температурах. В этом случае необходимо контролировать понижение температуры в конструкции за счет инфильтрации холодного воздуха. К сожалению, СП не дает по этому никаких рекомендаций.

Для многослойных конструкций с воздухопроницаемыми наружными слоями (например, с сопротивлением воздухопроницанию менее $20 \text{ м}^2 \text{чПа/кг}$) необходимо произвести расчет распределения температуры с учетом инфильтрации холодного воздуха, например, по формуле, предложенной в [1]:

$$\tau_i = \frac{t_b - (R_b + \Sigma R_i)[(t_b - t_n) / R_o - c W_{n-i} \tau_n]}{1 + c W_{n-i} (R_b + \Sigma R_i)}, \quad (6)$$

где R_b — сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения; ΣR_i — сумма термических сопротивлений слоев конструкции от внутренней поверхности до слоя i ; W_{n-i} — удельный расход воздуха, инфильтрующегося через часть ограждения от наружной поверхности до сечения i , определяемый по формуле

$$W_{n-i} = \Delta p / \Sigma R_{inf(n-i)}, \quad (7)$$

где $\Sigma R_{inf(n-i)}$ — сумма сопротивлений воздухопроницанию слоев части ограждения от наружной поверхности до сечения i .

Продолжая разговор о тепловом режиме конструкций и создании комфортных условий в помещениях, необходимо остановиться на расчете ограждающих конструкций на теплоустойчивость в теплый период года. Методика расчета, приведенная в новом СП, переписывается из одной редакции норм в другую без изменения. Натурные исследования, проведенные в южных регионах страны [2], где эта проблема актуальна, показывают, что в помещениях верхних этажей в домах с конструкциями совмещенных крыш, запроектированных по СНиП II-3—79*, наблюдается недопустимый перегрев воздуха.

Основная ошибка методики СНиП и СП в том, что нормируется амплитуда суточных колебаний температуры, а не температура на внутренних поверхностях наружных ограждений, от которых зависит результирующая температура воздуха в помещении. Поэтому, когда летом суточные колебания незначительны, а температура воздуха высокая, нагрев конструкций за счет солнечной радиации настолько велик, что приводит к перегреву внутренних поверхностей конструкций и, соответственно, к недопустимым по санитарным нормам температурам воздуха в помещении.

Комфортной считается температура внутренней поверхности ограждения, если она не превышает температуру воздуха помещения в теплый период года более чем на 2,5 °С. Поэтому в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше температура внутренней поверхности ограждающих конструкций исходя из комфортных условий для теплого периода года $t_{в}^л$, °С, зданий жилых, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов не должна быть более допустимой, определяемой по формуле

$$\tau_{в}^{тп} = t_{в}^л + [2,5 - 0,1(t_{н}^л - 21)], \quad (8)$$

где $t_{в}^л$ — расчетная температура внутреннего воздуха в теплый период года, °С, принимаемая согласно ГОСТ 30494—96.

Расчетную температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций в теплый период года, $\tau_{в}^л$, °С, следует определять по формуле

$$\tau_{в}^л = t_{в}^л + \frac{(t_{н}^{расч} - t_{в}^л)}{R_o^{тп} \alpha_{в}}, \quad (9)$$

где $t_{н}^{расч}$ — расчетная температура наружного воздуха в теплый период года, учитывающая влияние солнечной радиации, тепловую инерционность, определяется по формуле

$$t_{н}^{расч} = t_{н}^л + 0,5A_{тн} + \frac{\rho(I_{max} - I_{ср})}{a_{н}^л}, \quad (10)$$

где $t_{н}^л$ — средняя месячная температура наружного воздуха за июль.

Влияние влажностного состояния материалов наружных ограждающих конструкций на их теплопроводность приближенно учитывается показателями условий эксплуатации «А» и «Б». Поэтому основной задачей проверки

влажностного состояния конструкций является обеспечение их долговечности, которая зависит от наличия термической конденсации в зоне резких колебаний температуры в холодный период года. Известно, что наличие капельно-жидкой влаги в порах материалов, находящихся в зоне резких колебаний температуры, вследствие попеременного замерзания и оттаивания влаги в холодный период года приводит к деструкции материалов, т. е. к их разрушению. Следовательно, основной задачей расчетов влажностного состояния ограждающих конструкций является недопущение термической конденсации влаги в зоне резких колебаний температуры в холодный период года. Методика определения зоны конденсации влаги в конструкциях наружных ограждений (по распределениям температуры, максимальных и парциальных давлений водяных паров) известна и хорошо изложена К. Ф. Фокиным [3]. Так как конденсация влаги в конструкции, где температура опустилась ниже точки росы, происходит практически мгновенно, а ее перемещение занимает весьма длительный период времени, то важен не сам фактор наличия конденсации влаги где-либо в конструкции, а именно наличие термической конденсации в зоне резких колебаний температуры в период с отрицательными температурами, что будет иметь решающее значение для долговечности конструкции.

В заключение следует отметить, что актуализированная версия СНиПа 23-02—2003 (СП 50.13330.2012) «Тепловая защита зданий» не получила логичного методического строя архитектурно-строительного проектирования. Разделы, не связанные с проектированием энергоэффективной наружной оболочки здания, только загромождают документ. Двойственность требований — с одной стороны, — требования по обеспечению тепловой защиты здания, с другой стороны, — требования к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию (при неизвестной системе инженерного обеспечения), — которые определяют классы энергосбережения жилых и общественных зданий, создают некоторую неопределенность. К сожалению, в новой редакции много неточностей, необоснованных параметров (типа m) и даже ошибочных положений. Не учтены разработки ученых, работающих в этой научной области. Практически не представлены компьютерные комплексы, широко применяемые в реальном архитектурно-строительном проектировании, нет рекомендаций по их применению. Методика ручной обработки температурного поля фрагмента, представленного в СП, выглядит примитивно. Все это легко считается в программных комплексах.

Самая главная задача для архитектора, проектирующего энергоэффективную наружную оболочку здания, — обеспечение санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях как в холодный, так и в теплый период года. Можно еще в пять раз увеличить термическое сопротивление стен, но если будет не комфортно, то... откроют окна, включат кондиционеры и т. д., что вообще-то рекомендует данный СП, а именно, делать клапаны (дыры на улицу) в стенах и окнах при недостаточной кратности воздухообмена.

Хотелось бы пожелать авторам в случае редактирования данного документа (СП) исключить указанные выше недостатки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перехоженцев А. Г.* Методика расчета распределения температуры в многослойных ограждающих конструкциях зданий с учетом влияния инфильтрации холодного воздуха // Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции». М. : МГСУ, 2007.
 2. *Жуков А. Н.* Влияние климатических особенностей Волгоградской области на температурный режим совмещенных покрытий зданий // Технические науки — от теории к практике : материалы XII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2012. С. 67—70.
 3. *Фокин К. Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
-
1. *Perekhozhtsev A. G.* Metodika rascheta raspredeleniya temperatury v mnogoslownykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy s uchetoм vliyaniya infil'tratsii kholodnogo vozdukha // Materialy 2-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Teoreticheskie osnovy teplosnabzheniya i ventilyatsii». M. : MGSU, 2007.
 2. *Zhukov A. N.* Vliyaniye klimaticheskikh osobennostey Volgogradskoy oblasti na temperaturnyy rezhim sovmeshchennykh pokrytiy zdaniy // Tekhnicheskie nauki — ot teorii k praktike : materialy XII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Novosibirsk, 2012. S. 67—70.
 3. *Fokin K. F.* Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy / pod red. Yu. A. Tabunshchikova, V. G. Gagarina. M. : AVOK-PRESS, 2006. 256 s.

© *Перехоженцев А. Г.*, 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Перехоженцев А. Г. Анализ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 48—56.

УДК 624.01.05.23.01

А. И. Складнев, Г. Н. Попова**ОПТИМАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ДВУТАВРА
ПРИ РАЗВИТИИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ
ПРОДОЛЬНОЙ СИЛЫ И ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА**

Рассматривается задача подбора симметричного двутаврового сечения при развитии пластических деформаций и совместном действии продольной силы и изгибающего момента. Предложена методика определения оптимальных размеров поперечного сечения, которая может быть использована в процессе реального проектирования стальных конструкций.

К л ю ч е в ы е с л о в а: симметричное двутавровое сечение, задача оптимального проектирования, продольная сила, изгибающий момент, пластические деформации.

The authors consider the problem of selection of a symmetric I-section under plastic deformation and joint effect of longitudinal force and bending moment. Proposed is the method of determination of optimal cross-sectional dimensions that can be used in the actual designing of steel structures.

Key words: symmetric I-section, problem of optimal design, longitudinal force, bending moment, plastic deformation.

При проектировании металлических конструкций колонны, стойки, элементы различных стержневых конструкций, каркасов зданий и т. д. испытывают действие продольных сил (N) и изгибающих моментов (M). Часто сечения таких элементов принимаются в виде двутавров, в которых по действующим нормам проектирования [СНиП II-23—81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Госстрой СССР. М.: ЦИТП, 1991. С. 96.] могут при определенных условиях допускаться пластические деформации.

Усилия в стержнях определяются методами строительной механики, по которым определяются размеры сечения. Процедура подбора сечения включает, как правило, несколько попыток, причем соотношения размеров сечения назначаются в значительной степени произвольно, а, следовательно, не наилучшим образом.

В данной работе предложен метод прямого решения задачи подбора симметричного двутаврового сечения, при этом соотношения основных размеров получаются оптимальными — они соответствуют условию прочности сечения при заданных N и M и развитии пластических деформаций и в то же время обеспечивают нормальную площадь поперечного сечения.

Для решения задачи оптимального проектирования приняты упрощения, традиционные в теории сортамента и нормах проектирования: расстояние между центрами тяжести полков равно высоте сечения (h); пластическая стадия работы стали описывается диаграммой Прандтля.

Эпюры напряжений, соответствующие предельному состоянию сечения, показаны на рис. 1 и 2.

Из равенства равнодействующих сил F определим расстояние до нейтральной линии

$$c = Nh/2kA\sigma_T, \quad (1)$$

где $k = A_w/A$, A_w — площадь сечения стенки двутавра; σ_T — предел текучести стали.

Внешний изгибающий момент (M) равен моменту внутренних сил, действующих в заштрихованной части сечения (см. рис. 1, а):

$$M = A_n h \sigma_T + \frac{A_w}{R} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^2 - c^2 \right] \sigma_T, \quad (2)$$

где A_n — площадь сечения полки, откуда с учетом (1) соответствующий статистический момент определяется по формуле

$$S = \frac{Ah}{2} \left(1 - \frac{k}{2} - \frac{1}{2k} \frac{N^2}{A^2 \sigma_T^2} \right). \quad (3)$$

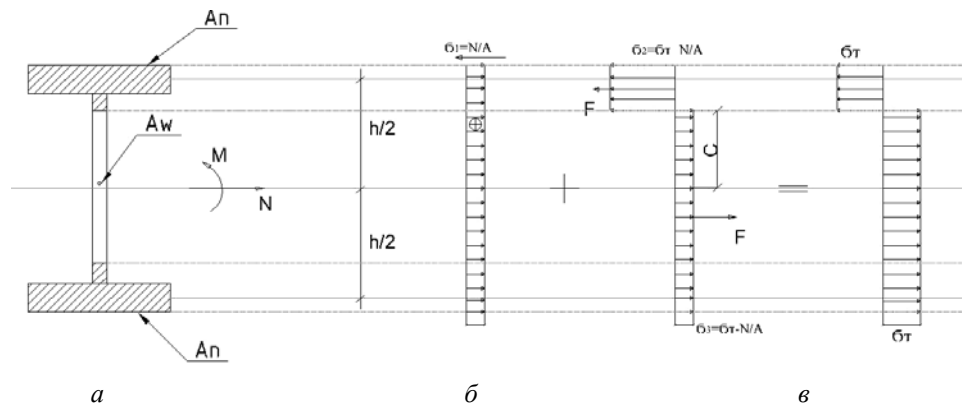


Рис. 1. Распределение нормальных напряжений в двутавре при действии N и M и развитии пластических деформаций по всему сечению при $\alpha \leq 1$

Введем коэффициент $\alpha = \frac{N}{A_w \sigma_T}$, $\alpha \in [0, 1]$, тогда

$$S = \frac{Ah}{2} \left[1 - \frac{k}{2} (1 + \alpha)^2 \right]. \quad (4)$$

Учитывая $h = \sqrt{k A \lambda_w}$, где λ_w — предельная гибкость стенки по СНиП из условия $\frac{\partial S}{\partial k} = 0$, найдем оптимальное значение k :

$$k = \frac{2}{3(1 + \alpha^2)}. \quad (5)$$

Наибольшее значение S найдем после подстановки (5) в (4)

$$S = \frac{Ah}{3} = \frac{h^3}{3k\lambda_w}, \quad (6)$$

а оптимальная высота сечения

$$h_{\text{опт}} = \sqrt[3]{3k\lambda_w S}. \quad (7)$$

Коэффициент α может быть определен из условий равновесия внешних и внутренних сил:

$$N = \alpha A_w \sigma_T; \quad (8)$$

$$M = \frac{Ah}{3} \sigma_T. \quad (9)$$

Значения коэффициента α в зависимости от исходных данных (M , N , λ_w , σ_T) можно найти из табл. 1.

Таблица 1

$\frac{M^2 \sigma_T}{N^3 \lambda_w}$	255,0	148,8	77,4	53,8	33,8	11,0	5,25	3,12	2,14	1,62	1,31	1,12	1,00
α	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

При $\alpha < 0,1$ с достаточной для практических задач точностью можно принимать $\alpha = 0$ погрешность при определении k будет составлять менее 1 %.

Если $\frac{M^2 \sigma_T}{N^3 \lambda_w} < 1$, то в этом случае при восприятии продольной силы в оптимальном сечении симметричного двутавра участвует часть сечения полки (A_1) (рис. 2). Обозначая $\beta = \frac{A_1}{A_n}$, найдем условия равновесия внешних и внутренних сил

$$M = \frac{Ah}{2} (1-k) \beta \sigma_T, \quad (10)$$

$$N = A[k + (1-k)(1-\beta)] \sigma_T. \quad (11)$$

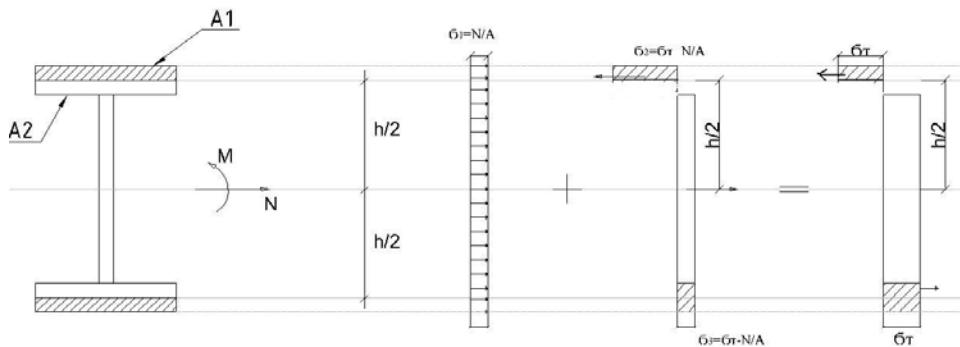


Рис. 2. Распределение нормальных напряжений в двутавре при действии N и M и развитии пластических деформаций по всему сечению при $\alpha \geq 1$

Нетрудно увидеть, что наибольшее значение изгибающего момента (M) для $A = \text{const}$ достигается при $k = 1/3$, тогда

$$h = \sqrt[3]{\frac{S\lambda_w}{\beta}}. \quad (12)$$

Коэффициент β определяется из совместного решения уравнений (10) и (11) или из табл. 2.

Таблица 2

$\frac{M^2\sigma_T}{N^3\lambda_w}$	β	$\frac{M^2\sigma_T}{N^3\lambda_w}$	β	$\frac{M^2\sigma_T}{N^3\lambda_w}$	β
1	1,0	0,06	0,596	0,002	0,190
0,8	0,972	0,04	0,536	0,001	0,142
0,6	0,934	0,02	0,438	0,0008	0,128
0,4	0,878	0,01	0,349	0,0006	0,113
0,2	0,777	0,008	0,323	0,0004	0,094
0,1	0,673	0,006	0,291	0,0002	0,067
0,08	0,639	0,004	0,250	0,0001	0,049

При $\beta = 0$ отсутствует изгибающий момент, поэтому по условию (11) $N = A\sigma_T$, размеры сечения, в частности h , по условию (12).

Конкретизируем алгоритм подбора оптимального сечения двутавра. Исходными данными для подбора сечения являются M , N , σ_T , λ_w . Гибкость стенки в конкретных случаях определяется по [СНиП II-23—81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Госстрой СССР. М.: ЦИТП, 1991. С. 96.], п. 7.14.

Если $\frac{M^2\sigma_T}{N^3\lambda_w} > 1,0$, то вначале определяем α (численно или по табл. 1), затем находим k по формуле (5), далее $S = \frac{M}{\sigma_T}$ и $h_{\text{опт}}$ по формуле (7), далее

$$A_w = kA; \quad A_n = \frac{A}{2(1-k)}.$$

Если $\frac{M^2\sigma_T}{N^3\lambda_w} < 1,0$, то определяем β по табл. 2 или численно, затем $S = \frac{M}{\sigma_T}$

$$\text{и } h_{\text{опт}} \text{ по формуле (12), далее } A_w = \frac{A}{3}; \quad A_n = \frac{A}{2(1-k)}.$$

В соответствии с предложенным алгоритмом составлена программа оптимизации сечения и для $\lambda_w = 50$ и $\sigma_T = 2000$ кг/см². Результаты приведены в графической форме на рис. 3.

Анализ результатов расчета, в том числе по рис. 3, позволяет сделать следующие выводы:

1. Наличие в сечении двутавра продольной силы приводит к перераспределению материала в сечении по отношению к случаю действия только изгибающего момента, в том числе:

оптимальное соотношение площади сечения стенки ко всей площади сечения двутавра изменяется от 2/3 (при действии чистого изгиба) до 1/3 (при действии продольной силы $N \geq \sigma_T A_w$);

площадь поперечного сечения двутавра возрастает с увеличением силы N по закону, близкому к линейному, однако с увеличением изгибающего момента линейная зависимость проявляется в меньшей степени;

оптимальная высота сечения и толщина стенки возрастает при увеличении продольной силы.

2. Предложенная методика определения оптимальных размеров поперечного сечения может быть использована в процессе проектирования стальных конструкций, что приведет к экономии стали.

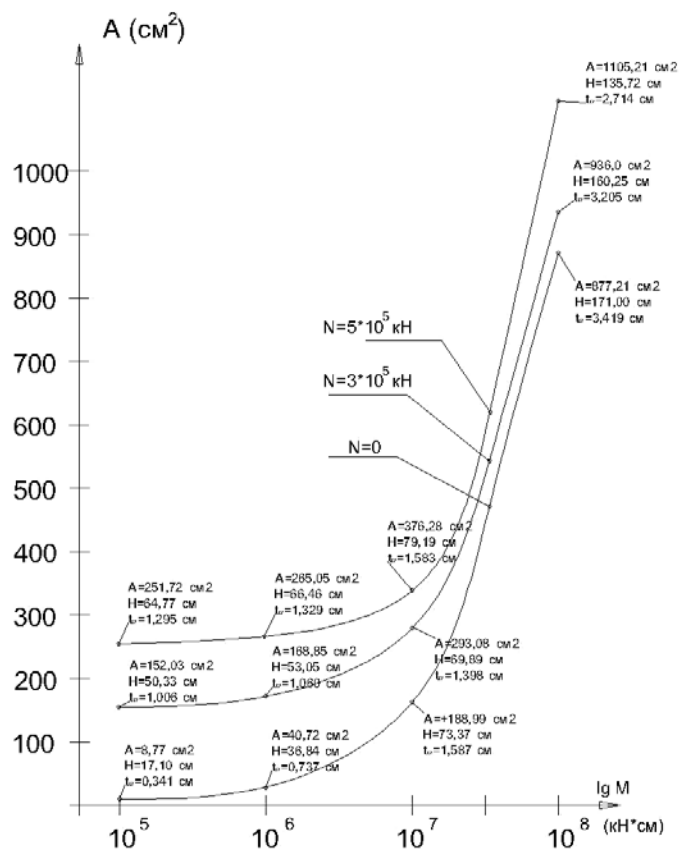


Рис. 3. Результаты определения оптимальных размеров внецентренно нагруженного двутавра при $\lambda_w = 50$ и $\sigma_T = 200$ МПа

© Складнев А. И., Попова Г. Н., 2013

Поступила в редакцию
в августе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Складнев А. И., Попова Г. Н. Оптимальное сечение симметричного двутавра при развитии пластических деформаций и совместном действии продольной силы и изгибающего момента // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 57—61.

УДК 624.1

И. Н. Чиж

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ В ЗОНЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ СОСЕДНИХ ФУНДАМЕНТОВ

Представлены результаты маломасштабных лотковых и численных экспериментов по исследованию влияния нового строительства на существующую застройку. Описана постановка и результаты опытов в испытательной машине МФ-1 с применением тензодатчиков для измерения напряжений в грунтовом основании. Выполнено сравнение результатов исследований и предложены рекомендации для проектирования объектов в стесненных условиях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: существующее строение, возводимое здание, фундамент, шпунтовое ограждение, влияние, эксперимент, напряженно-деформированное состояние, результаты.

The article presents the results of small-scale tray and numerical experiments on research of the influence of new construction on existing buildings. The paper describes the development and the results of the experiments in testing machine MF-1 with the use of strain gauges for measuring stress in ground base. The comparison of the research results is carried out and some recommendations for the design of objects in confined spaces are performed.

Key words: existing buildings, erected building, foundation, sheeting pile, influence, experiment, stress-strain state, results.

Надежность и долговечность существующих строений, расположенных в зоне влияния нового строительства, напрямую зависят от правильного выбора параметров защитных сооружений. В последнее время возросла популярность шпунтового ограждения, позволяющего упростить строительные работы в условиях плотной городской застройки.

Автором выполнены маломасштабные лотковые испытания, позволяющие оценить эффективность разделительного шпунтового ряда как защитного сооружения существующих строений в зависимости от его геометрии [1]. Для этого на кафедре промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения (ПГС ГиФ) Южно-Российского государственного политехнического университета (г. Новочеркасск) сконструирована испытательная установка (рис. 1).

По итогам маломасштабных опытов выполнена численная проверка полученных экспериментальных данных в программном комплексе PLAXIS 8.5 на основе теории подобия лотковым условиям в рамках плоской задачи нелинейной теории упругости с применением упругопластичной модели материала основания Кулона — Мора. Расхождение значений деформаций, полученных экспериментально и численно, составило 8...10 %.

Приложениями Д и Л [СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».] регламентированы предельные основные ($S_u^{\max}$) и дополнительные ($S_{ad,u}^{\max}$) осадки существующих зданий в случае их расположения в зоне влияния нового строительства. Исходя из этого, для зданий с разной конструктивной системой можно выявить отношение $S_{ad,u}^{\max} / S_u^{\max}$, устанавливающее граничные условия для каждого случая.

В результате сопоставления экспериментальных и численных данных сделаны следующие выводы:

- 1) взаимовлияние фундаментов прекращается при $L \geq 3b$;
- 2) максимальная длина шпунта для самых стесненных условий составляет $7b$ ниже подошвы фундаментов;
- 3) наиболее эффективен шпунт, установленный у возводимого здания;
- 4) наименее эффективен шпунт, установленный у существующего здания;
- 5) при $L < 2b$ положение шпунта практически не имеет значения;
- 6) составлена таблица подбора оптимальной длины шпунта, установленного у возводимого здания, для различных расстояний между фундаментами (табл. 1).

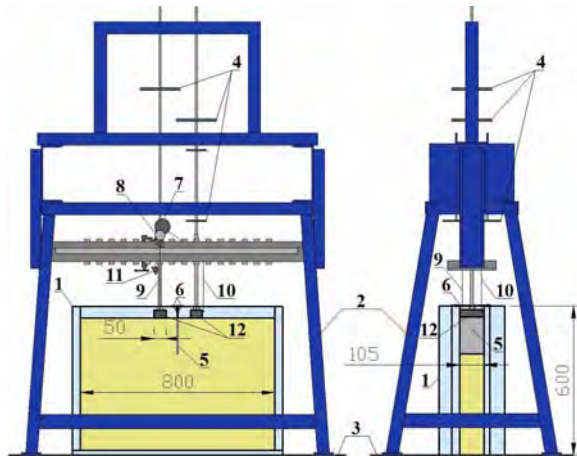


Рис. 1. Схема испытательной установки (размеры в мм): 1 — лоток; 2 — силовая рама; 3 — металлический стол; 4 — диски для плоских гирь; 5 — пластина шпунтового ряда; 6 — уголки, фиксирующие пластину шпунта; 7 — прогибомер; 8 — индикатор часового типа (ИЧТ); 9 — спица ИЧТ; 10 — металлическая струна; 11 — груз; 12 — модели фундаментов

Таблица 1

Оптимальная длина шпунта для различных условий строительства

Расстояние между фун- даментами	Гражданские и производствен- ные одноэтажные и многоэтажные здания с полным железобетонным каркасом		Многоэтажные бес- каркасные здания с несущими стенами из крупных пане- лей, блоков или кирпичной кладки без армирования		Многоэтажные бескар- касные здания с несу- щими стенами из кир- пича или бетонных блоков с арматурными или железобетонными поясами	
	Категория технического состояния зданий					
	I	II	I	II	I	II
	$S_{ad, u}^{\max} / S_u^{\max}$					
	0,50	0,30	0,33	0,25	0,28	0,19
0,5b	5b	6b	5,5b	6,5b	6b	7b
1b	3,5b	6b	5,5b	6b	6b	7b
1,5b	—	3b	3b	4,5b	3,5b	6b
2b	—	2,5b	1b	3b	2,5b	4,5b
2,5b	—	—	—	—	—	1,5b

Для изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового основания проведены экспериментальные исследования, направленные на измерение напряжений и деформаций грунтового основания под моделями фундаментов, разделенных шпунтовым рядом и без него.

Исследования проведены электротензорезистивным методом на кафедре ПГС, ГиФ ЮРГПУ на испытательной машине МФ-1 (рис. 2) [2]. В качестве информационно-измерительного оборудования используется тензометрическая система СИИТ-3 и различные датчики напряжений конструкции ЮРГПУ и НИИСК [2]. Обработка результатов выполнялась в программе «Система обработки тензометрических измерений» (СОТИ).

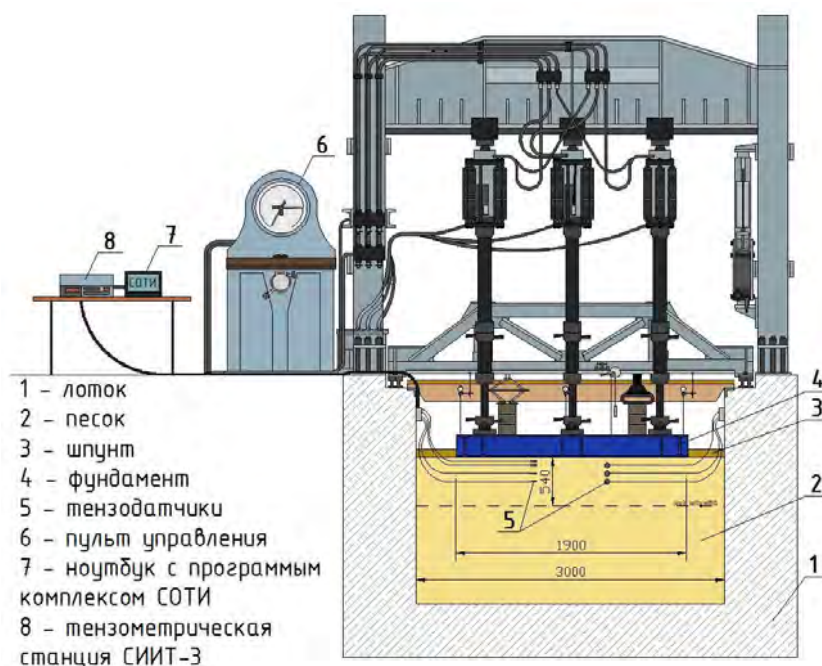


Рис. 2. Устройство испытательной машины МФ-1

Аналогично маломасштабным экспериментам испытания в МФ-1 проводились на песчаном основании (объемный вес $\gamma = 16,5 \text{ кН/м}^3$; коэффициент пористости $e = 0,519$; природная влажность $W = 2 \%$; удельное сцепление $c = 0,1 \text{ кПа}$; угол внутреннего трения $\varphi = 43^\circ$) при расстоянии между фундаментами $2b$ и глубине шпунта $3b$.

Фундаментная лента моделировалась жестким металлическим двутавром с размерами в плане $1,9 \times 0,18 \text{ м}$. Отношение ширины модели фундамента к ее длине составляет $b/l = 0,095 < 1/5 = 0,2$, что соответствует условию плоской задачи [3]. Модель шпунтового ограждения выполнена из фанеры толщиной 15 мм . Взаимовлияние фундаментов исследовалось в трех вариантах (рис. 3).

Послойная укладка песка выполнялась по 5 см плотностью $16,5 \text{ кН/м}^3$ с измерением плотности иглой-плотномером [4] в $10\text{—}15$ точках каждого слоя. Оттарированные тензометрические датчики (мездозы) измерения вертикальных и горизонтальных напряжений укладывались на глубину до $1,5b$ согласно схемам экспериментов (рис. 4).



a



б



в

Рис. 3. Постановка экспериментов в машине МФ-1: *a* — без шпунта; *б* — шпунт посередине; *в* — шпунт у возводимого здания

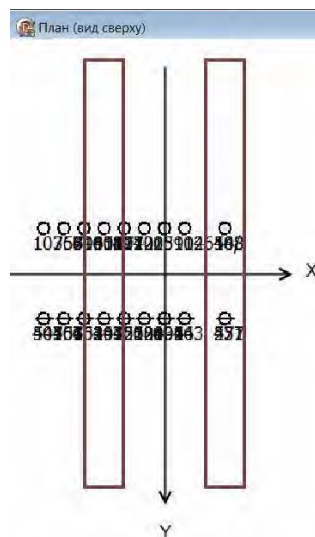
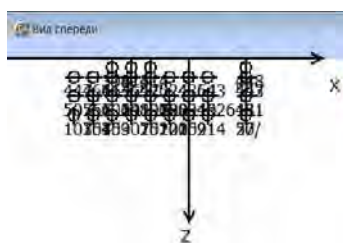


Рис. 4. Раскладка тензометрических датчиков

Нагрузка на фундаментную ленту возводимого здания подавалась тремя гидравлическими домкратами машины МФ-1 через шаровые опоры. Нагружение фундаментной ленты существующего здания осуществлялось двумя винтовыми домкратами (рис. 5).



Рис. 5. Расположение измерительных приборов, устройств и моделей: 1 — фундамент возводимого здания; 2 — фундамент существующего здания; 3, 4, 5 — индикаторы часового типа; 6 — прогибомер 6-ПАО; 7 — динамометр; 8, 9 — винтовые домкраты

Аналогично маломасштабным экспериментам нагрузка на фундаменты существующего и возводимого здания составляла 40 и 100 кПа соответственно. Нагружение выполнялось последовательно с шагом 20 кПа с выдержкой 10 минут для стабилизации осадок и последующего опроса измерительных приборов.

По итогам исследований составлена сравнительная таблица результатов вертикальных деформаций в маломасштабных экспериментах, численном моделировании и опытах в МФ-1 (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная таблица исследований

Положение шпунта	Нет шпунта			Шпунт посередине			Шпунт у возводимого здания		
Показания	$S_u^{\max}$, мм	$S_{ad,u}^{\max}$, мм	$\frac{S_{ad,u}^{\max}}{S_u^{\max}}$	$S_u^{\max}$, мм	$S_{ad,u}^{\max}$, мм	$\frac{S_{ad,u}^{\max}}{S_u^{\max}}$	$S_u^{\max}$, мм	$S_{ad,u}^{\max}$, мм	$\frac{S_{ad,u}^{\max}}{S_u^{\max}}$
Маломасштабный эксперимент	3,90	1,36	0,35	4,11	1,07	0,26	—		
Расчет в PLAXIS	5,08	1,77	0,35	5,11	1,40	0,27	5,14	1,20	0,23
Эксперимент в МФ-1	3,00	1,05	0,35	3,02	0,78	0,26	3,05	0,67	0,22

Во всех трех случаях прослеживается закономерная зависимость дополнительных осадок существующего здания от основных ($S_{ad,u}^{\max} / S_u^{\max}$). Таким образом, результаты экспериментов в МФ-1 подтвердили достоверность ранее сделанных выводов и адекватность таблицы подбора оптимальных параметров шпунтового ограждения (см. табл. 1).

На рис. 6 представлены изолинии вертикальных и горизонтальных напряжений, построенные в программе СОТИ по итогам экспериментов в МФ-1, характеризующие НДС грунтового основания под фундаментами.

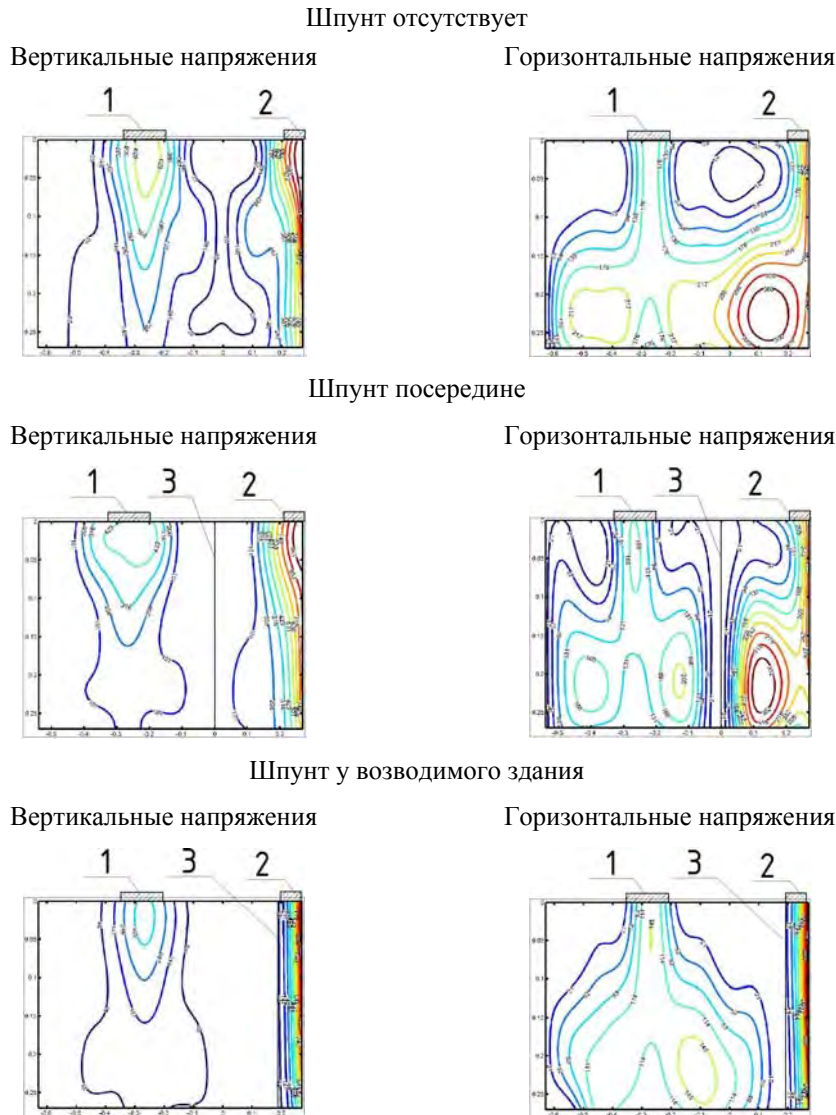


Рис. 6. Изолинии нормальных вертикальных и горизонтальных напряжений в основании моделей фундаментов: 1 — фундамент существующего здания; 2 — фундамент возводимого здания; 3 — шпунтовый ряд

Анализ значений напряжений грунтового основания под существующим зданием в зоне влияния нового строительства показал, что шпунт, установленный посередине между фундаментами, уменьшает вертикальные напряжения на 37 %, горизонтальные на 16 %; для шпунта, установленного вплотную к возводимому зданию, на 46 и 30 % соответственно. Это подтверждает защитную роль шпунтового ограждения при правильно подобранной длине (см. табл. 1). Очевидно, что устройство шпунта у возводимого здания позволяет полностью отрезать основание под фундаментом существующего здания от дополнительного влияния нового строительства и является наиболее эффективной мерой защиты, о чем также свидетельствует характер распределения изолиний напряжений (рис. 6).

Таким образом, при проектировании объектов в стесненных условиях автором рекомендована таблица подбора оптимальной длины шпунта ниже подошвы фундаментов для различных конструктивных систем существующих строений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чиж И. Н., Скибин Г. М. Экспериментальное моделирование взаимодействия соседних фундаментов, разделенных шпунтовым ограждением // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2013. № 4. С. 54—58.
2. Мурзенко Ю. Н. Основные принципы моделирования совместной работы фундаментов и песчаного основания // Экспериментальные исследования инженерных сооружений : материалы ко II симпозиуму. Новочеркасск, 1969. С. 85—93.
3. Куликов К. К. Экспериментальные исследования совместной работы плотного песчаного основания и сборных ленточных фундаментов : дис... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1969. 203 с.
4. Мурзенко Ю. Н., Борликов Г. М., Дюмин А. А. Игла-плотномер для измерения плотности песчаного грунта : тез. докл. XVI науч. конф. НПИ. Новочеркасск, 1965. С. 84—85.
1. Chizh I. N., Skibin G. M. Eksperimental'noe modelirovanie vzaimodeystviya sosednikh fundamentov, razdelennykh shpuntovym ograzhdeniem // Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki. 2013. № 4. S. 54—58.
2. Murzenko Yu. N. Osnovnye printsipy modelirovaniya sovmestnoy raboty fundamentov i peschanogo osnovaniya // Eksperimental'nye issledovaniya inzhenernykh sooruzheniy : materialy ko II simpoziumu. Novocherkassk, 1969. S. 85—93.
3. Kulikov K. K. Eksperimental'nye issledovaniya sovmestnoy raboty plotnogo peschanogo osnovaniya i sbornykh lentochnykh fundamentov : dis... kand. tekhn. nauk. Novocherkassk, 1969. 203 s.
4. Murzenko Yu. N., Borlikov G. M., Dyumin A. A. Igla-plotnomer dlya izmereniya plotnosti peschanogo grunta : tez. dokl. XVI nauch. konf. NPI. Novocherkassk, 1965. S. 84—85.

© Чиж И. Н., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Чиж И. Н. Оценка напряженно-деформированного состояния основания в зоне взаимовлияния соседних фундаментов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 62—68.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 674.048

И. А. Котлярова, И. В. Котенева

ВЛИЯНИЕ МОНОЭТАНОЛАМИН(N→B)ТРИГИДРОКСИБОРАТА НА БИОСТОЙКОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

Изучена биостойкость нативной и модифицированной древесины сосны в условиях умеренного и морского тропического климатов. Установлено, что модификация древесины сосны 50%-м водным раствором моноэтаноламин(N→B)тригидроксидбората обеспечивает 100 % грибоустойчивость древесному материалу по отношению к плесневым и дереворазрушающим грибам на длительный срок.

К л ю ч е в ы е с л о в а: антисептик, биокоррозия, биостойкость, боразотные соединения, долговечность, древесина, микодеструктор, моноэтаноламин(N→B)тригидроксидборат, модификация.

Bioproofness of the native and modified pine wood under the conditions of moderate and marine tropical climates is studied. It is established that modification of pine wood by the 50 % water solution of monoethanolamine(N →B)trihydrateborate provides 100 % hydropersistence of wood material in relation to moldy and wood-destroying fungus for a long term.

Key words: antiseptics, biocorrosion, bioproofness, boron-nitrogen compounds, durability, wood, micro-destructor, monoethanolamine(N→B)trihydroksiborate, modification.

В настоящее время интерес к древесине как строительному материалу очень высок. Конкурентоспособность древесины с бетоном и металлом определяется ее способностью к воспроизводству, широким распространением, легкостью добычи и обработки, относительно невысокой ценой, замечательными строительными свойствами: высокими показателями прочности при малом объемном весе, небольшой плотностью, малой теплопроводностью. К сожалению, наряду с многочисленными достоинствами у древесины есть и существенный недостаток, значительно ограничивающий применение деревянных конструкций — низкая устойчивость по отношению к биодеструкторам, прежде всего плесневым и дереворазрушающим грибам.

В неблагоприятных условиях эксплуатации — во влажных средах, при температурных перепадах, при отсутствии вентиляции, обилии пыли и загрязнений органической природы — незащищенные деревянные конструкции поражаются микроорганизмами, метаболиты которых — органические кислоты, окислительно-восстановительные и гидролитические ферменты — оказывают разрушающее действие на древесный материал. Микодеструкторы за несколько месяцев способны уничтожить деревянные конструкции. Подсчитано, что ущерб, причиняемый зданиям и сооружениям в результате биологических разрушений, составляет многие десятки миллиардов рублей ежегодно [1].

Характерными признаками биокоррозии являются коробление древесины, ее сморщивание, снижение прочностных характеристик, увеличение водопоглощения, изменение цвета, вспучивание лакокрасочных покрытий. В результате сокращается срок эксплуатации деревянных конструкций, уменьшается межремонтный период, что приводит к перерасходу древесного сырья.

Долговечность деревянных конструкций определяется их экологическим «иммунитетом», т. е. способностью сопротивляться разрушительному воздействию со стороны биодеструкторов в течение всего периода эксплуатации. Экологический «иммунитет» древесины чаще всего достигается антисептированием, при этом антисептик должен не только препятствовать развитию плесневения, но и быть безвредным для самого материала, так как разрушение кристаллической структуры целлюлозы (опорного каркаса древесины) приводит к ускоренному старению древесного материала и снижает его микростойчивость.

Любой антисептик по своей сути не может быть абсолютно безвреден для человека и окружающей среды. Снижение экологических рисков, связанных с применением антисептиков, реализуется сочетанием высокой защищающей способности антисептика с низким расходом препарата ($100\text{--}200\text{ г/м}^2$ защищаемой поверхности), компоненты которого должны химически взаимодействовать с компонентами лигно-углеводного комплекса древесины, т. е. не вымываться при контакте с влагой и, следовательно, не попадать в окружающую среду.

Большой интерес в плане защиты древесины от биокоррозии представляет модифицирование изделий и конструкций из древесины водными растворами четырехкоординированных боразотных соединений, обладающих комплексными свойствами антисептиков-антипиренов [2]. Экспериментально доказано, что амин-бораты химически взаимодействуют с компонентами древесины с образованием гидролитически стабильных связей [3], надмолекулярная структура целлюлозы при этом не нарушается [4].

Большое влияние на развитие грибов-биодеструкторов оказывают условия, в которых находится материал или изделие (экология субстрата) [5]. В связи с этим исследовали биостойкость модифицированной и нативной древесины в условиях умеренного (лабораторные испытания) и приморского тропического климатов (натурные климатические испытания).

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали образцы древесины сосны размером $50\times50\times10$ мм, последний вдоль волокон, так как древесина этой породы дерева широко используется в различных видах строительства. Часть образцов была обработана водным раствором моноэтаноламин($\text{N}\rightarrow\text{B}$)тригидроксидбората (далее защитный состав) различной концентрации (10, 30, 50 % масс.) методом кистевого нанесения (расход препарата — 150 г/м^2), другая служила контролем.

Испытания образцов древесины на стойкость к воздействию плесневых и дереворазрушающих грибов проводились в лаборатории тропических технологий ИПЭЭ РАН по стандартной методике. В соответствии с ГОСТ 9.048—89 поверхность деревянных образцов (модифицированных и контрольных) заражали суспензией с концентрацией $1\text{--}2$ млн/мл спор грибов *Aspergillus niger* van Tieghem, *Aspergillus terreus* Thom, *Aureobasidium pul-*

lulans (de Bary) Arnaud, Paecilomyces varioti Bainier, Penicillium funiculosum Thom, Penicillium ochro-chloron Biourge, Scopulariopsis brevicaulis Bainier, Trichoderma viride Pers. Ex Fr. Дополнительно в суспензию были введены споры дереворазрушающих грибов Serpula lacrimans ВКМ F-465, Antrodia sinuosa ВКМ F-1741 и Coniophora sp. Часть образцов (модифицированных и контрольных), зараженных вышеперечисленной суспензией грибов, помещали в открытой чашке Петри в эксикатор и выдерживали в условиях, оптимальных для роста грибов: температуре 27—28 °С и влажности 98 % в течение 28 суток. Промежуточные осмотры образцов (визуально и с микроскопированием при увеличении 60^x) проводили через каждые 14 суток.

Другая часть образцов была подтверждена непрерывным натурным испытанием, проводимыми внутри микологического стенда МНИИС Дам Бай Приморского отделения Тропцентра (г. Нячанг, СРВ) на планках. Продолжительность испытаний составила 36 месяцев, периодичность осмотров — каждые три месяца.

По окончании испытаний стадию развития грибов оценивали в баллах по 6-ти бальной шкале (ГОСТ 9.048—89): «0» баллов — абсолютно чистые образцы, отсутствие проросших конидий и развития колоний (визуально и под микроскоп); «1» балл — визуально чистые образцы, под микроскопом видны лишь мелкие очаги мицелия в виде отдельных пятен, спороношение отсутствует; «2» балла — поверхностное развитие мицелия в виде многочисленных пятен, спороношение отсутствует; «3» балла — обильное разрастание мицелия по поверхности образца, начало спороношения; «4» балла — при визуальном осмотре отчетливо видно развитие грибов, покрывающих менее 25 % испытываемой поверхности; «5» баллов — глубокое поражение мицелием более 25 % испытываемой поверхности при интенсивном спороношении.

Климатические испытания образцов модифицированной древесины проводили в камере тепла и влаги Г-4 при температуре 36±2 °С и влажности 98 % в лаборатории тропических технологий ИПЭЭ РАН соответствии с ГОСТ 9.308—85, метод 6 и ГОСТ 9.054—75, метод 1, также использовались рекомендации, изложенные в [6]. Согласно указанным документам 10 дней испытаний в камере Г-4 при температуре 36±2 °С и 98 % влажности соответствуют 1 году эксплуатации в натуральных условиях умеренного климата.

Результаты исследования. Значения биостойкости образцов модифицированной и нативной древесины от концентрации модификаторов в условиях умеренного климата представлены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что немодифицированные образцы древесины покрылись грибами на 80—85 % поверхности; на них наблюдалось интенсивное развитие всех видов тест-культур грибов и спороношение. На образцах древесины, модифицированных 10%-м водным раствором защитного состава, выявлено обильное разрастание мицелия плесневых и дереворазрушающих грибов, стадия развития грибов согласно ГОСТ 9.048—89 соответствует 3 баллам. Образцы древесины, модифицированные 30%-м водным раствором модификатора, более грибостойкие, их оценка — 2 балла. Модификация древесины 50%-м водным раствором моноэтаноламин(N→В)тригидроксидобората обеспечивает 100%-ую биостойкость обработанной древесине по отношению к плесневым и дереворазрушающим грибам.

Таблица 1

Результаты оценки биостойкости древесины в условиях умеренного климата по ГОСТ 9.048—89 (лабораторные испытания)

Концентрация состава, %	Шифр образца	Внешний вид после испытаний	Балл по ГОСТ 9.048 — 89	Биостойкость, %
Модифицированная древесина				
10	1—1	разрастание мицелия по поверхности	3	50
	1—2		3	50
	1—3		3	50
30	1—1	поверхностное развитие мицелия	2	70
	1—2		2	70
	1—3		2	70
50	1—1	визуально и под микроскоп чистые	0	100
	1—2		0	100
	1—3		0	100
Контроль (немодифицированная древесина)	К—1	80—85% поверхности заросло грибами	5	0
	К—2		5	0
	К—3		5	0

Согласно проведенным климатическим испытаниям, за счет таких свойств, как атмосферостойкость и грибостойкость, долговечность защитного действия водного раствора моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидбората составляет: для 10%-го раствора — 5 лет; для 30%-го — до 10 лет; для 50%-го — не менее 20 лет.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что оптимальная концентрация водного раствора моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидбората — 50 % масс., при таком содержании активного компонента обеспечивается высший класс биостойкости, прогнозируемый на длительный срок (20 лет).

