



Научно-технический журнал  
Издается с 2003 года.  
Выходит шесть раз в год.

**№3 (59) 2015**  
**(май-июнь)**

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

*Редакционный совет:*

**Голенков В.А.** д.т.н., проф., председатель  
**Радченко С.Ю.** д.т.н., проф.,  
зам. председателя  
**Борзенков М.И.** к.т.н., доц., секретарь  
**Астафичев П.А.** д.ю.н., проф.  
**Иванова Т.Н.** д.т.н., проф.  
**Киричек А.В.** д.т.н., проф.  
**Колчунов В.И.** д.т.н., проф.  
**Константинов И.С.** д.т.н., проф.  
**Новиков А.Н.** д.т.н., проф.  
**Попова Л.В.** д.э.н., проф.  
**Степанов Ю.С.** д.т.н., проф.

*Главный редактор:*

**Колчунов В.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.

*Заместители главного редактора:*

**Данилевич Д.В.** к.т.н., доц.  
**Колесникова Т.Н.** д. арх., проф.  
**Коробко В.И.** д.т.н., проф.

*Редколлегия:*

**Бок Т.** д.т.н., проф. (Германия)  
**Бондаренко В.М.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Гордон В.А.** д.т.н., проф.  
**Емельянов С.Г.** советник РААСН, д.т.н., проф.  
**Карпенко Н.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Клюева Н.В.** советник РААСН, д.т.н., проф.  
**Коробко А.В.** д.т.н., проф.  
**Король Е.А.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
**Рымшин В.И.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
**Сергейчук О.В.** д.т.н., проф. (Украина)  
**Серпик И.Н.** д.т.н., проф.  
**Сикора З.** д.т.н., проф. (Польша)  
**Тамразян А.Г.** д.т.н., проф.  
**Тур В.В.** д.т.н., проф. (Белоруссия)  
**Турков А.В.** д.т.н., проф.  
**Федоров В.С.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Чернышов Е.М.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Шах Р.** д.т.н., проф. (Германия)

*Ответственный за выпуск:*

**Солопов С.В.** к.т.н.

*Адрес редакции:*

302006, Россия, г. Орел,  
ул. Московская, 77  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство:  
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному  
каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015

## Содержание

### *Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции*

<b>Бахолдин Б.В., Ястребов П.И.</b> Дискретная модель песчаных и глинистых грунтов.....	4
<b>Варфоломеев Ю.А.</b> О совершенствовании законодательства по строительству малоэтажных зданий на севере.....	12
<b>Гарбарук Ю.В., Пугачёв Е.В.</b> Моделирование коэффициента полезного действия зеркально отражающих световых шахт, имеющих форму цилиндра и параллелепипеда.....	18
<b>Крылов С.Б., Гончаров Е.Е.</b> Решение задачи релаксации бетона в дифференциальной форме.....	26
<b>Петров В.В.</b> Влияние неоднородности нелинейно деформируемого материала на напряженное состояние гибких цилиндрических оболочек.....	32
<b>Пятикрестовский К.П.</b> Сдвиговая форма разрушения метода предельного равновесия в расчете швов соединений между элементами деревянных пространственных конструкций.....	40
<b>Скоробогатов С.М.</b> Энтропийная методика исследования изгибаемых железобетонных конструкций. Теорема об оптимальном виде эпюры напряжений.....	46
<b>Спасская М.В., Трещев А.А.</b> Изгиб круговой цилиндрической оболочки из анизотропного разносопротивляющегося материала.....	53
<b>Турков А.В., Марфин К.В.</b> Экспериментальные исследования составных круглых пластин на динамические и статические нагрузки.....	60

### *Безопасность зданий и сооружений*

<b>Зверьяев Е.М.</b> Возникновение волны сдвига при поперечном ударе по высотному зданию.....	67
<b>Травуш В.И., Волков Ю.С.</b> Что следует изменить в техническом регламенте «О безопасности зданий и сооружений».....	75

### *Архитектура и градостроительство*

<b>Ануфриев Д.П., Холодов А.Ю.</b> Описание функционального ядра имитационной модели динамики потребительского спроса на региональном рынке жилья.....	80
<b>Асеева И.А., Токарева Е.С., Пащенко Е.Н.</b> Конвергентные NBIC-технологии как тренд современной науки и фактор становления инновационной цивилизации.....	88
<b>Вавилов А.В.</b> На пути решения экологических и энергетических проблем при формировании среды жизнедеятельности.....	95
<b>Кривошапко С.Н.</b> Тентовая архитектура.....	100

### *Строительные материалы и технологии*

<b>Абдрахимов В.З., Колпаков А.В., Кайракбаев А.К.</b> Исследование физических свойств теплоизоляционного кирпича методом линейной регрессии.....	110
<b>Ахматов М.А.</b> Керамзитобетон на щебне и песке глинистого сырья Кызбурунского месторождения Кабардино-Балкарии.....	117

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.

<b>Воробьев В.А., Колбасин А.М.</b> Автоматизация подготовки крупного заполнителя для бетонных смесей с оперативной коррекцией его фракционного состава.....	125
<b>Егоров А.Н., Шприц М.Л., Гдимиян Н.Г.</b> Инновационные технологии в строительстве.....	130
<b>Калугин Ю.Б.</b> Расчет достоверных сроков реализации комплексов работ..	138
<b>Крылов Б.А., Кириченко В.В.</b> Способ дополнительной поризации пенобетона.....	142
<b>Лесовик В.С., Пучка О.В., Вайсера С.С., Елистраткин М.Ю.</b> Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла.....	146
<b>Ремнёв В.В., Ремнёв А.В.</b> Повышение гидроизоляции несущей стены при строительстве метрополитена «открытым» способом в условиях плотной городской застройки.....	155
<b>Селяев В.П., Низина Т.А., Артамонов Д.А., Низин Д.Р., Коровкин Д.И., Андронычев Д.О.</b> Результаты испытания составов мелкозернистых бетонов, экспонированных в условиях воздействия климатических факторов.....	158
<b>Урханова Л.А., Хардаев П.К., Лхасаранов С.А.</b> Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками.....	167
<b>Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И.</b> Влияние способа модифицирования диатомита на свойства цементных композитов.....	176
<b>Шабанов В.А.</b> Исследование падения частицы в жидкости переменной вязкости.....	181



Scientific and technical journal  
The journal is published since 2003.  
The journal is published 6 times a year.

**№3 (59) 2015**  
**(May-June)**

# BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training  
«State University – Educational-Science-Production Complex»  
(State University ESPC)

## Editorial council:

**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president

**Radchenko S.Y.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president

**Borzenkov M.I.** Candidat Sc. Tech.,  
Assistant Prof.

**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.

**Ivanova T.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kirichuk A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Popova L.V.** Doc. Ec. Tech., Prof.

**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editor-in-chief

**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editor-in-chief assistants:

**Danilevich D.V.** Candidat Sc. Tech., Assis-  
tant Prof.

**Kolesnikova T.N.** Doc. Arc., Prof.

**Korobko V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editorial committee

**Bock T.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

**Bondarenko V.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Gordon V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Emelyanov S.G.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Karpenko N.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Kljueva N.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Korobko A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Korol E.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Rimshin V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Sergeychuk O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)

**Serpik I.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Sikora Z.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

**Tamrazyan A.G.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Tur V.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)

**Turkov A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Fyodorov V.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Chernyshov E.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.

**Schach R.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

## Responsible for edition:

**Solopov S.V.** Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,  
Street Moscow, 77  
+7 (4862) 73-43-49  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: oantc@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service  
for monitoring communications, information  
technology and mass communications  
The certificate of registration:  
ПИ № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»  
86294

© State University ESPC, 2015

## Contents

### Theory of engineering structures. Building units

<b>Baholdin B., Yastrebov P.</b> Discrete model of sands and clayey soils.....	4
<b>Varfolomeev Y.</b> On enhancement of the legislation upon low storey buildings' construction on the North.....	12
<b>Garbaruk Yu., Pugachev E.</b> Modelling of efficiency of specularly reflecting light wells having the form of the cylinder and the parallelepiped.....	18
<b>Krylov S., Goncharov E.</b> The solution of the problem of the relaxation of concrete in the differential form.....	26
<b>Petrov V.</b> Influens of heterogeneity of the nonlinear deformed material on the tense state of flexible cilinrical shells.....	32
<b>Pjaticrestovskij K.</b> Shear shape of destruction by the limit equilibrium method in the calculation of junctures between elements of wood space structures.....	40
<b>Skorobogatov S.</b> Entropic metod of investigation of bending reinforced concrete structures. Theorem of optimal kinds of stress blocks.....	46
<b>Spasskaya M., Treschev A.</b> Bending of the circular cylindrical shell made of anisotropic different resistant material.....	53
<b>Turkov A., Marfin K.</b> Experimental studies of composite round plasteen on dynamic and static load.....	60

### Building and structure safety

<b>Zveriaev E.</b> Arise of shear wave when wave lateral impact at high building.....	67
<b>Travush V., Volkov Yu.</b> What should change in the technical regulations «On safety of buildings and structures».....	75

### Architecture and town-planning

<b>Anufriev D., Holodov A.</b> Description core functionality simulation model consumer demand for regional housing market.....	80
<b>Aseeva I., Tokareva E., Paschenko E.</b> NBIC-convergent technologies as trend of modern science and factor of innovative civilization's formation.....	88
<b>Vavilov A.</b> On the way to solve environmental and energy problems in the formation of living environment.....	95
<b>Krivoshapko S.</b> Tent architecture.....	100

### Construction materials and technologies

<b>Abdrakhimov V., Kolpakov A., Kayrakbaev AJ.</b> Research of physical properties of the heat-insulating bricks by linear regression.....	110
<b>Ahmatov M.</b> Claydite on gravel and sand clay raw materials Kizburunsky field of Kabardino-Balkaria.....	117
<b>Vorobiev V., Kolbasin A.</b> Automation of preparation of coarse aggregate for concrete mixtures with operative correction of its fractional composition.....	125
<b>Egorov A., Shpric M., Gdimijan N.</b> Innovative technologies in construction....	130
<b>Kalugin Yu.</b> Method of computing finish time for works with imprecise durations.....	138
<b>Krylov B., Kirichenko V.</b> The method further porization of foam.....	142
<b>Lesovik V., Puchka O., Vajsera S., Elistratkin M.</b> Building a new generation of composites on the basis of foamed glass.....	146
<b>Remnjov V., Remnjov A.</b> Improving the waterproofing bearing wall during the construction of the underground by «open»method in dense urban areas.	155
<b>Selyaev V., Nizina T., Artamonov D., Nizin D., Korovkin D., Andronychev D.</b> Experiment results of fine-grained concrete compositions, exposed under influence of climatic factors.....	158
<b>Urghanova L., Khardaev P., Lkhasaranov S.</b> Modification of Cement-based concretes with Nanodispersed Additives.....	167
<b>Cherkasov V., Buzulukov V., Yemelyanov A.</b> The influence of the method of the modification of diatomite on the properties of cement composites.....	176
<b>Shabanov V.</b> Study of a particle falling in a variable viscosity fluid.....	181

БАХОЛДИН Б.В., ЯСТРЕБОВ П.И.

## **ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПЕСЧАНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ**

*Предложена модель грунта, рассматривающая его состоящим из комплекса минеральных частиц, находящихся в процессе нагружения в состоянии предельного равновесия. Модель пригодна для песков и глинистых грунтов с водоколлоидными связями, то есть для грунтов, имеющих массовое распространение. Восприятие передаваемых на грунт нагрузок (сжимающих и сдвиговых) этой модели обеспечивается за счет действующих между минеральными частицами сил трения, учитываемых при расчетах прочностными характеристиками (углом внутреннего трения  $\phi$  и сцеплением  $C$ ) грунтов.*

**Ключевые слова:** модель грунта, деформации грунтов, трение.

Расчет основания сооружений обычно проводится с использованием теории сплошных сред. Применительно к грунтам в рамках этой теории в последнее время предложен целый ряд сильно усложненных моделей, построенных главным образом с использованием некоторых соотношений математического характера. При этом для разработки уравнений состояния обычно никак не принимается во внимание тот факт, что грунт является не сплошной, а дискретной (дисперсной) средой. Более того, грунт, согласно теории предельного равновесия, считается несжимаемым. По этой причине ряд явлений, возникающих в грунтовой основе сооружений, не находят логического объяснения. Это вызывает трудности в процессе проектирования и в практике строительства. В целях устранения указанных недостатков в НИИОСП им. Н.М. Герсеванова проведены исследования [1, 2, 3] для разработки дискретной грунтовой модели, рассматривающей грунт состоящим из взаимодействующих друг с другом его отдельных минеральных зерен и частиц.

Необходимо отметить, что разработка дискретной модели грунта велась применительно не ко всем видам грунтов, а только к наиболее распространенным их видам – водонасыщенным пескам и газогазонасыщенным глинистым грунтам, обладающим водоколлоидными связями, самовосстанавливающимися при сдвиге. Взаимодействие частиц в этих грунтах, в первом приближении представлялось в возможно приближенном, упрощенном виде.

Дискретную модель грунта предложено рассматривать как систему дисперсных частиц, сформировавшихся в виде соприкасающихся между собой плоских скоплений, пространство между торцами которых образует поры, заполненные воздухом или газогазонасыщенной грунтовой жидкостью, как это показано на рисунке 1. В месте соприкосновения таких частиц грунта, как известно, развиваются силы молекулярного притяжения и другие силы связности. В случае нагружения грунта эти силы оказывают сопротивление в виде сцепления  $c$  и трения. Модель грунта включает систему очень большого количества указанных цепочек плоских скоплений грунтовых частиц, прижимаемых в месте их взаимного контакта силами молекулярного взаимодействия. Частицы же грунта в самих цепочках имеют достаточно жесткие связи в месте их торцевых контактов. Описанная система грунтовых частиц при нагружении стремится находиться в условиях равновесия за счет своего взаимного смещения и увеличения сил сопротивления на площади контакта, сопровождающегося сокращением расстояния между частицами и уменьшением пористости грунта.

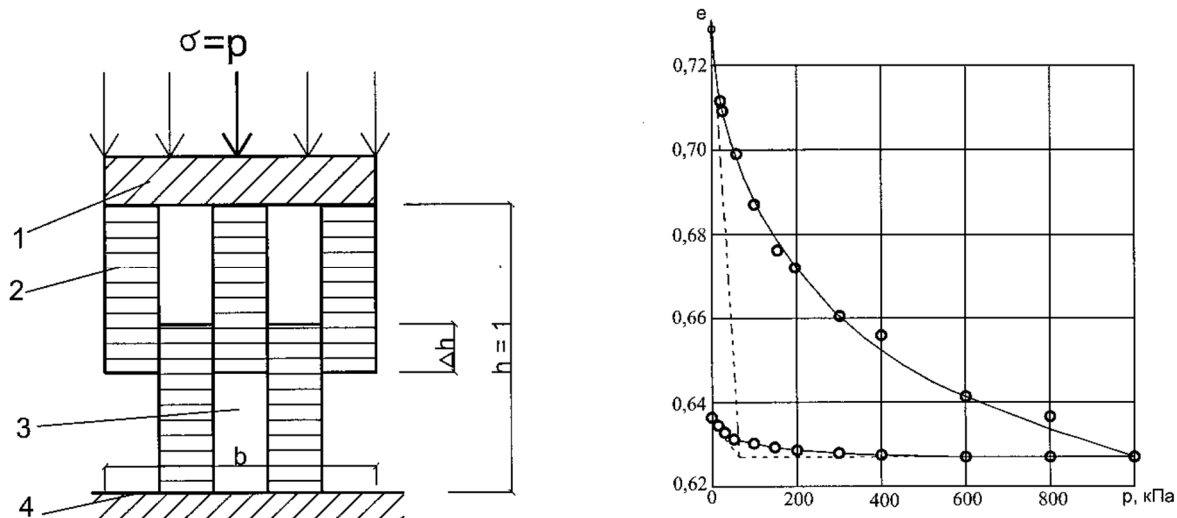
Процесс уплотнения грунта при нагружении происходит за счет выжимания из его пор газогазонасыщенной грунтовой жидкости и передачи при этом нагрузки  $p$  на скелет грунта одновременно как по торцам скоплений цепочек частиц, так и в результате трения-сцепления меж-



ду ними при их сдвиге. Следовательно, осадка слоя грунта ( $S$ ), согласно рисунку 1, должна определяться в соответствии с зависимостью:

$$S = \beta \left( \frac{p \cdot \Delta h}{E} \right) + \frac{p \cdot \Delta h}{G}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости материала и контактов скелета грунта (модуль Юнга);  $G$  – сдвиговой модуль деформации;  $\beta$  – коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения.



**Рисунок 1** – Схема дискретной модели единичного объема грунта и компрессионная кривая: 1 – фундамент с песчаным фильтром и нагрузкой  $p = \sigma$  кН/м<sup>2</sup>; 2 – Цепочки грунтовых частиц с жесткими взаимными контактами; 3 – грунтовая (поровая) газонасыщенная жидкость; 4 – подстилающая зона грунтового массива;  $\Delta h$  – условная суммарная величина сдвиговых контактов (участков) грунтовых частиц;  $h$  – единичная сжимаемая толщина

Приведенная зависимость позволяет описать наблюдаемые в природе закономерности как в процессе загрузки, так и в процессе разгрузки грунта. При этом под величиной  $G$  необходимо понимать не общепринятый в теории упругости модуль сдвига, а принципиально другую сдвиговую величину, также являющуюся функцией прочностных характеристик грунта (сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi$ ), что непосредственно следует из особенностей предлагаемой феноменологической модели грунта, которая фактически рассматривает грунт не в виде сплошной пористой среды, а состоящим из дискретно разорванных между собой грунтовых частиц, взаимодействующих в соответствии с зонами их сдвига.