Результаты осмотра и оценки образцов древесины после 36 месяцев натурных испытаний в условиях морского тропического климата г. Нячанг, СВР представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты оценки биостойкости древесины в условиях морского тропического климата по ГОСТ 9.048—89 (натурные испытания)

№ образца	Состояние после 35 мес. экспозиции	Балл по ГОСТ 9.048—89	Биостойкость, %
Древесина, модифицированная 50%-м раствором защитного состава			
1	биообрастания	0	100
2	плесневыми грибами	0	100
3	не выявлено	0	100
Контроль (немодифицированная древесина)			
1	обрастание плесневыми грибами	5	0
2		5	0
3		5	0

Согласно заключению лаборатории Тропцентра (г. Нячанг, СРВ), существенных изменений в состоянии образцов модифицированной древесины сосны за три года испытаний не произошло. Модифицированные образцы слегка потемнели, обрастания плесневыми грибами не отмечено. Контрольные же образцы немодифицированной древесины полностью обросли плесневыми грибами.

Микоустойчивость модифицированной древесины сосны обеспечивается не только токсичным действием моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксибората по отношению к плесневым и дереворазрушающим грибам, но и упорядочиванием структуры целлюлозы в результате модификации амин-боратами [4]. Из литературы известно, что биодegradация древесины прежде всего связана с деструкцией целлюлозы, лигнин более устойчив к действию ферментативных комплексов грибов (исключение: грибы белой гнили, преимущественно поражающие древесину лиственных пород) [7]. Ферменты действуют на макромолекулы целлюлозы в случайных местах, преимущественно атакуют паракристаллические участки, вызывая набухание и расщепление некоторых ковалентных связей, при этом целлюлоза быстро переходит в растворимое состояние. Прогрессирующая деструкция целлюлозы приводит к потере массы, и, следовательно, прочности деревянных конструкций. Высокоупорядоченные участки целлюлозы малодоступны для ферментативной атаки, так как большие макромолекулы ферментов не имеют пространственной возможности глубоко проникать в структуру целлюлозы.

Заключение. В результате проведенного исследования установлено, что модификация древесины сосны 50%-м водным раствором моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксибората, обеспечивает 100 % грибостойкость древесному материалу по отношению к плесневым и дереворазрушающим грибам в условиях умеренного и тропического климатов, т. е. позволяет приостановить естественный процесс биодegradации древесины на длительный срок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скорыходов В. Д., Шестакова С. И.* Защита неметаллических строительных материалов от биокоррозии : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 2004. 204 с.
2. *Котенева И. В., Котлярова И. А., Сидоров В. И.* Комплексная защита древесины составами на основе боразотных соединений // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 56—60.
3. *Котлярова И. А., Котенева И. В., Сидоров В. И.* Модификация целлюлозы моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксиборатом // Химическая промышленность сегодня. 2011. № 12. С. 26—30.
4. *Котенева И. В., Котлярова И. А., Сидоров В. И.* Исследование структуры модифицированной целлюлозы // Лесной журнал. 2011. № 1. С. 96—100.
5. *Горленко М. В.* Некоторые биологические аспекты биодеструкции материалов и изделий // Биоповреждения в строительстве. М., 1984. С. 9—17.
6. *Карякина М. И.* Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. М. : Химия, 1988. 272 с.
7. *Древесина (химия, ультраструктура, реакции) / пер. с англ. Д. Фенгель, Г. Вегенер. М. : Лесная промышленность, 1988. 512 с.*

1. *Skorokhodov V. D., Shestakova S. I.* Zashchita nemetallicheskih stroitel'nykh materialov ot biokorrozii : ucheb. posobie. M. : Vyssh. shk., 2004. 204 s.
2. *Koteneva I. V., Kotlyarova I. A., Sidorov V. I.* Kompleksnaya zashchita drevesiny sostavami na osnove borazotnykh soedineniy // Stroitel'nye materialy. 2010. № 6. S. 56—60.

3. *Kotlyarova I. A., Koteneva I. V., Sidorov V. I.* Modifikatsiya tsellyulozy monoetanolamin(N→B)trigidroksiboratom // *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*. 2011. № 12. S. 26—30.
4. *Koteneva I. V., Kotlyarova I. A., Sidorov V. I.* Issledovanie struktury modifitsirovannoy tsellyulozy // *Lesnoy zhurnal*. 2011. № 1. S. 96—100.
5. *Gorlenko M. V.* Nekotorye biologicheskie aspekty biodestruktsii materialov i izdeliy // *Biopovrezhdeniya v stroitel'stve*. M., 1984. S. 9—17.
6. *Karyakina M. I.* Ispytanie lakokrasochnykh materialov i pokrytiy. M. : Khimiya, 1988. 272 s.
7. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsii)* / per. s angl. D. Fengel', G. Vegener. M. : Lesnaya promyshlennost', 1988. 512 s.

© *Котлярова И. А., Котенева И. В., 2013*

*Поступила в редакцию
в августе 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Котлярова И. А., Котенева И. В. Влияние моноэтаноламин(N→B)тригидроксибората на биостойкость древесины сосны // *Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит.* 2013. Вып. 34(53). С. 69—74.

УДК 691:699.86

В. Н. Соков, Д. В. Жабин, Д. Ю. Землянушов, В. Ф. Колесникова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПЕНОТЕХНОЛОГИИ МЕТОДОМ ГИДРОТЕПЛОСИЛОВОГО ПОЛЯ

Рассматривается возможность изготовления пенобетона интенсивным методом технологической обработки пеномасс, обеспечивающей направленное завершение физико-химических и структурных образований. Показана физическая роль температурных градиентов, возникающих в массе при комплексном воздействии на нее гидротеплосилового поля.

К л ю ч е в ы е с л о в а: самоуплотнение, гидротеплосиловое поле, электропрогрев, межпоровые перегородки, пенобетон, теплосиловая обработка, сольватная оболочка, контракционные поры.

The authors consider the possibility of foam concrete production by the intensive method of technological processing of foam masses. It provides the directed completion of physical and chemical and structural formations. Physical role of temperature gradients arising in the mass under the integrated effect of hydro-thermal-power field is shown.

Key words: self-packing, hydro-thermal-power field, electric heating, interpore partitions, foam concrete, thermal-power processing, solvent envelope, contraction pores.

Исследование проблем, возникающих при получении качественного пенобетона, позволило выделить среди них ключевые. Речь идет, прежде всего, о влажностной усадке пенобетона, о его низкой физико-механической прочности в сравнении с традиционными строительными материалами и автоклавными ячеистыми бетонами. Для газо- и пенобетонной массы величина пластической прочности, при которой исключается появление трещин и других дефектов на дальнейших операциях, равна 0,035—0,045 МПа [1], что достигается длительной выдержкой (8—12 ч после формования).

Перечисленные недостатки пенобетона являются существенными, но преодолимыми. На разных предприятиях находят свои методы борьбы с ними. Помимо этого, российские ученые предлагают определенные варианты решения указанных проблем. На основе теоретического анализа процессов, происходящих в ячеистых бетонах на стадии изготовления и эксплуатации, разработаны конкретные способы снижения величины усадки путем введения в состав формовочных масс специальных добавок, проникающих в их контракционные поры и тем самым снижающих усадку. Известен также метод стабилизации пеномассы во времени с целью связать рост прочности цементного камня с временной структурой пены на начальном этапе. Однако дополнительный компонент исходной смеси отрицательно сказывается на производительности предприятия и конечной стоимости продукции. Введение тонкодисперсных наполнителей и дисперсное армирование также удорожает продукцию и отрицательно сказывается на стадии приготовления пеномассы.

Для улучшения свойств пенобетона требуется новый подход к физическим процессам, происходящим на стадии формования и набора прочности. Одним из таких подходов видится задействование в структурировании пенобетона заключенным в ячейках-порах активированным воздухом, что позволит интенсивно удалять избыточную влагу не испарением, а ее принудительным отжатием путем теплосилового воздействия на вязко-пластичную систе-

му, заключенную в жестком перфорированном объеме. В этом случае определяющим становится не начальное влагосодержание массы, а оставшееся после удаления избыточной влаги [2].

Рассмотрим совмещенные термомеханические процессы при их электропрогреве, протекающие внутри пеномассы, заключенной в замкнутой перфорированной форме.

Как показывает анализ литературы, ранее ученые уже наблюдали процесс активации пеномассы данным способом. В частности, в работах Л. А. Малининой, В. В. Верстова, Л. М. Колчеданцева и др. [3, 4, 5] описано увеличение объема пенобетонной смеси под воздействием подведенной различными способами теплоты на стадии формования. В настоящей работе это явление активно используется в формировании структуры пенобетона с целью повышения свойств и характеристик конечного продукта. Авторами проведены предварительные исследования по выявлению этого эффекта. Результаты отражены в табл. в виде коэффициента расширения $h = \frac{V_i}{V_0}$.

Влияние температуры на расширение пеномассы в открытой форме

№ п/п	ρ , кг/м ³	$\tau = 3$ мин		$\tau = 5$ мин		$\tau = 10$ мин		$\tau = 15$ мин	
		t , °C	h	t , °C	h	t , °C	h	t , °C	h
1	150	28	1,07	36	1,1	48	1,13	50	1,16
2	200	34	1,08	42	1,12	49	1,16	54	1,19
3	400	36	1,06	42	1,12	51	1,18	55	1,21
4	500	36	1,05	45	1,13	53	1,21	54	1,23
5	700	39	1,03	48	1,09	54	1,16	57	1,2

В таблице приняты следующие обозначения: ρ — плотность формуемой массы; h — коэффициент расширения пеномассы, подвергающейся электропрогреву в открытой форме; V_i — объем формуемой массы в момент времени τ ; V_0 — начальный объем формуемой массы; t — температура формуемой массы в момент времени τ .

В основу наших исследований положена научная гипотеза о том, что в создании структуры теплоизоляционных материалов большую роль играют поля температур, давлений и влажности в их взаимосвязи. Этот комплекс воздействий назван профессором В. Н. Соковым гидротеплосиловым полем (ГТСП), наиболее важную роль в котором играют градиенты температур и давлений, возникающие внутри формуемой массы, под воздействием которых происходит увеличение в объеме активного ингредиента системы (воздуха). Выбор способа сообщения тепла подробно описывался в ранее опубликованных работах, например, в [6].

Как известно, начальная структура пенобетонной смеси представляет собой ячейки-поры, окруженные сольватными оболочками вяжущего (иногда с наполнителем), затворенного водой и содержащего, как правило, дополнительно субмикропоры, образованные в результате воздухововлечения. Таким образом, на макроуровне пеномассу можно охарактеризовать как трехфазную пористую систему. Для представления о механизме появления в пеномассе избыточного давления рассмотрим отдельно взятый воздушный пузырек.

Формование изделия осуществляется в среде, где относительная влажность воздуха $\varphi_{\text{ср}} < 100\%$. Давление в окружающей среде — $P_{\text{ср}}$ — атмосферное ($\sim 0,1$ МПа), складывается из парциального давления воздуха $P'_в$ и парциального давления водяных паров $P'_{\text{вп}}$, т. е.

$$P_{\text{ср}} = P'_в + P'_{\text{вп}} \approx 0,1 \text{ МПа.}$$

При приготовлении пеномассы по классической двухстадийной технологии или способом аэрации раствора вяжущего с ПАВ в аэраторах (при атмосферном давлении) значение давления внутри пузырька после укладки в форму массы (время τ_0) принимает значение $P_{\text{п}}$. Этот процесс можно проследить на $I-d$ -диаграмме (для фиксированного объема пузырька V_i), которая представлена на рис. 1.

В результате ионной проводимости включенная в электрическую цепь формуемая масса, в соответствии с законом Ома, оказывает сопротивление прохождению тока. Электрическая энергия трансформируется в тепловую, разогревая, в первую очередь, жидкую токопроводящую фазу. Минеральный компонент (твердая фаза), находясь в соприкосновении с жидкой фазой и вступая с ней в химические реакции, отбирает тепло до тех пор, пока их температура не выровняется. Кондуктивно тепло передается на третью составляющую формуемой массы — воздух внутри пузырька. При этом на скорость данного процесса оказывает значительное влияние теплоемкость и теплопроводность воздуха, которые есть функция от $\varphi_{\text{ср}}$ и размера пузырька (d). С ростом температуры газовой составляющей с границы раздела фаз (с учетом того, что φ воздуха в пузырьке ко времени τ_0 меньше 100 %) начинается испарение влаги в сторону наименьшего сопротивления — внутрь замкнутого пространства. Воздух, заключенный в пузырьке, будет ассимилировать эту влагу, пока при данных условиях не достигнет $\varphi = 100\%$ (см. рис. 1, точка B), ускоряя процесс прогрева. При этом давление паров воды в нем возрастет на величину $\Delta P'_{\text{вп}}$, а давление разогретого воздуха на величину $\Delta P'_в$ и $P_{\text{п}}$ станет больше атмосферного к какому-то времени τ_1 :

$$P_{\text{п}(\tau_1)} = P'_в + \Delta P'_в + P'_{\text{вп}} + \Delta P'_{\text{вп}} > P_{\text{ср}} > 0,1 \text{ МПа.}$$

В процессе нагрева массы давление в пузырьке воздуха еще больше возрастет вследствие роста парциального давления сухого воздуха при нагреве его на $\Delta P'_в$ и уменьшается относительная влажность φ по линии BC . Воздух в этом случае вновь приобретает способность к дальнейшей ассимиляции влаги на величину $\Delta P''_{\text{вп}}$ ко времени τ_3 (точка D).

Дальнейший нагрев ведет к большему увеличению избыточного давления, причем рост давления нагревающегося водяного пара подчиняется уравнению Клаузиуса-Клапейрона:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{L}{t\Delta V},$$

где L — удельная теплота парообразования (2260 кДж/кг); ΔV — величина изменившегося объема при нагревании.

Рост парциального давления сухого воздуха пропорционален росту температуры.

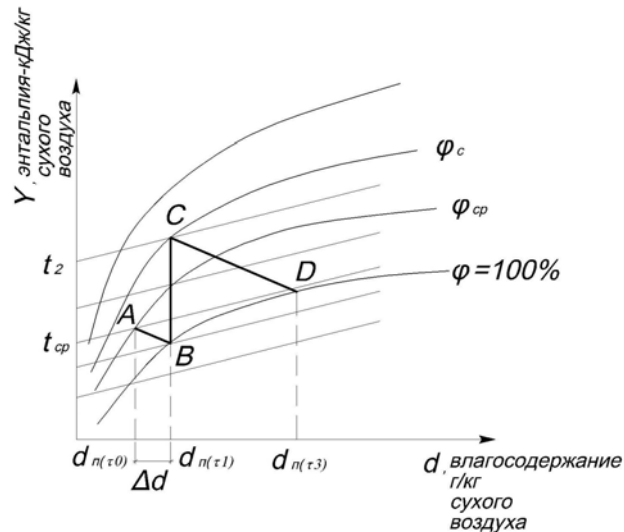


Рис. 1. Схема определения количества влаги, испаряемой в пузырек воздуха: $t_{ср}$ и $\varphi_{ср}$ — соответственно температура и относительная влажность среды, в которой образован пузырек; $d_{n(\tau_0)}$ — влагосодержание воздуха в пузырьке в момент τ_0 ; $d_{n(\tau_1)}$ и $d_{n(\tau_3)}$ — соответственно влагосодержание воздуха в пузырьке к моментам времени τ_1 и τ_3

В ходе обработки пенобетонная смесь находится в вязко-пластическом состоянии, когда структурная прочность межпоровых перегородок мала и можно полагать, что пузырек подчиняется газовым законам при воздействии на него температуры и давления [4]. При достижении определенного значения давления внутри пузырька $P_{n(t_i)}$ стенки сольватной оболочки подвергаются внутреннему силовому воздействию, что приводит к расширению пузырька. Данный процесс протекает до определенного значения P_{max} , при превышении которого происходит разрушение оболочки пузырька. P_{max} , в свою очередь, функционально подчиняется виду и характеристикам пенообразователя, толщине межпоровой перегородки (определяющим прочностные характеристики оболочки до начала набора структурной прочности вяжущего), градиенту подводимой температуры, величине подводимого напряжения, исходной влажности окружающей среды и др.:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} P_{n(t_i)} = P_{max},$$

$$P_{max} = f(d, \alpha, K, \sigma, \delta, \nabla t, \varphi_{ср}, U),$$

где d — размер ячейки в поперечнике; α — коэффициент использования пенообразователя; K — выход пор (соотношение объема пены к массе пенообразователя); σ — поверхностное натяжение жидкой фазы; δ — толщина межпоровой перегородки; ∇t — градиент подводимой температуры; U — величина подводимого вольтажа.

Вместе с этим можно утверждать, что $\lim_{d \rightarrow 0} P_{\max} = 0$. То есть мелкие суб-микропоры (до $d = 0,1$ мм), расположенные в межпоровых перегородках, разрушаются при меньшем давлении, чем поры больших размеров. Разрушаясь, они коалесцируют и объединяются в более крупные, размером в поперечнике близком к большинству пор всего образца. За счет этого достигается однородность макроструктуры и исключаются такие дефекты, как каверны и расслоение, а вследствие повышения сплошности минерального компонента возрастает прочность.

Вместе с тем соседние пузырьки одновременно аналогично модифицируются. Таким образом, встречное давление соседних ячеек-пор, оказывая давление на сольватную оболочку, сближает между собой минеральные частицы в ней, вынуждая двигаться физически связанную жидкость по каналам Плато в зону пониженного давления макрообъема (перфорированных стенок формы).

По результатам анализа литературы [7—10] было выявлено, что многогранная форма (рис. 2, б) пор предпочтительнее шарообразной (рис. 2, а), поскольку при формировании структуры, состоящей из шаров, происходит неравномерное распределение и без того малого количества цемента в объеме материала с образованием сообщающихся пор [10]. Однако структуру с шарообразными порами получить технологически проще, поскольку распределение минерального компонента в толстых, насыщенных водой стенках 2 (см. рис. 2, а) происходит более интенсивно, не нарушая структуру пены его острыми кромками (при двухстадийной технологии) и позволяет получить большую кратность (при приготовлении в один прием).

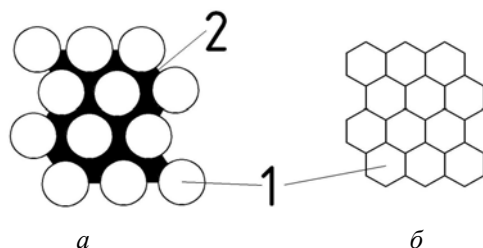


Рис. 2. Варианты форм пор в пенобетоне (проекция на плоскость): а — шарообразная с водонасыщенными межпоровыми перегородками; б — многогранная гексагональная

Дальнейшее участие этой воды в процессе схватывания и набора прочности оказывает только отрицательное воздействие: не участвующая в гидратации вяжущего физически связанная вода не позволяет получить распалубочную прочность в ранние сроки (что ведет к сокращению оборачиваемости форм), а после ее испарения контракционная пористость цементного камня в межпоровых перегородках не позволяет получить высокие показатели морозостойкости и водонепроницаемости и, как следствие, теплопроводности в естественных условиях.

В результате комплексного воздействия гидротеплосиловым полем на формуемую массу в замкнутой перфорированной форме до начала формирования кристаллов гидросиликатов, из-за увеличения объема каждой из ячеек, происходит трансформация шарообразной структуры в многогранную с од-

новременным уплотнением минерального компонента в межпоровых перегородках и удалением лишней влаги. Водоцементное отношение массы становится близким к стехиометрическому. В результате интенсификации процесса гидратации рост прочности перегородок будет сдерживать обратные объемные деформации, сохраняя упрочненную структуру матрицы, способствующую повышенным прочностным и теплофизическим характеристикам. Процесс производится в функциональной зависимости от гидратации минерального вяжущего, то есть снижая вероятность влияния агрессивных по отношению к пене факторов.

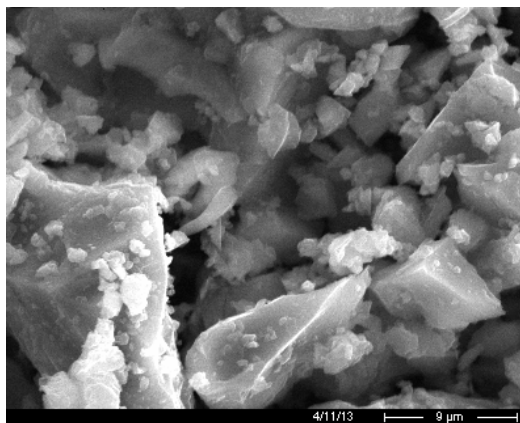


Рис. 3. Угловатая и развитая структура зерен цемента

Таким образом, можно сказать, что самоуплотнение рассматривается как фактор, обеспечивающий стабилизацию структурообразования, уменьшения степени миграции влаги, компенсации термических деформаций, а также фактор, модифицирующий структуру и способствующий образованию более прочных контактов между гидратирующими зернами цемента. Сокращенное расстояние между частицами вяжущего и повышенное давление направляет влагу не только в полости ячеек, но и внутрь развитой поверхности зерен (рис. 3), позволяя более полно пройти процессу гидратации и задействовать весь потенциал активности вяжущего. Применение данного метода позволяет создать благоприятный микроклимат внутри формируемой массы с одновременным снижением риска нарушения структуры смеси и в разы повысить интенсификационные процессы твердения бетона, что снижает энергозатраты на единицу продукции, позволяя отказаться от последующей тепловой обработки. Регулированием исходных параметров воздействия достигается эффект интерактивного управления процессом, что позволит создавать продукцию с заранее заданными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. СН 277—80. М. : Стройиздат, 1981.
2. К вопросу о создании пенобетона в гидротеплосиловом поле / В. Н. Соков, Д. В. Жабин, А. Э. Бегляров, Д. Ю. Землянушнов // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 3. С. 12—14.
3. *Малинина Л. А.* Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. М. : Стройиздат, 1977. 159 с.

4. Малодушев А. А. К вопросу о методике оценки параметров процесса поризации газобетонной смеси // Доклады 55-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ. СПб., 1998. С. 143—145.
 5. Колчеданцев Л. М. Интенсификация бетонных работ в условиях массового строительства // Бетон и железобетон. 1994. № 6. С. 18—21.
 6. Мишин В. М., Соков В. Н. Теоретические и технологические принципы создания теплоизоляционных материалов нового поколения в гидротеплосиловом поле. М. : Молодая гвардия, 2000. 352 с.
 7. Nambiar E. K., Ramamurthy K. Air-void characterisation of foam concrete // Cement and concrete research. 2007. Т. 37. № 2. С. 221—230.
 8. Kearsley E. P., Visagie M. Micro-properties of foamed concrete // Specialist techniques and materials for construction. London: Thomas Telford. 1999. С. 173—84.
 9. Neithalath N., Sumanasooriya M. S., Deo O. Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction // Materials characterization. 2010. Т. 61. № 8. С. 802—813.
 10. Кондратьев В. В., Хозин В. Г. Структурно-технологические основы получения сверхлегких пенобетонов // Строительные материалы. 2002. № 11. С. 35—36.
1. Instruksiya po izgotovleniyu izdeliy iz yacheistogo betona. SN 277—80. М. : Stroyizdat, 1981.
 2. К вопросу о создании пенобетона в гидротеплосиловом поле / В. Н. Соков, Д. В. Жабин, А. Е. Бегляр, Д. Ю. Землянушнов // Промышленное и гражданское строител'stvo. 2013. № 3. С. 12—14.
 3. Malinina L. A. Teplovlazhnostnaya obrabotka tyazhelogo betona. М. : Stroyizdat, 1977. 159 с.
 4. Malodushev A. A. К вопросу о методике оценки параметров процесса поризации газобетонной смеси // Доклады 55-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ. СПб., 1998. С. 143—145.
 5. Kolchedantsev L. M. Intensifikatsiya betonnykh rabot v usloviyakh massovogo stroitel'stva // Beton i zhelezobeton. 1994. № 6. С. 18—21.
 6. Mishin V. M., Sokov V. N. Teoreticheskie i tekhnologicheskie printsipy sozdaniya teploizolyatsionnykh materialov novogo pokoleniya v gidroteplosilovom pole. М. : Molodaya gvardiya, 2000. 352 с.
 7. Nambiar E. K., Ramamurthy K. Air-void characterisation of foam concrete // Cement and concrete research. 2007. Т. 37. № 2. С. 221—230.
 8. Kearsley E. P., Visagie M. Micro-properties of foamed concrete // Specialist techniques and materials for construction. London: Thomas Telford. 1999. С. 173—84.
 9. Neithalath N., Sumanasooriya M. S., Deo O. Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction // Materials characterization. 2010. Т. 61. № 8. С. 802—813.
 10. Kondrat'ev V. V., Khozin V. G. Strukturno-tekhnologicheskie osnovy polucheniya sverkhlegkikh penobetonov // Stroitel'nye materialy. 2002. № 11. С. 35—36.

© Соков В. Н., Жабин Д. В., Землянушнов Д. Ю., Колесникова В. Ф., 2013

Поступила в редакцию
в августе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Теоретические положения о потенциальной возможности интенсификации пенотехнологии методом гидротеплосилового поля / В. Н. Соков, Д. В. Жабин, Д. Ю. Землянушнов, В. Ф. Колесникова // Вестник Волгogr. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 75—81.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 624.074.5

А. В. Игнатьев, В. А. Игнатьев

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПЛОСКИХ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПО МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА

Излагается алгоритм геометрически нелинейного расчета стержневых систем, являющийся развитием соответствующего алгоритма для линейно-деформированных систем по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода. Приведен пример расчета.

К л ю ч е в ы е с л о в а: смешанная форма метода конечных элементов, геометрически нелинейное деформирование, стержневая система.

The algorithm of geometrically nonlinear calculation of frame systems, which is the development of the corresponding algorithm for linear deformed systems by the finite elements method in the form of mixed method, is provided. The example of calculation is proposed.

К е y w o r d s: mixed form of the finite element method, geometrically nonlinear deformation, frame system.

Учет геометрической нелинейности расширяет возможности развиваемого авторами метода конечных элементов в форме классического смешанного метода [1] для анализа гибких упругих стержневых систем, в которых до и после нагружения размеры и форма существенно различаются.

Для шарнирно-стержневых систем решение может быть получено с использованием процедуры последовательных приближений в сочетании с пошаговым догружением или без него.

Рассмотрим алгоритм расчета шарнирно-стержневых систем (ферм). Для лучшего понимания изложим его на примере упругой невесомой нити, нагруженной после предварительного напряжения системой узловых нагрузок P_i , жестко связанных с точками их приложения (рис. 1).

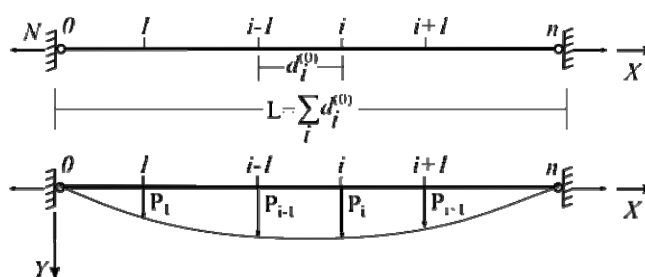


Рис. 1. Упругая невесомая нить, нагруженная после предварительного напряжения системой узловых нагрузок P_i

На рис. 2 показан фрагмент основной системы смешанного метода, включающий в себя два участка нити между узлами $i-1$, i , $i+1$, а также тот же фрагмент после загрузки, т. е. находящийся в деформированном состоянии.

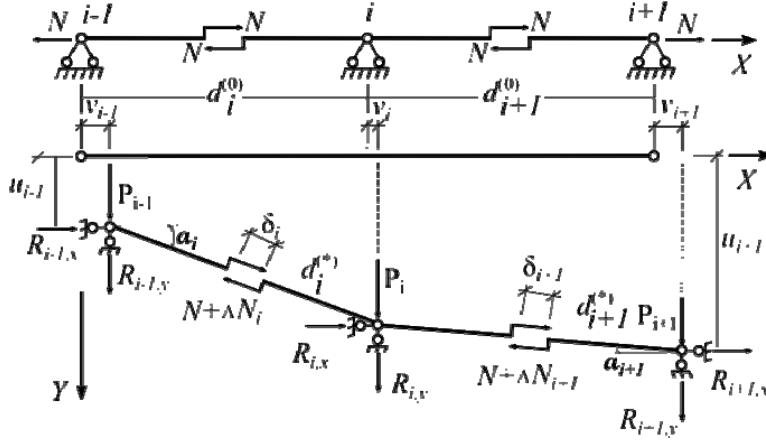


Рис. 2. Фрагмент основной системы смешанного метода

За неизвестные в основной системе конечного элемента принимаются перемещения введенных в узлы связей по направлениям осей Ox и Oy и величины дополнительных усилий от приложенных к нити узловых нагрузок.

На рис. 2 для наглядности показаны реакции во вводимых связях — R_i и продольные деформации по направлению устраненных связей в разрезе — δ_i , относительно которых составляются уравнения равновесия неразрывности деформаций.

Принимая каждый участок между узлами $i-1$, i ($i = 1, 2, \dots, n$) за конечный элемент и используя матрицу откликов для продольно нагруженного КЭ-стержня, получаемую из общей матрицы откликов как частный случай, составим систему разрешающих уравнений смешанного метода.

Ниже приведены эти уравнения для первого, типового i -го и $(n-1)$ -го узлов деформированной системы.

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{d_1}{EA_1} \tilde{q}_5^{(1)} - q_3^{(1)} \sin \alpha^{(1)} - q_4^{(1)} \cos \alpha^{(1)} = 0, \\ R_{1,y} &= (N + \tilde{q}_5^{(1)}) \sin \alpha^{(1)} - (N + \tilde{q}_5^{(2)}) \sin \alpha^{(2)} - P_1 = 0, \\ R_{1,x} &= (N + \tilde{q}_5^{(1)}) \cos \alpha^{(1)} - (N + \tilde{q}_5^{(2)}) \cos \alpha^{(2)} = 0 \end{aligned} \right\} \text{1-й узел}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_i &= \frac{d_i}{EA_i} \tilde{q}_5^{(i)} - (q_3^{(i)} - q_1^{(i)}) \sin \alpha^{(i)} - (q_4^{(i)} - q_2^{(i)}) \cos \alpha^{(i)} = 0, \\ R_{i,y} &= (N + \tilde{q}_5^{(i)}) \sin \alpha^{(i)} - (N + \tilde{q}_5^{(i+1)}) \sin \alpha^{(i+1)} - P_i = 0, \\ R_{i,x} &= (N + \tilde{q}_5^{(i)}) \cos \alpha^{(i)} - (N + \tilde{q}_5^{(i+1)}) \cos \alpha^{(i+1)} = 0 \end{aligned} \right\} i\text{-й узел}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_n &= \frac{d_n}{EA_n} \tilde{q}_5^{(n)} - q_1^{(n)} \sin \alpha^{(n)} - q_2^{(n)} \cos \alpha^{(n)} = 0, \\ R_{n-1,y} &= (N + \tilde{q}_5^{(n-1)}) \sin \alpha^{(n-1)} - (N + \tilde{q}_5^{(n)}) \sin \alpha^{(n)} - P_{n-1} = 0, \\ R_{n-1,x} &= (N + \tilde{q}_5^{(n-1)}) \cos \alpha^{(n-1)} - (N + \tilde{q}_5^{(n)}) \cos \alpha^{(n)} = 0 \end{aligned} \right\} (n-1)\text{-й}$$

Систему уравнений для всех узлов можно представить формально в виде:

$$L_1(q_1, \dots, q_m, N, P) = 0. \quad (1)$$

Зададим переменным параметрам q_i малые приращения Δq_i . В результате получим систему уравнений

$${}^*L_1((q_1 + \Delta q_1), \dots, (q_m + \Delta q_m), N, P) = L_1(q, N, P) + \Delta L_1(\Delta q, N, P) = 0. \quad (2)$$

Пренебрегая в нелинейных уравнениях:

$$\begin{aligned} {}^*\delta^{(i)} &= \delta^{(i)} + \Delta\delta^{(i)} = 0, \\ {}^*R_y^{(i)} &= R_y^{(i)} + \Delta R_y^{(i)} = 0, \\ {}^*R_x^{(i)} &= R_x^{(i)} + \Delta R_x^{(i)} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

величинами второго и третьего порядка малости, с учетом геометрии рассматриваемой системы в деформированном состоянии, получаем из (2) линейаризованную систему приближенных равенств — разрешающих уравнений относительно приращений неизвестных $\Delta q^{(i)}$:

$$\begin{aligned} \delta^{(i)} + \Delta\delta^{(i)} &= 0, \\ R_y^{(i)} + \Delta R_y^{(i)} &= 0, \\ R_x^{(i)} + \Delta R_x^{(i)} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Эта система уравнений может быть записана в матричной форме:

$$[D_1(q, N, P)] + [D_2(q, N, P)]\{\Delta q\} = 0.$$

Из нее следует:

$$\{\Delta q\} = -[D_2(q, N, P)]^{-1}[D_1(q, N, P)]. \quad (5)$$

Полагая, что вектор неизвестных $[q_1^{(1)}, q_2^{(1)}, \dots, \tilde{q}_5^{(1)}; \dots; q_1^{(i)}, q_2^{(i)}, \dots, \tilde{q}_5^{(i)}; q_1^{(n)}, q_2^{(n)}, \dots, \tilde{q}_5^{(n)}]^T$ является вектором, найденным на k -м шаге итерационного решения, можно рассматривать полученную систему уравнений (4) как систему уравнений относительно приращений неизвестных на $(k+1)$ -м шаге итераций.

Решая эту систему уравнений, находим вектор приращений неизвестных $\{\Delta q\}_{k+1}$ на $(k+1)$ -м шаге итераций.

Суммируя векторы $\{q\}_k$ и $\{\Delta q\}_{k+1}$, получим вектор $\{q\}_{k+1} = \{q\}_k + \{\Delta q\}_{k+1}$. Подставив этот вектор в систему уравнений (4), получим вектор невязки $\{R\}_{k+1}$. Если невязки превышают заданную степень точности решения, т. е. по полученному вектору $\{q\}_{k+1}$ находится вектор приращений величин неизвестных $\{\Delta q\}_{k+2}$.

Циклы итераций продолжаются до тех пор пока величина вектора невязки $\{R\}_t$ не станет меньше заданной допустимой величины погрешности.

Изложенный алгоритм является реализацией метода последовательных приближений Ньютона применительно к рассматриваемому классу задач. Если возможно задание или получение достаточно хорошего начального приближения к решению системы уравнений (2)

$${}^*L[(q + \Delta q), N, P] = 0,$$

то этот метод является эффективным.

Для нити или для системы из нитей такое начальное приближение невозможно получить на основе решения линейной задачи, так как исходное состояние такой системы является мгновенно изменяемым.

Изложенному алгоритму может быть дана классическая трактовка.

В соответствии с ней запишем (2) в следующем виде:

$${}^*L[(q + \Delta q), N, P] - L_1(q, N, P) = \Delta L_1(q, \Delta q, N, P) = 0. \quad (6)$$

Так как для всей конструкции $\{q\} = [q_1, q_2, \dots, q_m]^T$, $\{L\} = [l_1, l_2, \dots, l_m]^T$, то правая часть в (6), т. е. $\Delta L_1(q, \Delta q, N, P)$, является при $\|\Delta q\| \rightarrow 0$ первой производной от $L_1(q, N, P)$:

$$\Delta l_k(q, \Delta q, N, P) = \sum_{j=1}^m \frac{\partial l_k(q_1, q_2, \dots, q_m)}{\partial q_j} \Delta q_j + o(\|\Delta q\|). \quad (7)$$

Совокупность этих отношений можно переписать в виде (6):

$${}^*L[(q + \Delta q), N, P] = L_1(q, N, P) + L'_1(q, N, P) \Delta q + o(\|\Delta q\|), \quad (8)$$

где $L'_1(q, N, P) = \begin{bmatrix} \frac{\partial l_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial l_1}{\partial q_m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial l_m}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial l_m}{\partial q_m} \end{bmatrix}$ — матрица Якоби.

Пусть Q — решение системы уравнений (2), а $q^{(n)}$ — некоторое приближение к Q . Тогда в соответствии с (8) имеем:

$$L[Q, N, P] - L_1(q^{(n)}, N, P) - L'_1(q^{(n)}, N, P)(Q - q^{(n)}) = o(\|Q - q^{(n)}\|). \quad (9)$$

Если величина $\|Q - q^{(n)}\|$ мала, то можно написать приближенное равенство:

$$L_1(q^{(n)}, N, P) + L'_1(q^{(n)}, N, P)(Q - q^{(n)}) \approx L(Q, N, P). \quad (10)$$

Так как $L(Q, N, P) = 0$, то

$$L_1(q^{(n)}, N, P) + L'_1(q^{(n)}, N, P)(Q - q^{(n)}) \approx 0. \quad (11)$$

В качестве следующего приближения возьмем решение уравнения:

$$L_1(q^{(n)}, N, P) + L'_1(q^{(n)}, N, P)(Q - q^{(n)}) = 0. \quad (12)$$

Отсюда следует:

$$q^{(n+1)} = q^{(n)} \ominus [L'_1(q^{(n)}, N, P)]^{-1} L_1(q^{(n)}, N, P). \quad (13)$$

Рекуррентная формула (13) составляет метод Ньютона.

Если в процесс итераций матрицы L_1 и L'_1 будут браться при одном и том же, принятом за начальное приближение $q^{(0)}$, то такой прием называется модифицированным методом Ньютона.

При медленной сходимости итерационного процесса часто используется ускоряющий процесс сходимости — процедура Ньютона-Рафсона.

Пусть после получения n -го приближения получен вектор $\{q^{(n)}\}$. После подстановки его в (9) получим невязку $\{R^{(n)}\}$:

$$L(q^{(n)}, N, P) = \{R(q^{(n)})\}, \quad \{R\} = [r_1, r_2, \dots, r_m]^T. \quad (14)$$

Придав неизвестным $\{q^{(n)}\}$ малые приращения $\{\Delta q^{(n)}\}$, получим на следующей итерации вектор $\{q^{(n)} + \Delta q^{(n)}\} = \{q^{(n+1)}\}$. Подставив этот вектор снова в (9), получим вектор невязки $\{R(q + \Delta q)^{(n+1)}\}$.

По аналогии с (7) и (8) разложим эту невязку в ряд Тейлора:

$$\{R(q + \Delta q)^{(n+1)}\} = \{R(q^{(n)})\} + [R'(q^{(n)})]\{\Delta q^{(n)}\} + o(\|\Delta q^{(n)}\|^2). \quad (15)$$

Ограничившись в разложении (15) первыми двумя членами ряда и полагая, что приращение $\Delta q^{(n)}$ обращает невязку $\{R(q + \Delta q)^{(n+1)}\}$ в нуль, получаем:

$$\{R(q^{(n)})\} + [R'(q^{(n)})]\{\Delta q^{(n)}\} = 0, \quad (16)$$

где

$$R'(q^{(n)}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial r_1}{\partial q_m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial r_m}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial r_m}{\partial q_m} \end{bmatrix} \text{ — матрица Якоби.} \quad (17)$$

По аналогии с (14) получаем:

$$q^{(n+1)} = q^{(n)} - [R'(q^{(n)})]^{-1} [R_1(q^{(n)})]. \quad (18)$$

Для подтверждения корректности вышеприведенных алгоритмов рассмотрим два примера.

Пример 1 [2, 3]. Рассмотрим предварительно напряженную гибкую нить, нагруженную внешней силой посередине пролета (рис. 3).

Длина нити $L=10$ м, усилие предварительного напряжения $N = 10$ т, внешняя вертикальная нагрузка в узле 2 — 1 т, жесткость поперечного сечения нити $EA=1000$ т.

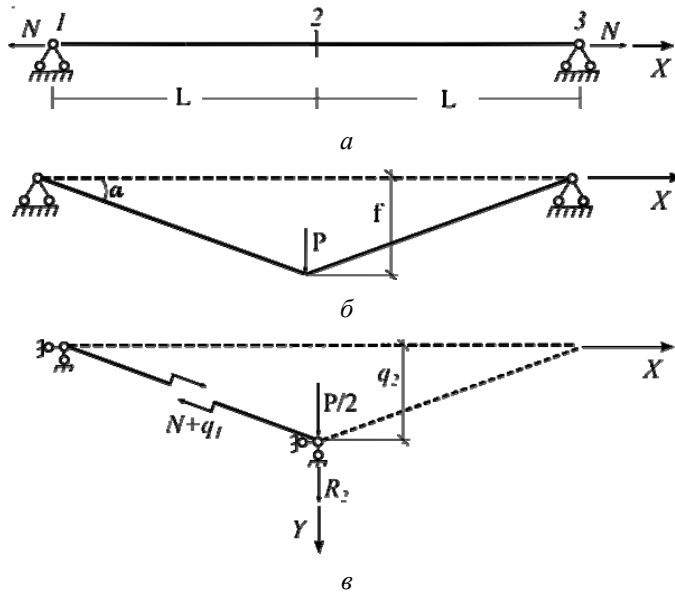


Рис. 3. Предварительно напряженная гибкая нить, нагруженная внешней силой посередине пролета

Требуется найти прогиб нити в точке приложения нагрузки f и усилие в нити $S = N_0 + \Delta N_p$.

Основная система смешанного метода для левой половины рассматриваемой симметричной системы (рис. 3, б) показана на рис. 3, в.

Принимая левую половину за один конечный элемент, получаем следующий результат:

$$\alpha = 2,43^\circ, \quad q_1 = 11,798 \text{ т}, \quad q_2 = 0,2121 \text{ м}.$$

При решении методом Ньютона-Рафсона в третьем приближении получаем

$$N = 11,029185 \text{ т}, \quad f = 0,226906 \text{ м}, \quad \alpha = 2,598^\circ.$$

Результаты всех вариантов решения приведены ниже в табл.

Метод	N , т	f , м	α°
Решение [2]	11,885129	0,206289	2,362553
МКЭ	11,798	0,2121	2,43
Ньютона-Рафсона	11,029185	0,226906	2,598

Пример 2. Рассмотрим симметричную и симметрично нагруженную нить с различной жесткостью участков (рис. 4, а).

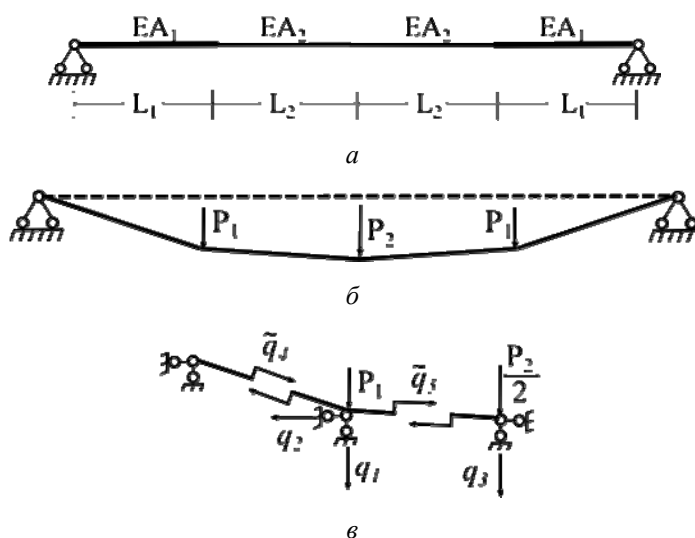


Рис. 4. Симметричная и симметрично нагруженная нить с различной жесткостью участков

Исходные данные: $EA_1 = \infty$, $EA_2 = 1000 \text{ т}$, $l_1 = l_2 = 5 \text{ м}$, $P_1 = 0,5 \text{ т}$, $P_2 = 1 \text{ т}$.

Требуется найти усилия в нити и перемещения точек приложения нагрузок.

Система в деформированном состоянии показана на рис. 4, б. Основная система смешанного метода для левой половины симметричной системы приведена на рис. 4, в.

Выполняя решение по различным вариантам алгоритмов, описанных выше, получаем одинаковые результаты:

$$q_1 = 0,402050 \text{ м}, \quad q_2 = 0,032434 \text{ м}, \quad q_3 = 0,672698 \text{ м}$$

$$q_4 = 9,32719 \text{ т}, \quad q_5 = 9,31042 \text{ т}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Игнатъев В. А., Игнатъев А. В. Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики. Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. 99 с.
2. Регач В. Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости. М. : Высш. шк., 1984. 289 с.

3. Гильман Г. Б., Любинский В. Ю. Об алгоритмических особенностях автоматизации выбора шага при расчете геометрически нелинейных систем : сб. научных трудов «Автоматизация проектирования объектов строительства». Киев : ЗНИИЭП, 1984. С. 16—22.

1. Ignat'ev V. A., Ignat'ev A. V. Smeshannaya forma metoda konechnykh elementov v zadachakh stroitel'noy mekhaniki. Volgograd : VolgASU, 2005. 99 s.

2. Regach V. G. Rukovodstvo k resheniyu zadach prikladnoy teorii uprugosti. M. : Vyssh. shk., 1984. 289 s.

3. Gil'man G. B., Lyubinskiy V. Yu. Ob algoritmicheskikh osobennostyakh avtomatizatsii vybora shaga pri raschete geometricheski nelineynykh sistem : sb. nauchnykh trudov «Avtomatizatsiya proektirovaniya ob"ektov stroitel'stva». Kiev : ZNIEP, 1984. S. 16—22.

© Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Игнатьев А. В., Игнатьев В. А. Расчет геометрически нелинейных плоских шарнирно-стержневых систем по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 82—89.

УДК 539.3:539.384.4

Х. П. Культербаев, К. А. Кармоков**ОБ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОПРОЛЕТНОГО СТЕРЖНЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ НА ГИБКИХ ОПОРАХ**

Рассматривается спектральная задача об устойчивости многопролетного стержня. Для определения собственных значений и функций предложен метод конечных разностей в сочетании с графоаналитическим методом решения характеристического уравнения. Обсуждается эффект повышения плотности собственных значений, обнаруженный для многопролетных стержней.

К л ю ч е в ы е с л о в а: устойчивость многопролетных стержней, гибкие опоры, собственные значения и функции.

The spectral problem of the stability of multispan bar is considered. To determine the eigenvalues and functions the finite difference method is proposed in conjunction with the graphical and analytical method of the solution of characteristic equation. The effect from the increase of density of eigenvalues found for multispan bars is discussed.

К е y w o r d s: stability of multispan rod, flexible bearings, eigenvalues and functions.

В нетрадиционных, но уже ставших актуальными, случаях (многопролетность, переменная жесткость, наличие упругих промежуточных опор и т. д.) решение задачи об устойчивости сжатых стержней представляет значительные сложности, так как зачастую не удается установить спектры собственных значений и функций аналитическими методами. В последнее время эта и смежные с ней проблемы усиленно изучаются [1, 2].

В классических задачах на устойчивость стержней опоры принимаются абсолютно жесткими, т. е. не допускающими каких-либо перемещений. Влияние реальной податливости опор на величину критических сил мало изучено. Библиографические сведения по этой проблеме носят справочный характер [3], имеют вид таблиц, графиков, неудобны для использования, не обладают достаточной точностью и универсальностью. Между тем, известна чувствительность значения критической силы к любым отклонениям расчетной схемы от идеальной [4]. Рассматривается продольный изгиб прямолинейного стержня переменного сечения (рис. 1), состоящего из пролетов, каждый с размерами l_j ($j = 1, 2, \dots, n$), осевыми моментами инерции поперечного сечения $J_j(x_j)$, из материала с модулем упругости E . Стержень поддерживается упругими пружинами на растяжение — сжатие с коэффициентами жесткости c_j и спиральными пружинами закручивания на левом и правом концах с коэффициентами жесткости d_1, d_2 . Источниками деформирования являются сосредоточенные осевые силы F . Необходимо определить их критические значения.