По этой причине при расчете сдвиговых деформаций в грунтовом основании следует использовать классическое решение Ренкина, согласно которому сдвиги в грунтовой среде происходят по плоскостям параллельным поверхности земли по вертикали, то есть с развитием семейства горизонтальных и вертикальным линиям скольжения. При этом применительно к случаю расчета деформаций грунтовых оснований для оценки напряженного их состояния следует использовать, как правило, только общие кулоновские зависимости, что в рассматриваемом случае позволяет отказаться от использования принципа несжимаемости среды в теории предельного равновесия и открывает более широкие возможности для использования герсевановской теории линейной деформативности грунтов.

Следовательно, в песчаных грунтах начальное удельное сопротивление в горизонтальных  $\sigma_r$  и в вертикальных направлениях  $\sigma_v$  в соответствии с законом Кулона, можно считать равными:

$$\sigma_r = \gamma H \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad \sigma_v = \sigma_r \cdot \operatorname{tg} \varphi = \gamma H \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi, \quad (2)$$

где  $H$  – глубина залегания слоя грунта.

В глинистых основаниях их удельное сопротивление как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении соответствует их сцеплению  $c$ , то есть величинам, определенным при сдвиговых испытаниях образцов грунтов с учетом обжатия их до давления, соответствующего

глубине их залегания  $H$ . По этой причине сдвиговой модуль продольной деформации грунтов  $G$  в принципе не является самостоятельно определяемой деформационной характеристикой, так как зависит только от прочностных свойств грунтов. Однако по своей сущности сдвиговой модуль деформации  $G$  – это удельная сила отпора грунта перемещению деформируемого основания, действующая наряду с силой упругого отпора. Поскольку предлагаемая грунтовая модель рассматривает грунт состоящим из дискретно расположенных агрегатов частиц, хотя и обладающих упругими свойствами, но оказывающих сопротивление нагрузкам преимущественно лишь за счет передачи их за счет взаимного трения другим грунтовым частицам в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 1.

Модуль деформации материала грунтовых цепочек грунтов  $E$  всегда в 5...10 и более раз превышает сдвиговой модуль деформации  $G$ :

$$E > (5 \dots 10) G. \quad (3)$$

Поэтому практическую осадку испытываемых образцов грунта и грунтовых оснований удельной нагрузкой  $p$  в соответствии с приведенной схемой грунтовой модели согласно с условием (1) и (2) можно определить по формуле:

$$S = \frac{p \cdot h (1 + \beta \frac{G}{E})}{G} \approx \frac{p \cdot h}{G}, \quad (4)$$

где  $G$  – сдвиговой модуль деформации, учитывающий нормальное уплотнение грунтов при сдвиге при условии ограничения нагрузки по формуле Пузыревского-Герсеванова;  $E$  – модуль нормальной упругости материала частиц в цепочках грунтового скелета.

Компрессионную зависимость осадки от нагрузки [2], представленную на рисунке 1, можно считать полностью соответствующим условию (4) даже применительно к плотным пескам. Следует заметить, что, как видно из рисунка, при увеличении нагрузки модуль упругости грунта возрастает.

Таким образом, согласно представленной на рисунке 1 модели грунта, считается, что его уплотнение (снижение пористости) при приложении к нему нагрузки  $p$  происходит главным образом за счет вытеснения из пор грунта грунтовой жидкости в результате сдвига грунтовых частиц (на величину  $\Delta h$ ). При этом в поровой жидкости как обычно создается избыточное поровое давление, а на участке сдвига ( $\Delta h$ ) после стабилизации процесса вытеснения этой жидкости возникает отпор грунта за счет развития в нем внутреннего трения и сцепления. Величина этого отпора на рассматриваемом участке  $\Delta h$  может быть оценена на основании приведенного выше условия (2) и того обстоятельства, что отпор грунта согласно условию равновесия должны соответствовать величине приложенной к грунту удельной нагрузки  $p$ . Оценка величины отпора грунта в рассматриваемом случае облегчается в связи с тем, что описанный процесс сдвигов в грунте практически аналогичен процессу, наблюдаемому при сдвиге грунта в одноплоскостном сдвиговом приборе с той лишь разницей, что эти сдвиги в нем происходят не по одной плоскости, а соответствуют сумме сдвигов модельных цепочек частиц грунта. При проведении указанной оценки необходимо помнить, что сдвиги в общем случае происходят с уплотнением грунта и что применимый в теории предельного равновесия принцип несжимаемости грунтов при развитии в них сдвигов является грубым допущением. Сдвиги в грунте без его уплотнения (без изменения его объема) могут иметь место только в случае, когда плотные грунты залегают вблизи земной поверхности. В остальных случаях имеет место лишь внутренний глубинный выпор грунтов, при котором наблюдается его выжимание из нагруженной активной зоны в зону пассивного отпора с соответствующим ее уплотнением. Сдвиги в грунтах происходят в направлении действия на них нагрузок от зданий и сооружений, то есть в основном по нормали к земной поверхности.

Сдвиговой модуль продольной деформации  $G$ , равный отношению действующего нормального напряжения  $p = \sigma$  к значению остаточного перемещения  $\Delta h/h$  (где  $\Delta h$  – перемещение, а  $h$  – величина сжимаемой толщи), с учетом изложенного должен определяться по результатам рассмотрения условий равновесия возникающих сил, действующих на частицы грунтов. Сдвиговой модуль продольной деформации является аналогом модуля Юнга с учетом, что сдвиги происходят в направлении сил трения.

Условие предельного равновесия единичного объема частиц глинистого грунта может быть, согласно предлагаемой дискретной модели (см. рис. 1), записано следующим образом:

$$b^2 \cdot (\Delta p) = \Delta h \cdot b \cdot D \cdot c; \quad (\Delta h) = \frac{(\Delta p) \cdot b}{D \cdot c}, \quad (5)$$

где  $b^2$  – площадь поперечного сечения единичного объема грунта  $b=1$ ;  $p$  – нагрузка на единичный объем грунта, равная удельной вертикальной нагрузке на грунт (нагрузка на единицу площади);  $D$  – количество сдвиговых контактов частиц (цепочек частиц) грунта на единицу площади;  $c$  – удельное сцепление единичного объема грунта;  $(\Delta p)$  – приращение удельной нагрузки на грунт;  $(\Delta h)$  – перемещение частиц грунта при сдвиге от нагрузки  $\Delta p$ ;  $h$  – толщина сжимаемого слоя.

Теоретическое представление о величине  $D$ , входящей в формулу (5), можно представить исходя из условия:

$$D = \zeta \frac{W}{b \cdot h}, \quad (6)$$

где  $W$  – площадь минеральных частиц в единичном объеме грунта.

Площадь минеральных частиц в грунте весьма велика [4]. Например, удельная площадь частиц каолинита составляет  $10 \text{ м}^2$  на грамм, а следовательно, весьма большой будет и фактическая площадь контакта этих частиц. Практически же величина  $D$  может быть оценена по опытным данным. С учетом этого, суммируя перемещения всех частиц грунта по слоям, определим осадку  $S$  слоя грунта  $h$  с учетом зависимостей (5) и (6):

$$S = (\Delta h) \cdot \zeta \cdot h = \zeta \frac{(\Delta p) \cdot h}{D \cdot c}, \quad (7)$$

где  $\zeta$  – коэффициент, принимаемый в однородных грунтах равным от  $\zeta = 1$  до  $\zeta = 0,5$ , в связи с убыванием с глубиной эпюры напряжений в сжимающей толще.

В случае, когда грунт представлен песком, условие предельного равновесия его грунтовых частиц целиком определяется действием сил трения, возникающих в результате распорного эффекта.

Удельная нагрузка  $p$ , в этом случае, передается на вертикально расположенные песчаные частицы, а через них также на горизонтальные частицы. Как и при глинистом грунте, вертикальные частицы образуют контактирующие друг с другом цепочки частиц, воспринимающих нагрузку  $p/D$  каждая. Однако, в отличие от глинистого грунта, они взаимодействуют в местах их контакта за счет сил распора со стороны вертикальных частиц грунта и отпора со стороны его горизонтальных частиц, равного согласно условию (2)  $P_H \cdot \text{tg}^2 \varphi$  (где  $P_H$  – начальная нагрузка на грунт;  $\varphi$  – угол внутреннего трения).

Условие предельного равновесия песчаных частиц в этом случае можно записать в следующем виде:

$$b^2 \cdot (\Delta p) = \Delta h \cdot b \cdot D \cdot P_H \cdot \text{tg} \varphi \cdot \text{tg} \varphi; \quad (\Delta h) = \frac{(\Delta p) \cdot b}{D \cdot P_H \cdot \text{tg}^2 \varphi}. \quad (8)$$

Сравнивая формулы (8) и (5), видим, что для песчаных грунтов зависимость (8) отличается от зависимости (5), установленной для глинистых грунтов, только заменой величин  $c$  на  $P_H \cdot \text{tg}^2 \varphi$ . Поэтому вместо произведения изложенных выше рассуждений формулу для определения осадки  $S$  песчаных грунтов, получим из формулы (7) путем соответствующей замены указанных выше величин, а именно:

$$S = \zeta \frac{(\Delta p) \cdot h}{D \cdot P_H \cdot \text{tg}^2 \varphi}. \quad (9)$$

Анализ полученных формул (7) и (9) свидетельствует, что выражения стоящие в знаменателях этих формул по своему физическому смыслу эквивалентны обычно используемому в расчетах феноменологическому модулю деформации  $E$ , соответственно глинистых  $G_r$  и песчаных  $G_n$  грунтов:

$$G_r = D \cdot c; \quad G_n = B \cdot \text{tg}^2 \varphi = D \cdot P_H \cdot \text{tg}^2 \varphi, \quad (10)$$

где  $c$  – удельное сцепление глинистых грунтов;  $\varphi$  – угол внутреннего трения песчаных грунтов;  $P_H$  – удельный вес частиц грунта;  $B$  и  $D$  – коэффициенты.