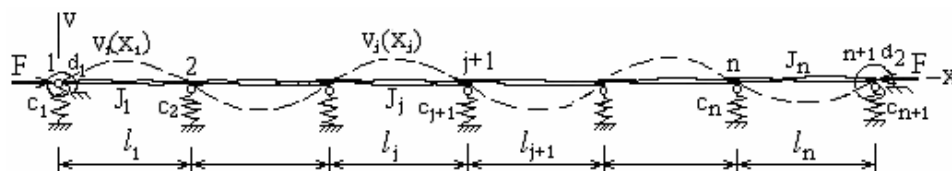


Рис. 1

Математическая постановка задачи выполняется при следующих классических гипотезах [5]:

1. Ось ненагруженного стержня идеально прямая, силы F до потери устойчивости действуют строго вдоль этой оси.
2. Силы F «мертвые», т. е. при деформированиях стержня они не изменяются по величине и направлению.
3. Изменения геометрических размеров стержня при докритических деформациях считаются пренебрежимо малыми.
4. Связь между внутренним изгибающим моментом и поперечным изгибом стержня при потере устойчивости описывается по линейной теории изгиба балок, основанной на гипотезе плоских сечений.

Изогнутая ось такой многопролетной балки в традиционных обозначениях описывается дифференциальным уравнением 4-го порядка

$$[B_j(x_j)v_j''(x_j)]'' + Fv_j'' = 0, \quad x_j \in (0, l_j), \quad B_j(x_j) = EJ_j(x_j), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Здесь и далее применены локальные координаты $x_j (j = 1, 2, \dots, n)$ с началом на левом конце участка. К уравнению (1) добавляются граничные условия на концах и условия сопряжения пролетов стержня.

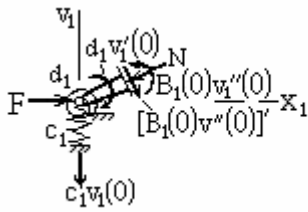


Рис. 2

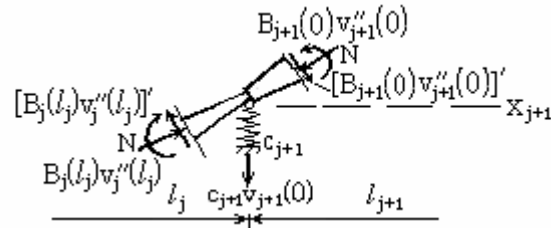


Рис. 3

Граничные условия на левом конце (рис. 2) имеют вид

$$B_1(0)v_1''(0) - d_1 v_1'(0) = 0, \quad (2)$$

$$B_1'(0)v_1''(0) + B_1(0)v_1'''(0) + Fv_1'(0) + c_1 v_1(0) = 0. \quad (3)$$

Аналогично на правом конце:

$$B_n(l_n)v_n''(l_n) + d_2 v_n'(l_n) = 0, \quad (4)$$

$$B_n'(l_n)v_n''(l_n) + B_n(l_n)v_n'''(l_n) - Fv_n'(l_n) - c_{n+1} v_n(l_n) = 0. \quad (5)$$

Рассмотрим условия сопряжения j -го и $(j+1)$ -го пролетов (рис. 3). Прогиты и углы поворота слева и справа от опорного сечения равны

$$v_j(l_j) - v_{j+1}(0) = 0, \quad v_j'(l_j) - v_{j+1}'(0) = 0. \quad (6)$$

По уравнениям равновесия получим

$$B_j(l_j)v_j''(l_j) - B_{j+1}(0)v_{j+1}''(0) = 0, \quad (7)$$

$$B_j'(l_j)v_j''(l_j) + B_j(l_j)v_j'''(l_j) - B_{j+1}'(0)v_{j+1}''(0) - B_{j+1}(0)v_{j+1}'''(0) - c_{j+1} v_{j+1}(0) = 0. \quad (8)$$

Далее задача состоит в решении спектральной задачи (1)–(8), т. е. в том, чтобы найти собственные значения и собственные функции. Отыскать точные решения задачи при данной постановке аналитическими методами не удастся. Выход состоит в применении численных методов.

Воспользуемся методом конечных разностей. При переходе от дифференциальных операторов к конечно-разностным область непрерывного изменения аргумента функции заменяется равномерной сеткой (рис. 4) с одинаковым шагом h во всех пролетах:

$$\bar{\omega}_h = \{ x_i = (i-1)h, h = l/(N_j - 1), i = 1, 2, \dots, N_j, j = 1, 2, \dots, n \},$$

функции $v(x)$ ставится в соответствие сеточная функция $y_i(x_i)$ в узлах

$$y_i(x_i) \approx v(x_i).$$

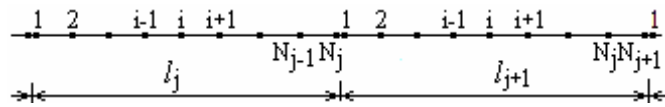


Рис. 4

Переход от дифференциальных операторов к конечно-разностным выполняется по формулам, обеспечивающим точность $O(h^2)$ [6]. Процедура метода конечных разностей и элементарные преобразования дают вместо основного уравнения (1) алгебраическую систему для каждого пролета

$$b_{i-1} y_{i-2} + \alpha_i y_{i-1} + \beta_i y_i + \gamma_i y_{i+1} + b_{i+1} y_{i+2} = 0, \quad i = 3, 4, \dots, N_j - 2, j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Здесь введены обозначения

$$b_i = B(x_i), \quad \alpha_i = -2(b_{i-1} + b_i) + Fh^2, \\ \beta_i = b_{i-1} + 4b_i + b_{i+1} - 2Fh^2, \quad \gamma_i = -2(b_i + b_{i+1}) + Fh^2.$$

Аналогичные преобразования в дополнительных условиях дают: на левом конце

$$(4b_1 + 3d_1 h)y_1 + (-10b_1 - 4d_1 h)y_2 + (8b_1 + d_1 h)y_3 - 2b_1 y_4 = 0, \quad (10)$$

$$(2s_1 - 5b_1 - 2h^3 c_1 - 3Fh^2)y_1 + (-s_1 + 18b_1 + 4Fh^2)y_2 + \\ + (4s_1 - 24b_1 - Fh^2)y_3 + (-s_1 + 14b_1)y_4 - 3b_1 y_5 = 0, s_1 = -3b_1 + 4b_2 - b_3; \quad (11)$$

на правом конце

$$3b_{N_n} y_{N_n-4} + (-s_2 - 14b_{N_n})y_{N_n-3} + (4s_2 + 24b_{N_n} - Fh^2)y_{N_n-2} + \\ + (-5s_2 - 18b_{N_n} + 4Fh^2)y_{N_n-1} + (2s_2 + 5b_{N_n} - 2h^3 c_{N_n+1} - 3Fh^2)y_{N_n} = 0, \quad (12)$$

$$s_2 = b_{N_n-2} - 4b_{N_n-1} + 3b_{N_n}.$$

$$-2b_{N_n} y_{N_n-3} + (8b_{N_n} + d_2 h)y_{N_n-2} + (-10b_{N_n} - 4d_2 h)y_{N_n-1} + \\ + (4b_{N_n} + 3d_2 h)y_{N_n} = 0. \quad (13)$$

Сопряжение пролетов над опорами $j = 2, 3, \dots, n$ (рис. 4). Заметим, что здесь отмечены две точки: N_j — слева и 1 — справа, расстояние между которыми равно нулю. Их включение в разностную сетку вызвано возможным разрывом первого рода функции жесткости стержня. Уравнения (6) в конечноразностной интерпретации приобретают вид

$$y_{n_j} - y_{n_j+1} = 0, \quad (14)$$

$$y_{n_j-2} - 4y_{n_j-1} + 3y_{n_j} + 3y_{n_j+1} - 4y_{n_j+2} + y_{n_j+3} = 0. \quad (15)$$

Вместо уравнения (7) получим

$$b_{N_j} \left(-2y_{N_j-3} + 8y_{N_j-2} - 10y_{N_j-1} + 4y_{N_j} \right) + b_1 (-4y_1 + 10y_2 - 8y_3 + 2y_4) = 0. \quad (16)$$

Уравнение (8) преобразуется к виду

$$3b_{N_j} y_{N_j-4} + (-r_1 - 14b_{N_j}) y_{N_j-3} + (4r_1 + 24b_{N_j}) y_{N_j-2} + (-5r_1 - 18b_{N_j}) y_{N_j-1} + (2r_1 + 5b_{N_j}) y_{N_j} + (-2r_2 + 5b_1 - 2h^3 c_j) y_1 + (5r_2 - 18b_1) y_2 + (-4r_2 + 24b_1) y_3 + (r_2 - 14b_1) y_4 + 3b_1 y_5 = 0. \quad (17)$$

Здесь обозначено

$$r_1 = b_{N_j-2} - 4b_{N_j-1} + 3b_{N_j}, \quad r_2 = -3b_1 + 4b_2 - b_3.$$

Уравнения (9)—(17) образуют однородную линейную алгебраическую систему

$$AY = 0, \quad (18)$$

где $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}^T$ — вектор-столбец, $N = \sum_{j=1}^n N_j$. Здесь и далее для узлов

сетки введена сквозная (глобальная) нумерация, начинающаяся с единицы на левом конце, A — квадратная матрица порядка N . Формулы для вычисления ее элементов берутся из уравнений (9)—(17).

Критические значения нагрузок равны собственным значениям матрицы A и определяются из условия существования нетривиального решения уравнения (18)

$$\det[A(F)] = 0. \quad (19)$$

Заметим, что (19) является уравнением относительно искомых критических сил. Его составление и далее решение аналитическими методами невозможно. Воспользуемся графическим методом, основанным на возможности быстрой и, как оказывается, весьма точной визуализации графика левой части уравнения (19) с помощью современных программных сред высокого уровня (MatLab и т. д.). С этой целью в координатной системе F — $\det(A)$ на экран монитора выводится соответствующая кривая, абсциссы точки пересечения которой с осью F определяют значения критических сил.

Собственные векторы могут быть найдены с помощью системы уравнений (18). Ввиду того, что определитель матрицы A равен нулю, они будут вычисляться лишь с точностью до сомножителя. Тогда в (18) можно принять, например, что $y_2 = 1$, и остальные неизвестные найти из системы уравнений

$$Q_z = f. \quad (20)$$

Здесь Q — квадратная матрица порядка $N-1$, полученная из матрицы A путем вычеркивания второго столбца и последней строки; z, f — $(N-1)$ -мерные вектор-столбцы. Первые четыре компоненты вектора f равны элементам второго столбца матрицы A с противоположными знаками, остальные компоненты — нулевые. Между компонентами векторов Y и z имеется биективное соответствие

$$\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_{N-1}, y_N\} = \{z_1, 1, z_2, \dots, z_{N-2}, z_{N-1}\}.$$

Поочередная подстановка собственных значений в формулы для вычисления элементов матрицы Q и далее решение системы уравнений (20) приведет к получению множества собственных векторов.

Пример 1. Тестирование алгоритма проведем на примере стержня постоянного сечения с абсолютно жесткими шарнирными опорами при

$$n = 1, 2, \quad d_1 = d_2 = 0, \quad l = \pi, \quad E = 1, \quad J = 1, \quad c_j = 10^{10}, \quad j = 1, 2, \dots$$

Как известно, точным решением соответствующей спектральной задачи при $n = 1$ является счетный бесконечный ряд критических сил (задача Эйлера)

$$F_k = k^2, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Многопролетные стержни имеют более сложные спектры. В частности, эффект увеличения плотности собственных значений на числовой оси, вызываемый многопролетностью стержня, замечен в некоторых работах [2].

Рассмотрим двухпролетный стержень при $n = 2$. График $F = \det(A)$, полученный по вышеизложенному алгоритму в пакете прикладных программ MatLab, представлен на рис. 5. Точками отмечены первые пять элементов спектра. Абсциссы пересечения кривой с горизонтальной осью весьма точно совпадают с точными значениями критических сил (табл. 1) однопролетных стержней с шарнирными опорами (1, 4, 9, строки 1, 3, 5), с одним защемленным и другим шарнирным концами (2,0457; 6,0467, строки 2, 4).

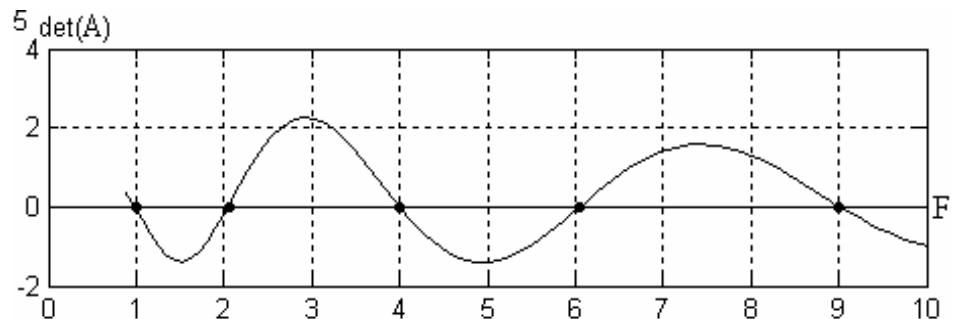


Рис. 5

Т а б л и ц а 1

№	Точные значения по Эйлеру [4]	Значения по данной работе
1	1	0,9990
2	2,0457	2,0454
3	4	4,0003
4	6,0467	6,0467
5	9	9,0000

Собственные функции представляются методом конечных разностей в виде собственных векторов матриц. Первой группе собственных значений визуально соответствуют кривые линии в виде синусоид (строки 1, 3, 5), что и стоило ожидать. Второй группе собственных значений соответствуют собственные функции однопролетного стержня с одним защемленным и другим шарнирным концами, представленные на рис. 6. Как легко увидеть, эффект защемления реализуется по оси симметрии в середине стержня.

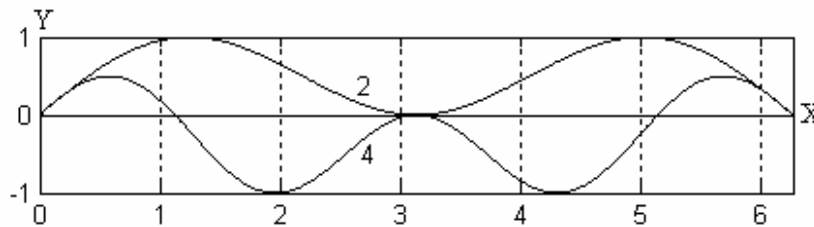


Рис. 6

При абсолютно жестких опорах увеличение количества пролетов ($n = 3, 4, \dots$), как показывают вычислительные эксперименты, каждый раз добавляет одно дополнительное собственное значение в каждом промежутке между соседствующими эйлеровыми собственными значениями, т. е. плотность критических сил на числовой оси нарастает существенно. Это явление и смежные вопросы глубоко не изучены, и, по-видимому, нуждаются в более обширных исследованиях с перспективами получения интересных теоретических результатов.

Пример 2. Стальной двухпролетный стержень круглого поперечного сечения с параметрами

$$n = 2, \quad l = 3\text{ м}, \quad E = 210\text{ ГПа}, \quad d = 4\text{ см}, \quad c_j = 10^{10} \text{ кН/м}, \quad j = 1, 3, \dots$$

на гибких опорах с коэффициентами жесткости c_1, c_2, c_3 нагружен продольной силой F .

Изучим влияние упругости средней опоры ($j = 2$) на значения первых критических сил. Их значения при росте коэффициента жесткости пружины представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№	$c_2, \text{ кН/м}$	$F_1, \text{ кН}$	$F_2, \text{ кН}$	$F_3, \text{ кН}$	$F_4, \text{ кН}$
1	0	7,2349	28,9391	65,1123	115,7532
2	10^1	18,9970	28,9386	66,7968	115,7533
3	10^2		28,9397		115,7537
4	10^3		28,9396		115,7534

Первая строка табл. 2 соответствует редукции ($c_2 = 0$) двухпролетного стержня к однопролетному шарнирно опертому классическому стержню при $l = 6$ м. Значения критической силы F_k , найденные по графикам, аналогичным кривым рис. 5, почти точно совпадают с теоретическими значениями по формуле Эйлера для однопролетной балки

$$F_k = \frac{k^2 \pi^2 E J}{l^2}, \quad k = 1, 2, 3, 4. \quad (21)$$

При этом упругие линии представляются синусоидами, имеющими k полуволн. Строки 2—4 соответствуют двухпролетной балке с упругой средней опорой. При $c_2 = 10$ кН/м (строка 2) первая критическая сила увеличивается, в то время как остальные почти не изменяются. При дальнейшем увеличении жесткости опоры (строка 3) первая и третья критические силы исчезают. Остаются только четные критические силы, которым соответствуют четные количества полуволн изогнутой оси с нулевыми отклонениями средней опоры. Упругая линия стержня постепенно трансформируется от одной полуволны синусоиды к двум полуволнам в последовательности: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ (рис. 7).

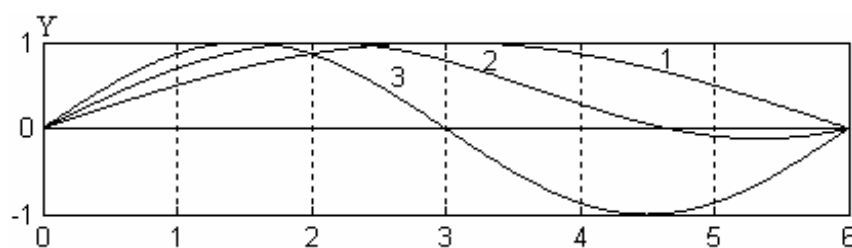


Рис. 7

Теперь рассмотрим случай $c_1 = c_2 = c_3 = c$. Результаты счета при возрастающих значениях c приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

№	c , кН/м	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	F_4 , кН	F_5 , кН
1	10^{-3}	28,50	115,75	259,98	462,98	723,28
2	10^{-1}	28,92	115,75	257,61 263,51	462,97	712,235 723,35
3	10^{10}	28,89	59,20 115,76	174,98 260,44	348,60 462,97	580,06 723,34

При малых значениях коэффициента жесткости (строка 1) реализуется решение задачи Эйлера. Значения критической силы F_k , найденные по графикам, аналогичным кривым рис. 5, почти точно совпадают с теоретическими значениями по формуле Эйлера (21). Далее рост жесткости опор приводит к появлению дополнительных критических значений (строка 2) путем ветвления значений сначала F_3 , F_5 , а затем и F_2 , F_4 . Происходят бифуркации

собственных значений, зависящие от коэффициента c . Увеличение жесткости опор ведет к повышению плотности собственных значений, обусловленному двухпролетностью стержня. При больших значениях жесткости опор критические силы стабилизируются и далее почти не изменяются (строка 3).

Пример 3. Стержень со свойствами общего характера:

$$n = 3, \quad l = \{2, 8; 3, 2; 3\} \text{ м}, \quad c = \{20, 30, 32, 24\} 10^3 \text{ кН/м},$$

$$d = \{10, 15\} 10^2 \text{ кНм},$$

$$B_1(x_1) = 20 + 2 \sin \frac{\pi x_1}{l_1} \text{ кН} \cdot \text{м}^2, \quad B_2(x_2) = 24 + 3 \sin \frac{\pi x_2}{l_2} \text{ кН} \cdot \text{м}^2,$$

$$B_3(x_3) = 22 + 1,5 \sin \frac{\pi x_3}{l_3} \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

Получены первые элементы собственного вектора

$$F_k = \{68,65; 101,29; 135,08; 173,53; 208,40\} \text{ кН}.$$

Резюмируя, можно утверждать:

1. Предложен сравнительно простой и универсальный алгоритм решения спектральной задачи об устойчивости многопролетных стержней переменной жесткости на гибких опорах.

2. Множества собственных значений и собственных векторов двухпролетного стержня оказываются объединениями множеств собственных значений и собственных векторов однопролетного стержня при двух вариантах закрепления концов.

3. Многопролетность и гибкость опор влекут бифуркационные явления, существенно влияющие на плотность собственных значений и функций в векторном и функциональном пространствах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барагунов Т. М. Об устойчивости многопролетных стержней на гибких опорах : материалы докладов Международной конф. «Восьмые Окуневские чтения». СПб. : Балт. гос. техн. ун-т, 2013. С. 72—73.

2. Чеченов Т. Ю. Об устойчивости многопролетного стержня на гибких опорах // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Труды X Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. 2011. № 4. Ч. 2. С. 1850—1851.

3. Прочность, устойчивость, колебания : справочник : в 3 т. М. : Машиностроение, 1968. Т. 3. 568 с.

4. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М. : Наука, 1967. 984 с.

5. Алфуттов Н. А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. М. : Машиностроение, 1978. 312 с.

6. Караманский Т. Д. Численные методы строительной механики. М. : Стройиздат, 1981. 436 с.

1. Baragunov T. M. Ob ustoychivosti mnogoproletnykh sterzhney na gibkikh oporakh : materialy dokladov Mezhdunarodnoy konf. «Vos'mye Okunevskie chteniya». SPb. : Balt. gos. tekhn. un-t, 2013. S. 72—73.

2. Chechenov T. Yu. Ob ustoychivosti mnogoproletnogo sterzhnya na gibkikh oporakh // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Trudy X Vserossiyskogo s"ezda po fundamental'nym problemam teoreticheskoy i prikladnoy mekhaniki. 2011. № 4. Ch. 2. S. 1850—1851.

3. Prochnost', ustoychivost', kolebaniya : spravochnik : v 3 t. M. : Mashinostroenie, 1968. T. 3. 568 s.
4. Vol'mir A. S. Ustoychivost' deformiruemyykh sistem. M. : Nauka, 1967. 984 s.
5. Alfutov N. A. Osnovy rascheta na ustoychivost' uprugikh sistem. M. : Mashinostroenie, 1978. 312 s.
6. Karamanskiy T. D. Chislennyye metody stroitel'noy mekhaniki. M. : Stroyizdat, 1981. 436 s.

© Культербаев Х. П., Кармоков К. А., 2013

*Поступила в редакцию
в августе 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Культербаев Х. П., Кармоков К. А. Об устойчивости многопролетного стержня переменной жесткости на гибких опорах // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 90—98.

УДК 624.072.2:539.214

А. В. Старов**ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГЛЫХ ПЛАСТИНОК
С ЖЕСТКИМ ЗАЩЕМЛЕНИЕМ КРАЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ**

Рассмотрена задача пластического деформирования защемленных по контуру круглых пластинок под действием локальной осесимметричной нагрузки с учетом больших прогибов. Используется модель жесткопластического тела, условие пластичности Мизеса, соотношения теории пластического течения. Получено аналитическое решение в параметрическом виде.

К л ю ч е в ы е с л о в а: круглые пластинки, пластическое деформирование, локальные нагрузки, физически и геометрически нелинейные задачи.

The problem of plastic deformation of fixed on the contour circular plates under local axially symmetric loading in view of greater sags is considered. The model of rigid-plastic body, the condition of plasticity of Mises, the correlation of the theory of plastic flow are used. The analytical solution in parametrical form is received.

К е у w o r d s: circular plate, plastic deformation, local loadings, physically and geometrically nonlinear problems.

В работе [1] разработана методика расчета круглых пластинок с жестким защемлением края под действием равномерно распределенной нагрузки с учетом больших прогибов на основе модели жесткопластического тела.

В настоящей статье полученные решения распространяются на действие равномерно распределенной нагрузки локального характера. Решения подобных задач в геометрически линейной постановке впервые были получены Г. Гопкинсом и В. Прагером в работе [2].

Предположим, что круглая пластинка с жестким защемлением края находится под действием равномерно распределенной нагрузки в области $a \leq \rho \leq b$. Уравнения равновесия в полярной системе координат с учетом допущений теории пологих оболочек записываются в безразмерном виде

$$\begin{aligned} n_2 - \frac{d}{d\rho}(\rho n_1) &= 0, \quad m_2 - \frac{d}{d\rho}(\rho m_1) - \rho Q = 0, \\ \frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho}(\rho Q) - \frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho n_1 \frac{dw}{d\rho} \right) - P &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Граничные условия:

$$m_1(0) = m_2(0), \quad Q(0) = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial \rho}(0) = 0, \quad m_1(1) = -m, \quad w(1) = 0, \quad u(1) = 0.$$

Здесь вводятся безразмерные координаты и переменные: $\rho = \bar{\rho}/\rho_0$ — радиус-вектор произвольной точки срединной поверхности; ρ_0 — радиус пластинки; $2h$ — толщина; $w = 2\bar{w}/h$, $u = 4\bar{u}\rho_0/h^2$ — прогиб и радиальное перемещение; $m_i = \bar{M}_i/\sigma_s h^2$, — изгибающие моменты; $n_i = \bar{N}_i/2\sigma_s h$ — продольные усилия; $Q = \bar{Q}\rho_0/\sigma_s h^2$ — поперечная сила; $P = \bar{P}\rho_0^2/\sigma_s h^2$ — параметр внешней

нагрузки; σ_s — предел текучести материала; $i = 1, 2$ — индексы радиального и окружного направления. На размерность соответствующей величины указывает горизонтальная черта.

Скорости деформаций и скорости изменения кривизны срединной поверхности соответственно равны:

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{h^2}{4\rho_0^2} \left(\frac{\partial \dot{u}}{\partial \rho} + \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} \right), \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{h^2}{4\rho_0^2} \frac{\dot{u}}{\rho}, \quad \dot{\chi}_1 = -\frac{h}{2\rho_0^2} \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial \rho^2}, \quad \dot{\chi}_2 = -\frac{h}{2\rho_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho}.$$

Поле радиальных перемещений не рассматривается. Функция нагрузки $P = P(\rho)$ имеет вид:

$$P(\rho) = 0 \quad (0 \leq \rho \leq a), \quad P(\rho) = P \quad (a \leq \rho \leq b), \quad P(\rho) = 0 \quad (b \leq \rho \leq 1).$$

Для учета взаимного влияния изгибающих моментов и продольных усилий используется поверхность текучести для оболочек со сплошным однослойным сечением, построенная на основе условия пластичности Мизеса [3]:

$$m_1^2 - m_1 m_2 + m_2^2 + n_1^2 - n_1 n_2 + n_2^2 = k^2. \quad (2)$$

Принимая распределение нормальных сил не зависящим от радиуса пластинки, т. е. $n_1 = n_2 = n$, что соответствует стремлению деформированной пластинки к безмоментному состоянию, можно получить эллипс текучести

$$m_1^2 - m_1 m_2 + m_2^2 = k^2 - n^2. \quad (3)$$

Линейная аппроксимация (3) представляет собой шестиугольник текучести, вписанный в эллипс:

$$|m_2 - m_1| \leq m, \quad |m_i| \leq m, \quad m = \sqrt{k^2 - n^2}. \quad (4)$$

Согласно (4) возможными являются следующие пластические режимы:

$$\begin{aligned} A. \quad m_1 = m_2 = m, \quad n_1 = n_2 = n; \quad AB. \quad 0 \leq m_1 \leq m_2 = m, \quad n_1 = n_2 = n; \\ B. \quad m_1 = 0, \quad m_2 = m, \quad n_1 = n_2 = n; \quad BC. \quad m_2 - m_1 = m, \quad n_1 = n_2 = n. \end{aligned} \quad (5)$$

Использование кусочно-линейных условий пластичности приводит к разделению срединной поверхности на пластические зоны, границы которых подвижны и зависят от деформированного состояния. Из условия непрерывности и дифференцируемости скоростей на границах раздела зон с различным пластическим состоянием должны выполняться кинематические условия совместности для слабых разрывов, характер которых описан в работах [2, 3]:

$$\left[\frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right] + \dot{\rho}_1 \left[\frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} \right] = 0 \Big|_{\rho=\rho_1}, \quad [\ddot{w}] + \dot{\rho}_1 \left[\frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right] = 0 \Big|_{\rho=\rho_1}, \quad (6)$$

где $\rho = \rho_1$ — радиус границы раздела зон с различным пластическим режимом, точка — дифференцирование по неубывающему параметру нагружения, квадратные скобки — разрыв соответствующей величины.

Рассмотрим возможные пластические механизмы деформирования круглой пластинки, соответствующие участкам поверхностей текучести (4).

Пусть в центральной зоне $0 \leq \rho \leq a$ реализуется пластический режим A , соответствующий участку $m_1 = m_2$, $n_1 = n_2 = n$. Из уравнений равновесия (1) следует $w = w_0$, $\frac{dw}{d\rho} = 0$, что отвечает закону течения $\dot{\chi}_1 \geq 0$, $\dot{\chi}_2 \geq 0$. Полагая, что в зоне $a \leq \rho \leq \rho_1$ также реализуется режим A , из уравнений равновесия с учетом условий непрерывности при $\rho = a$ можно получить распределение прогибов в этой зоне:

$$w = w_0 - \frac{P}{4n}(\rho^2 - a^2) + \frac{Pa^2}{2n} \ln \frac{\rho}{a}, \quad (a \leq \rho \leq \rho_1). \quad (7)$$

Для зоны $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$ возможным является режим AB : $0 \leq m_1 \leq m_2 = m$, $n_1 = n_2 = n$. На основании закона течения $\dot{\chi}_1 = 0$, то есть распределение прогибов и скоростей прогибов в этой зоне — линейная функция.

Зона $\rho_2 \leq \rho \leq 1$. Режим BC характеризуется участками:

$m_2 - m_1 = m$, $n_1 = n_2 = n$. На основании ассоциированного закона течения $\dot{\chi}_1 + \dot{\chi}_2 = 0$, отсюда следует распределение прогибов в этой зоне:

$$w = w_2 \frac{\ln \rho}{\ln \rho_2} \quad (\rho_2 \leq \rho \leq 1). \quad (8)$$

Распределение прогибов в зоне $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$ с учетом условий непрерывности наклонов и прогибов при $\rho = \rho_2$ будет иметь вид

$$w = w_1 \frac{\rho_2(1 - \ln \rho_2) - \rho}{\rho_2(1 - \ln \rho_2) - \rho_1} \quad (\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2). \quad (9)$$

В формулах (8)—(9) w_1, w_2 — характерные прогибы на границах раздела пластических режимов $\rho = \rho_1$, $\rho = \rho_2$. Найдем скачки соответствующих величин при $\rho = \rho_1$ согласно (7), (9) и подставим в первое уравнение (6):

$$\left\{ \frac{w_1 \rho_2 (1 - \ln \rho_2)}{\rho_2 (1 - \ln \rho_2) - \rho_1} \right\} - \left\{ \frac{P}{2n} \right\} \rho_1 + \frac{1}{\rho_1} \left\{ \frac{Pa^2}{2n} \right\} - \frac{P \dot{\rho}_1}{2n} - \frac{Pa^2 \dot{\rho}_1}{2n \rho_1^2} = 0. \quad (10)$$

Интегрируя (10), с учетом начального условия $w_1|_{\rho_1=a} = 0$, получим

$$w_1 = \frac{P \rho_1}{2n} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) [\rho_2 (1 - \ln \rho_2) - \rho_1]. \quad (11)$$

Центральный прогиб согласно (7) и (11) равен:

$$w_0 = \frac{P \rho_1}{4n} \left[\left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) (2\rho_2 - 2\rho_2 \ln \rho_2 - \rho_1) - \frac{2a^2}{\rho_1} \ln \frac{\rho_1}{a} \right]. \quad (12)$$

Распределение прогибов в зоне $\rho_1 < \rho < \rho_2$ согласно (9) и (11) равно:

$$w = \frac{P\rho_1}{2n} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) [\rho_2 (1 - \ln \rho_2) - \rho] \quad (\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2). \quad (13)$$

Можно показать, что второе условие совместности (6) также выполняется. Рассмотрим вариант решения при условии, что параметр $\rho_2 \leq b$.

Зона $\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2$. Интегрируя уравнения равновесия (1) с учетом (13) и граничных условий $m_1 = m_2$, $Q = 0$ при $\rho = \rho_1$, получим распределение поперечных сил и радиальных моментов:

$$Q + \frac{P\rho_1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - \frac{P}{2\rho} (\rho^2 - a^2) = 0, \quad (14)$$

$$m_1 = m_2 + \frac{P\rho_1\rho}{4} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - \frac{P}{12\rho} (2\rho^3 - 6a^2\rho + \rho_1^3 + 3a^2\rho_1). \quad (15)$$

Учитывая граничное условие $m_1 = 0$ при $\rho = \rho_2$, из (15) следует

$$P = \frac{12m\rho_2}{\rho_1^3 - 3\rho_1\rho_2^2 + 2\rho_2^3 + \frac{3a^2}{\rho_1}(\rho_2 - \rho_1)^2}. \quad (16)$$

Зона $\rho_2 \leq \rho \leq b$. Из уравнений равновесия (1), учитывая (8) и условия непрерывности Q и m_1 при $\rho = \rho_2$, можно получить выражения для поперечных сил и радиальных моментов

$$Q + \frac{P\rho_1\rho_2}{2\rho} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - \frac{P}{2\rho} (\rho^2 - a^2) = 0, \quad (17)$$

$$m_1 = \left[m + \frac{Pa^2}{2} + \frac{P\rho_1\rho_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) \right] \ln \frac{\rho}{\rho_2} - \frac{P}{4} (\rho^2 - \rho_2^2). \quad (18)$$

Зона $b \leq \rho \leq 1$. Интегрируя уравнения равновесия (1) с учетом (8) и условий непрерывности Q и m_1 при $\rho = b$, получим выражения для поперечных сил и радиальных моментов

$$Q + \frac{P\rho_1\rho_2}{2\rho} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - \frac{P(b^2 - a^2)}{2\rho} = 0, \quad (19)$$

$$m_1 = \left[m + \frac{Pa^2}{2} + \frac{P\rho_1\rho_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) \right] \ln \frac{\rho}{\rho_2} - \frac{P}{4} (b^2 - \rho_2^2) - \frac{Pb^2}{2} \ln \frac{\rho}{b}. \quad (20)$$

Граничное условие $m_1 = -m$ при $\rho = 1$ определяет зависимость между параметрами ρ_1 и ρ_2 :

$$X = \frac{1}{12\rho_2} \left[\rho_1^3 - 3\rho_1\rho_2^2 + 2\rho_2^3 + \frac{3a^2}{\rho_1} (\rho_2 - \rho_1)^2 \right] (1 - \ln \rho_2) - \frac{1}{4} \left[b^2 - \rho_2^2 + 2a^2 \ln \rho_2 + 2\rho_1\rho_2 \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - 2b^2 \ln b \right] = 0. \quad (21)$$

Зависимость $n = n(\rho_1, \rho_2)$ найдем из условия максимума безусловной функции, образованной из уравнений (12), (16) и (21):

$$\Phi = (PY - m) + \lambda_1 \left(\frac{P}{n} Z - w_0 \right) + \lambda_2 X, \quad (22)$$

где λ_1 и λ_2 — неопределенные множители Лагранжа,

$$Y = \frac{1}{12\rho_2} \left[\rho_1^3 - 3\rho_1\rho_2^2 + 2\rho_2^3 + \frac{3a^2}{\rho_1} (\rho_2 - \rho_1)^2 \right], \quad (23)$$

$$Z = \frac{\rho_1}{4} \left\{ \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) (2\rho_2 - 2\rho_2 \ln \rho_2 - \rho_1) - \frac{2a^2}{\rho_1} \ln \frac{\rho_1}{a} \right\}, \quad (24)$$

$$X = Y(1 - \ln \rho_2) - \frac{1}{4} \left[b^2 - \rho_2^2 + 2a^2 \ln \rho_2 + 2\rho_1\rho_2 \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - 2b^2 \ln b \right] = 0. \quad (25)$$

Искомая функция $n = n(\rho_1, \rho_2)$ следует из решения системы уравнений:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_1} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \rho_2} = 0.$$

Определяя соответствующие частные производные и исключая λ_1 и λ_2 , получим зависимость мембранного усилия как функцию ρ_1 и ρ_2 :

$$\frac{n^2}{m^2} = -\frac{Z}{Y} \left(\frac{\partial Y}{\partial \rho_1} \frac{\partial X}{\partial \rho_2} - \frac{\partial Y}{\partial \rho_2} \frac{\partial X}{\partial \rho_1} \right) \left(\frac{\partial Z}{\partial \rho_1} \frac{\partial X}{\partial \rho_2} - \frac{\partial Z}{\partial \rho_2} \frac{\partial X}{\partial \rho_1} \right)^{-1}. \quad (26)$$

Вследствие ограниченного объема статьи, соответствующие частные производные согласно (23), (24) и (25) не приводятся.

Рассмотрим вариант решения при условии, что параметр $\rho_2 \geq b$.

Распределение поперечных сил и радиальных изгибающих моментов в зоне $\rho_1 \leq \rho \leq b$ остается в виде (14) и (15).

Зона $b \leq \rho \leq \rho_2$. Из уравнений равновесия (1) с учетом (13) и условий непрерывности Q и m_1 при $\rho = b$ следует

$$Q + \frac{P\rho_1}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2} \right) - \frac{P(b^2 - a^2)}{2\rho} = 0, \quad (27)$$

$$m_1 = m_2 + \frac{P\rho_1\rho}{4} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2}\right) + \frac{P}{2}(a^2 - b^2) + \frac{P}{12\rho}(4b^3 - \rho_1^3 - 3a^2\rho_1). \quad (28)$$

Интенсивность нагрузки определяется из (28) с учетом граничного условия $m_1 = 0$ при $\rho = \rho_2$:

$$P = \frac{12m\rho_2}{\rho_1^3 - 3\rho_1\rho_2^2 + 2b^2(3\rho_2 - 2b) + \frac{3a^2}{\rho_1}(\rho_2 - \rho_1)^2}. \quad (29)$$

Зона $\rho_2 \leq \rho \leq 1$. Интегрируя уравнения равновесия (1) с учетом (8) и условий непрерывности Q и m_1 при $\rho = \rho_2$, получим выражения для поперечных сил и радиальных моментов

$$Q + \frac{P\rho_1\rho_2}{2\rho} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2}\right) - \frac{P(b^2 - a^2)}{2\rho} = 0, \quad (30)$$

$$m_1 = \left[m + \frac{P\rho_1\rho_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2}\right) - \frac{P(b^2 - a^2)}{2} \right] \ln \frac{\rho}{\rho_2}. \quad (31)$$

Зависимость между параметрами ρ_1 и ρ_2 определяется из граничного условия $m_1 = -m$ при $\rho = 1$:

$$\begin{aligned} X = \frac{1}{12\rho_2} \left[\rho_1^3 - 3\rho_1\rho_2^2 + 2b^2(3\rho_2 - 2b) + \frac{3a^2}{\rho_1}(\rho_2 - \rho_1)^2 \right] (1 - \ln \rho_2) - \\ - \frac{1}{4} \left[2(a^2 - b^2) + 2\rho_1\rho_2 \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2}\right) \right] \ln \rho_2 = 0. \end{aligned} \quad (32)$$

Зависимость (26) остается в прежнем виде. Функция (24) также не изменяется. Соотношения (23) и (25) принимают вид:

$$Y = \frac{1}{12\rho_2} \left[\rho_1^3 - 3\rho_1\rho_2^2 + 2b^2(3\rho_2 - 2b) + \frac{3a^2}{\rho_1}(\rho_2 - \rho_1)^2 \right], \quad (33)$$

$$X = Y(1 - \ln \rho_2) - \frac{1}{4} \left[2(a^2 - b^2) + 2\rho_1\rho_2 \left(1 - \frac{a^2}{\rho_1^2}\right) \right] \ln \rho_2 = 0. \quad (34)$$

Анализ первой и второй производных от радиального момента в соответствии с (15), (18), (20), (28), (31) показывает, что условие пластичности (4) выполняется при любом значении параметров ρ_1 , ρ_2 и любом законе распределения нагрузки.

На рис. 1, 2 представлены графики зависимости нагрузка-прогиб в центре пластинки для локальной нагрузки по площади кольца и по площади круга, где $P^* = P(b^2 - a^2)$ — «приведенная» нагрузка.

$$P^* = P(1 - a^2)$$

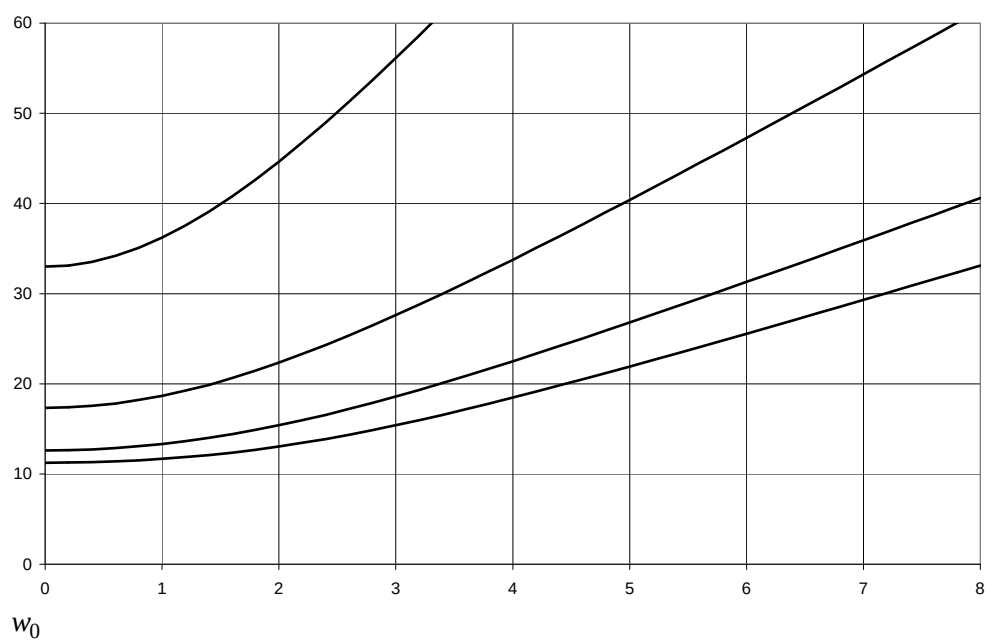


Рис. 1. Графики зависимости нагрузка-прогиб в центре пластинки для нагрузки по площади кольца $b = 1$, $a = 0; 0,25; 0,5; 0,75$

$$P^* = Pb^2$$

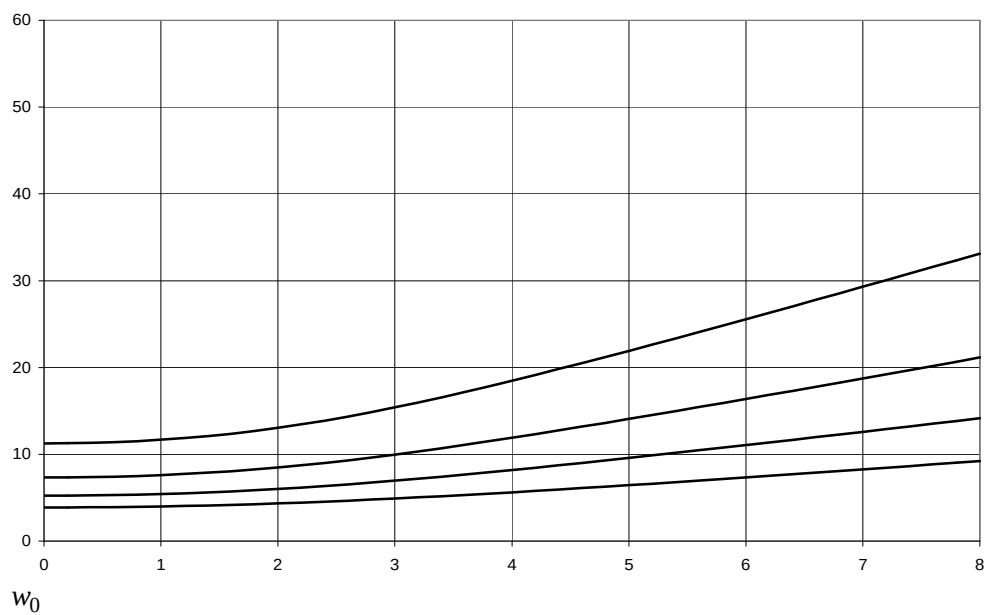


Рис. 2. Графики зависимости нагрузка-прогиб в центре пластинки для нагрузки по площади круга $a = 0$, $b = 1; 0,75; 0,5; 0,25$

Полагая в соответствующих формулах $a = 0$, $b = 1$, можно получить решение, приведенное в работе [1].

Решение в геометрически линейной постановке [2] может быть получено, полагая в соответствующих формулах $\rho_1 = 0$.

Принимая параметр $\rho_2 = 1$, могут быть получены системы разрешающих уравнений для пластинки с шарнирно-неподвижным опиранием [4].

Таким образом, получено аналитическое решение физически и геометрически нелинейной краевой задачи в параметрическом виде, которое имеет самостоятельное прикладное значение и может быть использовано для тестирования численных результатов на основе более сложных упруго пластических моделей с использованием реальной диаграммы деформирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ерхов М. И., Старов А. В.* Большие прогибы круглых жесткопластических защемленных по контуру пластинок // Исследования по строительной механике и надежности конструкций : сб. тр. ЦНИИСК им. Кучеренко. М. : Госстройиздат, 1986. С. 27—39.
2. *Гопкинс Г., Прагер В.* Несущая способность круглых пластинок // Механика. Сб. переводов. 1955. № 3. С. 100—111.
3. *Ерхов М. И.* Теория идеально-пластических тел и конструкций. М. : Наука, 1978. 352 с.
4. *Ерхов М. И., Старов А. В.* Большие прогибы круглых идеально пластических пластинок при локальном нагружении // Строительная механика и расчет сооружений. 1988. № 6. С. 15—20.
1. *Erkhov M. I., Starov A. V.* Bol'shie progiby kruglykh zhestkoplasticheskikh zashchemlenykh po konturu plastinok // Issledovaniya po stroitel'noy mekhanike i nadezhnosti konstruktsiy : sb. tr. TsNIISK im. Kucherenko. M. : Gosstroyizdat, 1986. S. 27—39.
2. *Gopkins G., Prager V.* Nesushchaya sposobnost' kruglykh plastinok // Mekhanika. Sb. perevodov. 1955. № 3. S. 100—111.
3. *Erkhov M. I.* Teoriya ideal'no-plasticheskikh tel i konstruktsiy. M. : Nauka, 1978. 352 s.
4. *Erkhov M. I., Starov A. V.* Bol'shie progiby kruglykh ideal'no plasticheskikh plastinok pri lokal'nom nagruzhении // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 1988. № 6. S. 15—20.

© Старов А. В., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Старов А. В. Пластическое деформирование круглых пластинок с жестким защемлением края при локальном нагружении // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 99—106.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.113

**Е. В. Москвичева, А. А. Болеев, А. А. Сахарова, А. А. Войтюк, Н. А. Сахарова,
М. А. Самойленко**

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАСТАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В СИСТЕМАХ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Исследовано влияние биообрастания на водозаборные сооружения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: биообрастания, водозаборные сооружения, дрейссена, ферроцен.

The influence of biological fouling on water intakes is studied.

K e y w o r d s: biological fouling, water intakes, zebra mussel, ferrocene.

Биообрастание решеток оголовков ВЗС приводит к неизбежным осложнениям при их эксплуатации: увеличению затрат, снижению качества очищаемой воды (более чем на 40 %), критическим потерям напора во всасывающей системе водозабора, угрозе остановки насосных станций, увеличению затрат на их эксплуатацию. Прежде всего это касается южных регионов, где период биообрастания возрастает с 2—3 месяцев до 6—7.

В связи с разнообразием видового состава микроорганизмов не может быть универсального способа борьбы с биообрастанием. В каждом конкретном случае необходимо проводить корректирование предлагаемых методов. Сказанное подчеркивает сложность, многофакторность рассматриваемой проблемы и необходимость ее последовательного решения. В представленной статье рассмотрена ситуация с пресноводным поверхностным источником, а именно рекой Волгой в нижнем течении, где вода представляет собой идеальную среду для развития и интенсивного размножения микроорганизмов не менее 7 месяцев в году.