Были проведены многочисленные сопоставления данных, полученных при испытаниях четвертичных грунтов, на различных строительных площадках при выполнявшихся на них

изысканиях, с результатами расчета по зависимостям (10), которые показали, что в среднем для всех видов песков (от пылеватых до крупных при коэффициенте пористости 0,45...0,75) параметр  $B=60$  МПа и  $D=220$ , а параметр  $D=800$  – для суглинков и  $D=400$  – для глин вне зависимости от начального коэффициента их пористости (от 0,35 до 1,05) и показателя текучести ( $0 < I_L < 0,75$ ). Указанное обстоятельство также подтверждается приведенными на рисунках 2 и 3 результатами обобщения материалов действующих норм проектирования оснований и фундаментов.

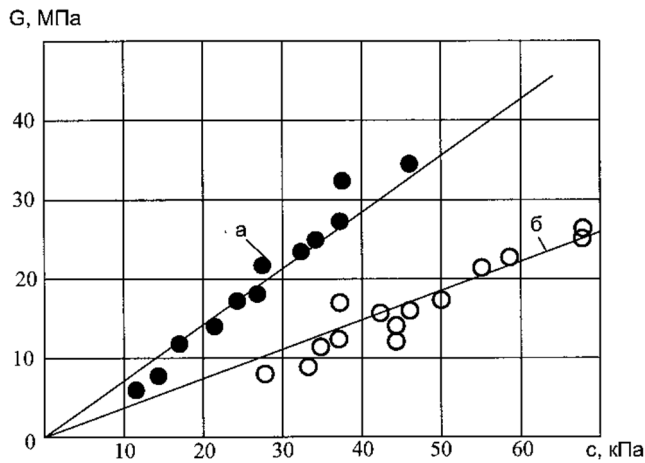


Рисунок 2 – Зависимость модуля деформации  $G_c$  от удельного сцепления: а – для суглинков; б – для глин

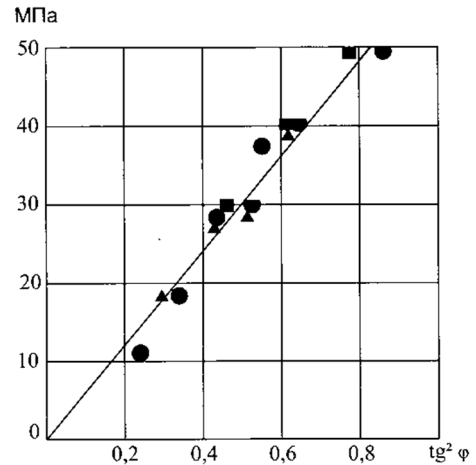


Рисунок 3 – Зависимость модуля  $G_a$  деформации песков от угла внутреннего трения

Следует, однако, отметить, что величины  $B$  и  $D$  могут в дальнейшем уточняться с учетом диапазона нагрузок, в пределах которого необходимо будет проводить расчеты оснований зданий и сооружений, а также путем более точной оценки степени дисперсности глинистых грунтов, назначая величину параметра  $D$  в зависимости от фактической величины числа пластичности и пористости конкретного глинистого грунта. Необходимо также обратить внимание на то, что величина  $B=60$  МПа установлена применительно к обычно принятому диапазону нагрузок. Если в формуле (10) и величину начальной нагрузки  $p_i$  принимать равной давлению от собственного веса грунта, то можно говорить об увеличении модуля деформации песков с глубиной, что находится в соответствии с популярными в настоящее время воззрениями.

Приведенные выше теоретические соображения и опытные данные свидетельствуют, что при расчетах в рамках линейно-деформируемого тела используемый феноменологический модуль деформации грунтов  $G_r$  и  $G_n$  является функцией их прочностных характеристик  $\phi$ ,  $c$  и  $P_H$  – удельного веса скелета грунта.

Предлагаемая дискретная модель грунта позволяет в необходимых случаях также упростить методику определения прочностных характеристик глинистых грунтов  $\phi$  и  $c$ , поскольку между ними существует физическая зависимость. Действительно, согласно проведенным сдвиговым испытаниям глинистых грунтов [3], характеризовавшихся примерно одинаковым числом пластичности, равным 17, и показателями текучести  $I_L$ , равными 0,04; 0,29 и 0,53, установлено, что с уменьшением величины сцепления грунта уменьшается и тангенс его угла внутреннего трения глинистых грунтов. Аналогичная закономерность подтверждается также установленными по опытным данным расчетными прочностными характеристиками  $\phi$  и  $c$ , рекомендуемыми в нормах проектирования (см. рис. 4).

Согласно данным, приведенным на этом рисунке, тангенс угла внутреннего трения грунта может быть определен по заданной величине сцепления в соответствии с зависимостью:

$$c = p_0 \cdot (\operatorname{tg} \phi - 0,1), \quad (11)$$

где  $p_0$  – эквивалентное давление связности, зависящее от степени дисперсности грунтов (которая при практических расчетах может оцениваться по величине показателя пластичности) и в первом приближении приниматься для глин  $p_0 = 250$  кПа и для суглинков  $p_0 = 100$  кПа.

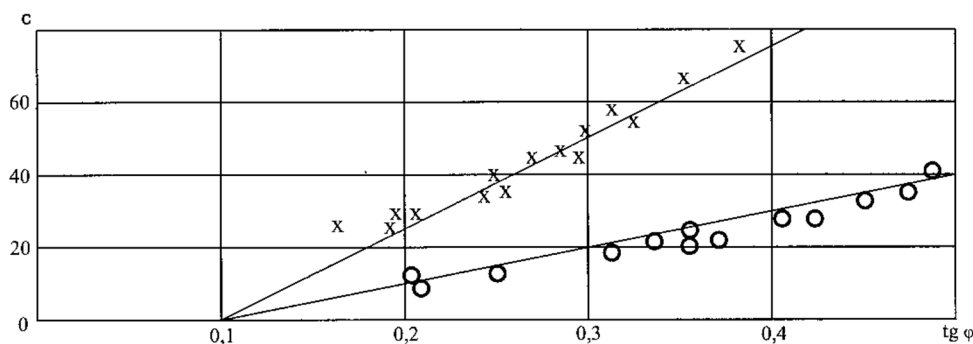


Рисунок 4 – Взаимосвязь между углом внутреннего трения и сцеплением (а – глины; б – суглинков)

Такой результат нельзя считать неожиданностью, так как сопротивление сдвигу любых контактирующих элементов всегда зависит от угла внутреннего трения их материала [5].

Изложенное выше позволяет при оперативном определении расчетных характеристик грунтов отказаться от проведения штамповых и компрессионных испытаний, заменив их более простыми и надежными сдвиговыми испытаниями, в том числе с использованием в натуральных условиях крыльчаток.

Разработанная дискретная модель грунта хорошо описывает реально наблюдаемые остаточное деформирование грунта за счет взаимного смещения его минеральных частиц и деформации его отпора. Эта модель не исключает также рассмотрение процесса консолидации водонасыщенных глинистых грунтов и позволяет описать условия проявления грунтами плавунных свойств и ухудшение строительных свойств водогазонасыщенных грунтов при возникновении в них избыточного порового давления. Предлагаемая модель подразумевает, что упругие деформации грунта при статических расчетах следует рассматривать как второстепенный фактор, обусловленный упругими свойствами его минеральных частиц (слабосжимаемых) и упругими свойствами защемленного между этими частицами воздуха (при очень малых нагрузках), а также набуханием глинистых грунтов.

Согласно изложенным материалам, грунт ведет себя даже в условиях невозможности бокового расширения (в условиях компрессии) как пластическая упрочняющаяся среда. Такая особенность грунтов, как известно, подтверждается также при компрессионных их испытаниях. Как следует из представленной на рисунке 1 компрессионной кривой песчаного грунта, кривая ее разгрузки имеет очень пологий характер, при котором можно считать, что грунт практически не дает заметной отдачи вплоть до очень незначительных нагрузок.

Дискретная модель грунта применительно к статическим нагрузкам позволяет уточнить понятие о его пластических свойствах, реально рассматривая физическую пластичность самого грунта, как пластически упрочняющегося тела, и кажущееся пластическое его поведение, вызываемое выжиманием грунта из-под подошвы фундаментов или в результате разрушения образцов грунта с потерей их формы.