Следует отметить, что применяемые в настоящее время методы борьбы с биообрастанием водозаборного оборудования направлены на ликвидацию последствий, а не на устранение причины. Поэтому задача предотвращения или достижения возможного минимума интенсивности биообрастания состоит в том, чтобы обеспечить максимальную эффективность конструкций, что в результате позволит повысить экономические показатели водного хозяйства [1].

В этой связи предотвращение биообрастания металлических конструкций в системах водного хозяйства является приоритетным направлением рационального водопользования.

Авторами предварительно был проведен анализ научно-технической и патентной литературы [1, 2], что позволило систематизировать и критически оценить существующие методы защиты от биообрастания водоводов. Общетеоретическим и прикладным вопросам биообрастания и экологической безопасности их эксплуатации посвящено значительное количество работ В. А. Иванова, С. В. Кузьмина, С. И. Левина, Ю. И. Левитина, А. Н. Подобаева, О. Г. Примина, О. А. Продоуса, В. Т. Фомичева, В. А. Харьковина, С. В. Храменкова, А. М. Шамазова, В. Н. Швецова и др., из анализа работ которых следует, что задачи по разработке основных требований к защите от биообрастания, а также сведению имеющихся знаний в единый комплекс до сих пор не решены.

Среди традиционных методов борьбы с биологическими обрастаниями, кроме предупредительных мероприятий, существенное место занимает химическая защита, основанная на применении дезинфектантов, оказывающих губительное воздействие на микрофлору питьевой воды, или химических соединений, препятствующих прикреплению клеток микроорганизмов к поверхностям оборудования системы водоснабжения [2].

Возникающие проблемы — многофакторные, требующие комплексного решения. Один из вариантов такого решения — это использование взаимосовместимых реагентов, включающих ингибиторы коррозии, биокоррозии, солеотложений.

Однако используемые методы требуют дополнительного усовершенствования, многие из них затратны, сложны в эксплуатации и экологически небезопасны. Проведенный анализ подтвердил целесообразность научно-экспериментальных исследований по обозначенной проблеме, результаты которых представлены в данной статье.

Объектами исследования и изучения служили образцы биомассы с решеток оголовков водозаборных сооружений Волгоградской области. Для уточненной количественной оценки микроорганизмов, в том числе сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ), в среде использовали метод предельных разведений. Модельная установка (рис. 1) представляет собой модифицированную модель, аналогом которой являлась аквариумная система, которая сделана в виде параллелепипеда; 0,6 м (длина), 0,25 м (ширина) и 0,35 м (высота). Данная установка может считаться достоверной моделью принципиального действия решеток оголовка водоподъемной станции.

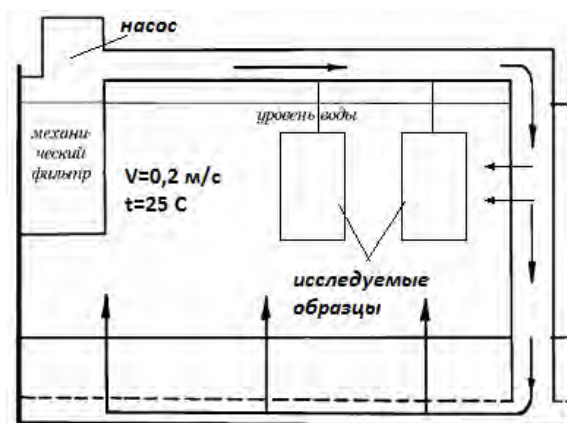


Рис. 1. Общая схема устройства модельной установки

Фазовый элементный анализ твердых фаз изучался на основе рентгено-спектрального анализа с микрозондовым анализатором в трансмиссионном микроскопе фирмы JEOL JEM 100 С, на сканирующем микроскопе JEOL JSM-6380 LV с энергодисперсионной приставкой INCA Energy-250. Электрохимические коррозионные испытания проводились на образцах из стали Ст. 20. Измерения проводились в трехэлектродной электрохимической ячейке. Мгновенную скорость коррозии определяли на портативном коррозиметре «Эксперт-004».

Состав модельных растворов для испытаний, рассчитанный исходя из гипотетического состава воды реки Волги, используемой для систем водоснабжения, изучали методами тонкослойной хроматографии, масс-спектрального и хроматографического анализа на современном лабораторном оборудовании: фотометре фотоэлектрическом КФК 3-01, анализаторе флюорат 02-3М, хроматографе «1022 LC PLUS»; масс-спектрометре «Varian MAT-111», спектрофотометре ПЭ 5300В, портативном измерителе минерализации, иономере лабораторном И 160, рН-метре рН-410 [3].

Исследование состояния воды водоисточника в створе реки Волги в районе города Волжского проведено с использованием теории анализа временных рядов. Мониторинг проведен по 15 показателям (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Химический состав воды р. Волги

Показатель	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Азот нитритный	0,017	0,024	0,014	0,048
Сульфаты	17,60	8,82	11,52	15,75
Азот нитратный	2,12	2,10	1,94	1,07
Хром	0,01	0,01	0,01	0,01
Магний	0,06	0,09	0,06	0,04
Фтор	0,20	0,12	0,14	0,14
Медь	0,002	0,002	0,002	0,002
Хлориды	5,83	3,59	5,47	5,91
Свинец	0,0005	0,0005	0,0048	0,0040
Цинк	0,005	0,005	0,006	0,005
Средняя температура, °С	+0,5	+14	+23	+10
Цветность, град.	70	55	47	43
Мутность, мг/л	6,9	7,4	10,8	9,7
Окисляемость, мг О ₂ /л	13,96	13,37	14,2	12,04
Жесткость, мг-экв/л	6,5	5,5	6,1	6,4

Полученные экспериментальные данные были обработаны известными методами статистики и планирования эксперимента с помощью лицензионного программного обеспечения на ЭВМ.

На первом этапе исследовались различные факторы, влияющие на биообрастание решеток оголовка водозаборных сооружений. Значимый фактор процесса — коррозия под действием микроорганизмов — сульфатвосстанавливающих анаэробных бактерий (СВБ).

Экспериментальные исследования проводились с мая по сентябрь 2010—2012 гг. Пробы биомассы с решеток отбирались два раза в месяц. Проводился контроль абиотических факторов среды (температура, скорость

течения воды). Проведенное изучение биомассы экспериментального субстрата в р. Волге выявило в его составе 25 видов и форм микроорганизмов. Среди доминант в составе обрастаний выделяются дрейссены (более 80 %), создающие серьезные проблемы в работе ВЗС: при толщине биопленки более 4 мм коэффициент водопроточной способности снижается на 48 — 54 %.

Интенсивность биообрастания зависит от химического и микробиологического состава речной воды, условий эксплуатации системы водоснабжения и материала поверхностей оборудования системы водоснабжения. В рамках данной статьи из перечисленных факторов изучена склонность различных материалов к формированию на их поверхностях биообрастания.

Лабораторные исследования по оценке биообрастания различных материалов в речной воде проводились в стеклянных емкостях на модельной установке. Пластины из Ст. 20, полиэтилена и стекла погружались в воду на специальных подвесках при скорости потока воды 0,2 м/с, $t = 20...25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 120 часов. После термообработки ($105\text{ }^{\circ}\text{C}$) исследовался химический состав биомассы, а на образце из Ст. 20 одновременно изучался диффузионный слой — химический и фазовый состав продуктов за промежуток времени от 10 до 1000 часов. На поверхности границы контакта с речной водой протекают реакции взаимодействия железа с водой, ее примесями и продуктами жизнедеятельности бактерий.

Наименьшая величина массы биообрастания зафиксирована для стекла (рис. 2). В продуктах жизнедеятельности биомассы практически не выявлены моллюски, соотношение величин СВБ и моллюсков составляет 1:1.

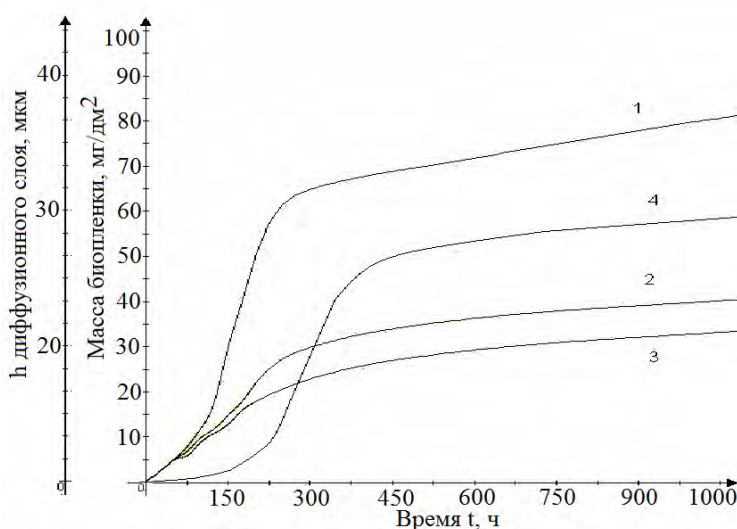


Рис. 2. Зависимость массы (мг/дм^2) биопленки на различных материалах (кривая 1—3): 1 — Ст. 20; 2 — полиэтилен; 3 — стекло; 4 — зависимость толщины диффузионного слоя Ст. 20 (мкм) от времени (ч)

Как показал анализ кривых 1—4 (см. рис. 2), характер формирования биомассы и диффузионного слоя на Ст. 20 с течением времени одинаковый: на кривых через 100...120 часов зафиксирован скачок: увеличение значения биомассы в 3...3,5 раза (кр. 1) и толщины диффузионного слоя в 4...4,2 раза

(кр. 4). Установленный факт подтвердился результатами анализа проб биомассы, образованной в реальных условиях на поверхности эксплуатируемой решетки ВЗС через 100...120 часов работы, с учетом перепадов температуры воды в апреле-мае. Установлено, что резкое биообрастание начинается не ранее, чем через 120...150 часов эксплуатации при температуре воды 12...15 °С. Именно в этот период при избытке биомассы СВБ (соответствует толщине биопленки не менее 4 мм) появляется значительное количество моллюсков дрейссены.

Далее исследовались биомасса и диффузионный слой, полученные в одинаковых условиях (время контакта, температура). При толщине диффузионного слоя до 5 мкм в биомассе обнаружены продукты атмосферной коррозии (до 42 %), продукты биокоррозии (<5 %), следы моллюсков дрейссены (0,2 %). В продуктах биомассы выявлены структуры биокатализаторов, концентрация которых по мере увеличения времени контакта металлической поверхности решетки оголовка ВЗС с речной водой растет (табл. 2). В диффузионном слое до 10 мкм выявлены продукты атмосферной коррозии, в области величин толщины диффузионного слоя выше 10...14 мкм обнаружены продукты процесса биокоррозии (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Состав продуктов диффузионного слоя

Толщина диффузионного слоя, мкм	Биокоррозия, %	Атмосферная коррозия, %	FeO, неокисленное, %	Биокатализаторы, (продукты биокоррозии), %	Остаток, %
5	3...5	38...42	1	1	51...57
12	23...43	20...33	5...7	9...11	6...43
20	58...64	10...13	8...10	11...13	1...13

Резкий рост биомассы наблюдается при достижении в ней концентрации биокатализаторов (соединений двухвалентного железа с производным азулена, пиррена и др.) более 9...11 %. В этот период формируется, вероятно, благоприятная среда для размножения моллюсков дрейссены. При этом, как показали результаты анализа, процесс атмосферной коррозии заторможен. Если исключить главный фактор развития биокоррозии, т. е. понизить температуру среды до 12 °С и менее, то рост моллюсков замедляется. На следующем этапе проводился поиск условий снижения процесса биокоррозии в рассматриваемых реальных условиях — речной воде Нижней Волги.

Биообрастание практически исчезает, если металлическая поверхность (железо) находится в пассивном состоянии. Как известно, перевести железо в пассивное состояние можно путем анодной поляризации, торможением анодной реакции, увеличением поляризуемости анодного процесса с помощью ингибиторов. Подтвердив экспериментально в конкретных условиях — природной речной воде Нижнего Поволжья — тот факт, что биообрастание находится в прямой зависимости от состояния активности металлической поверхности оголовка водозаборного сооружения, далее мы осуществляли поиск условий пассивации. Как известно, в нейтральных водных средах, где окисление металла (коррозия) сопровождается местными поражениями поверхности, используются ингибиторы адсорбционного типа.

В данном эксперименте рассматривались ингибиторы, обладающие, помимо хороших антикоррозионных свойств, низким токсичным и загрязняющим воздействием на воду. В результате поиска были отобраны ингибиторы ФАИ (фенилантринилат) и ферроцен (бициклопентадиенил железа).

На поверхность образцов из Ст. 20 площадью 4 см² класса чистоты 5 (с обратной стороны поверхность изолирована) наносили слой ферроцена не менее 0,3...0,4 мм. Рабочий раствор находился в состоянии покоя. Далее проведен микроскопический анализ исследуемых образцов.

Установлено, что наибольшим эффектом пассивации, снижающим биообрастание, обладает ферроцен. Однако наносить пленку из ферроцена очень трудоемко и дорогостояще. Была предпринята попытка на основе изученного материала по синтезу ферроцена получить его непосредственно на рабочей поверхности решетки ВЗС электрохимическим способом [4].

Химический анализ веществ, содержащихся в биомассе, показал, что около 50 % приходится на ациклические соединения, включающие терпены (около 8 %), циклоолефины и циклопентадиены (около 42 %). Рассматривались только продукты биомассы, входящие в состав диффузионного слоя, при толщине биопленки выше 4 мм. Как показали результаты эксперимента, химическая активность диффузионного слоя является определяющей в росте СВБ и, соответственно, всего процесса биообрастания. В составе продуктов диффузионного слоя ферроцена содержалось не более 6...9 %, но и эта концентрация позволила замедлить биокоррозию, что подтвердило правильность выбранного направления экспериментального поиска. Но прежде всего потребовалось определить оптимальные условия (плотность тока и потенциал) для взаимодействия ионов железа с анионом циклопентадиена в диффузионном слое.

Получение ингибиторной пленки из ферроцена и его гомологов в диффузионном слое металлической поверхности решетки осуществлялось с использованием Ст. 20 и циклопентадиена под воздействием анодного тока. При эксперименте был учтен частный опыт научных школ, занимающихся синтезом ферроцена из неводных сред. В данном эксперименте осуществлялось получение ферроцена на основании данных, полученных после снятия анодных поляризационных кривых для Ст. 20 и циклопентадиена. Полученные результаты по электросинтезу ферроцена с использованием химически чистого продукта — циклопентадиена — позволили далее проводить поиск более оптимальных условий в выбранном направлении.

Таким образом, на основе комплексного экспериментального исследования выявлена основная причина обрастания моллюсками дрейссены решетки оголовка ВЗС в воде Нижней Волги: возрастает химическая активность металлической поверхности, вызванная интенсивным ростом СВБ, что обусловлено влиянием биокатализаторов, образующихся в процессе биокоррозии в диффузионном слое на границе раздела «металл — биопленка».

Вывод. Биообрастание возможно предотвратить, если создать на металлической поверхности решетки условия, максимально замедляющие развитие диффузионного слоя, используя вещества класса ферроценов, получаемые на основе электрохимической анодной активации поверхности решетки оголовка ВЗС анодным током.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии. М. : Физматлит, 2002. 334 с.
2. Аббасов В. М., Мамедов И. А., Абдуллаев Е. Ш. Защита стали от сероводородной коррозии с применением бактерицидов // Защита металлов. 1995. Т. 31. № 2. С. 206—208.
3. Особенности очистки сточных вод, содержащих водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения (ВД ЛКМ) / Е. В. Москвичева, А. А. Бoleев, Р. В. Потоловский, О. П. Радченко, О. Ю. Акимов // Вестник Волг. гос. арх.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2011. Вып. 25 (44). С. 290—294.
4. Москвичева Е. В. Исследования внутренней коррозии канализационных трубопроводов / Е. В. Москвичева, А. А. Бoleев, Р. В. Потоловский, О. П. Радченко, Т. Ф. Рыльцева // Вестник Волг. гос. арх.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 300—306.
1. Semenova I. V., Florianovich G. M., Khoroshilov A. V. Korroziya i zashchita ot korrozii. M. : Fizmatlit, 2002. 334 s.
2. Abbasov V. M., Mamedov I. A., Abdullaev E. Sh. Zashchita stali ot serovodorodnoy korrozii s primeneniem bakteritsidov // Zashchita metallov. 1995. T. 31. № 2. S. 206—208.
3. Osobennosti ochistki stochnykh vod, sodержashchikh vodno-dispersionnye akrilovye lakokrashchnye materialy stroitel'nogo naznacheniya (VD LKM) / E. V. Moskvicheva, A. A. Boleev, R. V. Potolovskiy, O. P. Radchenko, O. Yu. Akimov // Vestnik Volg. gos. arkh.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkhrit. 2011. Vyp. 25 (44). S. 290—294.
4. Moskvicheva E. V. Issledovaniya vnutrenney korrozii kanalizatsionnykh truboprovodov / E. V. Moskvicheva, A. A. Boleev, R. V. Potolovskiy, O. P. Radchenko, T. F. Ryl'tseva // Vestnik Volg. gos. arkh.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkhrit. 2011. Vyp. 25(44). S. 300—306.

© Москвичева Е. В., Бoleев А. А., Сахарова А. А., Войтюк А. А.,
Сахарова Н. А., Самойленко М. А., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Предотвращение биологического обрастания металлических конструкций в системах водного хозяйства / Е. В. Москвичева, А. А. Бoleев, А. А. Сахарова, А. А. Войтюк, Н. А. Сахарова, М. А. Самойленко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 107—113.

УДК 628.316

Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина, Т. А. Кузьмина

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕШАННОГО РЕАГЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ НЕФТЯНОГО ОТХОДА

Представлены некоторые аспекты получения сорбционного материала, обладающего смешанными свойствами, из отходов нефтеперерабатывающего предприятия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сорбционный материал, смешанный реагент, нефтяной отход.

The authors provide some aspects of receiving sorption material with mixed properties from refinery wastes.

К e y w o r d s: sorption material, mixed reagent, petroleum wastes.

Для улучшения характеристик сорбционных материалов и расширения спектра извлекаемых из воды примесей используют различные методы модифицирования: ультразвуковую и термическую обработку; активацию парогазовую, механическую и химическую; прививку функциональных групп или тонких поверхностных слоев физико-химическими методами и путем радиационной обработки. Общим при модифицировании для всех материалов, используемых в качестве сорбентов для сбора нефти и нефтепродуктов с водной поверхности, как правило, является повышение их гидрофобности.

Гидрофобность — это одно из наиболее важных свойств, определяющих способность материалов к различному уровню поглощения нефти и нефтепродуктов в одинаковых условиях. По предложенной Ребиндером терминологии [1], гидрофильность твердого тела означает смачивание его водой, а гидрофобность — отсутствие смачивания водой. При этом гидрофобные тела являются, как правило, олеофильными, т. е. легко смачиваются нефтью и нефтепродуктами. Причиной различного уровня гидрофобности материалов является различный энергетический уровень их поверхности. Материалы, поверхность которых характеризуется наличием большого количества сильнополярных групп, таких как OH, NH₂, COOH, CONH и др., создающих значительное свободное силовое поле, имеют, как правило, повышенный уровень гидрофильности (например, целлюлоза, лен и др.). В отличие от них, материалы, не имеющие полярных групп на поверхности вещества (например, тефлон, нейлон и др.), в большинстве своем гидрофобны.

Как показали исследования, рассматриваемый нефтяной отход по составу близок к алюмосиликатным материалам, а именно к перлитовым материалам (причем фильтроперлит нередко используется для фильтрации масел и на его основе может формироваться сам отход). К одному из недостатков нефтяных сорбентов на основе оксида кремния, в частности перлита, можно отнести наличие у них слабых водоотталкивающих свойств [2]. Для придания сорбенту водоотталкивающих свойств проводят гидрофобизацию его поверхности.

Известно [1, 2, 3], что реакционная способность, капиллярные, тепловые, адгезионные и сорбционные характеристики алюмосиликата зависят от физико-химических свойств его поверхности. Эти свойства в значительной мере могут быть скорректированы путем изменения, например, режима теплового

воздействия при вспучивании. Основным вспучивающим агентом является вода; в перлитовых материалах она присутствует в двух формах — молекулярно связанной (кристаллизационной) и конституционно связанной воды (гидроксильные группы). В процессе вспучивания перлитового материала при нагревании до 600 °С удаляется основная часть молекулярно связанной воды и гидроксильных групп. Повышение температуры до 900...1100 °С не влияет на оставшуюся в алюмосиликате часть гидроксильных групп [2].

Высокое содержание на поверхности алюмосиликатного материала гидроксильных групп, валентно связанных с атомами кремния и алюминия, обуславливает особенности его взаимодействия с водой. Поверхностные гидроксильные группы, находящиеся на соответствующих расстояниях, взаимодействуют между собой за счет образования водородных связей [4]. Одновременно каждая гидроксильная группа может быть связана с ассоциированными молекулами воды.

Высокая гидрофильность сорбента — фактор отрицательный, так как при этом ухудшаются его нефтепоглощительные свойства.

Были проведены исследования по предварительной подготовке отходов (табл.).

Физико-механические свойства нефтеотхода после температурной обработки

Наименование показателя	Значение показателя для нефтеотхода		
	После высушивания при температуре 25...30 °С в течение 600 мин	После прокаливании при 100...120 °С в течение 160-200 мин	После прокаливании при 500...600 °С в течение 200 мин
Насыпная плотность, кг/м ³	420	360	90...160
Размер частиц, мм	0...0,5	0...0,5	0...0,5
Массовая доля всплывающих в воде частиц, %	51...55	61...66	91...96
Массовая доля влаги, %, не более	1,0	1,0	1,0
Пористость, %	50...55	53...60	87...91
Нефтеемкость, кг/кг	1,3	1,6	5,8

В результате экспериментов установлена целесообразность их обработки в течение 3...4 часов. После температурной обработки отходов или выдерживания их при комнатной температуре снижается насыпная плотность отхода, повышается пористость, уменьшается набухаемость в воде, повышается доля всплывающих в воде частиц, что связано, очевидно, с недостаточной просушенностью данного отхода по окончании производственного цикла. При обработке отходов при высокой температуре (500...600 °С) происходит сильное снижение насыпной плотности (до 90...160 кг/м), так как при данных температурах удаляется основная часть молекулярно связанной воды и гидроксильных групп, выгорает большая часть углеводородов нефтеотхода. Фактически образуется мелкодисперсный материал с низкой

насыпной плотностью и очень развитой, активированной углеродом поверхностью, что приводит к повышению его сорбционной емкости. Но высокотемпературная обработка значительно повышает стоимость получаемого реагента.

Параллельно с поиском оптимального состава нефтеотхода велась работа по поиску модификатора для придания этому материалу дополнительных водоотталкивающих и улучшенных сорбционных свойств, повышения прочностных характеристик, поскольку способ получения сорбента путем высокотемпературной обработки алюмосиликатных отходов не всегда экономически целесообразен.

В качестве гидрофобизаторов используют различные химические вещества, преимущественно кремнийорганические соединения. За счет обработки ими может быть увеличена и нефтепоглощающая способность сорбента. После модификации его нефтеемкость увеличивается в 1,5 раза и достигает 9 кг/кг [1, 2, 5].

Одна из водоотталкивающих композиций представляет собой раствор натриевой соли метилсиликона, к которому для предохранения от окисления добавляют 1...2 масс. % минерального масла. Другая композиция предусматривает использование в качестве водоотталкивающего вещества смеси растворов полиорганосиликонатов натрия, содержащей 40...60 % метилсиликоната натрия, 10...40 % этилсиликоната натрия. Также для модификации может быть использован и полиметилгидридсисилоксан [1].

Одна из технологий гидрофобизации композиций на основе оксида кремния предполагает использование смеси высокомолекулярных карбоновых кислот C_{17} — C_{30} , их щелочных солей и парафиновых углеводородов C_{20} — C_{40} . Гидрофобизацию осуществляют в процессе распыления смеси при температуре 125...135 °C на нагретый сорбент при интенсивном перемешивании [1]. Различные органические вещества используются для модификации аэросила с целью получения из него нефтяных сорбентов.

Частичная гидрофобизация рассматриваемого нефтеотхода происходит уже за счет формирования его органической составляющей в процессе фильтрации масел. Дополнительная обработка поверхности отхода различными веществами позволяет повысить нефтеемкость сорбента и улучшить его водоотталкивающие свойства. Кроме того, после специальной обработки расширяются возможности использования получаемых смешанных композиций в качестве сорбентов при очистке нефтесодержащих стоков.

Из-за наличия в рассматриваемом отходе органической составляющей и неорганического основания, представленного гидрофильными оксидами металлов, целесообразно проводить его модификацию углеводородными соединениями. В качестве модификаторов использовались различные вещества, в том числе и высокомолекулярные отходы производства высокомолекулярных соединений (ВМС).

Полимерные сорбенты обладают высокой сорбционной емкостью, а возможность их производства из вторичного сырья позволяет решить проблему утилизации полимерных отходов. К таким сорбентам относятся нетканые полотна, сформированные из полипропиленовых, полиэтиленовых, полиэтилен-терефталатных, полистирольных и т. п. волокон; полиуретан в губчатом или гранулированном виде; резиновая крошка, получаемая в результате

переработки изношенных автомобильных покрышек; полые полимерные микросферы; композиции, состоящие из резиновой крошки, порошкообразного полиэтилена и измельченной целлюлозы и т. д.

Основным недостатком этих сорбентов является высокая стоимость, обусловленная многостадийностью, сложностью технологического процесса их производства и необходимостью использования в некоторых случаях первичного полимерного сырья.

Известен способ получения сорбентов для очистки воды от органических примесей [6], по которому исходный пористый неорганический материал обрабатывают 5-, 10%-м раствором полипеноуретана в одном из полярных органических растворителей. Обработку осуществляют в нормальных условиях (при комнатной температуре), перемешивая смесь в течение времени, достаточного для покрытия гидрофобной пленкой не только внешней, но и внутренней поверхности пор обрабатываемого материала (в общем случае не более часа), до достижения содержания полимера в сорбенте в количестве 2...5 % по углероду. Перечисленные условия обработки обеспечивают получение гидрофобных сорбентов с удельной поверхностью 80...90 м/г. Однако порошок, получаемый по данному способу, судя по технологии получения и удельной поверхности, имеет относительно большие размеры (более 500 мкм), что снижает его сорбционную емкость. Кроме того, данный способ не предусматривает использования в качестве неорганического материала нефтехимического отхода.

Известен способ получения тонкодисперсного аморфнокристаллического полимерного порошка с сорбционной емкостью 3,5...4,0 кг/кг [7], который включает в себя измельчение отходов полиэтилена и вторичного полимерного сырья (отработавшие срок службы сельскохозяйственная и упаковочная пленки, бывшие в употреблении тары и упаковки, литники и т. п.), предварительно растворенных в органических растворителях, при 90 °С и интенсивном перемешивании в течение 30 мин до образования парафиноподобной массы. Скорость вращения мешалки 2500...3000 об / мин. Массу смешивают с водой и нагревают до температуры, не превышающей на 10 °С температуру плавления полимера в большом количестве растворителя. Затем вакуумируют с одновременной конденсацией паров растворителя и воды и их разделением. Изобретение относится к области охраны окружающей среды и предназначено для решения двух важнейших экологических проблем: переработки полимерных отходов, ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и очистки промышленных стоков предприятий нефтеперерабатывающей промышленности. Однако данный способ также имеет ряд недостатков. Для получения однородных растворов из отходов полимера (полиэтилена) растворение полимера происходит при высокой температуре (90 °С) в течение 30 мин при интенсивном перемешивании, а это ведет к удорожанию и усложнению технологии производства сорбента (нужны большой подвод энергии, специальное оборудование для поддержания высокой температуры и перемешивания в течение продолжительного времени). Для растворения отходов полиэтилена необходим дорогой, токсичный растворитель — толуол, п-ксилол, гептан, что также ведет к удорожанию технологии. Кроме того, сорбент, получаемый по данному способу, обладает недостаточно эффективной сорбционной емкостью.

Также рассматривалась возможность модификации исследуемого нефтеотхода растворами поливинилхлорида (ПВХ), но данный способ модификации имеет ограничения вследствие проблем с растворением полимера и использования токсичных растворителей (циклогексанона, тетрагидрофурана).

Наилучшие результаты были получены при обработке нефтеотхода раствором полистирола. Это обусловлено как ориентированной структурой модификатора, так и наличием в его макромолекуле C_6H_5 -радикала с ярко выраженной гидрофобностью, что позволяет одновременно повысить сорбционную емкость и гидрофобность получаемого сорбционного материала.

Было предложено растворять высокомолекулярные отходы (пенополистирол) в полярном органическом растворителе — ацетоне или смеси ацетона с метилтретбутиловым эфиром при комнатной температуре и интенсивном перемешивании в течение 2...3 мин до получения однородных растворов. Затем в полученный раствор полимера при перемешивании добавляется исследуемый отход в количестве примерно 1...2 кг на 1 л раствора полимера.

Полученную смесь, представляющую собой вязкую суспензию, перемешивают и нагревают до 80...100 °С. При указанной температуре отгоняется растворитель. Отгонку растворителя проводят путем выдерживания смеси под вакуумом. Выделенный растворитель может быть повторно использован в технологическом процессе. Использование ацетона в качестве растворителя дает возможность экстрагировать воду и гидроксильные соединения, содержащиеся в нефтяном отходе, которые в дальнейшем отгоняются вместе с растворителем под вакуумом. Это обстоятельство дополнительно способствует повышению гидрофобности получаемого смешанного реагента (СР).

После охлаждения и сушки образуется хрупкая твердая смесь, которая легко разделяется на небольшие фракции. Хрупкость смеси варьируется за счет подбора соотношения масс полимера и нефтеотхода. Полученные фракции подвергаются измельчению для получения мелкодисперсного порошка. Причем можно получить материал разного фракционного состава, что позволяет регулировать свойства СР и работу очистного оборудования в широком диапазоне.

Добавление мелкодисперсного порошка способствует разрушению однородной полимерной массы в растворителе и ее лучшему диспергированию на мелкие частицы. Кроме того, за счет алюмосиликатного материала, который сам по себе обладает высокой сорбционной емкостью, повышается сорбционная емкость получаемого СР. В свою очередь, полимер является хорошим гидрофобизатором алюмосиликатного материала и улучшает его адгезионные свойства по отношению к нефти и нефтепродуктам.

Рабочий раствор полимера готовится в интервале концентрации 10...35 % масс. по полимеру для легкого и быстрого растворения полимера. Этого количества полимера достаточно для полного покрытия поверхности нефтеотхода. Более высокая концентрация полимера нецелесообразна, поскольку образуется вязкий раствор полимера и, соответственно, очень вязкая смесь полимера и нефтеотхода, что создает технологические трудности при получении СР, связанные с перемешиванием и дальнейшим измельчением смеси.

Наличие ароматических групп в полистироле позволяет создавать прочную связь за счет образования координационной связи между активными карбоксильными и гидроксильными группами нефтяного отхода, что обеспечивает высокую устойчивость полимера к вымачиванию нефтепродуктами

и высокую гидрофобность СР. Кроме того, при связи полимера с нефтеотходом за счет длинных молекул и коротких контактирующих сегментов образуются петли, которые позволяют повысить емкость адсорбента к нефти и нефтепродуктам и обеспечить возможность его многократного использования. Оксиды кремния, алюминия способствуют сшивке молекул полистирола и упрочнению гидрофобизирующего покрытия.

Строения аппретирующих покрытий СР устанавливались ИК-спектрами, снятыми на спектрофотометре ИКС-29 в диапазоне частот 400...4000 см⁻¹.

ИК-спектры немодифицированного отхода нефтепереработки характеризуются полосами поглощения при 470 (Si—O), 820 (ОН-группы), 10001200 (Si—O—Si) и 3400...3600 (адсорбированная вода) см⁻¹. Фиксация модифицирующих веществ на поверхности СР характеризуется на ИК-спектрах появлением новых полос поглощения при 1620 (C₆H₅), 1700 (C = O), 1473 (—CH₂—) и 782 (ОН-группы) см⁻¹. Смещение полосы поглощения структурносвязанных гидроксильных групп на 38 см⁻¹ в более низкочастотную область спектра является доказательством взаимодействия нефтеотхода с полимерным модификатором.

Таким образом, модификация нефтеотхода полистиролом осуществляется в мягких температурных условиях и, помимо улучшения сорбционных характеристик, позволяет также убрать возможные токсичные проявления нефтеотхода. В результате был разработан способ модификации, защищенный впоследствии патентом, позволяющий получать СР с высокими рабочими характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каменищikov Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. Москва — Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 268 с.
2. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев : Наукова думка, 1981. 207 с.
3. Побегайло П. И., Бондарев А. А., Резник Н. Ф. Исследование промышленной флотационной установки для очистки сточных вод НПЗ // Очистка производственных сточных вод. М., 1969. Вып. 4. С. 3—10.
4. Неймарк И. Е. Синтетические минеральные адсорбенты и носители катализаторов. Киев : Наукова думка, 1982. 216 с.
5. Гидрофобный вспученный перлит / А. А. Пашченко, М. Г. Воронков, А. А. Крупа, В. А. Свидерский. Киев : Наукова думка, 1977. 240 с.
6. Патент РФ № 2206393. Способ получения сорбентов для очистки воды от органических примесей / Н. В. Шапкин. Опубл. 20.06.2003.
7. Патент РФ № 2252071. Способ получения мелкодисперсного сорбента нефти и нефтепродуктов из высокомолекулярных отходов производства. / К. В. Почивалов, Д. Л. Сиганов, Л. Н. Мизеровский. Опубл. 20.05.2005.

1. Kamenshchikov F. A., Bogomol'nyy E. I. Neftyanye sorbenty. Moskva — Izhevsk : NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2005. 268 s.
2. Tarasevich Yu. I. Prirodnye sorbenty v protsessakh ochistki vody. Kiev : Naukova dumka, 1981. 207 s.
3. Pobegaylo P. I., Bondarev A. A., Reznik N. F. Issledovanie promyshlennoy flotatsionnoy ustanovki dlya ochistki stochnykh vod NPZ // Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod. M., 1969. Vyp. 4. S. 3—10.
4. Neymark I. E. Sinteticheskie mineral'nye adsorbenty i nositeli katalizatorov. Kiev : Naukova dumka, 1982. 216 s.
5. Gidrofobnyy vspuchenny perlit / A. A. Pashchenko, M. G. Voronkov, A. A. Krupa, V. A. Sviderskiy. Kiev : Naukova dumka, 1977. 240 s.

6. Patent RF № 2206393. Sposob polucheniya sorbentov dlya ochistki vody ot organicheskikh primesey / N. V. Shapkin. Opubl. 20.06.2003.

7. Patent RF № 2252071. Sposob polucheniya melkodispersnogo sorbenta nefi i nefteproduktov iz vysokomolekulyarnykh otkhodov proizvodstva / K. V. Pochivalov, D. L. Sigantov, L. N. Mizerovskiy. Opubl. 20.05.2005.

© Москвичева Е. В., Сахарова А. А., Гончар Ю. Н., Игнаткина Д. О., Кузьмина Т. А., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Очистка сточных вод с использованием смешанного реагента, полученного из нефтяного отхода / Е. В. Москвичева, А. А. Сахарова, Ю. Н. Гончар, Д. О. Игнаткина, Т. А. Кузьмина // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 114—120.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 628:511

С. Л. Пушенко

РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ И ЕГО ИНТЕГРАЦИЯ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

В статье рассматривается возможность использования теории риск-менеджмента в процессе управления охраной труда. Предлагается алгоритм управления рисками в области безопасности труда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: профессиональный риск, опасный производственный фактор, охрана труда, риск-менеджмент.

The author considers the possibility of using risk-management theory in process of labor safety management. The algorithm of risk management in the sphere of labor safety is proposed.

К e y w o r d s: professional risk, dangerous production factor, labor safety, risk-management.

Постоянно изменяющаяся техногенная среда, устаревающее технологическое оборудование создают все новые риски для здоровья работающих, формируют системную проблему, заключающуюся в неспособности действующей системы охраны труда (ОТ) к функционированию в условиях рыночной экономики.

Для обеспечения максимальной эффективности реформа системы управления охраной труда (СУОТ) должна базироваться на новейших достижениях в области оценки и управления профессиональными рисками, на лучшем отечественном и зарубежном опыте.

В этих условиях было бы естественным и логичным воспользоваться методом аналогий путем использования при реформировании СУОТ основных положений методологии риск-менеджмента, хорошо зарекомендовавшей себя в экономической сфере [1—4].

Прежде всего необходимо установить соответствие понятий «профессиональный (производственный) риск», как достаточно новых для российской действительности, с хорошо известным и широко применяемым на практике понятием «экономический риск».

На первый взгляд, в обоих случаях мы имеем дело с неопределенностью, которую можно оценить как качественными, так и количественными методами.

Однако и уровень неопределенности, и тяжесть последствий при сопоставлении обоих видов риска далеко не идентичны. Отличия профессионального риска от экономического состоят, на наш взгляд, в следующем:

1. В экономике человек рискует собственным капиталом или капиталом акционеров, перед которыми ответственен по вполне определенным статьям действующего законодательства. В ОТ лицо, принимающее решение,

зачастую рискует не сам, а перекладывает риск на так называемых «третьих лиц», то есть на работающих. Отсюда возникают этические аспекты принятия решений в области ОТ.

2. Экономический риск достаточно легко поддается количественной оценке. Это связано с его одномерностью и тем, что итоговое выражение может быть квантифицировано в монетарной форме. Профессиональный риск всегда неопределенен, так как, во-первых, его следствия многомерны, и, во-вторых, каждое из последствий ведет к другим следствиям, образуя цепные реакции, проследить которые трудно и часто невозможно. Многомерность проявляется в негативном воздействии на многие компоненты производственной среды и здоровье человека, учесть которые заранее чрезвычайно трудно ввиду отсутствия информации и проведения опережающих действий. Последние зачастую проводятся уже «по факту» выявленных нарушений требований ОТ и в развитых странах сопровождаются возбуждением исков, не предусмотренных исходными расчетами. Их сумма может привести к приостановке деятельности и даже к ликвидации предприятия. Таким образом, можно констатировать неопределенность профессионального риска в отличие от практически всегда определенного экономического риска.

3. Неблагоприятные последствия экономического риска проявляются обычно сразу или через непродолжительный период. Последствия профессионального риска, связанные со здоровьем, могут быть отдалены и проявиться самым неожиданным образом. Кроме того, многие факты не могут быть выявлены в принципе из-за своей полной неопределенности и непредсказуемости.

4. Экономический риск имеет стандартное монетарное выражение. Профессиональный риск к монетарному выражению может быть сведен только частично. Так практически невозможно в денежном эквиваленте оценить взаимосвязь параметров производственной среды (особенно при их комплексном или нестационарном воздействии) на здоровье работающих с учетом различий индивидуальных физиологических особенностей.

Другими словами, сопоставлять профессиональный и экономический риски можно лишь условно. Профессиональный риск является более широким понятием, охватывающим не только монетарную, но медицинскую и социальную сферы. Сами основополагающие критерии его оценки должны быть иными.

5. Одной из причин плохого состояния условий ОТ является отсутствие стимулирующих экономических механизмов. Как правило, объем финансирования мероприятий в области ОТ находится в прямой взаимосвязи с условиями труда, уровнем производственного травматизма и т. п. Последнее обусловлено, с одной стороны, противоречием: «кто платит, и кто получает выгоду?», а с другой стороны, в отсутствии заинтересованности самих работающих в потере компенсационных выплат, льгот, рабочих мест в результате снижения влияния вредных факторов профессионального риска. Поэтому для оценки и управления профессиональными рисками в СУОТ необходима разработка иных инструментов, стимулирующих экономические механизмы финансирования безопасности труда.

Таким образом, механический перенос технологий оценки и управления риском из экономической сферы в область обеспечения безопасных условий труда без учета ее специфики невозможен. Основные задачи интеграции методологии риск-менеджмента в СУОТ на сегодняшний день можно сформулировать следующим образом:

- по уровню профессионального риска оценивать приемлемость и чрезмерную опасность видов профессиональной деятельности, связанных с возможными аварийными ситуациями, имеющими неблагоприятные последствия для производственной среды и здоровья работающих;

- обоснованно осуществлять процедуры аудита производственной безопасности, экспертизы, сертификации и пр., адекватно оценивать факторы производственной опасности и ответственности за возможный ущерб;

- осуществлять управление профессиональным риском, добиваясь снижения его цены при заданных ограничениях материальных и финансовых ресурсов;

- осуществлять ранжирование воздействий вредных факторов производственной среды с учетом их реальной и прогнозируемой опасности, ранжирование рабочих мест (зон) и профессиональных групп работников по величине риска;

- использовать категорию профессионального риска в качестве основы для принятия решений по вопросам обеспечения производственной безопасности и ОТ, в том числе на основе принятия правовых актов, распорядительных и нормативно-методических документов;

- формировать политику в области производственной безопасности и ОТ в соответствии с международными обязательствами и прозрачными процедурами.

Узловым и наиболее широким понятием теории риск-менеджмента является процесс управления рисками. В общем случае процедура управления рисками использует информацию об идентификации опасности и оценке рисков вместе с информацией о технических ресурсах, социальных, экономических и других величинах в целях осуществления контроля, выбора или принятия решения о мерах, позволяющих уменьшить риск [1—4].

В связи с отсутствием среди специалистов единого подхода к формированию этапов процесса управления профессиональными рисками, нами проанализированы различные подходы к содержанию процесса управления риском в различных сферах его использования: экономике, промышленной и экологической безопасности (табл.). Последнее является важным с точки зрения необходимости соблюдения единых методологических принципов риск-менеджмента в родственных, взаимосвязанных и перетекающих друг в друга аспектах деятельности, которыми являются вышеперечисленные сферы.

Исходя из представленных в табл. результатов, наиболее предпочтительной, на наш взгляд, выглядит некоторая усредненная схема управления риском, состоящая из 4 основных этапов:

- идентификация (установление) факторов риска (опасности);
- оценка риска (качественная, количественная) в зависимости от его вида;
- контроль (шкалирование) и соответствующая достигнутому уровню стратегия управления (предотвращения) риска;
- финансирование риска.

Именно эта схема в большей степени реализует концепцию комплексной производственно-экономической оценки профессионального риска в условиях СУОТ, а также согласуется с принципом цикличного функционирования систем менеджмента безопасности труда и взаимодействия процедур в СУОТ.

Основные подходы к содержанию процесса управления риском

№ п/п	Этапы процесса управления риском	Источник
1	1. Анализ риска: выявление; оценка. 2. Выбор методов воздействия на риск при оценке их сравнительной эффективности. 3. Принятие решения. 4. Непосредственное воздействие на риск: снижение; сохранение; передача. 5. Контроль и корректировка результатов процесса управления.	[1]
2	1. Выявление предполагаемого риска. 2. Оценка риска. 3. Выбор методов управления риском. 4. Применение выбранных методов. 5. Оценка результатов.	[4]
3	1. Определение цели. 2. Выяснение риска. 3. Оценка риска. 4. Выбор методов управления риском. 5. Осуществление этих методов. 6. Оценка результатов.	[5]
4	1. Выработка цели риска. 2. Определение вероятности наступления события. 3. Выяснение степени и величины риска. 4. Анализ окружающей обстановки. 5. Выбор стратегии управления риском. 6. Выбор необходимых для данной стратегии приемов управления риском и способов его минимизации. 7. Осуществление целенаправленного воздействия на риск.	[2]
5	1. Идентификация (установление) риска. 2. Оценка риска. 3. Предотвращение (контролирование) риска. 4. Финансирование риска.	[6]
6	1. Выявление и классификация основных видов риска. 2. Расчет адекватной и легко интерпретируемой количественной меры риска. 3. Принятие решения об уменьшении или увеличении выявленных рисков. 4. Разработка и реализация процедур контроля над рисками текущих позиций.	[3]

Окончание табл.

№ п/п	Этапы процесса управления риском	Источник
7	1. Идентификация проблемы и ее рассмотрение в контексте конкретной ситуации. 2. Анализ риска, связанного с существованием данной проблемы в ее контексте. 3. Тщательное изучение возможных подходов к решению проблемы и снижению степени существующей опасности. 4. Принятие решения о реализации той или иной альтернативы. 5. Реализация принятого решения. 6. Оценка полученных результатов.	[7]
8	1. Идентификация рисков. 2. Оценка вероятностей неблагоприятных событий. 3. Определение структуры возможного ущерба. 4. Построение законов распределения ущербов от каждого события. 5. Определение количественной характеристики меры риска. 6. Определение возможных методов воздействия на риск и оценка их эффективности. 7. Разработка и принятие решения о внедрении конкретного набора мероприятий по управлению риском. 8. Контроль результатов.	[8]
9	1. Планирование и организация работ. 2. Идентификация опасностей. 3. Оценка риска. 4. Разработка рекомендаций по уменьшению риска.	[9]

Схема управления рисками в области безопасности труда может быть представлена в виде соответствующего алгоритма (рис.) и перечня функций.

Основная функция идентификации риска заключается в систематическом выявлении и изучении факторов риска, которые характерны для конкретного вида профессиональной деятельности. При этом определяются:

опасности, представляющие угрозу;

ресурсы предприятия, которые могут пострадать;

факторы, влияющие на вероятность реализации риска;

ущерб, в которых выражаются различного рода последствия риска.

Факторы, влияющие на вероятность реализации риска, подразделяются:

на факторы I порядка — это первичные причины, вызывающие риск.

Чаще всего они носят объективный характер и находятся вне контроля (стихийные бедствия, аварии и т. д.);

II порядка — влияют на вероятность возникновения ущерба и его величину, сами по себе не являясь его причиной. Они могут быть объективными и субъективными. Объективные факторы — это строительные материалы и конструкции здания, наличие системы обеспечения безопасности на предприятии, местонахождение объекта и т. д. Субъективные факторы связаны с особенностями поведения и характером человека, они оказывают решающее воздействие на рисковую ситуацию.



Алгоритм управления рисками в области безопасности труда

Функция оценки риска заключается в определении степени вероятности и размеров количественной меры негативных последствий его проявления (ущерба и т. п.).

Функции этапа управления риском находятся в зависимости от выбора одного из трех сценариев: сохранения, уменьшения или передачи риска, определяемого по результатам контроля его уровня.

Стратегия сохранения применима в случае обеспечения приемлемых уровней риска и исключает какую-либо дополнительную деятельность в области ОТ.

Стратегия уменьшения риска предполагает разработку и реализацию превентивных мероприятий, снижающих уровень нежелательных последствий. При этом конечной целью также выступает достижение приемлемого уровня профессионального риска.

Передача риска используется в практике риск-менеджмента в случаях его чрезвычайно высоких уровней. Причем речь идет о ситуациях, когда высокий уровень риска обусловлен в основном величиной негативных последствий при низкой вероятности их проявления. Механизмом реализации передачи риска является механизм страхования, который призван перераспределить возможные потери среди большой группы физических и юридических лиц, подвергающихся однотипному риску.

Подводя итог, можно заключить, что методология риск-менеджмента с точки зрения целеполагания СУОТ должна решать двуединую задачу:

анализа величины риска и принятия решений, направленных на ее снижение до пределов, соответствующих приемлемому уровню риска;

анализа цены риска и реализации стратегии и методов его снижения.

К сожалению, в настоящее время уровень отечественных методических разработок в области оценки профессиональных рисков явно недостаточен для того, чтобы можно было говорить о государственном регулировании процесса управления профессиональными рисками [10].

Иногда говорят, что подход, реализующий управление рисками, неправильный, поскольку риск необходимо только снижать. Это не так. В некоторых случаях работодатель может сознательно пойти на повышение допустимого уровня риска для работников, например при ликвидации аварийных ситуаций, при выполнении срочных, но очень выгодных заказов, или отказываясь от некоторых ранее установленных требований ОТ, если после оценки рисков окажется, что эти ограничения связаны с ничтожными рисками (но все-таки — рисками) [10].

Следовательно, методология управления рисками в рамках СУОТ должна:

быть информативной, представляя данные оценки рисков преимущественно в количественном виде, но максимально используя при этом качественную информацию (вербальную, лингвистическую). Последнее накладывает определенные требования к методологии и инструментарию идентификации факторов риска, расчета величины и контроля его уровней;

быть простой и понятной, обеспечивая ее широкое применение на уровне линейных специалистов (мастер, прораб, начальник участка, бригадир), которые на практике и осуществляют фактическое управление рисками;

удовлетворять требованию воспроизводимости полученных единожды оценок для возможности ее применения при разрешении трудовых споров, подтверждении соответствия, а также при оценке эффективности проведенных мероприятий по ОТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хохлов Н. В. Управление риском : учеб. пособие для вузов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 239 с.
2. Балабанов И. Т. Риск-менеджмент. М. : Финансы и Статистика, 1996. 192 с.
3. Лобанов А., Филлин С., Чугунов А. Риск-менеджмент // Риск. 1999. № 4. С. 43—52.
4. Лапуста М. Г., Шаршукова Л. Г. Риски в предпринимательской деятельности. М. : ИНФРА-М, 1998. 224 с.
5. Сердюкова И. Д. Методы анализа финансовых рисков // Бухгалтерский учет. 1996. № 6. С. 54—57.
6. Смирнов В. В. Страховая защита от рисков при реализации продукции по договорам купли-продажи по базисам поставки. М. : Издательский центр «Анкил», 1997. 232 с.
7. Харченко С. Г., Паровина О. С. Управление риском // Экология и промышленность России. 2001. Октябрь.
8. Тихомирова Т. М., Тихомиров Н. П. Совершенствование управления природоохранной деятельностью на территориях экологически опасных объектов // Экономика природопользования. Вып. 1. М. : ВИНТИ, 2000. С. 33—45.
9. РД 03-418—01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Постановление Госгортехнадзора России от 10.07.01 № 30. Вып. 3. М. : ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.

10. *Федорец А. Г.* Методические основы количественного оценивания производственных рисков // Энергобезопасность в документах и фактах. 2008. № 2. URL: [http:// www.endf.ru](http://www.endf.ru)

1. *Khokhlov N. V.* Upravlenie riskom : ucheb. posobie dlya vuzov. M. : YuNITI-DANA, 2001. 239 s.
2. *Balabanov I. T.* Risk-menedzhment. M. : Finansy i Statistika, 1996. 192 s.
3. *Lobanov A., Filin S., Chugunov A.* Risk-menedzhment // Risk. 1999. № 4. С. 43—52.
4. *Lapusta M. G., Sharshukova L. G.* Riski v predprinimatel'skoy deyatel'nosti. M. : INFRA-M, 1998. 224 s.
5. *Serdyukova I. D.* Metody analiza finansovykh riskov // Bukhgalterskiy uchët. 1996. № 6. S. 54—57.
6. *Smirnov V. V.* Strakhovaya zashchita ot riskov pri realizatsii produktsii po dogovoram kupli-prodazhi po bazisam postavki. M. : Izdatel'skiy tsentr «Ankil», 1997. 232 s.
7. *Kharchenko S. G., Parovina O. S.* Upravlenie riskom // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2001. Oktyabr'.
8. *Tikhomirova T. M., Tikhomirov N. P.* Sovershenstvovanie upravleniya prirodookhrannoy deyatel'nost'yu na territoriyakh ekologicheskii opasnykh ob'ektov // Ekonomika prirodopol'zovaniya. Vyp. 1. M. : VINITI, 2000. S. 33—45.
9. RD 03-418—01. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov. Postanovlenie Gosgortekhnadzora Rossii ot 10.07.01 № 30. Vyp. 3. M. : GUP «Nauchno-tekhnicheskiiy tsentr po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Ros-sii», 2002.
10. *Fedorets A. G.* Metodicheskie osnovy kolichestvennogo otsenivaniya proizvodstvennykh riskov // Energoбезопасность в документах и фактах. 2008. № 2. URL: [http:// www.endf.ru](http://www.endf.ru)

© Пушенко С. Л., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Пушенко С. Л. Риск-менеджмент и его интеграция в систему управления охраной труда // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 121—128.

УДК 628:511

С. Л. Пушенко

РИСКИ КАК МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

В статье рассматриваются существующие противоречия терминологического подхода к определению категории «риск». Показывается целесообразность использования этой категории для повышения эффективности управления охраной труда.

К л ю ч е в ы е с л о в а: профессиональный риск, производственный риск, опасный производственный фактор, охрана труда.

In the article the author considers the existing contradictions of the terminological approaches for the definition of the “risk” category. The reasonability of use of this category to increase the efficiency of health and safe management is proved.

K e y w o r d s: professional risk, industrial risk, harmful production factor, labor safety.

Как известно, любая из современных систем управления охраной труда (СУОТ) основывается на принципе предотвращения опасности. Одной из характеристик опасности, широко используемой в настоящее время, является категория риска.

Риск — это степень опасности негативных воздействий или неудачи в предпринимаемых действиях. Другими словами, риск — это измеренная возможность того, что ход событий, действия и результаты деятельности приведут к последствиям, отрицательно воздействующим на человеческие ценности. Можно привести еще некоторые общие формулировки, дополняющие и уточняющие содержательную часть понятия риска [1—4]:

возможность наступления некоторого неблагоприятного события, влекущего за собой различного рода потери;

элемент управления в условиях неопределенности;

вероятность реализации опасности;

потенциальная опасность получения нежелательных (негативных) результатов и др.

Категории «опасность» и «риск» отражают разнообразные связи, взаимоотношения и противоречия в сложной системе «человек — техническая система — внешняя среда», а также внутри каждого из ее компонентов.

Опасность является вероятностной категорией, которая может меняться в пространстве и во времени. Под характеристикой опасности, связанной с конкретным событием следует понимать вероятность проявления этого события в данном месте и в заданное время.

Риск, в отличие от опасности, нельзя рассматривать в отрыве от возможных последствий проявления данной опасности, что предполагает:

существование источника опасности, либо внешнего, либо внутреннего по отношению к данному объекту, либо их комбинации;

воздействия этого источника на данный объект или подверженность последнего указанному воздействию;

недостаточную защищенность или уязвимость объекта к такому воздействию.

Обобщая различные трактовки понятия риска, необходимо подчеркнуть следующие характерные моменты:

- неопределенность — это объективное условие существования риска;
- толерантность к риску — субъективная составляющая риска;
- необходимость принятия решения — субъективная причина существования риска;
- будущее — источник риска;
- последствия опасности (величина потерь) — основная угроза от риска;
- взаимосвязь «риск-предотвращение опасности» — стимулирующий фактор принятия решений в условиях неопределенности.

С учетом сказанного самым перспективным и эффективным подходом к практической реализации «предотвращения опасности» выступает процесс оценки и управления профессиональными рисками. За рубежом этот инструмент позволяет добиться исключительно высоких результатов и желанной цели — рабочих мест без травм и профзаболеваний. В условиях России сложность решения задач по оценке профессионального риска во многом обусловлена тем, что на протяжении практически 80 лет у нас доминировала доктрина «нулевого риска» для работающих, или «абсолютной безопасности» труда при условии достижения нормативных значений факторов производственной среды. Даже сам термин «риск» применительно к производственным условиям и обеспечению безопасности труда был под запретом [5]. При этом подавляющее число предприятий и особенно в строительной отрасли просто не в состоянии достичь безусловного соблюдения нормативных значений факторов риска, т. е. уровня «нулевого риска».

Концепция риска, получившая признание на Западе в конце 60-х годов, исходит из тезиса о принципиальной невозможности полного исключения профессионального риска в процессе трудовой деятельности и требует, с одной стороны, оценки и определения уровней «приемлемого риска», с другой — принятия мер по исключению чрезмерного или «недопустимого риска». Для этого наблюдения за состоянием производственной среды и трудового процесса дополняются методами оценки здоровья, трудоспособности работающих, установлением взаимосвязи между состоянием условий труда и вероятностью возникновения повреждающих эффектов и др. [1, 5].

Исследования показывают, что одному смертельному случаю предшествуют 10—30 тяжелых травм, около 100—300 легких травм (с потерей трудоспособности на 1 день и более), 1—3 тыс. микротравм и 10—30 тыс. опасностей, возникающих на производстве. Гипотетически каждый из 10—30 тыс. опасных факторов при определенных условиях может привести к тяжелому или смертельному случаю. Чтобы определить реальный риск этих опасных факторов, в общем случае необходима их идентификация, оценка вероятности и последствий обусловленных ими событий с последующим ранжированием последних с учетом функциональной зависимости

$$R = f(P, A), \quad (1)$$

где P — вероятность события, A — последствия события [1].

Данная концепция риска позволяет построить не только «пирамиду происшествий» (рис. 1), но и обеспечить решение практических задач, например: определить «пирамиду ответственности» (рис. 2), построить «звезду безопасности» (рис. 3), сформировать матрицу риска рабочего места и т. п.

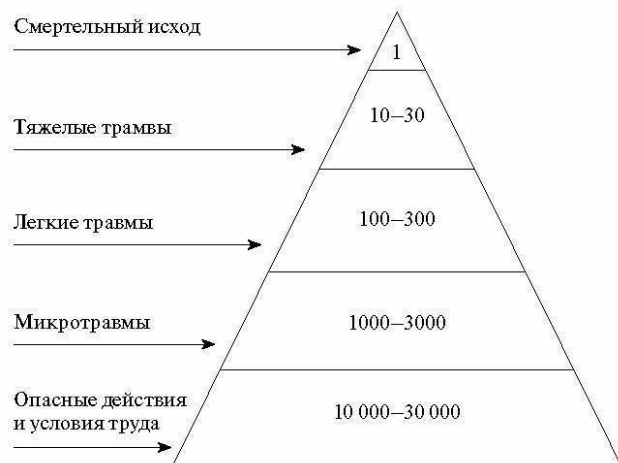


Рис. 1. Пирамида происшествий



Рис. 2. Пирамида ответственности

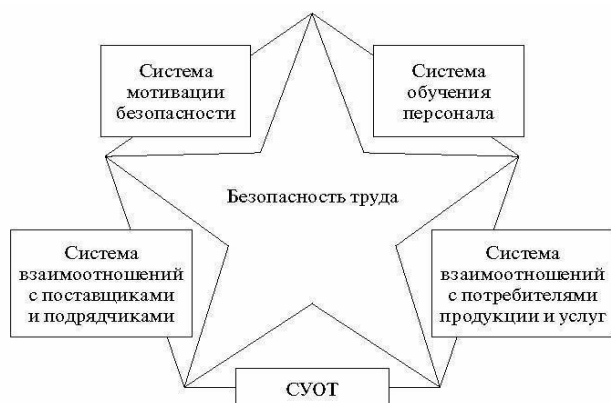


Рис. 3. Звезда безопасности

Последнее обуславливает необходимость перехода к комплексному исследованию рисков, методологии их оценки и управления.

Прежде всего необходимо более подробно остановиться на существе понятия риска применительно к решению задач ОТ и СУОТ.

В общем виде категория «риск» отражает некую величину, описывающую степень соответствия или несоответствия качества производственной среды установленным нормативам или политики предприятия. Если говорить о дальнейшей конкретизации, то на фоне достаточно широкого спектра формулировок, часть из которых закреплена в нормативных документах, единого подхода к понятию риска с точки зрения управления качеством производственной среды, до сих пор не существует. Как видно из табл., содержательная часть понятия риска определяется в зависимости от направления его практического использования.

Основные трактовки понятия риска в сфере ОТ

Направления использования	Определение риска	Источник
Обеспечение безопасности	Риск — сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести ущерба.	[10, 11]
Социальное страхование	Профессиональный риск — вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти застрахованного, связанная с исполнением им обязанностей по трудовому договору (контракту) и в иных установленных законом случаях.	[12]
Медицина и гигиена труда	Профессиональный риск — математическая концепция, отражающая ожидаемую тяжесть и/или частоту неблагоприятных реакций организма человека на данную экспозицию вредного фактора производственной среды (определение ВОЗ).	[13]
	Риск — это количественный показатель неопределенности при альтернативном выборе решения в начале и в процессе конкретной деятельности, выражающей вероятность вытеснения, замещения пользы вредом в структуре ожидаемых результатов деятельности за определенный период.	[14]
Управление (менеджмент) ОТ	Риск — сочетание вероятности возникновения в процессе трудовой деятельности опасного события, тяжести травмы или другого ущерба для здоровья человека, вызванных этим событием.	[15]
	Риск для здоровья и безопасности персонала — вероятность и последствия реализации опасного для здоровья и безопасности персонала события.	[16]
	Риск — сочетание вероятности наступления опасного события и тяжести травмы или ущерба для человеческого здоровья, вызванных этим событием.	[17]
	Риск — комбинация вероятности наступления опасного события или подвергания какому-либо воздействию (воздействиям) и серьезности повреждений или ухудшения состояния здоровья, которые могут быть вызваны событием или подверганием воздействию (воздействиям).	[18]

С количественной точки зрения чаще используют классическую форму выражения уровня риска как безразмерной величины, имеющей пределы изменения от 0 до 1 (0—100 %). Однако существуют и другие подходы, позволяющие оценить риск посредством бальной системы или иных показателей, характеризующих вероятность неблагоприятного исхода. Примерами таких подходов могут служить классы условий труда [6], а также экспертные и иные субъективные системы оценки [7—9].

Концептуально-терминологические различия в представлении риска касаются еще одного важного аспекта — нормативного целеполагания. Нетрудно заметить, что, несмотря на различные области использования, в определениях риска (табл.) доминирует медико-гигиеническая оценка условий труда. Это объясняется тем, что до сих пор основным инструментом оценки влияния вредных производственных факторов (т. е. факторов риска) на здоровье работающих остаются гигиенические нормативы. Их превышение рассматривается как нарушение санитарного законодательства и учитывается при установлении защитных мер социального и экономического характера, таких как: сокращенные рабочий день и неделя, досрочный (на 5, 10 и более лет) выход на пенсию, увеличенная продолжительность ежегодного отпуска, доплаты за вредные условия труда, предоставление лечебно-профилактического питания и др.

При этом акцент делается не на профилактических мерах снижения факторов риска, а на мероприятиях компенсационного типа. Такая политика привела к расширению масштабов предоставления различного рода льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда, право на которые в России в настоящее время имеют около 40 % работающих, занятых в сфере материального производства [5]. Но льготы, какими бы они ни были, не в состоянии устранить вредного воздействия факторов профессионального риска, даже если они находятся в пределах нормативных значений, а также предотвратить нарушений здоровья работающих. Поэтому все чаще можно слышать мнения специалистов о необходимости ограничения применения медико-гигиенических оценок условий труда [19].

С этим же аспектом связан еще один не менее важный вопрос — противопоставление понятий «профессиональный» и «производственный» риск [20, 21], наметившееся в последнее время.

Под *профессиональным риском* понимают вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти, связанная с исполнением обязанностей по трудовому договору (контракту) и в иных установленных законом случаях [21].

Производственный риск характеризует потенциальный ущерб (в том числе для здоровья работающих) в результате наступления нежелательного события, связанного с производственной деятельностью предприятия, определяемый с учетом вероятности наступления этого события [21].

Из представленных определений следует, что профессиональный риск обусловлен особенностями профессии работника (группы смежных профессий). В этом случае, так или иначе, понятие «профессиональный» связано с работником, с личными интересами человека или определенного круга лиц, занятых определенным видом профессиональной деятельности. В то же время производственный риск связан с особенностями конкретного производства, применяемой технологии, системы управления, условий труда и т. п.

То есть понятие «производственный» характеризует факторы, оказывающие воздействие на работников различных профессий в процессе их трудовой деятельности, и имеет отношение к производству, виду деятельности, предприятию, отрасли и т. п.

Специалисты отмечают, что использование в СУОТ понятия «профессиональный риск» вместо понятия «производственный риск» помимо наличия терминологической неравноценности приводит к исключению из рассмотрения ряда рискованных ситуаций [21]:

- деятельности подрядчиков, поставщиков и других смежных организаций;
- редко выполняемых (разовых) работ (например, срочное выполнение погрузочно-выгрузочных работ и т. п.);
- нанесения ущерба посетителям, населению, производственной и окружающей среде;
- нанесения ущерба здоровью работающим и другим лицам в результате разрушения конструкции зданий и сооружений, падения оборудования, возгораний и других техногенных аварий.

Действующие нормативные документы также страдают терминологической двойственностью. В частности, документ МОТ [17] оперирует понятием «профессиональный риск», в то время как международные стандарты [18, 22, 23] используют термин «производственный риск».

В целом же понятия профессионального и производственного риска применительно к рабочему месту фактически отражают один и тот же предмет, только с различных точек зрения. Если понятие «профессиональный риск» чаще используется с точки зрения работника с целью характеристики его социальной защищенности (предоставления компенсаций) в связи с наличием на его рабочем месте вредных и опасных производственных факторов и носит пассивный характер, то понятие «производственный риск» отражает точку зрения менеджера, занятого решением проблемы уменьшения производственных рисков на рабочем месте работника с целью недопущения ущерба для его здоровья и жизни и, соответственно, носит активный характер. В целом же управление рисками применительно к решению задач ОТ и СУОТ подразумевает контроль не только вредных и опасных факторов, обусловленных технологическим процессом, но и состояние системы «человек — производственная среда». В этом случае работающие подвержены воздействию негативных факторов как профессионального, так и производственного рисков. Данное обстоятельство, на наш взгляд, обуславливает возможность существования и целесообразность использования этих понятий на паритетной основе в зависимости от конкретной постановки задач в рамках СУОТ.

На протяжении последних лет ведутся активные дискуссии о преимуществах и недостатках существующих подходов в оценке профессиональных рисков. Высказываются самые разные мнения по выбору пути построения и развития системы оценки и управления профессиональными рисками в России. Использование категории риска как наиболее адекватного и универсального инструмента управления в сфере обеспечения безопасности труда активно поддерживается большинством специалистов [8, 19, 21], а также положено в основу реформирования СУОТ в соответствии с государственной программой «Безопасный труд», реализация которой рассчитана до 2025 г. Противниками подобного реформирования высказываются опасения

о возможности формальной подмены параметра риска различного рода статистическими критериями [24]. Поэтому вопросы методического обеспечения оценки рисков через призму опыта, накопленного в области ОТ, с учетом уже сложившихся подходов к его математическому описанию через разнообразные модели (не только статистические) являются одной из основных задач перехода от нормативного регулирования ОТ к управлению рисками функционирования системы «человек — производственная среда».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хохлов Н. В. Управление риском: учеб. пособие для вузов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 239 с.
2. Балабанов И. Т. Риск-менеджмент. М. : Финансы и Статистика, 1996. 192 с.
3. Лобанов А., Филин С., Чугунов А. Риск-менеджмент // Риск. 1999. № 4. С. 43—52.
4. Алымов В. Т., Кранчатов В. П., Тарасова Н. П. Анализ техногенного риска : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Круглый стол, 2000. 160 с.
5. Роик В. «Нулевой риск» — химера // Человеческие ресурсы — Профессиональный риск: проблемы анализа и управления, 2003. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rhr.ru/index.php/rule/social_work_and_PR.
6. Р 2.2.2006—05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. М., 2005. 133 с.
7. Иорыш А. И. Концепция риска: его оценка и управление им // Обеспечение безопасности населения и территорий. М. : РАН, 1994. С. 19—26.
8. Федорец А. Г. Вероятностно-статистические методы оценки профессиональных рисков // Безопасность в техносфере. 2007. № 4. С. 4—12.
9. Пособие по наблюдению за условиями труда на рабочем месте в промышленности / Хейкки Лайтинен, Пиркко-Лииза Раса, Тару Ланкиннен, Йоуни Лехтеля, Тимо Лескинен. Хельсинки, 2000. 24 с.
10. Руководство ИСО/МЭК 51:1999. Аспекты безопасности. Руководящие указания по включению их в стандарты.
11. ГОСТ Р 51898—2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты. М. : Госстандарт, 2002. 7 с.
12. Федеральный закон РФ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.base.consultant.ru>
13. Кульбовская Н., Щеколдина М. Профессиональный риск: оценка и контроль // Охрана труда и социальное страхование. 2008. № 7. С. 16—20.
14. Онищенко В. Я. К вопросу о структуре и классификации рисков // Безопасность жизнедеятельности. 2004. № 9. С. 28—31.
15. ГОСТ 12.0.230—2007 ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования 2007. 18 с.
16. ГОСТ Р 12.0.006—2002 ССБТ. Общие требования к управлению охраной труда в организации.
17. ILO—OSH—2001. Руководство по системам управления охраной труда MOT—СУОТ. 2001. 32 с.
18. OHSAS 18001:2007. Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний. Требования. 2007. 29 с.
19. Файнбург Г. З. Проблемы перехода к управлению профессиональными рисками в условиях переходной экономики и экономического кризиса // Безопасность и охрана труда. 2009. № 1. С. 17—20.
20. Федорец А. Г. Научно-методические основы управления производственными рисками на рабочих местах // Безопасность в техносфере. 2007. № 6. С. 18—27.
21. Федорец А. Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков // Энергобезопасность в документах и фактах. 2008. № 2. [Электронный ресурс]. URL: http://www.endf.ru/20_1.php
22. OHSAS 18002:2000. Системы менеджмента в области охраны труда и предупреждения профессиональных заболеваний. Руководящие указания по применению OHSAS 18001:1999. 2000. 122 с.
23. BS 8800:2004. Occupational health and safety management systems. Guide. 2004. 76 с.
24. Коротчук В. СУОТ на современном производстве // Охрана труда и социальное страхование. 2008. № 4. С. 19—22.

1. *Khokhlov N. V.* Upravlenie riskom: ucheb. posobie dlya vuzov. M. : YuNITI-DANA, 2001. 239 s.
2. *Balabanov I. T.* Risk-menedzhment. M. : Finansy i Statistika, 1996. 192 s.
3. *Lobanov A., Filin S., Chugunov A.* Risk-menedzhment // Risk. 1999. № 4. С. 43—52.
4. *Alymov V. T., Krapchatov V. P., Tarasova N. P.* Analiz tekhnogennogo riska : ucheb. posobie dlya studentov vuzov. M. : Kruglyy stol, 2000. 160 s.
5. *Roik V.* «Nulevoy risk» — khimera // Chelovecheskie resursy — Professional'nyy risk: problemy analiza i upravleniya, 2003. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.rhr.ru/index.php/rule/social_work_and_PR.
6. R 2.2.2006—05. Rukovodstvo po gigienicheskoy otsenke faktorov rabochey sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiya usloviy truda. M., 2005. 133 s.
7. *Yorysh A. I.* Kontseptsiya riska: ego otsenka i upravlenie im // Obespechenie bezopasno-sti naseleniya i territoriy. M. : RAN, 1994. S. 19—26.
8. *Fedorets A. G.* Veroyatnostno-statisticheskie metody otsenki professional'nykh riskov // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2007. № 4. S. 4—12.
9. Posobie po nablyudeniyu za usloviyami truda na rabochem meste v promyshlennosti / Kheykki Laytinen, Pirkko-Liiza Rasa, Taru Lankinen, Youni Lekhtelya, Timo Leskinen. Khel'sinki, 2000. 24 s.
10. Rukovodstvo ISO/MEK 51:1999. Aspekty bezopasnosti. Rukovodyashchie ukazaniya po vklyucheniyu ikh v standarty.
11. GOST R 51898—2002. Aspekty bezopasnosti. Pravila vklyucheniya v standarty. M. : Gosstandart, 2002. 7 s.
12. Federal'nyy zakon RF «Ob obyazatel'nom sotsial'nom strakhovanii ot neschastnykh sluchaeв na proizvodstve i professional'nykh zabolevaniy» ot 24 iyulya 1998 g. № 125-FZ [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.base.consultant.ru>
13. *Kul'bovskaya N., Shchekoldina M.* Professional'nyy risk: otsenka i kontrol' // Okhrana truda i sotsial'noe strakhovanie. 2008. № 7. S. 16—20.
14. *Onishchenko V. Ya.* K voprosu o strukture i klassifikatsii riskov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2004. № 9. S. 28—31.
15. GOST 12.0.230—2007 SSBT. Sistemy upravleniya okhranoy truda. Obshchie trebovaniya 2007. 18 s.
16. GOST R 12.0.006—2002 SSBT. Obshchie trebovaniya k upravleniyu okhranoy truda v organizatsii.
17. ILO—OSH—2001. Rukovodstvo po sistemam upravleniya okhranoy truda MOT—SUOT. 2001. 32 s.
18. OHSAS 18001:2007. Sistemy menedzhmenta v oblasti okhrany truda i preduprezhdeniya professional'nykh zabolevaniy. Trebovaniya. 2007. 29 s.
19. *Faynburg G. Z.* Problemy perekhoda k upravleniyu professional'nymi riskami v usloviyakh perekhodnoy ekonomiki i ekonomicheskogo krizisa // Bezopasnost' i okhrana truda. 2009. № 1. S. 17—20.
20. *Fedorets A. G.* Nauchno-metodicheskie osnovy upravleniya proizvodstvennymi riskami na rabochikh mestakh // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2007. № 6. S. 18—27.
21. *Fedorets A. G.* Metodicheskie osnovy kolichestvennogo otsenivaniya proizvodstvennykh riskov // Energobezopasnost' v dokumentakh i faktakh. 2008. № 2. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.endf.ru/20_1.php
22. OHSAS 18002:2000. Sistemy menedzhmenta v oblasti okhrany truda i preduprezhdeniya professional'nykh zabolevaniy. Rukovodyashchie ukazaniya po primeneniyu OHSAS 18001:1999. 2000. 122 s.
23. BS 8800:2004. Occupational health and safety management systems. Guide. 2004. 76 s.
24. *Korotchuk V.* SUOT na sovremennom proizvodstve // Okhrana truda i sotsial'noe strakhovanie. 2008. № 4. S. 19—22.

© Пушенко С. Л., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Пушенко С. Л. Риски как механизм повышения эффективности управления охраной труда // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 129—136.

УДК 658.345

В. А. Сенченко

ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАБОТЕ НА ВЫСОТЕ НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Несчастные случаи при работе на высоте имеют большую долю в общем числе несчастных случаев на малых предприятиях строительной отрасли. Безопасность труда при работе на высоте обеспечивается различными мероприятиями. Одним из основных мероприятий, обеспечивающих безопасность работ на высоте на малых предприятиях в строительстве, являются средства индивидуальной защиты при работе на высоте. Поэтому соблюдение всех необходимых требований к средствам индивидуальной защиты при работе на высоте является первоочередной мерой для снижения производственного травматизма, связанного с работой на высоте на малых предприятиях строительной отрасли.

К л ю ч е в ы е с л о в а: средства индивидуальной защиты при работе на высоте, охрана труда на малых предприятиях строительной отрасли, государственные нормативные требования охраны труда в строительной отрасли.

Accidents during the work at height at small construction enterprises have in general a significant amount. Safety of work at height is ensured by various actions. One of the main actions ensuring safety of works at height at small construction enterprises are the means of individual protection when working at height. Therefore observance of all necessary requirements to the means of individual protection during the work at height is a prime measure to decrease industrial injuries caused during work at height at small construction enterprises.

Key words: means of individual protection during work at height, work protection at small construction enterprises, state standard requirements of labor protection in construction.

По данным [1] среднесписочная численность на малых предприятиях строительной отрасли в 2010 году составила 235 833 человека (данная информация собирается Росстатом РФ 1 раз в 3 года). Численность пострадавших от несчастного случая на малых предприятиях строительной отрасли в Российской Федерации составила 628 человек. В том числе по виду происшествия «Падение пострадавшего с высоты» произошло 158 несчастных случаев. Таким образом, такой вид происшествия, как падение с высоты, на малых предприятиях строительной отрасли составляет 25,2 % от общего количества несчастных случаев. Данный вид происшествия в общем количестве несчастных случаев на производстве стоит на первом месте по количеству и заслуживает более пристального внимания.

Безопасность труда при работе на высоте обеспечивается организационными и техническими мероприятиями. В состав технических мероприятий входят средства индивидуальной защиты при работе на высоте.

К основным средствам индивидуальной защиты при работе на высоте относятся: пояса предохранительные, удерживающие привязи, стропы.

Удерживающие привязи, пояса предохранительные, стропы должны соответствовать требованиям ГОСТ и Техническим условиям на привязи и пояса конкретных конструкций [2, 3].

Приобретаемые за рубежом привязи и пояса должны иметь сертификат соответствия требованиям безопасности.

Ширина лямок привязи и пояса, несущих нагрузки, не должна быть менее 50 мм, безлямочной привязи и пояса в спинной части — не менее 80 мм.

Длина стропа (фала) привязи и пояса устанавливается техническими условиями на привязи и пояса конкретных конструкций.

Карабин стропа (фала) удерживающей привязи и предохранительного пояса должен обеспечивать быстрое и надежное закрепление и открепление одной рукой при надетой утепленной рукавице.

Продолжительность цикла «закрепление — открепление» должна быть не более 3 с.

Карабин должен иметь предохранительное устройство, исключающее его случайное раскрытие.

Замок и предохранитель карабина должны закрываться автоматически.

Условия безопасного применения стропа (фала) должны быть указаны в технических условиях на привязи и пояса конкретных конструкций.

Металлические детали привязи и предохранительного пояса не должны иметь трещин, раковин, надрывов и заусенцев.

На каждой удерживающей привязи, поясе предохранительном должны быть нанесены:

товарный знак предприятия-изготовителя, название изготовителя;

дата изготовления;

название и адрес поставщика или аналогичную информацию для идентификации поставщика, если необходимо;

предостережение с разъяснением о том, что данное оборудование непригодно для целей страховки;

размер и тип пояса;

клеймо ОТК;

обозначение стандарта или технических условий;

знак соответствия.

При проверке удерживающих привязей, поясов предохранительных, стропов особое внимание необходимо обращать на надежную работу карабинов, предохранительная цепь или металлический трос должны находиться в чехле из брезента или в изоляции, детали привязи и пояса, стропа не должны иметь трещин, надразов, надрывов, промасливания, прожогов и других дефектов, влияющих на безопасную эксплуатацию привязи, пояса, стропа.

Замки, карабины, кольца не должны иметь трещин, изгибов язычков и тому подобных повреждений, запорные устройства должны работать без заеданий.

Испытание статической нагрузкой удерживающей привязи, пояса предохранительного со стропом, являющимся неотъемлемой частью привязи (пояса) [4]. Удерживающую привязь, пояс предохранительный, соединенный со стропом, необходимо укрепить на испытательном цилиндре. Если строп регулируемый, то при помощи регулирующего устройства установить длину стропа не менее 300 мм, как показано на рис. 1. В соответствии с рис. 1 приложить нагрузку между испытательным цилиндром и карабином на свободном конце стропа.

Если строп нерегулируемый, то нагрузка прикладывается также, между испытательным цилиндром и карабином на свободном конце стропа. Карабин (карабины) должен быть неразъемно закреплен к фалу. Величина зева карабина должна быть от 14 до 25 мм. Если карабин самозамыкающегося или самозащелкивающегося типа, то он должен быть испытан в незамкнутом состоянии.

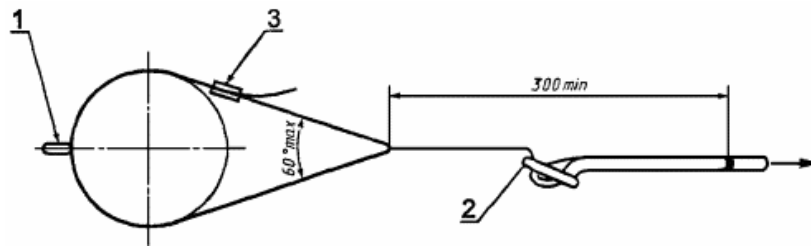


Рис. 1. Испытание удерживающей привязи, предохранительного пояса со стропом, являющимся их неотъемлемой частью, статической нагрузкой: 1 — боковой элемент крепления; 2 — устройство для регулирования длины; 3 — пряжка (при испытании пряжка не должна касаться цилиндра)

Нагрузку прилагают в течение 5 мин. Удерживающая привязь, предохранительный пояс должны удерживать испытательный цилиндр.

Испытательная нагрузка должна постоянно поддерживаться величиной 4000 Н (400 кгс) и фиксироваться с помощью динамометра.

Удерживающая привязь, предохранительный пояс считать выдержавшим эксплуатационные испытания, если у него в процессе и после приложения нагрузки отсутствуют:

- деформации металлических частей;
- надрывы ткани и ниток;
- другие дефекты, указывающие на снижение прочности пояса;
- деформации карабинов и стропа;
- на стропе отсутствуют разрывы, трещины и другие дефекты.

Испытание удерживающих привязей, предохранительных поясов производится не реже 1 раза в 6 месяцев.

Испытание статической нагрузкой удерживающей привязи, пояса предохранительного в качестве отдельного компонента [4]. Удерживающую привязь, пояс предохранительный укрепить на испытательном цилиндре (надеть на жесткую балку, присоединенную к динамометру, закрепленному в испытательном шкафу). Приложить к испытательному цилиндру испытательную нагрузку — между испытательным цилиндром и одним из боковых элементов укрепления (боковым кольцом) (рис. 2).

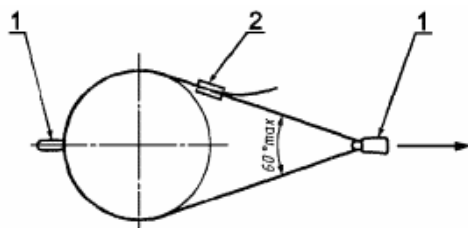


Рис. 2. Испытание удерживающей привязи, предохранительного пояса статической нагрузкой: 1 — боковой элемент крепления; 2 — пряжка (при испытании пряжка не должна касаться цилиндра)

Если другой боковой элемент крепления с противоположной стороны отличается по своей конструкции или удерживающая привязь, предохранительный пояс включает иные элементы крепления — следует повторить

данное испытание для каждого из этих элементов. Для этого необходимо приложить к испытательному цилиндру повторную испытательную нагрузку — между испытательным цилиндром и другим элементом укрепления (другим боковым кольцом) (см. рис. 2).

Нагрузку прилагают в течение 5 мин. Удерживающая привязь, предохранительный пояс должны удерживать испытательный цилиндр.

Испытательная нагрузка должна постоянно поддерживаться величиной 4000 Н (400 кгс) и фиксироваться с помощью динамометра.

Удерживающая привязь, предохранительный пояс считать выдержавшим эксплуатационные испытания, если у него в процессе и после приложения нагрузки отсутствуют:

- деформации металлических частей;
- надрывы ткани и ниток;
- другие дефекты, указывающие на снижение прочности пояса.

Испытание удерживающих привязей, предохранительных поясов производится не реже 1 раза в 6 месяцев.

Испытание статической нагрузкой стропа, предназначенного для удерживающей привязи, пояса предохранительного (монтерского) в качестве отдельного компонента [4]. Если строп регулируемый, то при помощи регулирующего устройства установить длину стропа не менее 300 мм, как показано на рис. 3. В соответствии с рис. 3 приложить испытательную нагрузку между конечными точками активной части стропа для удерживающих привязей, предохранительных поясов. Нагрузку прилагают в течение 5 мин, при этом строп не должен разрушиться.

Если строп нерегулируемый, то необходимо также приложить испытательную нагрузку между конечными точками активной части стропа для удерживающих привязей, предохранительных поясов. Нагрузку прилагают в течение 5 мин, при этом строп не должен разрушиться.

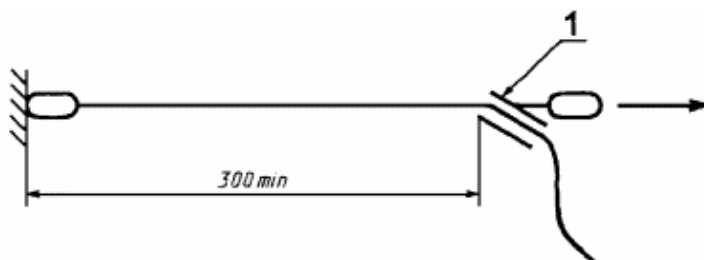


Рис. 3. Испытание стропа статической нагрузкой: 1 — устройство для регулирования длины

Карабин стропа должен обеспечивать быстрое и надежное закрепление и открепление одной рукой при надетой утепленной рукавице. Карабин должен иметь предохранительное устройство, исключающее его случайное раскрытие. Замок и предохранитель карабина должны закрываться автоматически.

Карабин (карабины) должен быть неразъемно закреплен к фалу. Величина зева карабина должна быть от 14 до 25 мм. Если карабин самозамыкающегося или самозащелкивающегося типа, то он должен быть испытан в незамкнутом состоянии.

Строп считать выдержавшим эксплуатационные испытания, если у него в процессе и после приложения нагрузки отсутствуют:

деформации металлических частей;

деформации карабинов;

надрывы ткани и ниток;

на стропе отсутствуют разрывы, трещины и другие дефекты, указывающие на снижение прочности стропа.

После окончания испытаний на удерживающей привязи, поясе предохранительном, стропах и их деталях не должно быть признаков повреждений, замки карабинов должны правильно и плотно входить в вырезы карабина, кожаные ремни не должны иметь вмятин более 3 мм. На удерживающих привязях, поясах предохранительных, стропах, выдержавших испытания, должна ставиться отметка с указанием очередного срока испытания, результаты испытаний заносятся в журнал учета и осмотра такелажных средств, механизмов и приспособлений» и оформляются протоколом. Каждый пояс должен иметь присвоенный ему регистрационный номер. Испытание стропов, привязей и предохранительных поясов производится не реже 1 раза в 6 месяцев.

Выше приведены требования нормативной документации к основным средствам индивидуальной защиты при работе на высоте, а также к методикам испытания. Соблюдение всех мер безопасности к средствам индивидуальной защиты при работе на высоте обязательно даст эффект для снижения производственного травматизма.

В современной отечественной литературе, интернет-источниках не приведена конструкция стендов для испытания вышеуказанных средств индивидуальной защиты. Анализ стендов по испытанию средств защиты при работе на высоте на предприятиях строительной отрасли показал, что на предприятиях отсутствуют промышленные образцы данных стендов. Поэтому в рамках реализации утвержденных методик испытаний средств индивидуальной защиты и снижения производственного травматизма задача по разработке малогабаритной конструкции стенда по испытанию средств индивидуальной защиты на малых предприятиях строительной отрасли является актуальной на сегодняшний день.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Письмо Росстата РФ от 13.08.2013 года «О распределении пострадавших по основным видам происшествий, приведших к несчастному случаю, и структура основных видов происшествий в отрасли «Строительство» за 2010 год».

2. ГОСТ Р ЕН 363—2007. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Страховочные системы. Общие технические требования // «Росстандарт». URL: <http://www.gost.ru> (дата обращения: 12.08.2013 г.).

3. ГОСТ Р ЕН 365—2010. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Основные требования к инструкции по применению, техническому обслуживанию, периодической проверке, ремонту, маркировке и упаковке // «Росстандарт». URL: <http://www.gost.ru> (дата обращения: 12.08.2013 г.).

4. ГОСТ Р 12.4.206—99. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Методы испытаний // «Росстандарт». URL: <http://www.gost.ru> (дата обращения: 12.08.2013 г.).

1. Pis'mo Rosstata RF ot 13.08.2013 goda «O raspredelenii postradavshikh po osnovnym vidam proissheshtviy, privedshevikh k neschastnomu sluchayu, i struktura osnovnykh vidov proissheshtviy v otrasli "Stroitel'stvo" za 2010 god».

2. GOST R EN 363—2007. Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity ot padeniya s vysoty. Strakhovochnye sistemy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya // «Rosstandart». URL: <http://www.gost.ru> (data obrashcheniya: 12.08.2013 g.).

3. GOST R EN 365—2010. Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity ot padeniya s vysoty. Osnovnye trebovaniya k instruktsii po primeneniyu, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu, periodicheskoy proverke, remontu, markirovke i upakovke // «Rosstandart». URL: <http://www.gost.ru> (data obrashcheniya: 12.08.2013 g.).

4. GOST R 12.4.206—99. Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity ot padeniya s vysoty. Metody ispytaniy // «Rosstandart». URL: <http://www.gost.ru> (data obrashcheniya: 12.08.2013 g.).

© Сенченко В. А., 2013

*Поступила в редакцию
в августе 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Сенченко В. А. Требования к средствам индивидуальной защиты при работе на высоте на малых предприятиях строительной отрасли // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 137—142.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 553.981

Г. А. Булычев, О. В. Бурлаченко, Ф. Г. Булычев

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КЛАТРАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Мировые запасы газовых гидратов (клатратных соединений) по предварительной оценке превышают запасы обычного природного газа. Чтобы поставить добычу гидратного газа на промышленные объемы, требуется глубокая научно-практическая проработка систем обустройства и эксплуатации таких промыслов. Строительство скважин здесь требует строгого расчета природной и искусственной энергии, чтобы обеспечить наиболее эффективную эксплуатацию месторождений при любом изменении его показателей на любом отрезке времени. При этом возможна и попутная добыча пресной воды при тепловом разрушении клатратов, когда уже созданы и апробированы многоцелевые подогреватели типа ПТ-Р/Д. Принципиальная схема обустройства клатратных промыслов предусматривает авторегулирование процессов их успешной эксплуатации без сторонней электрической энергии, рассмотрение возможностей безопасной работы промысловых объектов в разнообразных сухопутных и морских условиях клатратных залежей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: строительство, эксплуатация, газовые гидраты, клатраты, многоцелевые подогреватели, эффективность, надежность, промыслы, месторождения.

World reserves of gas hydrates (clathrate compounds) according to preliminary estimate exceed reserves of natural gas. To put the production of hydrate gas in industrial volumes, profound scientific and practice investigation of systems of arrangement and operation of such industries is required. For the construction of wells it is necessary to make precise calculation of natural and non-natural energy to provide the most effective exploitation of fields at any change of its indexes on any interval of time. In this case accompanying production of fresh water at thermal destruction of clathrates, when multipurpose heaters of PT-R/D type are already developed and tested, becomes possible. The basic diagram of the arrangement of clathrate industries provides automatic control of the processes of their successful operation without exterior electric energy, the consideration of opportunities of safe work of field facilities under various land and marine conditions of clathrate deposits.

K e y w o r d s: construction, operation, gas hydrates, clathrates, multipurpose heaters, efficiency, reliability, industries, fields.

В настоящее время нефтегазовая отрасль РИТЭК (Российский инновационный топливно-энергетический комплекс) вынуждена развиваться не только по объемам добываемой продукции, но еще с большим опережением по количеству и разнообразию эксплуатируемых месторождений углеводородных залежей. Решение этой практической задачи возможно на основе создания и широкого использования техники и технологий многофункционального назначения [1]. Это требует вести опережающими темпами модернизацию объектов РИТЭК с применением ресурсосберегающих процессов, в том числе с комплексным использованием трудноизвлекаемых запасов нефти, газа и сопутствующих элементов.

Повышение эффективности строительства скважин и эксплуатации нефтяных, газовых, газоконденсатных и газогидратных объектов на суше и водных территориях должны начинаться с расширенного профессионального технико-экономического обоснования (ТЭО), считая главной целью не только материальные ресурсы промыслов, но и повышение рациональности превращения всех видов природной энергии открытых залежей в искусственную, сокращая затраты на ее покупку у сторонних производителей.

С целью повышения эффективности строительства и эксплуатации нефте- и газодобывающих сооружений предлагается следующая методика технико-экономического обоснования выбора оптимального решения:

расчет природных ресурсов продуктивной залежи в виде всех видов расходуемой энергии $\Sigma E_{ис}$;

расчет затрачиваемой энергии на приобретение и эксплуатацию известной техники и технологии $\Sigma E_{зт}$;

расчет затрачиваемой энергии на создание и использование новой техники и технологии $\Sigma E_{зн}$;

расчет возврата энергии от утилизации всех видов и компонентов добываемой продукции $\Sigma E_{пг}$;

расчет возврата энергии от утилизации всех видов устаревшей техники и материалов $\Sigma E_{пм}$.

Уравнение баланса энергетических величин можно представить в виде

$$\Sigma E_{ис} = \Sigma E_{зт} + \Sigma E_{зн} + \Sigma E_{пг} + \Sigma E_{пм}, \quad (1)$$

или

$$\Sigma E_{ис} = \Sigma E_3 + \Sigma E_n. \quad (2)$$

Следовательно, вся полезная (искусственная) энергия $\Sigma E_n = \Sigma E_{пг} + \Sigma E_{пм}$ является положительным результатом действия промысла по превращению природной энергии $\Sigma E_{ис}$, с расходом подведенной энергии $\Sigma E_3 = \Sigma E_{зт} + \Sigma E_{зн}$, когда наибольшая эффективность

$$\Sigma E_n = \Sigma E_{ис} - \Sigma E_3 \gg \Sigma E_3. \quad (3)$$

Результирующим параметром такого расчета является относительная величина соотношения полезной и затраченной энергии — коэффициент полезного использования энергии

$$\eta_3 = \frac{\Sigma E_{ис} - \Sigma E_3}{\Sigma E_{ис}} = \frac{\Sigma E_n}{\Sigma E_{ис}} < 1. \quad (4)$$

Соотношение (4) позволяет объективно оценивать эффективность эксплуатации месторождения при любом изменении его показателей и на любом отрезке времени. Чем выше η_3 , тем лучше экономичность превращения природной энергии в искусственную (управляемую человеком), тем эффективнее производство, независимо от того, на начальной или на завершающей стадии находится разработка залежи.

Опираясь на приближенный принцип суперпозиции энергии, обоснованной М. Планком, в нашем случае материальная система вполне закономерно представляется в виде суммы (1) отдельных ее составляющих, обычно

рассматриваемых независимо друг от друга. Все сказанное можно представить в общем виде, когда изменение промысловой продукции от пласта до потребителя оценивается удельным показателем

$$\bar{E} = \frac{\text{располагаемая энергия}}{\text{объем продукции}} = \frac{\sum E_{\text{ис}}}{\sum V_n}. \quad (5)$$

Выражение (5) может быть уточнено следующим образом:

$$\bar{E} = \frac{\sum E_{\text{ис}}}{\sum G_n} = \frac{\sum E_z + \sum E_n}{\sum G_n}, \quad (6)$$

где G_n — массовый расход нефти.

Совершенство же транспортных коммуникаций для доставки добываемой продукции представляется возможным оценивать коэффициентом энергетической эффективности системы

$$\eta_{\text{эз}} = \frac{\bar{E}_k}{\bar{E}_n} \rightarrow 1, \quad (7)$$

где $\bar{E}_k$ и $\bar{E}_n$ — показатели удельной энергоемкости продукции, которыми она обладает в конце и начале трубопровода, соответственно.

Для сложных систем при одновременном расходе и восполнении энергии соотношение для определения коэффициента энергетической эффективности здесь имеет вид

$$\eta_{\text{эс}} = \frac{\sum \bar{E}_k}{\sum \bar{E}_n}, \quad (8)$$

где $\sum \bar{E}_k$ и $\sum \bar{E}_n$ — показатели удельной энергоемкости продукции, которыми она обладает в конце и начале действия системы.

Из приведенного следует, что если общеизвестный коэффициент полезного действия дает только суммарную оценку строительной машины, то коэффициент энергетической эффективности позволяет определить энергетическую эффективность техники или технологии. Это становится все более актуальным при возрастании дефицита энергии и необходимости выбора наиболее совершенных видов ее преобразования.

Целесообразность применения предложенного подхода исследовалась на примерах разработки газогидратных залежей на суше и в морских условиях.

Данный подход позволяет более обоснованно выбирать способы разработки и газогидратных залежей углеводородов, когда кристаллы метана, этана, пропана и т. п. образуют клатраты при наличии паров воды при специфических давлениях и температурах в условиях равновесного состояния.

Создание условий разрушения клатратов приводит к повышению температуры смеси. Это, в свою очередь, увеличивает не только потенциальную, но и кинетическую энергию молекул воды, и, как следствие, скорость перемешивания «горячих» молекул с другими флюидами продуктивного пласта. «Гидратная» структура воды после теплового разрушения клатратов практически полностью размывается с повышением ее температуры до 30 °С.