Изложенные выше методы оценки деформационных свойств грунтов удобны для оперативного выполнения технических расчетов оснований зданий и сооружений, поскольку они при описании свойств грунтов позволяют использовать только их прочностные характеристики, определение которых выполняется простыми и надежными способами. Это особенно ценно в сложных грунтовых условиях, когда отбор образцов грунтов, например, водонасыщенных песков и слабых глинистых грунтов, залегающих ниже уровня подземных вод, затруднен. Положительным элементом применения этих методов является также возможность учета факта возрастания модуля деформации песков с глубиной их залегания.

Таким образом, согласно представленной модели грунта, его уплотнение (снижение пористости) при приложении к нему нагрузки  $p$ , происходит за счет вытеснения из его пор грунтовой жидкости при нормальном (вертикальном) сдвиге грунтов (на величину  $\Delta h$ ). При этом в поровой жидкости возникает избыточное давление, а на участке сдвига ( $\Delta h$ ) после стабилизации процесса вытеснения жидкости – отпор за счет развития на этом участке внутрен-

него трения и сцепления. Величина этого отпора на рассматриваемом участке  $\Delta h$  может быть оценена в песчаных грунтах в соответствии с указанным выше условием отпора грунта с учетом угла внутреннего трения, а в глинистых грунтах – с учетом их сцепления.

Оценка величины отпора грунта облегчается в связи с тем, что описанный процесс сдвигов в грунте аналогичен процессу, наблюдаемому при сдвиге грунта в одноплоскостном приборе с той лишь разницей, что эти сдвиги происходят не по одной плоскости, а по блоку плоскостей в грунте, соответствующим сдвигаемым агрегатам его дискретных частиц.

В заключении следует указать, что разработанная дискретная модель дисперсных грунтов ориентирована на использование ее для расчета осадок грунтовых оснований зданий и сооружений по данным сдвиговых прочностных характеристик грунтов (угла внутреннего трения  $\varphi$  и сцепления  $c$ ), на первый взгляд может показаться не логичной, поскольку обычно для этой цели принято использовать специально определяемые их деформационные характеристики. На самом деле определение сдвиговых характеристик грунтов осуществляется на сдвиговых приборах и при использовании результатов испытаний грунтов в стабилометрах (трехосных приборах) на основе регистрации при испытании перемещений, то есть эти характеристики фактически являются функцией регистрируемых перемещений-сдвигов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахолдин, Б.В. Исследование особенностей сопротивления грунтов в основании забивных свай [Текст] / Б.В. Бахолдин, П.И. Ястребов, Л.П. Чащихина // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2009. – №2.
2. Бахолдин, Б.В. Метод определения прочностных и деформационных характеристик грунтов по результатам глубинного вдавливания стержневых штампов [Текст] / Б.В. Бахолдин, П.И. Ястребов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – №1.
3. Бахолдин, Б.В. Определение модуля деформации грунтов по данным компрессионных испытаний для расчета осадок свайных фундаментов [Текст] / Б.В. Бахолдин, Л.П. Чащихина // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – №1.
4. Трофимов, В.Т. Грунтоведение [Текст] / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский и др. – М.: Наука. – М., 2005. – 1023 с.
5. Дерягин, Б.В. Что такое трение? [Текст] / Б.В. Дерягин. – Издательство Академии наук СССР, 1963. – 228 с.

### **Б.В. Бахолдин**

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией №1 НИИОСП  
E-mail: lab1\_420@inbox.ru

### **П.И. Ястребов**

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова, г. Москва  
Кандидат технических наук  
E-mail: lab1\_420@inbox.ru

B. BAHOLDIN, P. YASTREBOV

## DISCRETE MODEL OF SANDS AND CLAYEY SOILS

*Suggested is a soil model revealing the soil body as a composition of mineral particles featuring the limit equilibrium condition when undergoing the loading process. This model is suitable both for sands and clayey soils of aqueous-colloidal coherency, namely for the soils of wide-spread distribution. The perception of the loads transmitted onto the soil (of a compressive and shear nature) of this model is ensured by means of the friction forces acting between the mineral particles, and taken into account in course of the soils strength properties calculations (internal friction angle  $\varphi$  and coupling  $C$ ).*



*Keywords: a soil model, deformation of the soil, friction.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Baholdin, B.V. Issledovanie osobennostej soprotivlenija gruntov v osnovanii zabivnyh svaj [Tekst] / B.V. Baholdin, P.I. Jastrebov, L.P. Chashhihina // Osnovaniya, fundamentey i mehanika gruntov. – 2009. – №2.
2. Baholdin, B.V. Metod opredelenija prochnostnyh i deformatsionnyh harakteristik gruntov po rezul'tatam glubinnogo vдавlivaniya sterzhnevnyh shtampov [Tekst] / B.V. Baholdin, P.I. Jastrebov // Osnovaniya, fundamentey i mehanika gruntov. – 2004. – №1.
3. Baholdin, B.V. Opredelenie modulja deformatsii gruntov po dannym kompressionnyh ispytaniy dlja rascheta osadok svajnyh fundamentov [Tekst] / B.V. Baholdin, L.P. Chashhihina // Osnovaniya, fundamentey i mehanika gruntov. – 1999. – №1.
4. Trofimov, V.T. Gruntovedenie [Tekst] / V.T. Trofimov, V.A. Korolev, E.A. Voznesenskij i dr. – M.: Nauka. – M., 2005. – 1023 s.
5. Derjagin, B.V. Chto takoe trenie? [Tekst] / B.V. Derjagin. – Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1963. – 228 s.

### **B. Baholdin**

Research, survey, and design-technological institute of foundations and underground structures behalf of N.M. Gersevanov, Moscow

Doctor of technical sciences, professor, head of laboratory №1

E-mail: lab1\_420@inbox.ru

### **P. Yastrebov**

Research, survey, and design-technological institute of foundations and underground structures behalf of N.M. Gersevanov, Moscow

Candidate of technical sciences

E-mail: lab1\_420@inbox.ru

ВАРФОЛОМЕЕВ Ю.А.

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ НА СЕВЕРЕ

*Проанализирован опыт строительства в Арктической зоне. Выявлены недостатки действующего законодательства Российской Федерации по строительству малоэтажных зданий. Определены характерные ошибки их проектирования, строительства и эксплуатации. На основании статей №58 и №94 Федерального Закона №44-ФЗ и Постановления Правительства РФ от 25.09.2014, №984 разработаны предложения для инновационного законодательства субъекта РФ в стратегически важной Арктической зоне. Здесь 90% жилых зданий строят высотой не более трех этажей.*

**Ключевые слова:** арктическая зона, здание, малоэтажное, проектирование, строительство, качество, закон.

В состав Арктической зоны Российской Федерации (РФ) включена северная часть нашей страны, в том числе территория Ненецкого автономного округа (НАО) и северная часть Архангельской области: города Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Приморский, Онежский, Мезенский районы, остров Новая Земля. Средняя плотность сельского населения сухопутной территории без учета крупных городов очень низкая: в Архангельской области – 0,46 чел./км<sup>2</sup>, в НАО – 0,11 чел./км<sup>2</sup>. Автомобильных и железных дорог круглогодичного действия, соединяющих побережье Северного Ледовитого океана с сетью дорог страны и всего евро-азиатского континента, не имеется. Отсутствие транспортной инфраструктуры резко осложняет строительство, освоение богатых запасов природных ресурсов и решение других задач в интересах национальной безопасности.

Исключением является крупный портовый город Мурманск, расположенный на северо-западе страны на незначительном удалении от границы с Норвегией и Финляндией. Порт имеет глубоководные причалы и незамерзающую акваторию, что обусловлено влиянием теплого океанского течения Гольфстрим. К этому городу, обладающему многоотраслевым промышленным потенциалом и имеющему стратегическое значение в системе обороны морских рубежей РФ, подведены железная и автомобильная дороги.

Несмотря на внешнюю безмятежность, Арктическая зона является опасной и непредсказуемой территорией с характером стихии, где всегда надо быть внимательным, осторожным, готовым к экстремальным изменениям. Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99\*» [1] климатические параметры холодного периода года по данным статистического анализа, рассчитанным за период наблюдений 1966-2010 годов, приведены в таблице 1.

Благоприятный для производства работ период с положительной температурой - очень короткий. Например, в г. Нарьян-Маре НАО неблагоприятный холодный период с температурой 0°C и менее составляет 218 дней (59,56% от 366 дней в году), при этом температура наиболее холодной пятидневки (без учета случайных значений при обеспеченности 0,98) равна – 41°C. В г. Мезени Архангельской области эти показатели соответственно равны 194 дня (53,00%) и -38°C, в Архангельске – 176 дней (48,09%) и -35°C, в Мурманске – 189 дней (51,64%) и -30°C. При этом неблагоприятный период в Санкт-Петербурге – 131 день (35,79%), в Москве – 135 дней (36,87%), в Курске -132 дня (36,07%). Анализ показал, что даже в благоприятный период значительную долю трудозатрат в Арктической зоне составляет работа в плащах под дождем и при сильном ветре, что резко снижает производительность труда и показатели фактической выработки. Однако эти специфические условия не учитываются в полной мере при определении нормативных сроков строительства.