К особенностям разложения клатратов здесь можно отнести и то, что объем жидкой смеси «газ — вода» возрастает по зависимости

$$V_c = f(\Delta T \cdot P_c), \quad (9)$$

где $\Delta T = T_c - T_o$ — приrost температуры смеси при ее нагреве как разница температур начала и конца процесса.

Давление нагреваемой смеси P_k возрастает в ограниченном пространстве по зависимости окончания нагрева

$$P_k = \Delta T \cdot P_c + ZP_o, \quad (10)$$

где P_c — давление смеси в конце нагрева; P_o — давление смеси в начале нагрева клатратов; Z — коэффициент сжимаемости газа.

С учетом всего сказанного, строительство клатратного промысла может осуществляться на основе принципиальной схемы его обвязки (рис. 1).

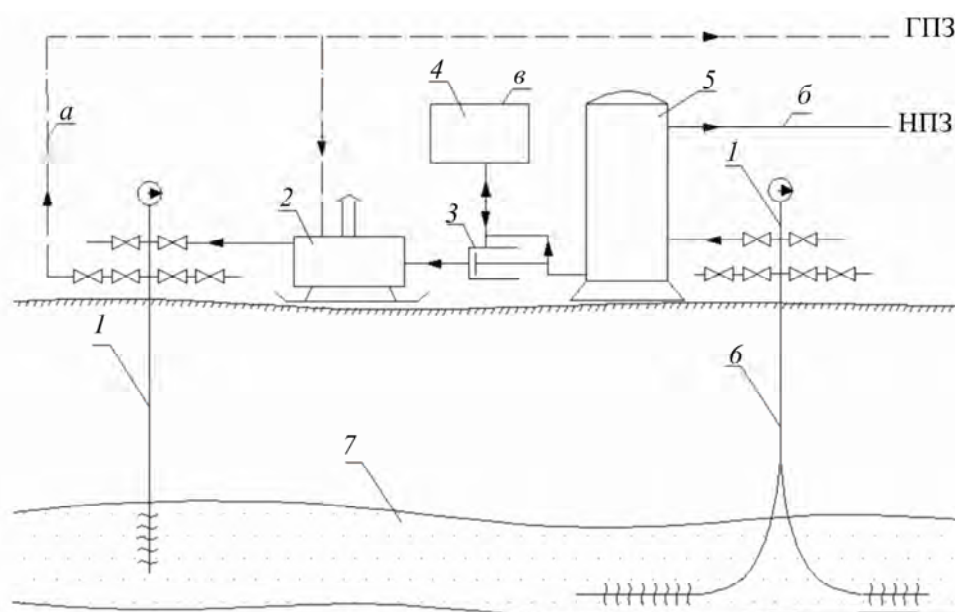


Рис. 1. Принципиальная схема строительства и эксплуатации клатратного промысла: 1 — термонагнетательная скважина; 2 — подогреватель ПТ-РД; 3 — насос; 4 — емкость запаса воды; 5 — сепаратор; 6 — добывающая скважина; 7 — продуктивный пласт; а — линия углеводородных газов; б — линия жидких углеводородов; в — линия отвода пресной воды

Бурение скважин нагнетательных 1 и добывных 6 возможно традиционным способом с использованием бурового раствора — антифриза, например, на водном растворе бишофита, предельная температура замерзания которого достигает минус 50 °С.

Во время запуска в работу промысла подача горячей воды из буферной емкости 4 насосом 3 осуществляется через подогреватель 2 по трубам НКТ скважины 1. Когда начало «горячего» разложения клатратов будет наблюдаться и регулироваться через затрубное пространство с малым отбором свободного газа, который используется в качестве топлива для интенсификации работы продуктивного пласта 7 и подогревателя 2, который может применяться до и после насоса 3, по необходимости предельного рабочего давления «горячей» воды.

Насос 3 и подогреватель 2 могут функционировать во взаимосвязанных автоматических режимах по общей зависимости (9).

По мере распространения теплового фронта от нагнетательных скважин 1 к добывающим 6 возрастает дебит последних скважин 6 с подачей продукции (смесь газ—вода) в сепаратор 5, из верха которого углеводородные газы идут по линии *a* в систему их сбора на переработку в ГПЗ (газоперерабатывающий завод).

Жидкие углеводороды из средней части сепаратора 5 по линии *б* поступают в систему сбора и переработки на НПЗ (нефтеперерабатывающий завод).

Пресная вода из нижней части сепаратора 5 в основном идет через буферную емкость 4 (установку подготовки воды) на дальнейшее использование, а частично через насос 3 расходуется через подогреватель 2 в качестве горячего реагента в нагнетательные скважины 1 при установившихся режимах и без добавления бишофита.

К тепловым установкам здесь предъявляются повышенные требования, которым пока соответствуют многоцелевые автоматизированные подогреватели [2] нормализованного ряда ПТ-Р/Д (рис. 2).

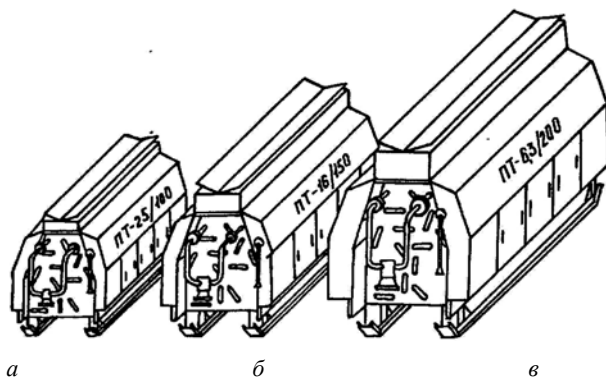


Рис. 2. Нормальный ряд многоцелевых подогревателей ПТ-Р/Д на предельное рабочее давление: *а* — 25 МПа; *б* — 16 МПа; *в* — 6,3 МПа

Такие подогреватели (без дымовых труб и их растяжек) являются мобильными, компактными с суммарной тепловой мощностью при групповом применении до 30 млн ккал/ч с минимальным обслуживанием при любых погодных условиях. Совершенное использование низкосортного топлива (факельного газа) дает возможность при минимальных технико-экономических затратах, а следовательно, и с максимальной выгодой, в том числе с надежным сохранением окружающей среды. При этом данные подогреватели обладают универсальностью с точки зрения сжигаемого топлива.

Авторегулирование процесса подогрева разнообразных текучих сред возможно и без постоянного использования электрической энергии. Что особенно важно для повышения надежности нефтегазовых объектов в пустынных, арктических и морских регионах.

Как показала практика, использование подогревателей, тепловых установок класса ПТ-Р/Д (ОСТ 39-179—85) успешно применялось не только в системе нефтегазосбора для подогрева нефти, пресной и минерализованной воды, газа и их смеси, но и в обогреве жилых и служебных помещений, вахтовых поселков, больниц, школ, теплиц и т. п.

Высокая тепловая мощность, способность утилизировать «сырой» газ способствуют экономичному и экологичному использованию ПТ-Р/Д (табл.) вместо энергоемких котельных установок с дорогостоящей водоподготовкой и наличием многочисленного квалифицированного обслуживающего персонала.

Стандартные показатели нормализованных ПТ-Р/Д

Наименование параметров	Ед. изм.	Многоцелевые подогреватели				
		на газовом топливе				на жидком топливе
		ПТ-160/100М	ОСТ 39-179—85			ПТ-16/100 Мж
			ПТ-25/100	ПТ-16/150	ПТ-6,3/200	
Тепловая мощность, не более	МВт	1,86	0,47	1,9	4,0	0,47
Пропускная способность подогреваемой среды при $\Delta t = 70^{\circ}\text{C}$						
нефти		41,7	12,7	54,1	113,9	11,7
воды	м ³ /ч	20,8	5,8	23,3	49,0	5,8
газа		41666	12085	48850	102850	8500
Расход топлива, не более	м ³ /ч	300	76	306	644	0,1
Рабочее давление подогреваемой среды, не более	МПа	16	25	16	6,3	16
Условный диаметр подсоединяемого трубопровода	мм	100	100	150	200	100
Масса, не более	т	3	5	13	19	9
Экономический эффект	тыс. \$	20	8	24	39	16
Исполнение:						
с вытяжными трубами		+	+	+	+	+
без вытяжных труб		—	+	+	+	—

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булычев Г. А. Многоцелевая техника в нефтегазовом деле: от идеи до серийного производства. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009.
2. Подогреватели трубопроводные многоцелевые автоматизированные блочные ПТ-Р/Д. ОСТ 39-179—85 / Г. А. Булычев.
1. Bulychев G. A. Mnogotsel'evaya tekhnika v neftegazovom dele: ot idei do seriynogo proizvodstva. Volgograd : VolgGASU, 2009.
2. Podogrevateli truboprovodnye mnogotsel'evye avtomatizirovannye blochnye PT-R/D. OST 39-179—85 / G. A. Bulychев.

© Булычев Г. А., Бурлаченко О. В., Булычев Ф. Г., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Булычев Г. А., Бурлаченко О. В., Булычев Ф. Г. Повышение эффективности строительства и эксплуатации клатратных месторождений // Вестник Волгг. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 143—148.

УДК 628.4.045

О. В. Бурлаченко, И. Х. Мышлинская

СБОР И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГСМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Когда ведется строительство в труднодоступных районах, например при прокладке высоковольтных ЛЭП, газопроводов и нефтепроводов на значительном расстоянии от основных объектов строительства, утилизацию либо переработку отработанных продуктов ГСМ с получением полезной энергии и повышением экологической чистоты лучше проводить с помощью топливосжигающих установок.

Отработанные нефтепродукты целесообразно сжигать в составе водотопливной (водо-масляной) эмульсии и топливной (топливо-масляной) смеси. При этом подлежащие термической утилизации жидкости необходимо очистить от механических примесей и предварительно обработать. Для этой цели предлагается устройство для изменения состава и свойств жидких углеводородов, основанное на эффекте гидравлического удара в жидкости для управляемого изменения реологических показателей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: строительство, гидравлический удар, утилизация нефтяных отходов, реологические свойства жидкости, нефтепродукты, экологичность, техническая надежность.

When construction is carries out in remote areas, for example, when laying high-voltage lines, gas and oil pipelines, at considerable distance from the main construction objects, or when producing different kinds of construction in remote regions, it is better to recycle fuel wastes with the help of fuel-burning arrangement receiving useful energy and increasing ecological cleanness.

It is more practical to burn processed oil products as a part of water-fuel (water-oil) emulsion and fuel (fuel-oil) mixture. Liquids thus subject to thermal utilization need to be cleared of mechanical impurity and to be processed previously. For this purpose proposed is the device for the change of structure and properties of liquid hydrocarbons based on the effect of water hammer in liquid for controlled change of rheological indicators.

K e y w o r d s: construction, water hammer, oil waste recycling, rheological properties of liquid, oil products, environmental friendliness, technical reliability.

Нефтяные отходы — это различные по составу и физико-химическим свойствам углеводородные смеси, образующиеся в процессах хранения, транспортировки и использования нефтяного топлива, масел и смазочных материалов, а также нефтепродукты, потерявшие товарные качества и непригодные к дальнейшему использованию по назначению. Нефтепродукты и нефтяные отходы, попавшие в окружающую среду, являются токсичными и взрывопожароопасными загрязнителями. Они ухудшают и без того сложную экологическую обстановку любого города и региона.

С увеличением потребления нефтепродуктов растет количество нефтяных отходов. Источниками нефтесодержащих загрязнений являются средства комплексной механизации строительства, средства для транспортировки строительных материалов, конструкций и полуфабрикатов, пункты их обслуживания и ремонта, склады и пункты выдачи горюче-смазочных материалов (ГСМ) и прочие объекты. Нефтяные отходы попадают в окружающую среду как в жидком, так и газообразном состоянии. Причем газообразные углеводородные загрязнители способны переноситься на значительные расстояния (до 2000...3000 км за 2—3 дня) и рассеиваться на огромные

площади. Существуют методологии, позволяющие оценить негативное техногенное воздействие работы строительной техники на окружающую среду при выборе тех или иных технологических и управленческих решений [1].

В нашей стране основным способом утилизации нефтяных отходов и нефтесодержащих вод является так называемое захоронение в специальных могильниках. При этом количество складироваемых отходов удваивается каждые 7—8 лет. Такой способ утилизации нежелателен, более того, вреден, поскольку отходы по-прежнему негативно влияют на окружающую среду. Он требует все больших площадей, которые изымаются из активного землепользования. К тому же вывоз отработанных нефтепродуктов для захоронения обходится недешево.

Удорожание природных ресурсов и ужесточение природоохранных требований в Российской Федерации заставляет искать новые эффективные способы утилизации нефтяных отходов при работе строительной техники с получением полезной энергии и повышением экологической чистоты топливосжигающих установок.

При обработке отходов ГСМ необходимо получать индивидуальные виды углеводородов. Так, возможно выделение метанового газа с очисткой его от вредных примесей [2], чтобы экологически безвредно использовать в качестве топлива в тепловых устройствах различного назначения. Эффективность предложенной схемы можно повысить за счет эффекта гидравлического удара в жидкости, который предлагается использовать для управляемого изменения реологических показателей. Способ изменения состава и свойств жидких углеводородов и устройство для его осуществления представлены на рис.

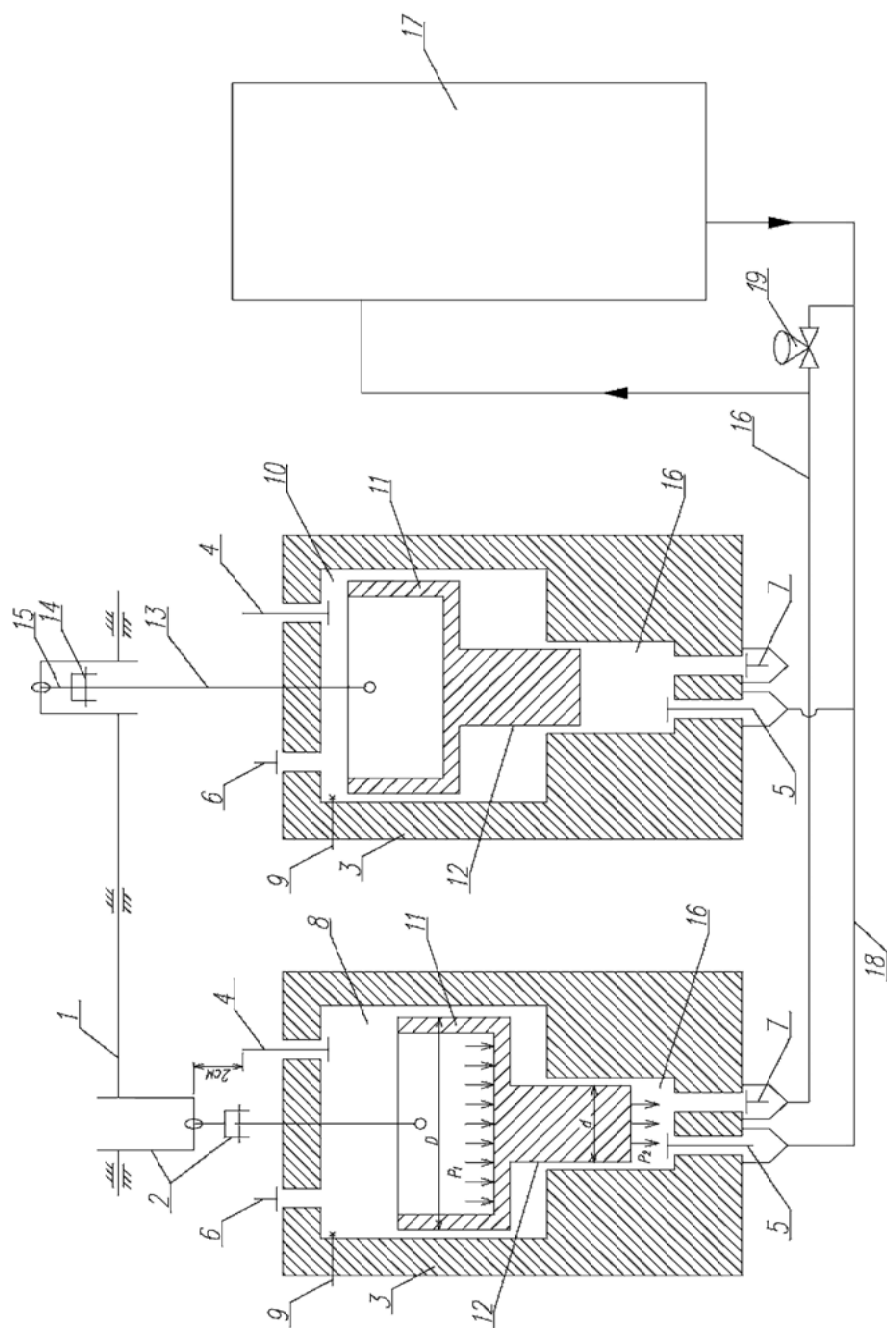
Устройство содержит поршневой двигатель внутреннего сгорания с коленчатым валом 1 и кривошипно-шатунным механизмом 2, совмещенные с двигателем две секции плунжерного насоса, каждая из которых включает корпус 3 с впускными клапанами 4 и 5 и выпускными клапанами 6 и 7. В цилиндре 8 двигателя размещена свеча 9 в камере 10 микровзрывного сгорания топлива над поршнем 11 диаметром D , выполненным объединено с плунжером 12 диаметром d , которые посредством стержня 13 и шарнира 14 соединены с шатуном 15, а плунжер 12 размещен в цилиндре 16, емкость 17 для хранения жидких углеводородов с впускной трубой 18 и выпускной трубой 19 и имеет возможность переключать работу насоса с прямого потока в емкость 17 на циркулирующий поток по трубам и секциям насоса.

Устройство работает следующим образом: в положении A (рабочий ход поршень 11 — плунжер 12) после поступления горючей смеси через впускной клапан 4 и вспышки (взрыва) ее от свечи 9 топливоздушной смеси камеры 10 поршень 11 под давлением P_1 газов движет плунжер 12 для гидравлического удара с давлением $P_{уд}$ на жидкие углеводороды, поступившие через впускной клапан 5 в нижний цилиндр 16.

В результате по формуле Ван-дер-Ваальса давление динамического удара газов на поршень 11 вычисляется по формуле

$$P_1 = (P_0 \cdot V_0 \cdot T) / (V - a) 273, \quad (1)$$

где P_1 — давление газов в камере 10; V_0 — удельный объем газов; T — температура газов; V — объем камеры 10; a — коволюм газов.



Принципиальная схема устройства для перевода гидравлических ударов в изменение реологических свойств жидкости

Мгновенный бросок поршня — плунжера в жидкие углеводороды, ограниченные объемом плунжерного цилиндра 16, сопровождается гидравлическим ударом по формуле Н. Е. Жуковского:

$$P_2 = \gamma v C, \quad (2)$$

где γ — плотность жидкой среды углеводородов; v — скорость удара плунжера 12; C — скорость распространения ударной волны.

Результирующее давление ударной волны на жидкие углеводороды в цилиндре 16

$$\Delta P_{\text{уд}} = P_2 D/d + P_1. \quad (3)$$

Оценочный расчет по формуле (2) при средних величинах:

$\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$ — плотность жидкой среды углеводородов;

$v = 500 \text{ м/с}$ — скорость удара плунжера 12;

$C = 1000 \text{ м/с}$ — скорость ударной волны в жидкости.

Тогда в формуле (2) гидравлический удар будет равен

$$P_2 = 0,0009 \cdot 500 \cdot 1000 \approx 450 \text{ кгс/см}^2,$$

а результирующий удар плунжера 12 по формуле (3):

$$\Delta P_{\text{уд}} = 450 \cdot 200 / 70 + 8 = 1358 \text{ кгс/см}^2$$

передается жидким углеводородам благодаря высокопрочным плунжерным парам.

Таким образом, при начальном давлении $P_1 \leq 8 \text{ кгс/см}^2$ в камере 10 получается удар на жидкие углеводороды

$$\Delta P_{\text{уд}} \gg P_1 = 1358 \gg 8.$$

Эффект силового удара на углеводороды велик, тем более с учетом влияния подъема температуры (1) при ударах. При этом температуру углеводородов можно экономично регулировать в диапазоне 100...250 °С, нагревая или охлаждая углеводороды в общем устройстве.

В положении В (холостой ход поршня 11 и плунжера 12) нагнетается топливовоздушная смесь в камеру 10 через выпускной клапан 6. Плунжер 12, поднимаясь, освобождает цилиндр 16 для поступления загрязненных углеводородов. Свеча 9 готова к повторной вспышке топливовоздушной смеси. Наличие регулятора 20 позволяет автоматически переключить подачу углеводородов с прямооточного на циркуляционный вариант для управляемого изменения состава и свойств углеводородов, зависящих от частоты гидравлических ударов и температуры.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет повысить экологичность и техническую надежность строительного производства за счет облагораживания состава и свойств нефтесодержащих отходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Бурлаченко О. В. Экологически безопасные технологии для поддержки жизненного цикла изделий // European Journal of Natural History. 2010. № 3. Р. 11—13.

2. Булычев Г. А., Булычев Ф. Г. Способ очистки газа от вредных примесей : патент РФ № 2907184. 2000.

1 *Burlachenko O. V. Ekologicheski bezopasnye tekhnologii dlya podderzhki zhiznennogo tsikla izdeliy* // European Journal of Natural History. 2010. № 3. P. 11—13.

2. *Bulychev G. A., Bulychev F. G. Sposob ochistki gaza ot vrednykh primesey* : patent RF № 2907184. 2000.

© Бурлаченко О. В., Мышлинская И. Х., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Мышлинская И. Х. Сбор и утилизация отходов ГСМ при проведении строительных работ в труднодоступных районах и экстремальных природных условиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 149—153.

УДК 621.837

В. И. Богданов

СИНТЕЗ МЕХАНИЗМА ПОГРУЗОЧНОГО ГРЕЙФЕРА С ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЧЕЛЮСТЕЙ

Рассматривается синтез кривошипно-ползунного симметричного механизма для погрузочного грейфера со звеньями, движущимися прямолинейно-поступательно. Получена целевая функция, позволяющая определить оптимизационным методом значения параметров, при которых проявляется свойство поступательного движения звеньев и закрепляемых к ним челюстей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: синтез механизма с поступательным звеном, грейфер погрузочный.

Synthesis of crank-driven climbing symmetric mechanism for the loading grab with links that move linearly is considered. Received is the target function that allows determine parameter values by optimizing method. With these parameters the property of linear moving links and jaws fixed to them becomes apparent.

K e y w o r d s: synthesis of mechanism with a linear link, loading grab.

На погрузочно-разгрузочных работах в условиях стесненных площадок применение погрузочных грейферов оказывается наиболее эффективным и целесообразным. Однако в существующих конструкциях грейферов криволинейная траектория движения челюстей затрудняет зачерпывание материала, а на объектах с плоским дном остается гребнистый слой материала, что вызывает необходимость в дополнительной ручной зачистке. Существующие же грейферы с плоскопараллельным перемещением челюстей громоздки из-за наличия в их конструкции жестких направляющих.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для эффективной работы погрузочных грейферов необходимо, чтобы их конструкции позволяли одновременно осуществлять прямолинейно-поступательное движение челюстей, при котором угол резания оставался бы постоянным, что способствовало бы их самозаглублению, чтобы грейферы имели широкий размах челюстей и при этом иметь достаточно компактную конструкцию. Структурный синтез механизма с поступательными звеньями для погрузочного грейфера выполнялся на основе анализа движений звеньев, к которым закреплены челюсти грейфера.

В основу конструкции механизма с поступательным звеном положен механизм Эванса, к которому присоединен четырехзвенник, в результате получен механизм с звеном, движущимся прямолинейно-поступательно [1].

Исследуемая структурная схема механизма представлена на рис. 1. Механизм включает стойку A , кривошип AB , шатун CD , равный двум длинам кривошипа и соединенный с ним посередине шарниром B , а другим концом с ползуном D . Добавленные звенья CE , EF , FB образуют шарнирный четырехзвенник $CEFB$. Шарнир F установлен на стойке эксцентрично относительно оси кривошипа AB , и линия, соединяющая его с шарниром B , образует с кривошипом угол β .

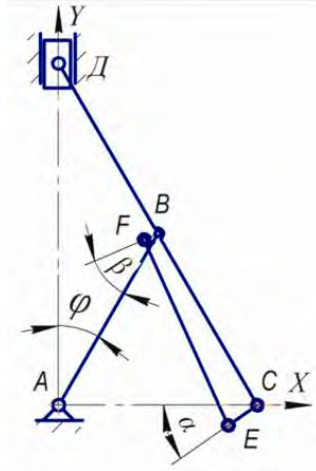


Рис. 1. Схема механизма

При повороте кривошипа AB на угол φ ползун D перемещается по направляющей (оси Y), а шарнир C точно по оси X . При этом четырехзвенник $CEFB$ обеспечивает прямолинейно-поступательное движение звена CE под углом α к оси X . Для доказательства этого свойства приняты в безразмерной форме длины звеньев $CE = l$, $EF = f$, $FB = r$, а длины звеньев $AB = BC = BD = 1$. Из геометрической взаимосвязи звеньев текущее значение угла α положения поступательного звена CE определится из следующей зависимости

$$\alpha = \arccos \frac{\sqrt{mn - (Y_F^2 + m^2)(n^2 - 4Y_F^2 l^2)}}{2l(Y_F^2 + m^2)}, \quad (1)$$

где $m = \sin \varphi + r \sin(\varphi + \beta)$, $n = m^2 + Y_F^2 + l^2 - f^2$ — промежуточные переменные; $Y_F = \cos \varphi - r \cos(\varphi + \beta)$ — координата Y шарнира F .

Прямолинейно-поступательное движение звена CE обеспечивается, если в заданном диапазоне угла φ поворота кривошипа AB выполняется основное условие синтеза $\alpha = \text{const}$. Этому условию удовлетворяют только определенные значения выходных параметров механизма l , f , r и β . Указанные параметры при геометрическом синтезе исследуемого механизма представляются параметрами синтеза, а постоянство угла α — основным условием синтеза, которое математически выражается в виде целевой функции

$$\Delta\alpha = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \rightarrow \xi, \quad (2)$$

где $\alpha_{\max}$, $\alpha_{\min}$ — соответственно максимальное и минимальное значения угла α , определяемые по (1) в диапазоне угла φ поворота кривошипа AB ; ξ — наименьшее или допустимое изменение угла α .

Дополнительные условия синтеза выражаются ограничениями на параметры l , f , r и β в виде неравенств, устанавливающих допустимые для конструкции механизма области существования параметров синтеза

$$l_1 \leq l \leq l_2, f_1 \leq f \leq f_2, r_1 \leq r \leq r_2, \beta_1 \leq \beta \leq \beta_2. \quad (3)$$

Исходя из изложенного, задача синтеза механизма сводится к поиску таких значений параметров l , f , r и β , при которых достигается основное условие синтеза $\alpha = \text{const}$, выполняются ограничения (3), а целевая функция (2) принимает минимальное значение в диапазоне угла поворота кривошипа φ . Процедура минимизации (2) выполнялась по алгоритму метода золотого сечения многомерной функции [2].

При исследованиях принималось конструктивно значимое значение угла поворота кривошипа в пределах 60° от начального $\varphi_1 = 15^\circ$ до конечного $\varphi_2 = 75^\circ$. Результаты исследований механизма представлены в виде графика (рис. 2), отражающего изменение угла α при относительной длине поступательного звена $l = 0,30$. Из графика следует, что в диапазоне угла φ поворота кривошипа от 15 до 75° изменение угла α относительно своего полученного при синтезе среднего значения (57°) не превышает $1,1^\circ$.

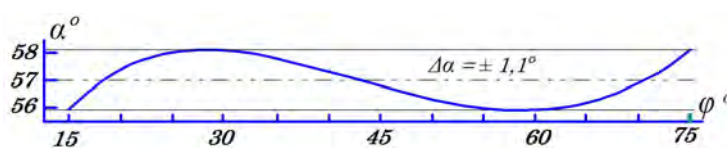


Рис. 2. Изменение угла α при повороте кривошипа на угол $\varphi = 15 \dots 75^\circ$

Анализ материалов исследований позволяет сделать выводы, что в результате синтеза получен компактный механизм с звеном, движущимся прямолинейно-поступательно. Результаты синтеза использовались при разработке грейфера [3] с широким раздвижением челюстей. Отклонение угла $\alpha = \pm 1,1^\circ$ не выведет угол резания режущих кромок челюстей за известные рациональные значения ($21 \dots 30^\circ$) [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В. И. Кривошипно-ползунный механизм с звеном, движущимся прямолинейно-поступательно А. с. СССР №1605059. / Бюллетень изобретений. 1990. № 41. С. 169.
2. Иванов В. В. Методы вычислений на ЭВМ: справочное пособие Киев : Наукова думка, 1986. 584 с.
3. Богданов В. И. Грейфер. А. с. СССР № 1631132 / Бюллетень изобретений. 1991. № 8. С. 80.
4. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1989. 368 с.
1. Bogdanov V. I. Krivoshipno-polzunnyy mekhanizm s zvenom, dvizhushchimsya pryamoliney-nopostupatel'no A. s. SSSR №1605059. / Byulleten' izobreteniy. 1990. № 41. S. 169.
2. Ivanov V. V. Metody vychisleniy na EVM: cpravochnoe posobie Kiev : Naukova dumka, 1986. 584 s.
3. Bogdanov V. I. Greyfer. A. s. SSSR № 1631132 / Byulleten' izobreteniy. 1991. № 8. S. 80.
4. Fedorov D. I. Rabochie organy zemleroynykh mashin. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Mashinostroenie, 1989. 368 s.

© Богданов В. И., 2013

Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Богданов В. И. Синтез механизма погрузочного грейфера с плоскопараллельным движением челюстей // Вестник Волгogr. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 154—156.

УДК 004.651:69.002.5

А. В. Четвертнов, О. В. Бурлаченко

ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Необходимость создания Единой информационной трибологической системы (ЕИТС) является актуальным вопросом в наше время. Централизованное объединение теоретических и практических данных в одном комплексе позволит в разы облегчить как научное, так и практическое применение накопленных знаний. Предполагается, что ЕИТС станет базой данных для ученых, работающих в области повышения работоспособности строительной техники, где можно будет получить информацию о рассматриваемых трибосопряжениях строительных машин, возможных вариантах и параметрах методов решения триботехнических проблем и т. д.

Ключевые слова: трибология, ЕИТС.

The necessity to create Single Informational Tribological System (SITS) is an important issue nowadays. Centralized unification of theoretical and practical data in one complex will allow simplify both scientific and practical application of acquired knowledge. It is assumed that SITS will be the data base for scientists working in the field of improving efficiency of construction equipment, where you can get information concerning tribocoupling of construction machines, possible options and parameters of methods for solving tribological problems, etc.

Key words: tribology, SITS.

Чтобы выполнять поставленные перед ней задачи, ЕИТС должна обладать следующими свойствами.

1. ЕИТС должна быть свободно распространяемой, открытой системой со свободным доступом к данным. Поэтому система позиционируется как web-портал. Единственным условием, во избежание появления неактуальной и недостоверной информации, является регистрация пользователя с указанием точных данных о месте учебы и работы для дальнейшего подтверждения статуса пользователя. Это позволит построить четкую иерархию пользователей по возможностям действий, будет являться гарантом достоверности предоставленных ими научных данных.

2. Наличие теоретической базы данных — своеобразной wiki — по вопросам трибологии. Данный модуль позволит накапливать и предоставлять в общий доступ всю актуальную информацию, необходимую для научной деятельности, учебы и практического применения.

3. Необходимо наличие справочников материалов, таких как: виды материалов узлов, порошки для напыления, смазочные материалы и т. д. Все это необходимо для функционирования расчетного модуля системы.

4. Система должна давать возможность обсуждения новых теорий и предложений, экспертного практического подтверждения новых способов моделирования, возможность общения со специалистами, получения консультаций и помощи при проведении экспериментов для практического подтверждения новых научных предложений.

5. Одна из главных частей проектируемой ЕИТС — расчетный модуль. Здесь пользователь без помощи программистов может задать алгоритм вычислений для практического применения. Для этого нет необходимости знать языки программирования, а достаточно лишь воспользоваться специальным меню, где можно настроить алгоритм и связи с необходимыми справочниками.

Принцип работы ЕИТС представлен на рис. 1. После регистрации и подтверждения статуса пользователь может свободно принимать участие в конференциях дискуссионного модуля и добавлять данные в wiki. К примеру, в wiki добавляется новая информация по научным разработкам пользователя. Сразу же начинается обсуждение, если в нем есть необходимость. На этой стадии весь материал помечается как предварительный, т. е. находящийся в разработке. Если необходимо, в расчетном модуле пользователь с помощью меню управления вводит алгоритм своих расчетов для автоматизации процесса. После того как работа над данными завершена, получено экспериментальное подтверждение и информация признана актуальной и имеющей под собой научную и практическую ценность, материал помечается как экспериментально подтвержденный и достоверный.

После этого материал отправляется в открытый доступ для всех пользователей, даже незарегистрированных, с возможностью проведения расчетов.

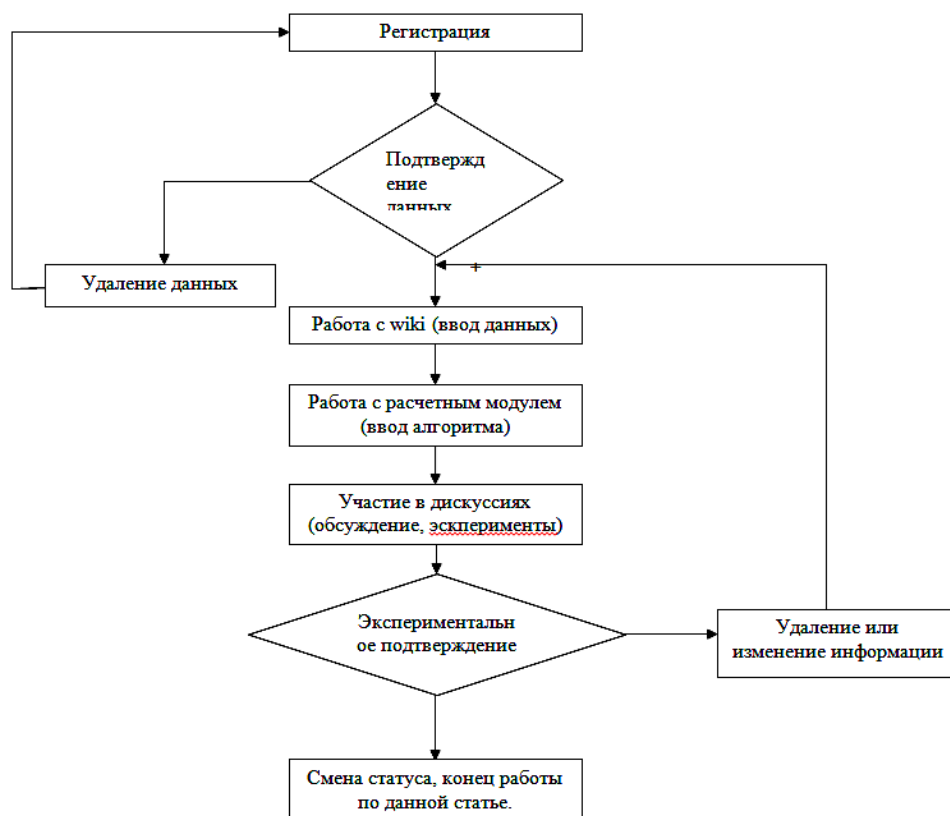


Рис. 1. Алгоритм работы с ЕИТС

На основании заявленного функционала ЕИТС были сформулированы требования к программному обеспечению.

Программное обеспечение ЕИТС должно быть достаточным для выполнения реализуемых функций, а также иметь средства организации требуемых процессов обработки данных, позволяющих своевременно выполнять необходимые функции во всех режимах функционирования ИС.

Для нормального функционирования ЕИТС на рабочих станциях пользователей необходимо наличие операционной системы Windows 98/2000/XP/Vista/Windows7/Windows8, web браузера из рекомендуемого списка (Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome).

На серверном оборудовании необходимо наличие операционной системы Windows Server2003/2008/2012 или Linux, веб-сервер Apache, СУБД MySQL, интерпретатора языка PHP.

ЕИТС можно представить в виде логической модели, состоящей из пяти взаимосвязанных блоков, работа с которыми осуществляется через интерфейс (рис. 2). Каждый из блоков является отдельной базой данных для хранения соответствующей информации с возможностью подключения в дальнейшем дополнительных блоков.

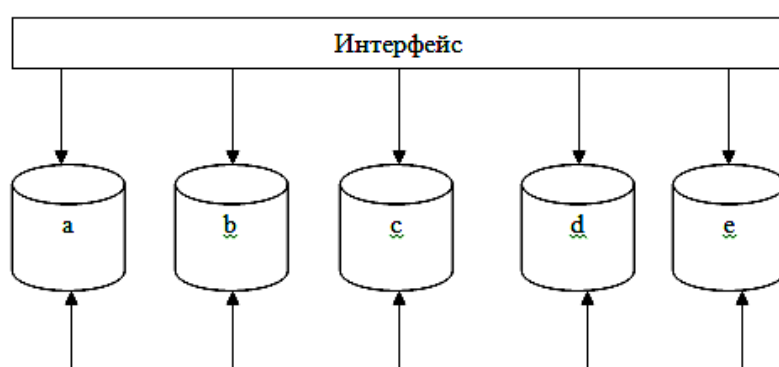


Рис. 2. Логическая модель: *a* — база данных (БД) пользователей; *b* — БД wiki; *c* — БД расчетного модуля; *d* — БД справочников; *e* — БД дискуссионной площадки

Для обеспечения легкости в освоении и доступности ЕИТС для конечного пользователя предусмотрено подробное руководство по всем модулям системы.

Диаграмма использования ЕИТС представлена на рис. 3.

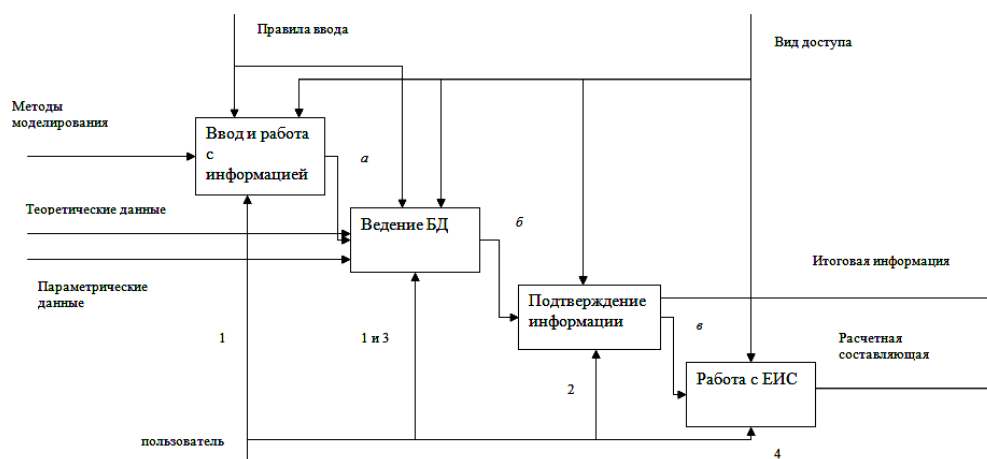


Рис. 3. Диаграмма использования ЕИТС декомпозиция: 1, 2, 3, 4 — категории пользователей; *a* — алгоритм метода моделирования; *b* — информация для подтверждения; *в* — подтвержденная информация для моделирования

Реализация данной ЕИТС поможет систематизировать данные трибологии в единой базе знаний, облегчить к ним доступ. Также появится возможность взаимодействия с различными специалистами, что намного упростит ведение научной и практической деятельности. Для конечного пользователя также будет доступна функция принятия конкретных решений для повышения износа узлов трения, снижения затрат на производство, сокращения сроков на принятие управляющего решения [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В. Создание единой информационной трибологической системы для сопровождения и поддержки жизненного цикла строительных машин и оборудования // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 185—188.

1. Chetvertnov A. V., Burlachenko O. V. Sozdanie edinoj informatsionnoy tribologicheskoy sistemy dlya soprovozhdeniya i podderzhki zhiznennogo tsikla stroitel'nykh mashin i oborudovaniya // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitekt. 2012. Vyp. 28(47). S. 185—188.

© Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В. Единая информационная трибологическая система для сопровождения и поддержки жизненного цикла строительных машин и оборудования // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 157—160.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 711.4:551.435.14 (470.45)

Г. О. Кириченко

ДОЛИНЫ МАЛЫХ РЕК КАК РЕСУРС ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ВОЛГОГРАДА

Ставится проблема использования неудобных территорий в развитии города, а именно долин малых рек, которые рассматриваются как ресурс территориального развития. Предложен дальнейший путь развития Волгограда с целью улучшения его экономического, транспортного и жилищного состояния.

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительство, долины малых рек, планировка города, благоустройство, ландшафт, поперечные транспортные магистрали, жилые модули, береговые ландшафты.

The problem of use of inconvenient territories for the development of the city namely the valleys of small rivers, which are considered as resources for the territorial development, is set up. The author offers the further development of Volgograd in order to improve its economic, transport and housing conditions.

K e y w o r d s: city development, valleys of small rivers, city planning, improvement, landscape, "cross" transport highways, inhabited modules, coastal landscapes.

Волгоград в настоящее время представляет собой сложное многофункциональное территориально-планировочное образование. Происходит трансформация традиционной линейной структуры Волгограда в более сложную линейно-дисперсную и, в отдельных частях, линейно-компактную агломерационного типа, что связано с увеличением площади городских земель, развитием новых транспортных связей, строительством Волгоградской окружной автомобильной дороги (ВОАД) и моста через р. Волгу, а также с формированием новых районов преимущественно малоэтажного строительства.

В этих условиях встает проблема поиска территориальных резервов для городского развития. Территории долин малых рек рассматриваются с точки зрения их резервного потенциала. За счет освоения этих территорий возможно решение транспортной проблемы города, его поперечных связей и выход к Волге.

Одним из негативных последствий активной градостроительной деятельности периода индустриализации стало нарушение экологического баланса крупных городов. Наиболее остро проблемы несбалансированного развития проявлялись на приречных территориях, стабильно подвергающихся интенсивному преобразованию ландшафтов, зачастую с необратимыми изменениями. Как результат, состояние приречных и пойменных территорий большинства линейных городов, расположенных на реках, характеризуется их неэффективным использованием и значительной степенью нарушения береговых ландшафтов.

Особое внимание и место в природной среде Волгограда занимают пойменные территории, долины малых рек. Это уникальные географические объекты, которые имеют свои, отличающиеся от зональных, пойменные ландшафты, обладающие своими биологическими ресурсами, и представляют собой важнейший элемент природы (табл. и рис.).

Характеристики территорий долин малых рек в Волгограде

№	Наименование долины	Площадь	Месторасположение
1	Сухая Мечетка	1530	Между Спартановкой и ГЭС
2	Мокрая Мечетка	2415	Между Тракторозаводским районом и Спартановкой
3	Пойма реки Царицы	1735	Между Центральным и Ворошиловским районами
4	Пойма реки Ельшанки	400	Между Ворошиловским и Советским районами
5	Балка купоросная	500	В Советском районе
6	Григорова балка	650	Между Советским и Кировским районами
7	Пойма реки Отрады	2350	В Кировском районе
8	Капустная балка	280	Располагается В Кировском районе



Размещение долин малых рек в планировочной структуре Волгограда: 1 — Сухая Мечетка; 2 — Мокрая Мечетка; 3 — Пойма реки Царицы; 4 — Пойма реки Ельшанки; 5 — балка Купоросная; 6 — Григорова балка; 7 — Пойма реки Отрады; 8 — Капустная балка

Недостаточное освещение в градостроительной науке получили вопросы функционирования долин малых рек как особого природного и жилого комплекса в зоне влияния крупного города при изменении водного режима рек и зарегулировании их стока. Намечающиеся в практике перспективы повсеместного антропогенного преобразования долин малых рек, ухудшения их экологического состояния от соседства с застроенными территориями вызывает необходимость комплексного рассмотрения этих процессов. Это позволит разработать оптимальные способы градостроительного освоения пойменных территорий, отвечающие требованиям охраны природы и формирования полноценной городской среды на обозримую перспективу.

Долины малых рек оказывали существенное влияние на планировку города до тех пор, пока они считались не пригодными для строительства. Сейчас они включены в границы городов и стали основным резервом его территориального развития. Особенно это касается Волгограда, который имеет линейную градостроительную структуру. Долины малых рек пронизывают его перпендикулярно развивающимся продольным автомагистралям, которые соединяют районы города. Возможно развитие и дальнейшая застройка пойменных территорий малозастроенными микрорайонами, парками и скверами.

Рассмотрение проблем в различных аспектах — градо-экологическом, функциональном, климатическом, эстетическом, социально-экономическом, информационном — позволяет отметить необходимость преобразования существующих пойменных пространств исходя из сложившихся приоритетов во взаимодействии архитектурных и природных компонентов ландшафта города.

Необходима также выработка научно обоснованных методов эколого-градостроительной оптимизации прибрежных территорий, создание в пойменных территориях Волгограда жилых образований, состоящих из малоэтажного жилья: блокированных и индивидуальных домов экономического, среднего и бизнес-класса, доступных разным слоям населения. Требуют решения проблемы восстановления природного каркаса в долинах малых рек выявления водоемов, рек и озер, соединения всех пойм Волгограда со всеми продольными магистралями, а также создания поперечных дорожно-транспортных связей, которые городу просто необходимы в сложившейся транспортной ситуации.

В ходе анализа градостроительной структуры г. Волгограда и выявления характеристик пойменных территорий получены следующие результаты.

1. Проведенный анализ развития города, выявления долин малых рек, как резервного развития г. Волгограда позволил определить этапы их градостроительного освоения, для которых разработаны модели, отражающие характер смены градостроительных приоритетов и изменение роли пойменных территорий в структуре г. Волгограда.

2. Проведенный комплексный анализ современного состояния пойменных территорий г. Волгограда позволил выявить основные проблемы и конфликты, а также зоны их локализации.

3. Разработана схема зонирования долин малых рек с определением границ зон и районов пойменных территорий г. Волгограда с учетом неоднородности территорий по следующим факторам: характер градостроительного освоения, природные условия, инвестиционная привлекательность, плотность населения.

4. Общей теоретической основой преобразований предлагается сделать принципы и методы эколого-градостроительной оптимизации долин малых рек крупного города, базирующиеся на международном опыте и требованиях к качеству среды. За основу стратегии преобразования долин малых рек г. Волгограда предлагается принять целенаправленное увеличение природных компонентов с формированием экологического каркаса, стабильным привлечением различных социальных и возрастных групп, повышением экономической эффективности использования.

5. Разработаны процедуры по градостроительной оптимизации пойменных территорий малых рек г. Волгограда, включающие мероприятия по экологической реструктуризации, социальной адаптации и последовательной окупаемости в масштабе города.

© Кириченко Г. О., 2013

*Поступила в редакцию
в октябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Кириченко Г. О. Долины малых рек как ресурс территориального развития Волгограда // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 161—164.

УДК 711.4

Н. Г. Юшкова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕГИОНОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Обоснована зависимость градостроительства от современной государственной политики, положения которой аккумулируются в форме императива инновационного развития. Исследованы возможности системного подхода применительно к градостроительным системам. Показаны перспективы учета императивных положений в формулировке градостроительной политики, установлена ведущая роль в этом процессе адаптации и намечены контуры формирования механизма управления.

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительные системы, системный подход, адаптация, проектно-управленческие решения, градостроительная документация.

The dependence of town planning on the modern state policy, the provisions of which accumulate in the form of imperative of innovative development, is proved. Possibilities of system approach in relation to town-planning systems are investigated. The authors show the prospects that we get when we take into account the imperative provisions when formulating town-planning policy. Adaptation is determined as the main component in this process, and the development of management mechanism is formulated.

К e y w o r d s: town-planning systems, system approach, adaptation, design and administrative decisions, town-planning documentation.

Развитие современных научно-методических положений градостроительства неотделимо от рассмотрения контекстной среды его существования. Этот контекст формируется разными факторами, способными оказывать воздействия различной степени на объекты градостроительной деятельности, многообразие и неоднородность которых позволяет объединить их понятием «градостроительная система».

Понятие «градостроительная система», изучаемое и представляемое, в основном, в теории градостроительства, охватывает совокупность пространственно организованных и взаимосвязанных материальных объектов, сооружений, инженерных устройств, технически освоенных территорий, формирующих среду общественной жизнедеятельности [1], и определяет для нее обязательность иерархической организации в зависимости от уровня генерализации составляющих компонентов. Данная иерархия градостроительных систем, определяемая величиной пространственно организованных объектов (территории), существовала в классическом виде вплоть до осуществления социально-экономических реформ 1990-х годов в нашей стране. Каждому иерархическому уровню градостроительных систем соответствовали характерные виды обязательных документальных разработок, таких как генеральная схема расселения СССР, региональные схемы расселения, схемы и проекты районной планировки, генеральный план города, проекты детальной планировки и застройки отдельных территорий [2]. В сформированном таким образом виде система продолжала обеспечивать управления территориями. По инерции разрабатываемая и утверждаемая документация, особенно документация территориального планирования [3, 4], определенно противоречила в нашей стране проявлениям рыночных реформ в градостроительстве, что и выявило актуальность проблемы пересмотра состояния дел в этой сфере.

В действующую систему градостроительной деятельности и разработки документации, еще не обеспеченную современной нормативно-правовой базой, в эти годы вносятся отдельные методологические предложения, направленные на ее качественные улучшения, однако они имеют поисковый, пионерный и, в целом, организованный характер. Появление этих новаций ускорило процесс формирования правовых основ градостроительства, отвечающих новым экономическим условиям. Благодаря этому уже первый профессиональный закон «Об основах градостроительства в Российской Федерации», предшественник современного Градостроительного кодекса Российской Федерации, объединил в себе и градостроительные, и организационно-правовые признаки, что было типично для документов тех лет, разрабатываемых для многих социально-экономических сфер.

Необходимость разработки правовых основ градостроительства на принципиально новых идеологических основах была вызвана кардинальными изменениями в политической и экономической жизни общества, признанием значимости градостроительства в новой системе субъектно-объектных правоотношений [5]. Требование вовлеченности градостроительства в новые хозяйственно-экономические взаимодействия вызвало необходимость выработки единообразных правил для профессиональных сфер деятельности. Так, например, градостроительное и земельное законодательство начали складываться практически одновременно, но эти процессы происходили изолированно друг от друга, несмотря на их очевидную зависимость. Именно такая профессиональная нестыковка привела к появлению многих проблем, актуальность которых сегодня не просто не отпала, но стала еще более острой.

Формулирование новых для градостроительства России целей, требование отразить новаторство и сложность вопросов перестройки в новой системе деятельности противоречили действовавшим принципам градостроительной политики, которые в новых правовых условиях могли быть реализованы с большими оговорками. Эти принципы складывались десятилетиями и, в целом, образовывали стройную и логичную конструкцию [6]. Но в условиях, принципиально отличающихся от существовавших ранее, они по своей форме не могли соответствовать требуемому содержанию. Это означало как невозможность существования новых процессов в старой оболочке, так и первостепенность задач обоснования и закладки новых принципов градостроительной политики, способных адекватно отразить происходящие в стране перемены.

Проблемы в градостроительной законотворческой деятельности калькировали существовавшую в эти годы ситуацию в практике и теории градостроительства [7, 8].

Представлялось, что федеральный закон «Об основах градостроительства в Российской Федерации», ставший первым правовым актом, разработанным персонализированно для данной сферы деятельности, сможет стать эффективным инструментом и катализатором зарождающихся в ней рыночных отношений. Его правовые положения рассматривались как средства закрепления прав и обязанностей участников градостроительной деятельности (как субъектов рыночных отношений), способные обозначить видимые контуры новой градостроительной политики, гарантирующей осязаемость ее результатов. В реальности закон 1992 г. принял на себя функцию

«трамплина» для новых законодательных инициатив. Так, в 1998 г. был принят Градостроительный кодекс Российской Федерации, наиболее емкие и существенные положения которого позднее получили развитие в Градостроительном кодексе 2004 г.

Градостроительное законодательство стало компасом, способствующим реализации важнейших направлений государственной политики России в XXI веке, модулятором установленных правовых рамок взаимоотношений для всех без исключения участников градостроительной деятельности посредством четкого установления полномочий органов государственного, муниципального управления и органов архитектуры и градостроительства [5]. Благодаря принятию закона в новой редакции 2004 г. и заложенному в нем целому комплексу правовых новелл появилась определенная степень свободы в принятии градостроительных решений не только у региональных (муниципальных) властей, но и у инвесторов. Данная двойственность задач градостроительного развития территорий в управленческом аспекте стала основной причиной, вызвавшей к жизни появление единых «правил» градостроительной деятельности в каждом регионе страны, существующих в формате документов градостроительного зонирования (правил землепользования и застройки поселений) и выполняющих функцию проводников регламентных принципов управления территориями.

Появление и совершенствование законодательных актов федерального уровня свидетельствовало о формировании элементов правового обеспечения профессиональной градостроительной деятельности как основного атрибута новой системы управления территориями, а правовые новации их содержания способствовали новому качественному скачку в вопросах совершенствования системы градостроительной деятельности и, наряду с решением тактических утилитарных задач, обозначили целый ряд жизненно важных научных проблем для системных и целенаправленных исследований, четко указав на новый социальный заказ.

Однако нельзя было не понимать того, что законодательная система в России, находящаяся на стадии формирования, не была способна оценить в полной мере важные научные достижения, предлагаемые ведущими исследователями и даже научно-исследовательскими институтами, тем более синтезировать профессиональные и правовые положения. Как следствие, новый градостроительный кодекс, несмотря на свою прогрессивность, не смог вобрать в себя способы решения принципиально важных для современного градостроительства проблем и утратил отдельные существенные положения, зафиксированные в его ранней редакции.

В этих условиях, параллельно с разработкой законодательных актов в сфере градостроительства, силами научного сообщества Российской академии архитектуры и строительных наук, ученых и практиков Союза архитекторов России и Госстроя России была организована работа по подготовке революционного по своему содержанию документа — Национальной доктрины градостроительства [9], которая была призвана преодолеть комплекс имеющихся в сфере градостроительства проблем, обосновать обязательность преемственности долгосрочной стратегии и тактики градостроительной деятельности, а также стать фундаментом в определении вектора градостроительного развития территорий регионов России не только на переходный период, но и на всю обозримую перспективу XXI века.

В разработке Градостроительной доктрины России как уникального для своего времени документа требовалось совместить требования классического градостроительства и современные демократические и гуманитарные аспекты его развития. Согласно первому условию, градостроительство как один из стратегических приоритетов в развитии страны на XXI век рассматривается в качестве сферы комплексной деятельности по организации пространственной среды и созданию условий для социально-экономического развития территорий. Согласно второму условию, градостроительство призвано решать новые задачи и, сообразно степени их сложности, принять на себя функции инструмента реализации регулирующей роли государства в процессах организации и рационального использования земли.

Именно это условие стало отправной точкой для постановки новых научных задач, связанных с раскрытием проблемы управляемости территории и обоснованием механизмов этого процесса. Обоснованность управленческого подхода и закрепление этого постулата в градостроительной документации нового поколения, наряду с теоретическими работами, подкреплялась градостроительной практикой.

Активность градостроительной деятельности в нашей стране с начала нового века проявилась, в основном, в том, что стали заметны физические изменения территории и застройки крупнейших региональных центров нашей страны — Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Екатеринбурга. В этих регионах, заметно выделяющихся цивилизованным (для своего времени) характером отношений участников градостроительной деятельности, стали инициироваться, разрабатываться и отчасти реализовываться крупные и даже грандиозные программы, демонстрируя возможности региональных властей и современность градостроительных начинаний.

В отличие от ситуации в ведущих региональных центрах, градостроительная деятельность в большинстве российских городов обусловлена потребностями и возможностями ее реальных участников, а ее результаты значительно менее продуктивны и современны. Преобладают стандартные, рутинные процедуры, направленные на поддержание функционирования системы, и большей частью не предполагается интенсивное развитие территорий. Возникающие как итог этой работы объекты не соответствуют приоритетам государственной политики, не отражают инновационных задач градостроительства и не способны оказывать существенное влияние на процесс пространственных преобразований территории.

Подобная ситуация, типичная и распространенная, приводит и к другим негативным результатам. Инициативы, исходящие от участников градостроительной деятельности, имеющих доступ к инвестиционным ресурсам, как правило, далеки от градостроительных стратегий, а их коммерческая подоплека, стимулирующая застройщиков активизировать деятельность в рыночном сегменте небольших инвестиционных проектов, очевидна. Как следствие преобладания фрагментарных форм градостроительного развития территории неуклонно снижается количество площадок в городах, на которых должны и могут формироваться системообразующие объекты, в то время как опыт многих стран мира показывает безальтернативность требований по формированию таких градообразующих объектов. Понимая неизбежность в современных условиях подобных «инфраструктурных» процессов и разделяя

преимущества данных подходов, нельзя не видеть и последствий того, что градостроительная деятельность не корреспондируется с задачами оценки и повышения эффективности использования территорий и с трудом поддается целенаправленным управляющим воздействиям, что не может не сказаться на общей эффективности системы управления территориями.

Как реакция на эти, кардинальные для градостроительных систем, изменения, вызываемые новыми социально-экономическими условиями, проявились иные акценты разработки градостроительной концепции (доктрины), уравнивающие по значимости приоритеты градостроительной и региональной (государственной) политики. Теоретически такая постановка актуальной народнохозяйственной проблемы отечественного градостроительства на современном этапе его развития обуславливала синхронизацию управленческого и территориально-пространственного аспектов градостроительной деятельности с соответствующим отражением этих принципов в процедурах разработки проектно-управленческих решений и содержании градостроительной документации.

Вместе с тем, относительно непродолжительный период развития современного градостроительства и несформированность на тот момент его фундаментальных научно-методических основ, включая законодательное, нормативно-правовое, информационное обеспечение, не позволяли вывить во всей полноте причины проблемных ситуаций с тем, чтобы обозначить способы их решения в Градостроительной доктрине. За годы, прошедшие с момента принятия Градостроительного кодекса в редакции 2004 г. и вплоть до сегодняшнего дня, правовое обеспечение градостроительной деятельности ограничивается этим законом. Кроме того, сама деятельность позиционируется как изолированная от прочих сфер экономической активности и закрытая от влияния государственной политики.

Подобное положение дел не может рассматриваться как норма. То, что, начиная с 1990-х годов и на протяжении практически 25 лет разработанные и опубликованные законодательные и нормативно-правовые акты в государственном статусе (как утвержденные, так и проектные) [10] не стали фактором влияния на градостроительную деятельность, свидетельствует о наличии системных проблем в этой сфере. Ситуация еще больше усугубляется тем, что законодательное обеспечение градостроительной деятельности не сформировалось в наполненную и развернутую систему и по-прежнему не воспринимает внешних воздействий.

На основе систематизации упомянутых выше документов и детального изучения их содержания, проведенных автором работы, были выявлены особенности их секторальной (блочной) структурной организации из элементов: «государственное управление», «региональное развитие», «наука и образование», а исследование во временной динамике позволило выделить стадии формирования организационно-правового императива социально-экономического развития регионов.

Закрепление современной государственной инновационной политики как системы, соответствующей требованиям устойчивого развития территорий (сочетаемость постоянного воспроизводства инновационных процессов и стабильного состояния системы), в ранге исследованных документов означает единство ее принципов в различных сферах государственного управления.

Применительно к градостроительным системам регионов это приводит к их ранжированию на основе новых принципов, поиску эффективных персонализированных (региональных) механизмов реализации государственной политики в пространственном аспекте, которые определяли бы роль и степень вмешательства государства в эти процессы.

Таким образом, интеграция в градостроительство современных принципов государственной политики, проводимой Президентом и Правительством Российской Федерации, их последующее воспроизведение в характерных для этой сферы деятельности формах ожидаемо и предсказуемо. С позиций соблюдения таких требований градостроительство нельзя понимать и воспринимать как исключительную деятельность, доминирующую над прочими сферами активности субъектов рынка. А это означает, что современные императивы развития как продукты политики действуют идентично в отношении всех без исключения объектов (сфер) деятельности. И как следствие этого неизбежно совершенствование системы правового обеспечения градостроительной деятельности, изменение его содержания в этом направлении.

Исходя из данной зависимости была сформулирована научная гипотеза исследования, заключающаяся в требованиях трансляции императивных положений современной государственной политики пространственного развития территорий в систему градостроительной деятельности через призму градостроительной документации регионального уровня с ее последующей реализацией. В развитии данной логической конструкции градостроения следует признать ведущую роль адаптации его инновационных положений к предмету градостроительной деятельности систем [4, с. 7].

Оценивая последствия от внедрения императива в систему градостроительной деятельности, следует ожидать ее реорганизации и связанной с этим реструктуризации задач развития градостроительных систем как в территориально-пространственном, так и в управленческом аспекте, что вызовет существенные изменения в действующем градостроительном законодательстве, появление подзаконных актов, способных не просто отразить новые веяния, но и предложить эффективные способы решения и, по большому счету, предопределять формирование принципов функционирования территориально-пространственных систем. Все это способно кардинально изменить содержание процесса разработки и реализации градостроительных проектно-управленческих решений.

Именно эти перспективы обуславливают актуальность проблемы обоснования способов адаптации градостроительных систем к происходящим в обществе изменениям.

Структурно-функциональная природа объекта исследования — градостроительных систем — обуславливает необходимость изучения процессов их развития с *системных позиций*. На это указывают результаты исследования крупных отечественных ученых-урбанистов 80-х годов XX века: Попкова, Посохина, Шмудяна [11], Гутнова [12], Яргиной [1], Демина [13]. В них градостроительная система понимается как частный случай объектов, в основу которых положены системные принципы организации. Вместе с тем, изучение автором разновременных библиографических источников показывало, что, при всем их многообразии, единства трактовок основных теоретико-методологических положений в этой научной сфере не существует. Самые первые, поверхностные, проблемы освоения идей теории систем связаны

с изначальной неопределенностью в базовых понятиях. Нередко такие используемые в литературе понятия, как «система», «теория систем», «системный подход», «системный анализ», «принцип системности», применяются как синонимы, и при этом не всегда различают их по имеющимся признакам.

Причиной подобных неоднозначных и даже противоречивых и конфликтных ситуаций является междисциплинарный характер этого явления, позволивший ему активно внедриться в различные сферы деятельности. Соответственно, в этом явлении синтезируются и общие закономерности, присущие многим сферам деятельности, а также специфические, определяемые конкретным содержанием предметных сфер.

Задавшись целью объяснить широкое использование понятие «система» — базовое понятие теории систем — как в научных исследованиях, так и в повседневной жизни, понимаем, что этот термин, отражающий некую объективную реальность [14, 15, 16], предопределяет возможность одновременного сосуществования большого числа его определений.

Теория систем — научное знание о мире систем — объясняет происхождение, устройство, функционирование и развитие систем различной природы. Общая теория систем (теория организации) как новое научное направление формировалось постепенно в течение всего XX века, базируясь на достижениях ученых А. Файоля и М. Вебера (организация труда и управления), И. Пленге и Т. Катарбиньского (теория социальных явлений), А. Богданова и Л. Берталанти (общая теория систем), Н. Винера и Н. Моисеева (кибернетика и развитие систем), В. Риттера и Д. Холдейна (биологическая теория организаций), А. Пригожина и Ф. Хакена (развитие на принципах синергизма) [16, 17].

Несмотря на то что системные представления существовали издавна, поскольку категория «целое» — важнейшая из категорий философии, основоположником общей теории систем принято считать А. А. Богданова (Малиновского), автора известного труда «Всеобщая организационная наука (тектология)» (1911—1925 гг.). Тектология Богданова — это наука об универсальных типах и закономерностях структурного преобразования любых систем, основная идея которой заключается в тождественности принципов организации систем разных уровней: от микромира до биологических и социальных систем, а ее основная задача, вне зависимости от предметной деятельности (экономики, политики, культуры или идеологии), — лучшая организация вещей, людей и идей, поскольку уровень организации тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей. В основном благодаря последнему положению, объясняющему свойства любой системы, были заложены теоретические основы новой синтетической науки, в которой любая деятельность человека рассматривалась как некоторый материал организационного опыта и исследовалась с организационной точки зрения, и именно это положение стало ключевым в процессе становления и развития науки управления.

Крайне важными завоеваниями для развития теории систем стало введение А. А. Богдановым понятий, характеризующих этапы развития систем: «комплексия», «конъюгация», «ингрессия» [16, с. 24]. Термин «комплексия» характеризовал начальный этап развития системы, на котором она представляет собой чисто механическое объединение элементов, между которыми еще не начались процессы взаимодействия. Термином «конъюгация» описывается

этап развития системы с первичными признаками функционирования, когда начинается взаимодействие между ее отдельными элементами. Этап перестроения системы в новых структурных качествах выражается термином «ингрессия» (в противовесе термину «дезингрессия», означающему процесс деградации системы, ее распада как целостного объединения). Предложенная зависимость использована при формулировке принципов современного менеджмента: знание признаков принадлежности системы к каждому из этапов развития позволяет сознательно планировать способы оказания целенаправленных воздействий на нее.

Четкая формулировка проблем и задач построения теории систем как фундаментальной науки, исследующей системы различной природы, построения на основе обобщения принципов целостности, организации и изоморфизма в единую концепцию, принадлежит Л. Берталанфи — идеологическому последователю А. А. Богданова. Идеи Л. Берталанфи сыграли огромную роль в становлении и популяризации системного подхода, особенно во время его работы в Чикагском университете, где складывалась школа выдающихся социологов. Благодаря этому системный подход активно внедрился в социологическую науку и как теория, и как принцип, и как знание, и как метод исследования, привлекая внимание международной научной общественности.

Научно-технический прогресс выступил катализатором развития принципов системного подхода: они начали активно проникать в теоретические концепции, раскрывающие закономерности функционирования систем различной природы: физических, химических, биологических, психических и социальных, усилиями таких западных ученых, как Р. Акофф, О. Ланге, Р. Мертон, М. Месарович, Т. Парсонс, У. Росс Эшби и других. Подобные системные исследования проводились и СССР в 1960—1970-е годы силами П. К. Анохина, В. Г. Афанасьева, В. М. Глушкова, В. П. Кузьмина, Ю. Г. Маркова, И. Б. Новика, Л. А. Петрушенко, В. Н. Садовского, М. И. Сетрова, В. С. Тюхтина, А. И. Умова, Э. Г. Юдина и др. ученых. Современные положения системного подхода стоят на сформулированных основоположниками системного подхода принципах, дополняя и обогащая их.

Суммируя имеющиеся в научно-методических источниках сведения, можно определить систему как целостную (не поэлементную) совокупность взаимосвязанных элементов, благодаря которым она приобретает свойства, качественно отличающиеся от свойств элементов, образующих это множество. Такими свойствами системы принято считать: целостность (единство целей и функций), автономность (стремление к внутренней упорядоченности, восполнение «недостающих» элементов и функций), устойчивость (стремление к сохранению и развитию системы, сохраняющему заданные функции) [18, с. 56—57]. Целостные (неделимые) образования (системы) формируются вследствие того, что исходные для системы элементы под влиянием внешних факторов вовлекаются в отношения, выстраивают новые связи и приобретают принципиально новые свойства.

Системный подход в самом общем виде представляет собой направление научного познания, рассматривающее объекты как системы [19]. Системный подход неотъемлем от принципа системности, предполагающего представление исследуемого объекта как некоторой системы, основанного на идеях

целостности и относительной независимости объектов, находящихся в целостном мире. В рамках данного подхода любой относительно сложный исследуемый объект, состоящий из взаимосвязанных частей и являющийся одновременно частью системы более высокого порядка, рассматривается в качестве относительно самостоятельной системы со своими особенностями функционирования и развития. Предназначение системного подхода заключается в формировании системного мышления, повышающего эффективность принимаемых решений. Детально исследовавший эту ситуацию Э. Б. Алаев, ссылаясь на работы Э. Г. Юдина и творчески развивающий его теоретические положения, указывает на необходимость ограничения класса объектов, наделенных признаками целостности.

Системный подход, по И. М. Смоляру, предполагает анализ и оценку явлений, разработку проектных и управляющих решений с учетом всей системы влияющих факторов и возможных последствий принимаемых решений [20].

Нередко в литературе термины «системный подход» и «системный анализ» употребляются как синонимы, но эти понятия нельзя признать абсолютно равнозначными [16, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

Системный подход — это системная парадигма, принцип познания и, по сути дела, системное мировоззрение, заставляющее рассматривать мир с системных позиций, точнее, с позиций его системного устройства. Он является методологической основой (иными словами, условиями существования) системного анализа.

Системный анализ заметно отличается от системного подхода. Первый представляет собой совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решения по сложным проблемам политического, экономического, социального научного характера и опирающихся на современные методы управления [19]. Его основной процедурой является построение многофакторных моделей, закрепляющих принципы функционирования сложных систем (например, социально-экономических или градостроительных). Кроме того, системный анализ осуществляется не только по отношению к функционированию и развитию тех или иных систем, но и по отношению к совокупности фактов, событий, идей и т. п. Таким образом, системный анализ рассматривается как «процесс развертывания принципа системности в методологический комплекс».

Появление новых идей в теории систем во второй половине XX столетия вызвано бурным развитием науки и техники, постепенным устареванием имеющихся концепций, необходимостью преодоления кризисных явлений и совершенствованием методологии системного анализа. Их содержательное наполнение связано с научными достижениями И. И. Пригожина (концепции хаоса и переходных процессов) и Г. Хагена (принцип синергизма, или мультипликационный подход, обособившийся от системного подхода в связи с возросшей актуальностью исследования проблем эффективности), позволившими объяснять переходные, нестационарные процессы [5, с. 7].

С этого времени системный подход используется практически во всех сферах деятельности, но наиболее плодотворные результаты исследования его возможностей проявляются в экономике, социологии, психологии и подобных им сферах деятельности. При всем том, что специфичность различных видов деятельности существенно влияет на развитие теоретических положений системного подхода, принципы системности действуют во всех этих сферах деятельности направленно (векторально) без исключения.

Дальнейшее исследование сложных систем в методологическом отношении связано с выявлением характеристик и раскрытием особенностей их функционирования. Из имеющихся трактовок понятия «система» (в частности, в версии Л. Берталанти) следует, что это комплекс взаимодействующих элементов, совокупность элементов, не только находящихся в определенных соотношениях друг с другом, но и образующих средовые взаимосвязи. Следовательно, для раскрытия сущности процессов формирования системы и выявления ее характеристик недостаточно определение элементов, ее образующих. Весьма существенным в этой связи представляется определение форм взаимодействия системы со средой.

Под понятием «среда» принято понимать сферу, ограничивающую структурное образование системы [17, 27]. Среда есть все то, что воздействует на систему, но не подконтрольно ей. Воздействие среды на систему называют входными воздействиями (входы), в свою очередь, результатом воздействия системы на среду становятся выходные воздействия (выходы). Именно с этих позиций система рассматривается как любой устойчивый комплекс повторяющихся и взаимосвязанных действий, возникающих «внутри» и «вне» системы в зависимости от изменений потребности личности, вызывающих изменения структуры связей между компонентами, входящими в систему, а существенным условием ее развития в качестве целостного образования признаются функции системы (Т. Парсонс).

Выделяются четыре вида таких функций: адаптация (проблема рациональной организации и распределения ресурсов), целеориентация (проблема определения целей), интеграция (проблема сохранения внутреннего единства системы), поддержание образца [16]. Возможность существования и развития системы в среде связана с обязательностью ее контроля. Адаптация с позиций выживания системы осмысливалась одновременно и как важнейшая проблема, и как способ ее решения.

При рассмотрении способов проявления системы обнаруживается наличие у нее многообразных эффектов, наиболее важными среди которых выступают:

целостность (способность системы сохранять себя при воздействии различных факторов);

интеграция (появление новых качеств, присущих системе как целому);

гомеостаз (способность системы сохранять в процессе взаимодействия со средой значения переменных в некоторых заданных пределах);

эмерджентность (наличие у системы свойств, кардинально отличающихся от свойств ее отдельных элементов);

синергия (эффект умножения результата функционирования системы, превышающий сумму результатов функционирования ее отдельных составляющих);

адаптивность, рассматриваемое как свойство системы сохранять свою идентичность в условиях изменчивости внешней среды, доказывать свои жизнеспособность и превосходство в процессе взаимодействия с факторами среды.

Таким образом, в процессе взаимодействия системы со средой адаптация принимает на себя большую часть нагрузки по ее жизнеобеспечению. Именно адаптации, определяемой в качестве функции системы, порождающей специфические эффекты системы, принадлежит ведущая роль в процессе гармонизации ее отношений со средой.

Существуют различные мнения относительно того, в каких ситуациях адаптация наиболее приемлема и эффективна [28]. Исходя из того, что всякое взаимодействие системы со средой всегда влечет за собой нарушение равновесия между ними, многие исследователи сходятся во мнении, что процессы адаптации происходят постоянно, никогда не прекращаются и «включаются» при любом изменении состояния среды. Последнее приводит к неадекватности реакций каждого из участников процесса взаимодействия отношений, и, как следствие, наблюдаются значимые изменения, искажающие заданные параметры системы и среды. Поскольку это взаимодействие имеет характер динамического равновесия [29], а соотношение в нем меняется постоянно, также постоянно способен осуществляться и процесс адаптации.

Однако это не исключает возможности другой точки зрения, в которой необходимость адаптации вызывается только особыми, чрезвычайными условиями среды, что и определяет функциональную направленность адаптации. Прежде всего адаптация способствует сохранению динамического равновесия системы в любых изменяющихся условиях (так называемого гомеостаза) через противодействие внутренним и внешним факторам, нарушающим это равновесие, тем самым обеспечивая жизнеспособность системы посредством выработки в ней адекватных реакций. Вследствие этого возможно сохранение самой системы, ее устойчивость в силу того, что в ней самой посредством «отражения» начинают проявляться признаки внешнего воздействия.

При появлении в среде негативных, агрессивных, повреждающих факторов (А. И. Воложин, Ю. К. Субботин, Б. С. Доброборский) — агентов, — внешних длительно действующих или резко отличающихся по интенсивности от нормы воздействия любого происхождения, способных искажать структуру системы и приводить ее в состояние дисфункции, значение адаптации возрастает. В этих условиях она становится способом существования и развития системы, и новые приобретаемые свойства позволяют ей не просто выжить, приспособиться к условиям среды, но и защититься от них. Подобное научное видение не противоречит и даже подтверждает выводы Г. Селье, подошедшего к проблеме адаптации с новых оригинальных позиций и признавшего наличие в природе особых стресс-факторов (или экстремальных факторов), воздействием которых объясняется необходимость адаптационных процессов [30].

Принять считать, что понятие «адаптация» возникло первоначально в биологии, в основном благодаря ценнейшим научным трудам таких ученых-биологов, как Н. В. Тимофеев-Ресовский, Н. Н. Воронцов, А. В. Яблоков, П. К. Анохин. Исследования большого количества отечественных и зарубежных ученых, в том числе Г. Селье, Р. М. Баевского, Ф. З. Меерсона, В. П. Казначеева, С. В. Казначеева, В. И. Медведева, А. Ж. Юревица и многих других существенно обогатили современную теорию адаптации не только в биологии, но и в физиологии, медицине, психологии и социологии.

Работы ученых текущего и предшествующего веков подтвердили правомерность того, что понятие «адаптация» по праву может быть отнесено к таким общенаучным понятиям, которые возникают на «стыках» наук и областей знаний, экстраполируясь в дальнейшем на многие сферы естественных и социальных наук (Г. И. Царегородцев).

«Адаптация» как общенаучное понятие содействует синтезу, объединению знаний из различных деятельностных сфер, исследующих различные (природные, социальные, технические) аспекты функционирования систем. Общенаучные понятия, по своей значимости сопоставимые с философскими категориями, не только способствуют объединению исследуемых объектов различных наук в целостные теоретические системы, но и реализуют системный подход [15, 31—36].

Специальные трактовки понятие «адаптация» возникают в отдельных областях научного знания и на разных уровнях осуществления исследований. Наряду с этим могут существовать общие определения понятия «адаптация», которые могут в равной степени успешно использоваться в различных областях знаний.

В качестве основной закономерности адаптационного процесса выявлен фазный характер его течения, заявленный впервые Г. Селье и впоследствии не опровергнутый ни одним из исследователей.

В процессе адаптации выделяются последовательные фазы ее развития:

напряжения регулирования («аварийная»), начинающаяся с момента первичной реакции и заканчивающаяся установлением требований к формированию программы последующего развития системы;

первичной стабилизации, начинающаяся с момента принятия системой условий функционирования новой программы;

стабилизации регулируемых параметров, когда система в основном воспринимает показатели функционирования новой программы.

Первая фаза адаптации разворачивается вследствие возникновения «возмущающего воздействия», вызываемого изменением условий и факторов внешней среды. Сам процесс адаптации начинается по причине того, что действующая программа функционирования системы вступает в противоречие с внешними условиями и поэтому не способна поддерживать устойчивость системы. В этой фазе принципы формирования новой программы еще не определены и устанавливаются отдельные отправные моменты взаимодействия системы со средой. Постановка задачи разработки новой программы сопряжена с наличием взаимоисключающих тенденций. С одной стороны, система всячески стремится к экономии ресурсов и пытается использовать уже имеющиеся формы существования, с другой стороны, эти формы чаще всего неприемлемы для восстановления равновесия системы и среды, не способны обеспечить развитие и поэтому в новых условиях становятся непригодными. Для этого в новую программу закладываются требования учета влияния факторов среды.

Спецификой данной фазы является двойственность ответной реакции со стороны системы и ее зависимость как от индивидуальных особенностей системы, так и от силы внешних (раздражающих) факторов. Природа первой фазы адаптации основана на стрессе, соответственно система в целом и ее отдельные элементы не равнозначно воспринимают его. Чем более выраженное влияние оказывают эти факторы, тем более очевидными становятся проявления реакций системы. Как правило, система отзывается на их воздействие гиперреагированием. И в то же время эти реакции, как правило, поверхностные, протекают неупорядоченно и неkoordinировано и именно поэтому неэкономны (могут превышать необходимые для данных условий возможности

системы). В совокупности эти реакции системы вызывают спонтанное изменение показателей в ее деятельности, но при этом они не затрагивают базовые принципы функционирования системы, поскольку для их перестройки требуется более значительное время. В этот сложный для системы период отсутствия программы адекватного реагирования включаются временные механизмы так называемой превентивной адаптации, позволяющие достигнуть поставленных целей деятельности, пусть и не в оптимальной форме.

В следующей фазе процесса адаптации системы закладываются основные (положения) программы приспособления ее к новым (уже распознанным и принятым) условиям существования посредством формализации требований к ее последующему развитию. Важно, что сама постановка задачи поисковой активности (независимо от достигаемого эффекта) выступает существенным стимулом адаптации: она сканирует возможности системы, выявляет не задействованные ресурсы и аккумулирует их. В новой программе функционирования системы осуществляется обоснование ее оптимальных параметров в зависимости от определяемых приоритетов. Соответственно, выбор пути оптимизации определяется интенсивностью действующего фактора и способен выражаться как в усложнении программы, наращивании и трансформации ее элементов, так и путем постепенного упрощения ее структуры в различных вариантах, например переходом к более оптимальной простой структуре (А. Ж. Юревиц). В этой фазе характер восприятия системой внешних факторов заметно меняется: если в первой фазе внешние по отношению к системе условия рассматриваются как стрессовые, то в этой фазе система распознает их, классифицирует и вырабатывает определенный «иммунитет» к их восприятию и воздействию.

По сравнению с предшествующей фазой адаптации система функционирует более рационально, ранжируя собственные силы, дозируя и перераспределяя ресурсы в зависимости от степени оказываемого внешнего воздействия, и, тем самым, закладывает основу адаптивного поведения. Приобретение системой в первой фазе некоторого опыта адаптации позволяет снизить ее поверхностную восприимчивость и, наоборот, активизировать усилия на задачах, связанных с коренной перестройкой системы. По этой причине ряд подсистем и элементов, первоначально вовлеченных в реакцию восприятия внешних факторов, утрачивает свою силу, и в ходе течения этой фазы в системе способны возникать новые элементы, а также усложняться структурно-функциональные связи. Исходя из данных предпосылок формируются принципы новой программы функционирования системы, принципиальными позициями которой могут быть как коренная ломка стереотипов поведения системы, так и преемственность ее развития.

Протекание фазы стабильной (устойчивой) адаптации, приходящей на смену переходной фазе и завершающей процесс адаптации, означает окончание выбора системой оптимальной программы своего функционирования в новых условиях. Именно эту фазу специалисты и определяют как собственно адаптацию, приспособительную реакцию системы. Эта стадия характеризуется стабилизацией показателей системы, их большей оптимальностью, в том числе параметров эффективности деятельности, а система в целом приобретает признаки резистентности (устойчивости). Вместе с тем, было бы неправильно рассматривать эту фазу как абсолютно стабильную для функционирования системы, поскольку в ее рамках показатели способны колебаться, значительно отклоняясь от заданных первоначально.

Рассмотрение и сравнительная оценка процессов изменения системы в выделенных характерных фазах адаптации позволяют позиционировать их как временные этапы эволюции системы со свойственными им определенными признаками, представить в целостном видении взаимодействие системы и среды в динамике и на основе полученных объективных данных прогнозировать направления последующего развития систем и их элементов.

Выделение фаз адаптационного процесса и их изолированное изучение является достаточно условным приемом, поскольку во многих случаях фазы могут протекать параллельно, перекрывая друг друга или запаздывая во времени одна по отношению к другой. Периодизация адаптационного процесса применительно к градостроительным системам будет означать совокупный учет требований к ним государственной политики и специфических особенностей градостроительных систем. Таким образом, целесообразность выделения в процессе адаптации отдельных фаз обусловлена возможностями лучшего понимания и изучения их сути и содержания, однако такую форму описания адаптации следует понимать скорее как компоненту методического аппарата исследования этого многофакторного явления.

Современные направления исследования адаптационных процессов выходят за рамки традиционных описаний: адаптация как термин уже воспринят многими сферами деятельности, а основные положения теории адаптации, сформулированные преимущественно для научного описания биологических систем, широко используются учеными с учетом специфики исследуемых явлений.

В качестве примера таких научных областей, в которых термин «адаптация» положил начало целому ряду современных исследований и разработок, можно назвать «Экономику и управление народным хозяйством» (оригинальное название научной специальности 08.00.05 в терминологии ВАК). При всем том, что точно установить отечественного исследователя — нашего современника — этих проблем не представляется возможным (имея в виду официальные точки зрения по данному вопросу), осуществленное лично автором работы изучение экономических трудов последних пятнадцати лет показало следующее. Вплоть до начала 2000-х годов, несмотря на частую повторяемость в экономической литературе понятия «адаптация», системного его описания не существовало.

Ситуация этих лет стимулировала появление научных разработок, направленных на решение проблем совершенствования инвестиционного обеспечения развития социально-экономических систем в различных аспектах этого процесса. В этой связи труды проф. М. К. Беляева, доктора экономических наук (Волгоград), в которых идея адаптивности выразилась в разработке основ новой концепции системы описания и определения динамики инвестиционных процессов в трансформирующихся экономиках, следует расценивать как наиболее емкие и перспективные. В своих научных положениях ученый исходит из того посыла, что адаптация представляет собой «процесс накопления и использования информации в системе, направленный на достижение определенного, оптимального состояния или поведения системы при начальной неопределенности и изменяющихся внешних условиях» [37].

В этой связи более поздние работы российских ученых (Дорошенко, 2009—2010 [38—40]; Зяблицкой, 2011—2013 [31, 41] и многих других) можно рассматривать как отдельные компоненты научного знания, объединенные проблематикой «адаптация».

Высокий и стабильный интерес к исследованию различных аспектов адаптации социально-экономических систем может быть объяснен постоянными изменениями условий внешней среды при необходимости их выхода на траекторию ускоренного инновационного развития [42, 43, 44].

При обосновании современных задач развития социально-экономических систем понятия «адаптация» и «адаптивность» часто идентифицируются [25]. При описании адаптации обнаруживается наличие широкой палитры суждений по данному вопросу, а объединение имеющихся трактовок адаптации позволяет выявить наличие общие для нее черт. Это становится основанием к тому, чтобы признать адаптацию основной функцией социально-экономической системы, позволяющей ей (системе) сохраняться при количественном и (или) качественном изменении факторов внутренней и внешней среды ее функционирования. С учетом ориентации на управленческий аспект социально-экономических систем формулируется расширенное и дополненное определение адаптации как процесса изменения факторов внутренней среды системы с целью достижения ее устойчивости, обеспечения эффективного развития в условиях количественного и/или качественного изменения факторов внешней среды.

Обобщая сформированные в современном научном сообществе научные мнения по этому вопросу, можно представить адаптацию в трех ипостасях:

как «цель» устойчивого развития системы, которая формулируется в новых для нее, изменившихся условиях существования и нестабильности факторов (внешней среды) и выработки приспособляющегося поведения;

как целостный (системный) процесс взаимодействия системы со средой;

как результат приспособительного процесса в сложных средах по достижению системой заданных (определенных, планируемых) показателей адаптации, приводящих в идеале систему, при возможных изменениях, в состояние равновесия.

Для раскрытия феномена адаптации в градостроительстве представляется важным описание последствий от оказания внешних воздействий на систему и их отражений в самой системе. Изменения внешней среды функционирования градостроительных систем, в зависимости от интенсивности и периодичности воздействий на нее, способны вызывать не только проявления, рассматриваемые как логическое продолжение внутренних свойств системы, но и трансформацию принципов ее функционирования. Исходя из того что характер оказываемых на систему внешних воздействий практически не предсказуем, а адаптация потенциально способна проявляться в дифференцированных, вариативных формах, не исключается возможность спонтанных (не планируемых) состояний (реакций) системы. Теоретически изменения внешней среды, оцениваемые определенными количественными и качественными параметрами, предполагают адекватное реагирование системы, внутренние показатели которой синхронизированы с внешними условиями.

Принадлежность градостроительных систем регионов к современному типу хозяйствующих субъектов отрицать сложно. Требования государственной политики, выдвинутые новыми условиями их перспективного социально-экономического развития, объединены в положения императива, повышают актуальность вопросов формирования механизмов управления, обеспечивающих прогнозируемость адаптационного процесса.

Актуальность исследования градостроительных систем регионов в данном ключе обусловлена тем, что ни сам адаптационный процесс в современных социально-экономических условиях, ни механизмы адаптации не стали до настоящего времени предметом научных градостроительных исследований. Нерешенность этих вопросов вызывает опасение по той причине, что дальнейшее игнорирование новых условий функционирования градостроительных систем и государственной политики не может не отразиться на эффективности результатов градостроительной деятельности. Сама постановка проблемы адаптации градостроительных систем к новым условиям, инициация исследований в этом направлении — пионерная и по сути, и по форме.

В том случае, когда приходится иметь дело с проблемами адаптации социально-экономических систем, можно вести речь о становлении и даже развитии методологических ее основ — теории адаптации. Естественно, что наличие этих основ и поступательность процесса формирования принципиально экономических отношений, его постоянное обновление стимулируют появление новых разработок, направленных на расширения круга исследуемых проблем.

Но в отношении градостроительных систем ситуация кардинально противоположная. Новая рыночная среда и новые условия хозяйствования стали для градостроительных систем не стимулом, а ограничителем развития. Наряду с этим складывающаяся система законодательного и нормативно-правового обеспечения функционирования хозяйствующих субъектов и формирующийся организационно-правовой императив развития территорий не был должным образом «распознана» и воспринята градостроительством.

Градостроительный кодекс 2004 года, уточнив требования к градостроительной документации по отношению к его предыдущей редакции, к порядку их разработки и утверждения, ускорил тем самым для регионов процесс принятия ими стратегических решений по их развитию. Как показывает практика, в понимании этих новых для градостроительства начинаний регионы существенно дифференцировались. Отдельные регионы восприняли требования отражать влияние внешних факторов как должное, фиксируя их в градостроительной документации, и в транскрипции положений государственной политики значительно опередили другие территории, градостроительная деятельность в которых продолжилась по инерции, на основе традиционных подходов.

Таким образом, отношение к самой адаптации этих групп градостроительных систем было неоднозначным. Для первых принципиально было определить наиболее рациональную модель реагирования градостроительных систем на новые условия на основе их изучения и оценки, позволяющую ей обеспечить самостоятельное, целенаправленное, поступательное развитие и обосновать конкретные пространственные проявления (формы) адаптационного поведения. Вторая группа регионов, в отличие от первой, ограничивалась постановкой задач выживания градостроительных систем в новых условиях, поэтому они, не игнорируя действующие политические установки, в то же время не основывались на них, обосновывая положения региональной градостроительной политики. Важно понимать, что при существенных различиях моделей адаптационного поведения градостроительных систем их формирование напрямую зависит от качества оценки состояния территорий

(адаптационного потенциала территорий). Очевидно, что адаптационная модель, учитывающая потенциал развития градостроительной системы, вызывает потребность в выработке соответствующих ей механизмов реализации, и при всем многообразии выбора последних их обоснование связано с стратегической направленностью развития территорий.

Разработка градостроительной документации нового поколения, начиная с 2004 г., приобрела массовый характер и привела к качественным сдвигам в отечественном градостроительстве, выражающимся в обязательности наличия в регионах документов территориального планирования. Несмотря на это, только незначительное количество субъектов Федерации руководствовалось требованиями государственной политики, зафиксированными в документах, как имеющих статус законов, так и находящихся в проектном статусе. К числу вероятных факторов, оказавших влияние на неравномерность восприятия регионами императивов развития, могут быть отнесены как территориально-пространственные, так и административно-управленческие. Среди первых в качестве негативного фактора принято выделять несовершенство системы муниципального заказа, не предполагающего обязательности одновременности и системности подготовки для территорий документов разных типов и допускающего в сферу территориального планирования для участия в разработке градостроительной документации произвольных и, возможно, не вполне компетентных разработчиков. Кроме того, базовые требования, изложенные в Градостроительном кодексе как отправные и равные для всех без исключения случаев, не предполагают, а, точнее, не допускают возможности применения к ним императивных положений в допустимом и предназначенном персонально для этого виде.

Среди факторов второго порядка следует обозначить неоднородность административно-территориального деления страны в целом, федеральных округов и непосредственно субъектов Федерации и связанную с этим потенциальную трудности в управлении территориями [45]. Ситуации, при которых органы государственной власти различных иерархических уровней в вопросах управления территориями действуют согласованно, довольно редки в отечественном опыте. Положение дел в этом вопросе во многом зависит от понимания ими места и роли градостроительства в системе государственного управления, значимости методов пространственного планирования процессов социально-экономического развития территорий, от эффективности которых напрямую зависит достижение намеченных в положениях государственной политики необходимого уровня опережающего развития регионов [46].

В свете вышеизложенного исследование феномена адаптации градостроительных систем регионов, определение границ ее изменчивости, пространственных форм проявления и способности адекватно воспринимать возможные, оказываемые извне воздействия (адаптивность), представляется актуальной научной проблемой. Результаты исследования этих закономерностей способны существенным образом расширить методологическую базу, необходимую для разработки градостроительной документации, построенную на основе принципов адекватности современным социально-экономическим условиям, получивших подтверждение в положениях государственной политики. Понимая, что факторы неопределенности внутренней и внешней среды функционирования градостроительных систем регионов

не постоянны, их количественные и качественные показатели, соответствующие положения региональной градостроительной политики, находящиеся в прямой зависимости от них, корректируются соответствующим образом.

В связи с этим ожидается, что от использования полученных результатов в теоретическом обосновании и практическом решении проблем адаптации градостроительных систем регионов к современным условиям следует ожидать целенаправленного и поступательного развития системы градостроительной деятельности в целом. В свою очередь, реализуемость этих положений напрямую зависит от степени оптимальности используемых в процессе управления территориями механизмов, а также от специфических особенностей градостроительных систем регионов, различающихся дифференцированным характером адаптации к изменениям.

Наибольший интерес в этом смысле представляют градостроительные системы регионов, к числу которых относится Волгоградская область, с одной стороны, обладающие адаптационным потенциалом и способные реагировать адекватно на внешние воздействия, с другой стороны, не проявившие свои адаптивные свойства.

Определение направлений действия механизмов адаптации градостроительных систем регионов основано на общепринятом ранжировании процесса адаптации на отдельные фазы. Применяя модель фазного течения адаптации и развивая эту логику, можно установить принципы и особенности наполнения содержания механизмов применительно к каждой из фаз. Выбор механизмов адаптации основывается на сопоставлении реальных проблем функционирования системы и состояния, к которому система стремится. Разницей этих двух состояний определяется степень вмешательства в систему.

Установленная в ходе исследования проблемы адаптации зависимость формирования механизмов адаптации от состояния градостроительной системы региона в отдельных фазах применяется посредством вариативных сочетаний образующих их инструментов.

В первой фазе механизмы адаптации активизируются и включаются спонтанно, проявляются разнонаправленно, как правило, безотносительно к приоритетам развития, а их взаимодействия, количественные характеристики преобладают над качественными. Для этой фазы характерно неплановое применение механизмов, в большей степени ситуативное и нерациональное. Для реагирования на эти воздействия и для возможности отражать их градостроительная система аккумулирует имеющиеся ресурсы и обнаруживает скрытые. Поскольку градостроительная система склонна преувеличивать потенциально возможные перспективы, происходит переоценка результатов создания пространственных форм освоения и использования территории.

Переход ко второй фазе адаптации не всегда возможен: этот процесс может прерваться, если внешние факторы действуют кратковременно или недостаточно интенсивно. При оказании факторами внешней среды длительных или периодических, но постоянных, воздействий создаются достаточные предпосылки для формирования так называемых «структурных следов». Они позволяют системе в следующих фазах адаптации при возникновении аналогичных ситуаций сформировать защитные реакции, позволяющие ей реагировать прогнозируемо и предсказуемо. Основной смысл применения механизмов адаптации в этой фазе сводится к постановке системе объективного «диагноза», определению ее реальных возможностей возвращения в аварийную фазу или переходу в фазу стойкой (устойчивой) адаптации.

Специфика использования механизмов адаптации в третьей фазе связана с тем, что градостроительные системы, приобретая в предшествующих фазах опыт адаптации, при выборе инструментов проявляют рациональность, оптимизируя и координируя усилия. Системы в стремлении к экономии ресурсов вынуждены отключать «лишние» реакции и определять их условную разумную допустимую «дозу», выделять приоритеты — акценты развития — и сознательно планировать их, поскольку активность в целях адаптации обходится системе много дороже, чем в обычных условиях. Работа механизмов адаптации в этой фазе приводит к тому, что отдельные элементы системы могут изменяться, перестраиваться и приводить к реструктуризации системы в целом.