Таблица 1 – Климатические параметры холодного периода года за период наблюдений 1966-2010 годов

Город	Температура наиболее холодного периода				Период со средней суточной температурой воздуха					
	суток, при обеспеченности		пятидневки, при обеспеченности		≤ 0°C		≤ 8°C		≤ 10°C	
	0,98	0,92	0,98	0,92	продолжительность, сут.	средняя температура, °C	продолжительность, сут.	средняя температура, °C	продолжительность, сут.	средняя температура, °C
Нарьян-Мар	-44	-43	-41	-39	218	-11,4	289	-7,5	309	-6,5
Мезень	-40	-40	-38	-35	194	-8,9	268	-5,3	290	-4,2
Архангельск	-38	-37	-35	-33	176	-8,2	250	-4,5	271	-3,5
Мурманск	-35	-33	-32	-30	189	-6,9	275	-3,4	300	-2,4
Санкт-Петербург	-32	-27	-28	-24	131	-4,6	213	-1,3	232	-0,4
Москва	-35	-28	-29	-25	135	-5,5	205	-2,2	223	-1,3
Курск	-29	-27	-24	-24	132	-5,3	194	-2,3	211	-2,4

Как и на территориях с благоприятным климатом, развитой сетью автомобильных и железных дорог, финансирование строительства на Севере начинается не с начала года, а в лучшем случае – в конце первого квартала. Поэтому закупка строительных материалов, инструментов, оборудования, техники, а также оплата транспортных услуг, например, за аренду морского транспорта, задерживается. По указанной причине срок завоза всего необходимого на строительную площадку может запоздать по сравнению с плановым графиком производства работ. Однако в дальнейшем это не учитывается. При малейшей задержке сроков выполнения работ заказчик, осуществляющий строительство за счет бюджетных средств, из соратника, который выполнял контрольные функции при строительстве и хорошо осведомлен обо всех фактических трудностях подрядчиков и причинах задержки, сразу вынужден превращаться в карательный орган. Служба заказчика начинает выставлять штрафные санкции, заниматься процедурой включения подрядчика в список недобросовестных исполнителей, что влечет лишение права получать подряды по заказам за счет бюджетной системы РФ, и т.п.

Существующая система определения нормативных сроков строительства и система финансирования строительства сформировались еще до экономических преобразований в нашей стране. В советский период все принадлежало государству, частные организации на отдаленных и труднодоступных территориях островов и материковой зоны Крайнего Севера практически строительством не занимались. Для многих частных организаций, появившихся на строительном рынке после перестройки, большой удельный вес транспортных расходов в себестоимости строительной продукции и нерациональная система финансирования строительства, осуществляемого в экстремальных погодных-климатических условиях, оказались непреодолимым барьером для собственного развития. В результате в настоящее время в северной части РФ сформировался дефицит строительных мощностей и квалифицированных кадров, что негативно влияет на развитие инфраструктуры стратегически важной Арктической зоны. По указанным причинам необходимо ввести изменения в нормативные документы, регламентирующие определение нормативных сроков строительства в Арктической зоне, и усовершенствовать существующую систему финансирования. Предварительные расчеты показывают, что увеличение нормативных сроков строительства здесь может составить почти 50%.

Любые ошибки при строительстве в Арктической зоне обходятся очень дорого вследствие сложности производства работ в экстремальных погодных-климатических условиях и дорогостоящей доставки конструкций, материалов, оборудования и техники. В Архангельской области и НАО проводится системная работа по созданию для своей территории строительного законодательства, учитывающего специфику региона.

В Арктической зоне во много раз быстрее, чем на других территориях, происходит накопление повреждений в защитно-декоративных покрытиях, строительных материалах и конструкциях вследствие негативного влияния экстремально низкой температуры и резких ее перепадов. При этом очень быстро происходят процессы конденсации паров, замерзания и оттаивания воды. Интенсивная деструкция обусловлена объемным расшире-

нием замерзающей воды в строительных материалах и конструкциях. При таких воздействиях очень быстро проявляются ошибки проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Для определения наиболее характерных ошибок был выполнен системный анализ результатов многочисленных строительно-технических экспертиз, проводившихся более 30 лет в Архангельской области и НАО. Выявлены ошибки при возведении фундаментов на пучинистых или торфяных основаниях, конструирования крыш, стыков панелей домов, технологии защитной обработки конструкций для увеличения их долговечности и пожаростойкости, несоответствия требованиям пожарной безопасности. При расчетах инсоляции часто не учитывают ее зависимость от сторон света. При строительстве социального жилья за счет средств бюджетной системы РФ площадь помещений вынуждены подгонять под номинал, поскольку в случае ее превышения лишняя площадь не оплачивается за счет бюджета. В связи с этим возникает необходимость выполнения местных подрезок, подгонок. В результате резко увеличиваются трудозатраты и количество отходов, исключается эффективное применение строительных изделий модульных размеров, возрастает влияние человеческого фактора на качество строительства.

Для обеспечения контроля труднодоступной и малонаселенной территории северной части РФ целесообразно более равномерно расселять население за счет строительства быстровозводимых, малоэтажных, энергоэффективных, эргономичных зданий заводского изготовления, оснащенных современными автономными системами инженерных коммуникаций. Это позволит повысить качество жизни граждан в условиях экстремально холодного климата, что благоприятно повлияет на их производительность труда. Поэтому в настоящее время в северной части РФ в основном строят малоэтажное жилье.

Труд в Арктической зоне основан на упорстве, дисциплине и профессионализме. Необходимо четко выполнять инструкции, в которых учтен опыт, накопленный за многие годы, и не нарушать их даже из лучших побуждений. Результаты строительно-технических экспертиз показали, что большое влияние на качество проектирования и строительства малоэтажных зданий в Арктической зоне оказывают выявленные несовершенства существующего строительного законодательства РФ. Согласно Градостроительному кодексу (ГрК) РФ [2] экспертиза проектно-сметной документации длительное время не была предусмотрена в отношении жилых малоэтажных многоквартирных зданий с общей площадью помещений до 1500 м<sup>2</sup> и количеством этажей не более трех, состоящих из одной или нескольких блок-секций, но не более четырех, при этом в каждой секции находятся несколько квартир и помещения общего пользования, имеется отдельный подъезд с выходом на территорию общего пользования.

Указанное положение [2] повлекло бесконтрольность качества проектирования и строительства основного объема строительства жилья на Севере, осуществляемого за счет бюджетной системы РФ. Органы государственного контроля не имели права производить проверку на объекте даже при поступлении информации о некачественном строительстве. Этим воспользовались недобросовестные подрядчики. Было построено много некачественного жилья. Анализ сметной и исполнительной документации показал, что, например, некоторые здания, построенные из термоструктурных пенополистирольных панелей с большим количеством недопустимых ошибок проектирования и производства работ, кардинально уступают аналогичным кирпичным зданиям по показателям безопасности, уровню капитальности и себестоимости, но имеют одинаковую цену 1 м<sup>2</sup> общей площади жилья, которая оплачивалась за счет бюджетной системы РФ. На основании результатов проведенных исследований и заключений экспертного сообщества администрация Архангельской области приняла решение отказаться от строительства социального и муниципального жилья с применением домов, конструктивное решение которых вызывает сомнение по показателям безопасности и долговечности.

Анализ существующего опыта строительства в разных регионах страны показал, что, например, дома из кирпича и из пенопласта кардинально различаются по себестоимости, уровню капитальности и безопасности, а цена 1 м<sup>2</sup> общей площади жилых помещений, которая оплачивалась за счет бюджетной системы РФ при реализации программы переселения

граждан из аварийного и ветхого жилья, в них практически одинаковая. Складывающаяся ситуация в перспективе формирует риски социально-экономических проблем и создает сложности для всей вертикали власти. Позитивно то, что в последнее время в отчетных показателях производят учет строительства домов по материалам основных несущих и ограждающих конструкций.

Лишь 01.04.2012 г. были введены в действие изменения в ст. 49, часть 3.4 [2] о том, что проектная документация всех объектов, строительство которых финансируется за счёт средств бюджетной системы РФ, подлежит государственной экспертизе. Однако при приобретении таких зданий по программам переселения граждан из аварийного и ветхого жилья обязательная государственная экспертиза проектов и государственный технический надзор действующим законодательством не предусмотрены. В настоящее время государственная корпорация «Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства» сокращает бюджетное финансирование и реализует политику широкого привлечения частных инвестиций, причем 90% жилья не строят, а приобретают. Это свидетельствует об актуальности введения предлагаемых изменений в действующее законодательство, что особенно важно для Арктической зоны, где около 90% вводимого в эксплуатацию нового жилья расположено именно в малоэтажных домах.

Согласно [2] для получения разрешения на строительство индивидуальных жилых домов проектная документация не требуется, хотя в них может находиться большое количество людей. Результаты строительно-технических экспертиз свидетельствуют о том, что бесконтрольность повлекла использование некачественных строительных материалов, не имеющих сертификатов, нарушения технологии производства строительных и монтажных работ. В результате не соблюдаются требования Федерального закона от 30.12.2009 №384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [3], который принят в целях защиты жизни и здоровья граждан, разных форм имущества; охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей; обеспечения энергетической эффективности зданий и сооружений.