Механизмы адаптации предназначены для гарантированного достижения системой адаптивности, и только от способов их приложения зависит дальнейшее течение адаптации: ее пролонгация или прерывание. Управляющие проявления механизмов в ходе адаптации, обусловленные невозможностью ее бесконечной бесперебойной работы, не позволяют им находиться в постоянном напряжении, они последовательно изменяются: от полной активизации до сведения действий к минимуму. Таким образом, установлением параметров работы механизмов адаптации и границ их применения достигается управляемость градостроительных систем регионов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яргина З. Н. Градостроительный анализ. М., 1989.
2. Фалеев В. Г. Организация градостроительного проектирования. М., 1984.
3. Владимиров В. В., Наймарк Н. И. Проблемы развития теории расселения в России. М., 2002.
4. Смоляр И. М. Принципы градостроительного проектирования и предложений по разработке генеральных планов городов в новых социально-экономических условиях. М., 1995.
5. Смоляр И. М. Градостроительное право. Теоретические основы. М., 2000.
6. Смоляр И. М. Градостроительное планирование как система: прогнозирование — программирование — проектирование. М., 2000.
7. Владимиров В. В. О территориальном и градостроительном законодательствах // Промышленное и гражданское строительство. 1996. № 1. С. 9—11.
8. Владимиров В. В., Саваренская Т. Ф., Смоляр И. М. Градостроительство как система научных знаний / под ред. И. М. Смоляра. М., 1999.
9. Национальная доктрина градостроительства России. Концепция градостроительной политики на начало XXI века. М., 2001.
10. Юшкова Н. Г. Территориальное планирование и государственная политика развития региона // Вестник ВолгГАСУ. Сер: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30 (49). С. 196—202.
11. Системный анализ и проблемы развития городов / Ю. С. Попков, М. В. Посохин, А. Э. Гутнов, Б. Л. Шмульян. М.: Наука, 1983.
12. Гутнов А. Э. Эволюция градостроительства. М., 1984.
13. Демин Н. Д. Управление развитием градостроительных систем. 1991.
14. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. URL : <http://ijkl.ru/a/105?pg=3>.
15. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975. С. 17—59.
16. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие. Киев : МАУП, 2003.
17. Лапыгин Ю. Н. Теория организации. М.: Инфра-М, 2010.
18. Алаев Э. Б. Социально-экономическая география: понятийно-терминологический словарь. М., 1984.
19. Советский энциклопедический словарь / под ред. А. М. Прохорова. М., 1979.
20. Смоляр И. М. Терминологический словарь по градостроительству. М., 2004.
21. Доброборский Б. С. Термодинамика биологических систем / под ред. Е. С. Мандрыко. СПб., 2006.
22. Калужский М. Л. Общая теория систем. Омск, 2001.
23. Попов В. П., Крайнюченко И. В. Теория и анализ систем. Пятигорск : ПГГТУ, 2012.

24. *Сараев А. Д., Щербина О. А.* Системный анализ и современные информационные технологии. URL: http://matmodelling.pbnet.ru/Statya_Saraev_Shcherbin (дата обращения: 13.11.2012).
25. *Шмальгаузен И. И.* Пути и закономерности эволюционного процесса. М., 1940.
26. *Урманцев Ю. А.* Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития. URL: <http://www.sci.aha.ru> (дата обращения: 01.07.2013).
27. *Осянин А. Н.* Анализ содержания процесса адаптации социализации личности (теоретический аспект) // Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. 2006. Вып. 1. С. 335—341.
28. Психологическая адаптация и психологическое здоровье человека в осложненных условиях жизненной среды / А. А. Суханов. М., 2011.
29. *Яницкий М. С.* Адаптационный процесс: психологические механизмы и закономерности динамики : учеб. пособие. Кемерово : КГУ, 1999.
30. *Северин А. Е., Торшин В. И., Шастун С. А.* Конспекты лекций по медицинской экологии / под ред. В. И. Торшина. М. : РУДН, 2006.
31. *Зяблицкая Н. В.* Современные положения теории адаптации [Электронный ресурс] // Управление экономическими системами. Теория управления УЭКС, 12/2011. URL: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=877:2011-12-21-11-49-33 (дата обращения: 07.08.2013).
32. *Павлов С. Е.* Адаптация. М., 2000.
33. *Пастухова Е. А.* Адаптация экономической системы к изменениям среды // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 5. С. 77—80. URL: www.gae.ru/snt/?Section=content&op=show_article&article_id=1852 (дата обращения: 01.06.2013).
34. *Расстригин Л. А.* Адаптация сложных систем: методы и приложения. Рига : Зинатне, 1981.
35. *Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В.* Краткий очерк теории эволюции. М., 1977.
36. *Шапошников Г. Х.* Направленность эволюции // Журнал общей биологии. Т. XXXVIII. № 5. 1977. С. 649—655
37. *Беляев М. К.* Инвестиционная адаптивность социально-экономических систем. М., 2003.
38. *Дорошенко С. В., Юрпалов С. Ю.* Инновационная деятельность как необходимая составляющая конструктивной адаптации региона // Региональная инновационная политика: сб. ст. Екатеринбург : УрФО, 2005. С. 43—51.
39. *Дорошенко С. В.* Стратегическая адаптация как императив инновационного развития региональной социально-экономической системы // Экономика региона: ИЭ УрО РАН. Екатеринбург. 2010. № 3 (23). С. 59.
40. *Дорошенко С. В.* Механизмы адаптации региональной социально-экономической системы в условиях кризиса // Экономика региона: ИЭ УрО РАН. Екатеринбург. 2009. № 3 (19). С. 159—166.
41. *Зяблицкая Н. В.* Методология комплексной оценки адаптационного потенциала предприятий нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] // Теория управления(47) УЭКС, 11/2012. URL: <http://uecs.ru/teoriya-upravleniya/item/1700-2012-11-26-05-32-29> (дата обращения: 07.08.2013).
42. *Аврамова Е. М., Логинов Д. М.* Социально-экономическая адаптация: ресурсы и возможности // Общественные науки и современность. 2002. № 5. С. 24—34.
43. *Азовцева И. К.* Адаптивный механизм как основополагающий элемент концепции управления экономико-социальными системами. URL: <http://www.aup.ru/articles/management/6.htm>. (дата обращения: 04.06.2013).
44. *Сараева Н. М., Суханов А. А.* Обоснование гипотезы минимизирующей стратегии психологической адаптации человека к экологически неблагоприятным условиям: междисциплинарный подход // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3. URL: www.science-education.ru/109-9533 (дата обращения: 07.08.2013).
45. *Владимиров В. В.* Управление градостроительством и территориальным развитием. М., 2000.
46. *Донцов Д. Г., Игнатьев В. А., Юшкова Н. Г.* Концепции регулирования использования и застройки территории Царицына — Сталинграда — Волгограда. М., 2003.
1. *Yargina Z. N.* Gradostroitel'nyy analiz. М., 1989.
2. *Faleev V. G.* Organizatsiya gradostroitel'nogo proektirovaniya. М., 1984.
3. *Vladimirov V. V., Naymark N. I.* Problemy razvitiya teorii rasseleniya v Rossii. М., 2002.

4. Smolyar I. M. Printsipy gradostroitel'nogo proektirovaniya i predlozheniy po razrabotke general'nykh planov gorodov v novykh sotsial'no-ekonomicheskikh usloviyakh. M., 1995.
5. Smolyar I. M. Gradostroitel'noe pravo. Teoreticheskie osnovy. M., 2000.
6. Smolyar I. M. Gradostroitel'noe planirovanie kak sistema: prognozirovaniye — programmirovaniye — proektirovanie. M., 2000.
7. Vladimirov V. V. O territorial'nom i gradostroitel'nom zakonodatel'stvakh // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 1996. № 1. S. 9—11.
8. Vladimirov V. V., Savarenskaya T. F., Smolyar I. M. Gradostroitel'stvo kak sistema nauchnykh znaniy / pod. red. I. M. Smolyara. M., 1999.
9. Natsional'naya doktrina gradostroitel'stva Rossii. Kontseptsiya gradostroitel'noy politiki na nachalo XXI veka. M., 2001.
10. Yushkova N. G. Territorial'noe planirovanie i gosudarstvennaya politika razvitiya regiona // Vestnik VolgGASU. Ser: Str-vo i arkh. 2013. Vyp. 30 (49). S. 196—202.
11. Sistemnyy analiz i problemy razvitiya gorodov / Yu. S. Popkov, M. V. Posokhin, A. E. Gutnov, B. L. Shmul'yan. M. : Nauka, 1983.
12. Gutnov A. E. Evolyutsiya gradostroitel'stva. M., 1984.
13. Demin N. D. Upravlenie razvitiem gradostroitel'nykh sistem. 1991.
14. Anokhin P. K. Printsipial'nye voprosy obshchey teorii funktsional'nykh sistem. URL : <http://ijkl.ru/a/105?pg=3>.
15. Anokhin P. K. Ocherki po fiziologii funktsional'nykh sistem. M. : Meditsina, 1975. S. 17—59.
16. Surmin Yu. P. Teoriya sistem i sistemnyy analiz : ucheb. posobie. Kiev : MAUP, 2003.
17. Lapygin Yu. N. Teoriya organizatsii. M. : Infra-M, 2010.
18. Alaev E. B. Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiyno-terminologicheskii slovar'. M., 1984.
19. Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar' / pod red. A. M. Prokhorova. M., 1979.
20. Smolyar I. M. Terminologicheskii slovar' po gradostroitel'stvu. M., 2004.
21. Dobroborskiy B. S. Termodinamika biologicheskikh sistem / pod red. E. S. Mandryko. SPb., 2006.
22. Kaluzhskiy M. L. Obshchaya teoriya sistem. Omsk, 2001.
23. Popov V. P., Kraynyuchenko I. V. Teoriya i analiz sistem. Pyatigorsk : PGGTU, 2012.
24. Saraev A. D., Shcherbina O. A. Sistemnyy analiz i sovremennyye informatsionnyye tekhnologii. URL: http://matmodelling.pbnet.ru/Statya_Saraev_Shcherbin (data obrashcheniya: 13.11.2012).
25. Shmal'gauzen I. I. Puti i zakonomernosti evolyutsionnogo protsessa. M., 1940.
26. Urmantsev Yu. A. Obshchaya teoriya sistem: sostoyaniye, prilozheniya i perspektivy razvitiya. URL: <http://www.sci.aha.ru> (data obrashcheniya: 01.07.2013).
27. Osyannin A. N. Analiz soderzhaniya protsessa adaptatsii sotsializatsii lichnosti (teoreticheskiy aspekt) // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. Lobachevskogo. 2006. Vyp. 1. S. 335—341.
28. Psikhologicheskaya adaptatsiya i psikhologicheskoe zdorov'e cheloveka v oslozhnennykh usloviyakh zhiznennoy sredy / A. A. Sukhanov. M., 2011.
29. Yanitskiy M. S. Adaptatsionnyy protsess: psikhologicheskie mekhanizmy i zakonomernosti dinamiki : ucheb. posobie. Kemerovo : KGU, 1999.
30. Severin A. E., Torshin V. I., Shastun S. A. Konspekty lektsiy po meditsinskoj ekologii / pod red. V. I. Torshina. M. : RUDN, 2006.
31. Zyablitskaya N. V. Sovremennyye polozheniya teorii adaptatsii [Elektronnyy resurs] // Upravlenie ekonomicheskimi sistemami. Teoriya upravleniya UEkS, 12/2011. URL: http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=877:2011-12-21-11-49-33 (data obrashcheniya: 07.08.2013).
32. Pavlov S. E. Adaptatsiya. M., 2000.
33. Pastukhova E. A. Adaptatsiya ekonomicheskoy sistemy k izmeneniyam sredy // Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. 2006. № 5. S. 77—80. URL: www.rae.ru/snt/?Section=content&op=show_article&article_id=1852 (data obrashcheniya: 01.06.2013).
34. Rastrigin L. A. Adaptatsiya slozhnykh sistem: metody i prilozheniya. Riga : Zinatne, 1981.
35. Timofeev-Resovskiy N. V., Vorontsov N. N., Yablokov A. V. Kratkiy ocherk teorii evolyutsii. M., 1977.
36. Shaposhnikov G. Kh. Napravlenost' evolyutsii // Zhurnal obshchey biologii. T. XXXVIII. № 5. 1977. S. 649—655.
37. Belyaev M. K. Investitsionnaya adaptivnost' sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. M., 2003.

38. Doroshenko S. V., Yurpalov S. Yu. Innovatsionnaya deyatel'nost' kak neobkhodimaya sostavlyayushchaya konstruktivnoy adaptatsii regiona // Regional'naya innovatsionnaya politika: sb. st. Ekaterinburg : UrFO, 2005. S. 43—51.
39. Doroshenko S. V. Strategicheskaya adaptatsiya kak imperativ innovatsionnogo razvitiya regional'noy sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy // Ekonomika regiona: IE UrO RAN. Ekaterinburg. 2010. № 3 (23). S. 59.
40. Doroshenko S. V. Mekhanizmy adaptatsii regional'noy sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy v usloviyakh krizisa // Ekonomika regiona: IE UrO RAN. Ekaterinburg. 2009. № 3 (19). S. 159—166.
41. Zyablitskaya N. V. Metodologiya kompleksnoy otsenki adaptatsionnogo potentsiala predpriyatiy neftegazovoy otrasli [Elektronnyy resurs] // Teoriya upravleniya(47) UEkS, 11/2012. URL: <http://uecs.ru/teoriya-upravleniya/item/1700-2012-11-26-05-32-29> (data obrashcheniya: 07.08.2013).
42. Avraamova E. M., Loginov D. M. Sotsial'no-ekonomicheskaya adaptatsiya: resursy i vozmozhnosti // Obshchestvennye nauki i sovremennost'. 2002. № 5. S. 24—34.
43. Azovtseva I. K. Adaptivnyy mekhanizm kak osnovopolagayushchiy element kontseptsii upravleniya ekonomiko-sotsial'nymi sistemami. URL: <http://www.aup.ru/articles/management/6.htm>. (data obrashcheniya: 04.06.2013).
44. Saraeva N. M., Sukhanov A. A. Obosnovanie gipotezy minimiziruyushchey strategii psikhologicheskoy adaptatsii cheloveka k ekologicheski neblagopoluchnym usloviyam: mezhdistsiplinarnyy podkhod // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 3. URL: www.science-education.ru/109-9533 (data obrashcheniya: 07.08.2013).
45. Vladimirov V. V. Upravlenie gradostroitel'stvom i territorial'nym razvitiem. M., 2000.
46. Dontsov D. G., Ignat'ev V. A., Yushkova N. G. Kontseptsii regulirovaniya ispol'zovaniya i zastroyki territorii Tsaritsyna — Stalingrada — Volgograda. M., 2003.

© Юшкова Н. Г., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Юшкова Н. Г. Определение вектора функционирования градостроительных систем регионов в современных условиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 165—186.

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

УДК 378.016:74

И. Г. Затонская

АНАЛИЗ СРЕДОВЫХ И ФОРМООБРАЗУЮЩИХ КОНЦЕПЦИЙ ВО ВРЕМЯ РИСУНКА И ЖИВОПИСИ НА ПЛЕНЭРЕ КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ АРХИТЕКТОРОВ

Целью исследования являлись возможности и результаты выполненных учебных заданий по рисунку и живописи, в том числе и на пленэре, при изображении архитектурных объектов и архитектурной среды, а также сбор материалов в виде набросков и зарисовок для использования в учебном процессе. Объединение наблюдения, анализа и творческого подхода при выполнении заданий по рисунку и живописи, использование широкого диапазона средств, материалов и приемов изобразительного мастерства, натуральных зарисовок архитектурных объектов и среды исторически сложившегося городского пространства дает возможность решения профессиональных задач в учебном процессе.

К л ю ч е в ы е с л о в а: среда, архитектурное пространство, рисунок, живопись, изучение, изображение, архитектурный рисунок.

The aim of the study is the opportunities and learning outcomes in the form of completed learning tasks in drawing and painting, including in plein air, when depicting architectural objects and architectural environment, as well as the collection of materials in form of sketches and drawings for use in the educational process. Combining observation, analysis and creativity in performing tasks in drawing and painting, use of a wide range of tools, materials and techniques of fine craftsmanship, full-scale drawings of architectural structures and the historical environment of urban space, gives an opportunity to solve professional problems in the educational process.

K e y w o r d s: environment, architectural space, drawing, painting, learning, image, architectural drawing.

Обращение к объективным научным законам, попытки опереться на научно сформулированные закономерности человеческого восприятия и поведения каждый раз сопутствовали рефлексии по поводу пересмотра методов и средств архитектурного проектирования, смены средств архитектурной выразительности, в моменты кризисных ситуаций. Например, в конце XVIII в. во Франции, когда идея воздействия на общество путем разумной организации архитектурных форм получила теоретическое и проектное обоснование, она рассматривалась лидерами так называемого «современного движения» на Западе и советскими конструктивистами как одна из главных профессиональных задач.

Обращение профессионального сознания к психологии сопряжено с кризисом профессиональных ценностей, в пору всеобщей неудовлетворенности итогом господства функционалистических идей и концепций в архитектурном проектировании и строительстве [1].

Термин и понятие «среда», употребляемые в архитектуре и раньше, но не имеющие представлений в теории и практике, прямо связано с распространением экологической проблематики в естественных и социальных науках.

В биологических науках в качестве среды рассматривается та часть природного окружения, которая освоена конкретными проявлениями жизнедеятельности того или иного биологического объекта. Все остальное окружение оказывается неосвоенным, избыточным, однако сама эта избыточность имеет огромное значение для существования и функционирования в среде.

В социальных науках среда рассматривается как часть социального окружения, находящаяся во взаимодействии с индивидами или группами и влияющая на социальное бытие. Во всех случаях представления о среде связаны с изучением взаимодействия носителей предметно-практической деятельности (субъектов среды) с окружением. Иными словами: всякая среда есть среда деятельности, а всякая деятельность — деятельность в среде.

При этом пространственная и функциональная соотнесенность среды и субъектов числятся как взаимосвязанные. Например, организованное архитектурными средствами городское пространство становится городской средой (т. е. нормированной городской культурой, городским образом жизни, деятельности). Эта деятельность состоит из конкретных проявлений, и всем им сопутствует определенный образ среды. Эти образы всегда эмоционально окрашены, их перцептивные, прежде всего визуальные средства, соотнесены не только с психофизиологическими и психологическими закономерностями восприятия, но и со всей совокупностью социокультурных и мировоззренческих ценностей. Улица, перекресток, площадь, квартал, сквер, набережная и т. п. — не только способы архитектурной организации пространства, но и особые типы среды, обладающие сложным комплексом социально-культурных значений и создающие особый эмоциональный климат.

Задание «Рисунок — фантазия из геометрических тел» — начальный этап, подготовка к выполнению более сложных заданий, таких как «Рисунок по своему проекту», «Город будущего», которые уже можно считать академической классикой архитектурного рисунка. Выполнению этих заданий предшествует работа в учебной мастерской по линейно-конструктивному и светотеневому рисунку геометрических форм, архитектурных деталей и пространств, а далее — изучение анатомии человека и изображение головы и фигуры человека. Длительная работа на пленэре по заданиям «Рисунок экстерьера», «Рисунок перспективы улицы», «Рисунок площади», «Рисунок ансамбля», «Рисунок панорамы города» открывает новые возможности для студентов при работе с архитектурными объектами, пространством и средой.

Студенты-архитекторы и дизайнеры не только получают навыки в рисунке, но и изучают приемы композиционного мышления, архитектурные объекты и среду, как искусственную архитектурную, так и естественную природную. Они используют эти знания и приемы в рисунке-фантазии, рисунке по представлению, которые входят в задания «Рисунок по своему проекту» для III и IV курсов. Изображая свой проект («Малоэтажный жилой дом», «Школа», «Клуб», «Поселок», «Торговый центр», «Микрорайон» и т. д.), студенты помещают его в среду более подходящую и реально существующую, но не входящую в задание проектирования, или фантазийную и несуществующую. Иная культура, экстремальные условия, агрессивная среда: крайний

север, ледовая, песчаная пустыни, невесомость космоса, дно океана и т. д. — все это является возможностями для продолжения проектирования во время рисунка.

Развивая творческие способности, важно не отрываться от реальности и не только решать образно-эмоциональную сторону своего проекта, в том числе фантазийную, но и использовать широкий спектр конструктивных приемов.

Здесь могут использоваться приемы архитектурной бионики и принципы динамической адаптации, которые, в конечном итоге, могут привести к образности рисунка и эмоциональности работы в целом, при условии грамотного использования материалов и приемов изобразительного мастерства.

Полученные навыки студенты могут применить для проектов по реконструкции и реставрации реально существующей среды или использовать возможность вписать проектируемое сооружение в существующую историческую архитектурную ситуацию.

Далеко не всегда являясь результатом целенаправленной работы архитектора, среда формируется под влиянием многих причин естественно-исторического характера, что нередко делает ее более духовно содержательной и эмоциональной, нежели среда, построенная по правилам «хорошего вкуса». Обстоятельство парадоксальное! Так, многие исторически складывающиеся поселения, возникавшие едва ли не стихийно в соответствии с утилитарно-практическими соображениями, обладают теми качествами эмоционального воздействия, которых зачастую лишены крупные градостроительные образования XX века, формировавшиеся мастерами архитектуры на основе единых эстетических принципов [1].

Анализирующий эту ситуацию А. Г. Раппапорт, в частности, показывает, что причины безликости крупных градостроительных комплексов следует видеть не только и не столько в индустриализации и экономических ограничениях строительства, сколько в самом стиле мышления современного архитектора, оперирующего преимущественно формально-аналитическими композиционными средствами.

«Я действительно считаю, — писал один из наиболее видных представителей архитектуры «современного движения» В. Гропиус, — психологические проблемы фундаментальны и перспективны, в то время как технические компоненты формообразования есть наше мыслительное дополнение к этому». Можно сказать, что доминантной эмоцией, стимулирующей деятельность, является интерес. Какие же качества внешней среды обеспечивают стимуляцию интереса? Это новизна и сложность. Архитектура и архитектурные сооружения предметно-пространственной среды принадлежат к числу наиболее стабильных элементов окружения человека, и долговечность их, как правило, простирается за пределы человеческой жизни. Более того, новизна и долговечность форм какого-либо архитектурного сооружения, вызывая интерес к нему в момент знакомства, довольно быстро «придаются». Значит, должны быть какие-то иные механизмы, которые обеспечивали бы стимуляцию интереса к среде. Эта стимуляция как раз и обеспечивается избыточностью архитектурной формы. Здание должно требовать остановки и разглядывания, но его форма ни в коем случае не должна становиться очевидной во всех деталях и напоминаться целиком.

Исторически сложившиеся типы организации городского пространства создают как бы каркас восприятия архитектурно-организованной среды поселения. Именно существование такого устойчивого каркаса задает устойчивость и определенность образно-символической структуре поселения, новизна и сложность в качестве факторов, стимулирующих эмоциональное возбуждение, воспринимаются на фоне и в контексте этих устойчивых пространственно-функциональных образований [1].

Современные здания, вписанные в сложный градостроительный ансамбль, приобретают черты сооружений, из которых он состоит, выраженные, большей частью, в деталях, взаимодействии объемов, ритме, пластике фасадов, а также архитектурных акцентах. Особый интерес при рисовании или живописи вызывают памятники архитектуры и сооружения исторически сложившейся среды. Все это помогает молодому проектировщику, студенту-архитектору в более тщательном изучении как отдельных архитектурных объектов, так и среды в целом, и открывает новые возможности для проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанов А. В., Иванова Г. И., Нечаев Н. Н. Архитектура и эмоциональный мир человека. М. : Стройиздат, 1983.

1. Stepanov A. V., Ivanova G. I., Nechaev N. N. Arkhitektura i emotsional'nyy mir cheloveka. M. : Stroyizdat, 1983.

© Затонская И. Г., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Затонская И. Г. Анализ средовых и формообразующих концепций во время рисунка и живописи на пленэре как способ развития профессиональных компетенций будущих архитекторов // Вестник Волггос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 187—190.

УДК 378.016:72

Ю. Б. Колышев

РАЗВИВАЮЩАЯ РОЛЬ НАБРОСКА В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРА АРХИТЕКТУРЫ

Предлагаются пути повышения качества художественной подготовки бакалавра архитектуры с помощью увеличения времени на самостоятельную работу. Сбор материала по изучаемой теме в домашних набросках и эскизах повышает живой интерес обучающихся к натурным объектам, позволяет экономить недостающее аудиторное время. Обсуждения аудиторных заданий и поисковых набросков и эскизов позволяют студентам наглядно анализировать достигнутый результат, обмениваться идеями и мнениями, а преподавателям — объективнее подводить итоги.

К л ю ч е в ы е с л о в а: повышение качества художественной подготовки, инициатива, понимание, самостоятельность, поисковые наброски, эскизы, экономия аудиторного времени, объективные итоги.

The paper suggests the ways of increasing the artistic training quality for «Bachelor of Architecture» by increasing the time for independent work. The information collection in the theme under study in the process of home-based creation of sketches and outlines raises a vivid interest of students to the objects of nature, allows save the lacking class hours. The discussions on class-based tasks and on interim sketches and outlines let students analyze visually the achieved result, exchange ideas and opinions, and lectures can evaluate the results more impartially.

K e y w o r d s: increase of artistic training quality, initiative, interpretation, independence, interim sketches, outlines, saving of class hours, impartial results.

Реформа, связанная с подписанием Россией в 2003 г. Болонской декларации оказала значительное влияние на развитие отечественной высшей и средней профессиональной школы. Проведенная работа по новому образовательному стандарту (ФГОС ВПО 3-го поколения) позволяет провести определенный анализ и сделать соответствующие выводы.

Во-первых, несмотря на значительную нехватку аудиторных часов, уровень художественной подготовки бакалавров архитектуры и дизайна, их конкурентоспособность не должны снижаться.

Во-вторых, студентам всего за один семестр, причем первый, в процессе адаптации, необходимо научиться соблюдать в рисунках основное профессиональное требование — «достижение пространственной цельности (трехмерного пространства)» [1].

Студент должен:

уметь уверенно и свободно выражать свою мысль графическими средствами, осознанно применять знания и умения в архитектурной области, т. е. уметь моделировать пространство с помощью академического рисунка (основ профессиональных коммуникаций);

владеть разнообразными техническими приемами и их реализацией в проектной работе.

Получение вышеуказанных умений и навыков зависит от степени инициативности студентов в учебном процессе, от «организации активных профессиональных действий и поступков обучающихся, вызывающих живой интерес к натуре» [1].

Это, прежде всего, смена точек зрения (спереди, сбоку, сверху), наблюдение и фиксация симметричных и ассиметричных видов, использование аксонометрических проекций, перспектив (с реального уровня и с высоты «птичьего полета») и пр. (рис. 1, 2, 3, 4).

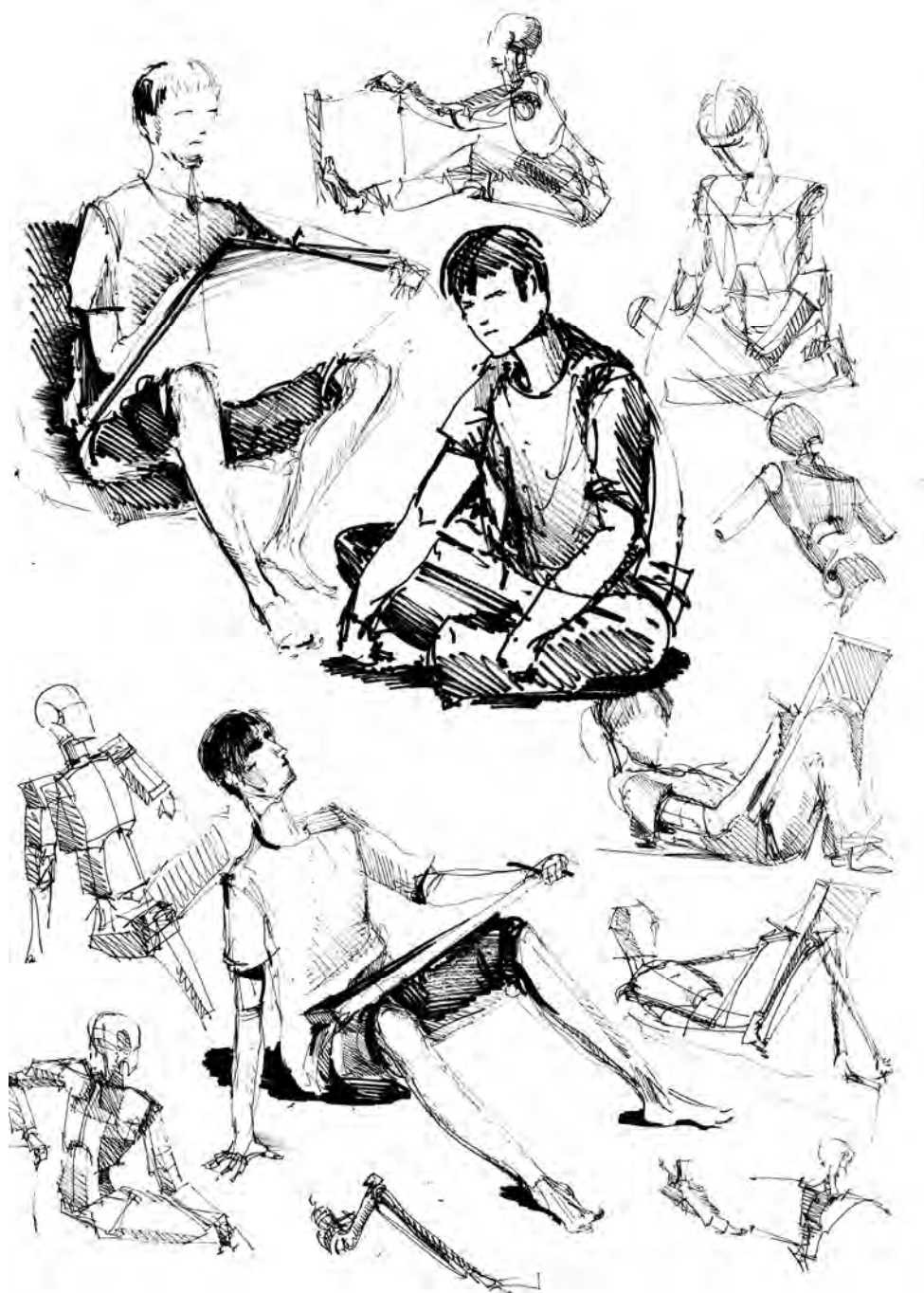


Рис. 1. наброски живой фигуры человека. Общая форма и составляющие части фигуры в различных положениях

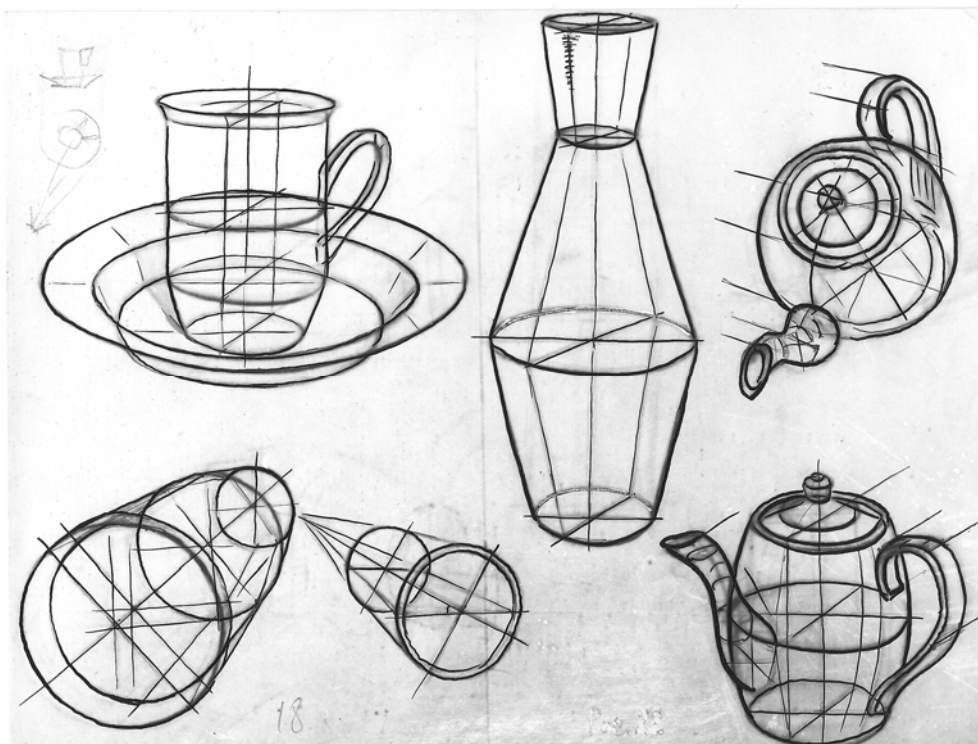


Рис. 2. Наброски предметов быта. Аксонометрические и перспективные изображения с сечениями вертикальными и горизонтальными

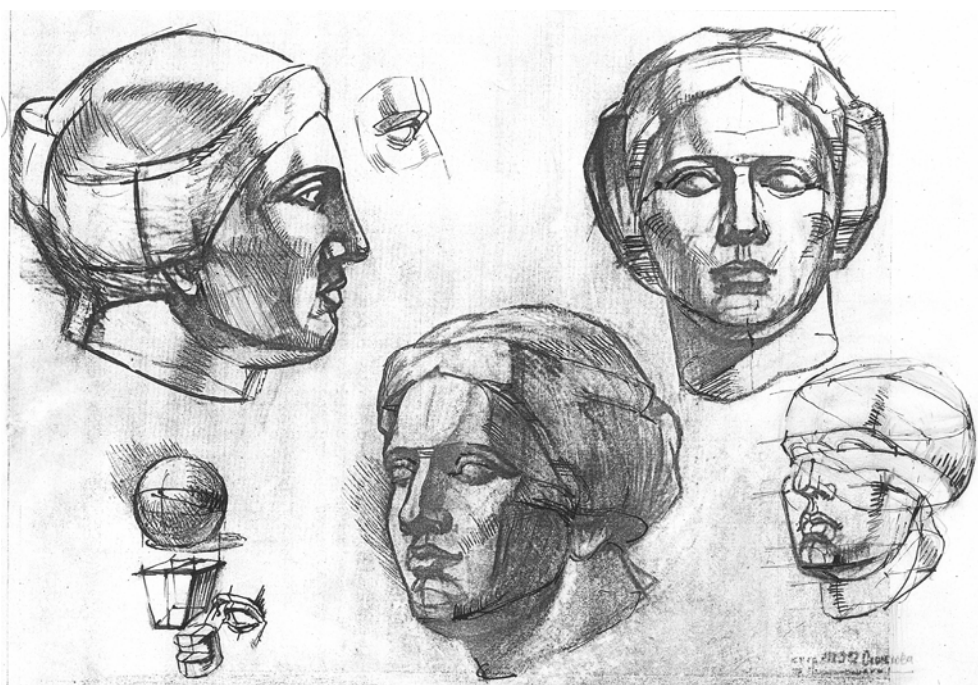


Рис. 3. Гипсовая голова человека. Кратковременные зарисовки исходных и ракурсных видов



Рис. 4. Гипсовая голова человека. Длительный рисунок с передачей пропорций характера трехмерной формы

Новизна постановки изобразительных задач, применение различных материалов и приемов создают предпосылки к развитию инициативы студента в процессе художественной подготовки. Главное заключается в том, что реализуется познавательная роль рисунка, связанная с задачами архитектурного проектирования (рис. 5).



Рис. 5. Успенский собор Московского Кремля. Наброски исходных и ракурсных видов

Автор в своих прежних публикациях отмечал, что рисовальщик должен вырабатывать привычку, вплоть до «фанатизма», наблюдать натуру и выполнять краткосрочные наброски небольшого размера с последующим их кадрированием в рамку, пропорциональную формату листа, с целью превращения их в эскизы [2].

Материал, собранный в набросках и эскизах (сведения о пропорциях, структуре объемов объекта, найденные выразительный ракурс и композиционное размещение в формате листа), позволяет увереннее приступать к крупному рисунку изучаемого объекта.

Целенаправленные упражнения помогают студентам анализировать, планировать и предвосхищать свою предстоящую работу, укладываясь в отведенное программой малое количество аудиторного времени.

Кроме того, наброски способствуют выработке свободы владения изобразительными материалами, а также индивидуальности графического языка.

Выполняемый объем самостоятельного сбора материала количественно не ограничивается. Наброски должны быть связаны с изучаемой темой.

Отчетный просмотр аудиторных заданий проходит с обязательной подачей поисковых набросков и эскизов. Обсуждения работ совместно с преподавателями позволяет студентам обмениваться мнениями, замыслами, а преподавателям — объективнее подводить итоги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жилкина З. В. Развивающая роль архитектурного рисунка // Совершенствование методов обучения рисунку в архитектурно-художественном образовании: материалы V Международной науч.-методич. конф., 2009. Новосибирск, 2010. С.51 —52.

2. Колышев Ю. Б. Организация и контроль самостоятельной работы студентов по рисунку (направления «Архитектура» и «Дизайн») // Совершенствование методов обучения рисунку в архитектурно-художественном образовании: материалы V Международной науч.-методич. конф., 2009. Новосибирск, 2010. С. 9—10.

1. Zhilkina Z. V. Razvivayushchaya rol' arkhitekturnogo risunka // Sovershenstvovanie metodov obucheniya risunku v arkhitekturno-khudozhestvennom obrazovanii: materialy V Mezhdunarodnoy nauch.-metodich. konf., 2009. Novosibirsk, 2010. S.51 —52.

2. Kolyshev Yu. B. Organizatsiya i kontrol' samostoyatel'noy raboty studentov po risunku (napravleniya «Arkhitektura» i «Dizayn») // Sovershenstvovanie metodov obucheniya risunku v arkhitekturno-khudozhestvennom obrazovanii: materialy V Mezhdunarodnoy nauch.-metodich. konf., 2009. Novosibirsk, 2010. S. 9—10.

© Колышев Ю. Б., 2013

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Колышев Ю. Б. Развивающая роль наброска в художественной подготовке бакалавра архитектуры // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 34(53). С. 191—196.

НАШИ АВТОРЫ

Богданов Виктор Иванович
Bogdanov Viktor Ivanovich

канд. техн. наук, доцент, проф. кафедры технологических процессов и машин, Волжский институт строительства и технологий (ВИСТех) — филиал ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Technological Processes and Machines Department, Volzhsky Institute of Civil Engineering and Technology (VICET) — Affiliate Institute of VSUACE

Богомолов Александр Николаевич
Bogomolov Aleksandr Nikolaevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе, ВолгГАСУ; проф. кафедры технологии строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, banzaritcyn@mail.ru

Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE; Professor of Technology of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University

Богомолова Оксана Александровна
Bogomolova Oksana Aleksandrovna

канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Docent of Application Mathematics and Computer Engineering Department, VSUACE

Болеев Александр Андреевич
Boleev Aleksandr Andreevich

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ

Postgraduate student of Water Supply and Disposal Department, VSUACE

Булычев Георгий Андрианович
Bulychev Georgiy Andrianovich

канд. техн. наук, проф. кафедры морских нефтегазовых сооружений, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Professor of Sea Oil and Gas Constructions Department, VSUACE

Булычев Феликс Георгиевич
Bulychev Feliks Georgievich

специалист, ООО «Лукойл — РИТЕК»

Specialist, «Lukoil — RITEK», Ltd.

Бурлаченко Олег Васильевич
Burlachenko Oleg Vasilievich

д-р техн. наук, доцент, проректор по учебно-воспитательной работе, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Docent, Vice-Rector for studies and educational work, VSUACE

Вайнгольц Алексей Игоревич
Vayngolts Aleksey Igorevich

аспирант кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ

Postgraduate student of Applied Mathematics and Computer Engineering Department, VSUACE

Войтюк Александр Андреевич
Voytyuk Aleksandr Andreevich

аспирант, ВолгГАСУ

Postgraduate student, VSUACE

Габитов Фархаддин Гасанович
Gabibov Farkhaddin Gasanovich

канд. техн. наук, зав. лабораторией оснований, фундаментов и механики грунтов, Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры

Candidate of Engineering Science, the head of the Laboratory of Bases, Foundations and Soil Mechanics, Azerbaijan Research and Development Institute of Civil Engineering and Architecture

Гончар Юрий Николаевич
Gonchar Yuriy Nikolaevich

генеральный директор, ЗАО «Главный контрольно-испытательный центр питьевой воды», Москва

Director General, "Main Controlling and Testing Center of Drinking Water" CJSC, Moscow

Ермаков Олег Васильевич
Ermakov Oleg Vasilevich

канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Postdoctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Жабин Дмитрий Владимирович
Zhabin Dmitriy Vladimirovich

аспирант кафедры строительных материалов, Московский государственный строительный университет (МГСУ), dimanuga-rus@mail.ru

Postgraduate student of Construction Materials Department, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)

Затонская Ирина Григорьевна
Zatonskaya Irina Grigorevna

старший преподаватель кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры, ВолгГАСУ

senior lecturer of Fundamentals of Architectural Design, Drawing, Painting and Sculpture Department, VSUACE

Землянушнов Дмитрий Юрьевич
Zemlyanushnov Dmitriy Yurevich

аспирант кафедры строительных материалов, Московский государственный строительный университет (МГСУ), qwetrus@mail.ru

Postgraduate student of Construction Materials Department, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)

Игнаткина Дарья Олеговна
Ignatkina Darya Olegovna

аспирантка, ВолгГАСУ, viv_vgasu@mail.ru

Postgraduate student, VSUACE

Игнатьев Александр Владимирович
Ignatev Aleksandr Vladimirovich

канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Docent, the Head of Applied Mathematics and Computer Engineering Department, VSUACE

Игнатьев Владимир Александрович
Ignatev Vladimir Aleksandrovich

д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, советник РААЧ, зав. кафедрой строительной механики, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Professor, honoured master of sciences and engineering of RF, counsellor of RAACS, Department Chairman of Building Mechanics, VSUACE

Кармоков Кантемир Андзорович
Karmokov Kantemir Andzorovich

студент, МГУ, karmokov-kant@mail.ru

student, Moscow State University

Кириченко Геннадий Олегович
Kirichenko Gennadiy Olegovich

«Сервис-КомплексПроект», komrad.ARHI@yandex.ru

"Servis-KompleksProject"

Колесникова Валентина Федоровна
Kolesnikova Valentina Fedorovna

главный технолог, Ростокинский завод ЖБК ОАО ДСК-1, kolesnikova@rzbk.dsk1.ru

Chief Technologist, Rostokinskiy plant of reinforced concrete constructions OJSC DSK-1

Колышев Юрий Богданович Kolyshv Yuriy Bogdanovich	проф., проф. кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка и живописи, ВолгГАСУ, (8442)96-98-44 Professor, Professor of Fundamentals of Architectural Design, Drawing, Painting and Sculpture Department, VSUACE
Корниенко Сергей Валерьевич Kornienko Sergey Valerevich	канд. техн. наук, доцент, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Docent, VSUACE
Котенева Ирина Васильевна Koteneva Irina Vasilevna	канд. техн. наук, доцент кафедры общей химии, Московский государственный строительный университет (МГСУ), sudeykina@mail.ru Candidate of Engineering Science, Docent of General Chemistry Department, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Котлярова Ирина Александровна Kotlyarova Irina Aleksandrovna	канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения, Брянский государственный технический университет, ikotlyarova@list.ru Candidate of Engineering Science, Docent of Machine and Material Engineering Department, Bryansk State Technical University
Кузьмина Татьяна Алексеевна Kuzmina Tatyana Alekseevna	аспирантка, ВолгГАСУ Postgraduate student, VSUACE
Култербаев Хусен Пшимурзович Kulterbaev Khusen Pshimurzovich	д-р техн. наук, проф., проф. кафедры теоретической и прикладной механики, Кабардино-Балкарский государственный университет Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Engineering and Applied Mechanics, Kabardino-Balkar State University
Масляев Александр Викторович Maslyayev Aleksandr Viktorovich	канд. техн. наук, эксперт ГУ РИНКЦЭ по сейсмологии и сейсмостойкому строительству, Научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Expert of GA RRSCCE on Seismology and Antiseismic Construction, R&D Seismological Laboratory, VSUACE
Мигунов Виктор Николаевич Migunov Viktor Nikolaevich	канд. техн. наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Viktor5043@rambler.ru Candidate of Engineering Science, Docent, Penza State University of Architecture and Civil Engineering
Москвичева Елена Викторовна Moskvicheva Elena Viktorovna	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Water Supply and Disposal, VSUACE
Мышлинская Ирина Хаджимурадовна Myshlinskaya Irina Khadzhimuradovna	аспирантка кафедры технологии строительного производства, ВолгГАСУ Postgraduate student of Construction Technology Department, VSUACE
Овчинников Игорь Георгиевич Ovchinnikov Igor Georgievich	д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Bridgesar@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Perm National Research Polytechnical University
Овчинников Илья Игоревич Ovchinnikov Ilya Igorevich	канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры мостов и транспортных сооружений, Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Bridges and Transport Works, Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky
Перекоженцев Анатолий Георгиевич Perekhozhentsev Anatoliy Georgievich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой архитектуры, ВолгГАСУ, pao@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Architecture Department, VSUACE
Подтелков Василий Владимирович Podtelkov Vasiliy Vladimirovich	канд. техн. наук, Кубанский государственный аграрный университет Candidate of Engineering Science, Kuban State Agrarian University
Попова Галина Николаевна Popova Galina Nikolaevna	ассистент кафедры архитектуры, Липецкий государственный технический университет Assistant of Architecture Department, Lipetsk State Technical University
Пушенко Сергей Леонардович Pushenko Sergey Leonardovich	канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности технологических процессов и производств, Ростовский государственный строительный университет (РГСУ) Candidate of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Engineering Processes and Productions Safety, Rostov State University of Civil Engineering
Самойленко Максим Андреевич Samoylenko Maksim Andreevich	аспирант, ВолгГАСУ, viv_vgasu@mail.ru Postgraduate student, VSUACE
Сахарова Анастасия Андреевна Sakharova Anastasiya Andreevna	аспирантка, ассистентка кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ, viv_vgasu@mail.ru Postgraduate student, Assistant of Water Supply and Disposal Department, VSUACE
Сахарова Наталия Алексеевна Sakharova Nataliya Alekseevna	заместитель руководителя Нижне-Волжского бассейнового управления Федерального агентства водных ресурсов, viv_vgasu@mail.ru Deputy Director of the Lower Volga Basin Management Authority of the Federal Water Resources Agency
Сенченко Владимир Александрович Senchenko Vladimir Aleksandrovich	ведущий инженер, Центр охраны труда и экологии от А до Я, Vladimir.Senchenko@rambler.ru Leading Engineer, the Center of Labour Safety and Ecology from "A" to "Я"
Скляднев Александр Иванович Sklyadnev Aleksandr Ivanovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой архитектуры, Липецкий государственный технический университет Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Architecture Department, Lipetsk State Technical University
Соков Виктор Николаевич Sokov Viktor Nikolaevich	д-р техн. наук, проф., Московский государственный строительный университет (МГСУ), Sersok_07@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Соловьев Александр Владимирович Solovev Aleksandr Vladimirovich	канд. техн. наук, доцент, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет Candidate of Engineering Science, Docent, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering

Старов Александр Васильевич
Starov Aleksandr Vasilevich

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, ВолгГАСУ, starov1954@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Building Mechanics Department, VSUACE

Четвертнов Александр Владимирович
Chetvertnov Aleksandr Vladimirovich
Чиж Ирина Николаевна
Chizh Irina Nikolaevna

техник, ВолгГАСУ, gradyslav@gmail.com
Technician, VSUACE
аспирантка кафедры промышленного, гражданского строительства, геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт), dpchizh@mail.ru
Postgraduate student of the Industrial and Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering Department, South Russian State Polytechnical University (Novocherkassk Polytechnical Institute)
канд. арх., доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий, ВолгГАСУ, (8442)96-98-59
Candidate of Architecture, Docent of Apartment and Public Buildings Architecture Department, VSUACE

Юшкова Наталия Геннадиевна
Yushkova Nataliya Gennadiyevna

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: info@vpgasu.ru (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

В выпуске 33 (52) 2013 г. была допущена опечатка в фамилии автора Шолудько С. Л. Правильное написание — **Шолудько Светлана Леонидовна**.

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, приставленные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vpgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/preparation-requirements/>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vpgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/preparation-requirements/>), *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 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 (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для набора формул используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзачным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, иллюстрации обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата A4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. Подписи к рисункам выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подписуемой 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).

Пристайные 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.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

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 НТИ «Информрегистр», свидетельство № **594 от 20.10.11, номер гос. рег. 0421200065** (на 2012 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 **E 29507**.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,

утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru
в разделе Наука / Научные журналы.

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2013. Вып. 34 (53)**

Редакторы *О. А. Шипунова, И. Б. Чижикова, Р. В. Худадян, М. Л. Песчаная*

Перевод на английский язык *О.Ю. Юшко*

Компьютерная правка и верстка *Н. А. Кашириной, А. Г. Сиволобовой*

Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е. В. Хромова*

Подписано в печать 23.12.2013. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 10,4. Усл. печ. л. 17,6. Тираж 500 экз. Заказ № 74

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1