Анализ показал, что срок действия некоторых СНиПов, законодательно включенных в перечень обязательных для применения с целью обеспечения безопасности строительных объектов, в настоящее время истекает. Актуализированные СНиПы после преобразования в строительные правила (СП) в перечень документов обязательного применения не включены. При этом следует учесть, что СП относятся к документам рекомендательным и не подлежат обязательному применению. В результате не обеспечиваются требования безопасной эксплуатации строительных объектов. В связи с изложенным, предлагается ввести в [3] дополнение: «Актуализированные документы подлежат включению в существующий список». Благодаря предложенному нововведению они сохраняют статус нормативных документов, обязательных для применения.

Постановлением Правительства РФ от 25.09.2014, №984 [4] были введены изменения по организации и проведению экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий в отношении объектов, строительство которых финансируется с привлечением средств федерального бюджета, а также о порядке проведения проверки достоверности определения сметной стоимости указанных объектов. При этом на федеральном уровне оставлено проведение экспертизы по объектам федеральной собственности и собственности государственных предприятий и учреждений (например, таких крупных производственных предприятий Архангельской области, как ОАО «Севмаш» и ОАО «Звездочка»).

Постановление Правительства РФ от 25.09.2014, №984 открывает возможность использования статей 58 и 94 Федерального Закона №44-ФЗ [5]. В ст. 58 «Привлечение экспертов, экспертных организаций при проведении конкурсов» указано: «При проведении конкурсов в целях обеспечения экспертной оценки конкурсной документации, заявок на участие в конкурсах, осуществляемой в ходе проведения предквалификационного отбора участников конкурса, оценки соответствия участников конкурсов дополнительным требованиям заказчик вправе

привлекать экспертов, экспертные организации». Благодаря этому появляется возможность снизить риск допуска к участию в конкурсах сомнительных претендентов, которые фактически не соответствуют предъявляемым требованиям.

В ст. 94 «Особенности исполнения контракта» предусмотрено:

- проведение экспертизы при приемке поставленной продукции, оказанной услуги, а также отдельных этапов исполнения контракта;

- поставщик (подрядчик, исполнитель) обязан своевременно предоставлять достоверную информацию о ходе исполнения контрактных обязательств, в том числе о возникающих сложностях, а также к установленному контрактом сроку предоставить заказчику результат;

- требования о проведении экспертизы не применяются к закупкам, извещения о которых были размещены на официальном сайте РФ в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», или приглашения принять участие в которых были направлены до дня вступления в силу настоящего Федерального закона;

- заказчик обязан провести экспертизу для проверки предоставленных поставщиком (подрядчиком, исполнителем) результатов, в части их соответствия условиям контракта. Экспертиза результатов может проводиться заказчиком своими силами или к ее проведению могут привлекаться эксперты на основании контрактов;

- заказчик обязан привлекать экспертов к проведению экспертизы результатов, если закупка осуществляется у единственного поставщика (подрядчика, исполнителя), за исключением случаев:

а) осуществления закупок услуг экспертов, экспертных организаций;

б) если результатом выполненной работы являются проектная документация объекта капитального строительства и (или) результаты инженерных изысканий, прошедшие государственную или негосударственную экспертизу, проведение которой обязательно согласно законодательству РФ;

в) предусмотренных пунктами 1-9, 14, 15, 17-23, пунктом 24 (только при осуществлении закупок для обеспечения федеральных нужд), пунктами 25, 26, 28-30, 32, 33, 36 части 1 статьи 93 Федерального закона №44-ФЗ. Федеральным законом от 04.06.2014 №140-ФЗ [6] введено, что Правительство РФ вправе определить иные случаи обязательного проведения экспертами, экспертными организациями экспертизы результатов исполнения контракта.

Эксперты имеют право запрашивать у заказчика и поставщика дополнительные материалы, относящиеся к условиям исполнения контракта. Результаты экспертизы оформляются в виде заключения, которое подписывается экспертом и должно быть объективным, обоснованным и соответствовать законодательству РФ. В случае, если при экспертизе установлены нарушения требований контракта, не препятствующие приемке поставленного товара, выполненной работы или оказанной услуги, в заключении могут содержаться предложения об устранении замечаний, в том числе с указанием срока их устранения.

По решению заказчика для приемки результатов исполнения контракта может создаваться приемочная комиссия, которая состоит не менее чем из пяти человек. Приемка результатов осуществляется в порядке и в сроки, которые установлены контрактом, и оформляется документом о приемке, который подписывается заказчиком (в случае создания приемочной комиссии подписывается всеми членами приемочной комиссии и утверждается заказчиком), либо поставщику (подрядчику, исполнителю) в те же сроки заказчиком направляется в письменной форме мотивированный отказ от подписания такого документа. В случае привлечения экспертов при принятии решения о приемке или об отказе в приемке результатов исполнения контракта приемочная комиссия должна учитывать выданные ими предложения.

Заказчик вправе не отказывать в приемке результатов исполнения контракта в случае выявления несоответствия условиям контракта, если замечания устранены.

Указанные положения Федерального Закона №44-ФЗ и Постановления Правительства РФ от 25.09.2014, №984 позволяют учесть предложения экспертов при разработке инновационного законодательства для субъекта РФ и благодаря этому устранить ряд недостатков в существующей законодательной базе. В результате можно повысить контроль качества проекти-



рования и строительства малоэтажных зданий, финансируемых за счет средств бюджетной системы РФ, что исключительно важно для северной части нашей страны, где строительство малоэтажного жилья составляет 90%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 131.13330.2012 Строительная климатология [Текст]. Актуализированная версия СНиП 23-01-99\* Введ. 2013-01-01, изд. официальное. – М.: Минрегион России, 2013.
2. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 31.12.2014) [Текст].
3. Федеральный закон от 30.12.2009 №384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [Текст].
4. Постановление Правительства РФ от 25.09.2014 №984 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [Текст].
5. Федеральный закон от 05.04.2013 №44-ФЗ (ред. от 08.03.2015) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [Текст].
6. Федеральный закон от 04.06.2014 №140-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [Текст].

#### Ю.А. Варфоломеев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: y.varfolomeev@narfu.ru

---

Y. VARFOLOMEEV

### ON ENHANCEMENT OF THE LEGISLATION UPON LOW STOREY BUILDINGS' CONSTRUCTION ON THE NORTH

*The experience of construction in the Arctic zone has been analyzed. The Russian Federation acting legislation disadvantages have been identified. The typical mistakes of their projection, construction and explotation have been determined. In accordance with Clauses №58 and №94 of Federal Statute № 44-FZ and Government Order of RF on 25.09.2014 №948 the propositions for the innovative legislation of the sub-federal unit in the strategically important Arctic zone have been developed. Here 90% of the residential buildings are constructed with height of no more than three storeys.*

**Keywords:** arctic zone, building, low storey, projection, costruction, quality, law.

### BIBLIOGRAPHY

1. SP 131.13330.2012 Stroitel'naja klimatologija [Tekst]. Aktualizirovannaja versija SNiP 23-01-99\* Vved. 2013-01-01, izd. oficial'noe. – M.: Minregion Rossii, 2013.
2. «Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii» ot 29.12.2004 №190-FZ (red. ot 31.12.2014) [Tekst].
3. Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 №384-FZ (red. ot 02.07.2013) «Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniij i sooruzhenij» [Tekst].
4. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25.09.2014 №984 «O vnesenii izmenenij v nekotorye akty Pravitel'stva Rossijskoj Federacii» [Tekst].
5. Federal'nyj zakon ot 05.04.2013 №44-FZ (red. ot 08.03.2015) «O kontraktnoj sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlja obespečenija gosudarstvennyh i municipal'nyh nuzhd» [Tekst].
6. Federal'nyj zakon ot 04.06.2014 №140-FZ «O vnesenii izmenenij v Federal'nyj zakon «O kontraktnoj sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlja obespečenija gosudarstvennyh i municipal'nyh nuzhd» [Tekst].

#### Yu. Varfolomeev

Northern (Arctic) federal university, Arkhangelsk  
Doctor of technical sciences, professor  
E-mail: y.varfolomeev@narfu.ru

ГАРБАРУК Ю.В., ПУГАЧЁВ Е.В.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗЕРКАЛЬНО ОТРАЖАЮЩИХ СВЕТОВЫХ ШАХТ, ИМЕЮЩИХ ФОРМУ ЦИЛИНДРА И ПАРАЛЛЕЛЕПИДЕДА

*В статье рассматривается моделирование КПД (коэффициента полезного действия) зеркально отражающих цилиндрических световых шахт и шахт в виде параллелепипеда квадратного сечения, а также сравниваются их КПД при одинаковых площадях поперечного сечения, высотах и одинаковых значениях коэффициентов светоотражения. Анализируется характер изменения КПД, созданного суммарным (прямым и отраженным светом), в зависимости от индекса шахты. Источником света является облачное небо по стандарту МКО (Международная комиссия по освещению).*

**Ключевые слова:** световая шахта, коэффициент полезного действия, коэффициент светоотражения, индекс шахты.

Моделированию коэффициента полезного действия (КПД) или светопроводности (КПД или светопроводность шахты определялась как отношения выходящего из нее светового потока к входящему) световых шахт с зеркальным отражением света посвящены работы В. А. Земцова [1, 2]. В них автор принял следующие упрощения: заменил сначала небосвод с распределением яркости по стандарту МКО для облачного неба на равномерный небосвод, потом заменил равномерный небосвод точечным источником света, а также ввел коэффициент, который учитывает замену косых лучей в шахте лучами, параллельными ее сторонам. Это позволило автору предложить формулы для расчета КПД световых шахт в виде параллелепипеда  $K_{\Pi}$  и цилиндра  $K_{Ц}$ :

$$K_{\Pi} = 0,25 \cdot \left( \sqrt{\left( \frac{1}{\beta_{\Pi}} \right)^2 + 4} - \frac{1}{\beta_{\Pi}} \right)^2 + 6,8 \cdot \beta_{\Pi}^2 \cdot \sum_{i=1}^n \rho^n \cdot \frac{n}{[1 + (2 \cdot n \cdot \beta_{np})^2]^2}; \quad (1)$$

$$K_{Ц} = 0,25 \cdot \left( \sqrt{\left( \frac{1}{\beta_{Ц}} \right)^2 + 4} - \frac{1}{\beta_{Ц}} \right)^2 + 6,8 \cdot \beta_o^2 \cdot \sum_{i=1}^n \rho^n \cdot \frac{n}{[1 + (2 \cdot n \cdot \beta_o)^2]^2}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество отражений светового потока от стенок световых шахт;  $\rho$  – коэффициент светоотражения внутренней поверхности шахты;  $\beta_{\Pi} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{\sqrt{\pi \cdot h \cdot (a + b)}}$  – индекс световой шахты

в виде параллелепипеда;  $\beta_{np} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{\sqrt{\pi \cdot h^2 \cdot (a + b)^2 + 4 \cdot a^2 \cdot b^2}}$  – приведенный индекс световой шах-

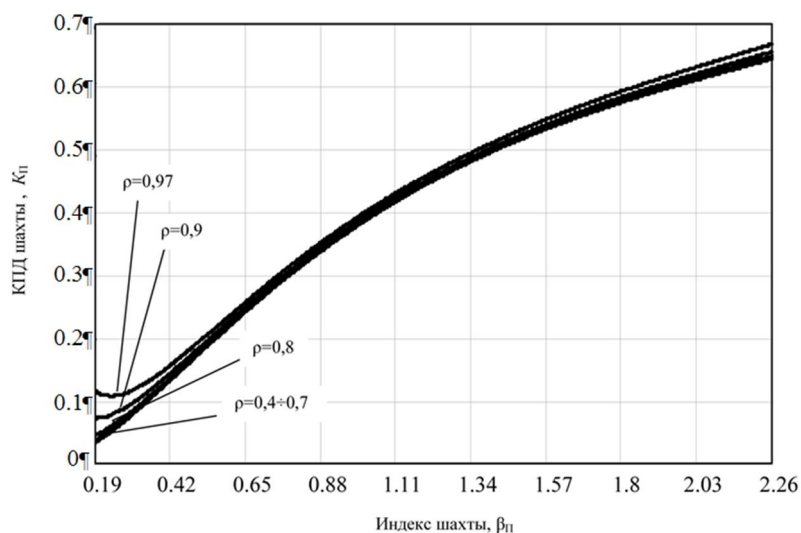
ты в виде параллелепипеда;  $a, b$  – размеры сторон нижнего основания световой шахты в виде параллелепипеда;  $h$  – высота световой шахты;  $\beta_{Ц} = \frac{r}{h}$  – индекс цилиндрической световой

шахты;  $\beta_o = \frac{r}{\sqrt{h^2 + r^2}}$  – приведенный индекс цилиндрической световой шахты;  $r$  – радиус цилиндрической световой шахты.

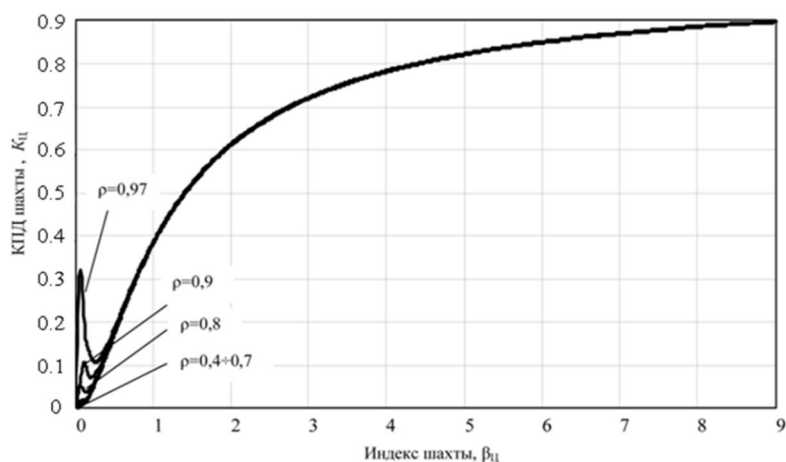
В формулах (1) и (2) количество отражений светового потока  $n$  по рекомендациям В.А. Земцова должно приниматься равным 10.

На рисунках 1-2 построены графики зависимости КПД от индекса шахты при значениях  $\rho = 0,4 \div 0,97$ . Из них видно, что при увеличении значения коэффициента светоотражения значения КПД шахты практически не возрастают (графики сливаются), а при малых значениях индекса шахты имеют всплески, что физически не корректно. Поэтому возникла необходимость разработать методы расчета КПД, в которых бы не использовались упрощения, принятые в работах В.А. Земцова.

Метод расчета КПД для цилиндрических световых шахт основывается на следующих положениях: в расчетной точке на основании шахты световой вектор, созданный прямым светом от небосвода, рассчитывается интегрированием по верхнему основанию шахты [3-5] значений светового вектора, созданного бесконечно малой элементарной площадкой.



**Рисунок 1 – Графики зависимости КПД, созданного сумарным светом (прямым от неба и отраженным от внутренней поверхности шахты), от значения индекса шахты ( $a=2$  м,  $H=3$  м,  $\rho=0,4 \div 0,97$ , метод Земцова) для шахт в виде параллелепипеда квадратного сечения (на рисунке графики соответствующие коэффициенту светоотражения  $\rho=0,4 \div 0,7$  сливаются в одну линию)**



**Рисунок 2 – Графики зависимости КПД, созданного сумарным светом (прямым от неба и отраженным от внутренней поверхности шахты), от значения индекса шахты ( $r=1$  м,  $H=3$  м,  $\rho=0,5 \div 0,97$ , метод Земцова) для цилиндрических шахт (на рисунке графики, соответствующие коэффициенту светоотражения  $\rho=0,4 \div 0,7$ , сливаются в одну линию)**

Световой вектор, созданный отраженным от внутренней поверхности шахты светом, рассчитывается интегрированием по всей ее внутренней поверхности значений светового век-

тора, созданного бесконечно малой элементарной площадкой на внутренней поверхности шахты. Освещенность в точках нижнего основания шахты определяется как модуль аппликаты светового вектора, созданного суммарным – прямым и отраженным – светом. А световой поток, выходящий из световой шахты, – интегрированием значений освещенности по всей площади ее нижнего основания. Входящий поток определяется как произведение освещенности горизонтальной плоскости верхнего основания шахты полностью открытым небосводом

$E_{\text{вх}} = \frac{7}{9} \pi \cdot L_z$  на площадь основания.

Для моделирования светового вектора, отраженного элементарной площадкой внутренней поверхности шахты в расчетную точку, необходимо знать яркость отраженного луча на выходе из шахты. В работе [6] было доказано, что при отражении луча от вертикальных плоскостей его угол наклона к горизонтальной плоскости не изменяется. Касательные плоскости к цилиндру в точках отражения луча вертикальны. Потому яркость луча на выходе из шахты будет равна яркости входящего луча, умноженной на  $\rho^n$ :

$$L_{\text{вых}} = L_{\text{вх}} \cdot \rho^n; L_{\text{вх}} = L_{\theta} = L_z \frac{1 + 2 \sin \theta}{3}; L_z = 1,$$

где  $L_{\text{вых}}$  – яркость луча на выходе с шахты;  $L_{\text{вх}}$  – яркость луча на входе в шахту;  $L_z$  – яркость в зените;  $\rho$  – коэффициент отражения;  $n$  – число отражений;  $\theta$  – угловая высота точки на небосводе.

В работе [6] предложен способ определения количества отражений луча в цилиндрической шахте. Для каждой конкретной траектории луч после отражения поворачивается на одинаковый угол  $\Delta\phi$  и опускается на одинаковую величину  $\Delta z$  (рис. 3), то есть траектория луча вписана в винтовую линию, которая имеет свой ход. Потому, если задана последняя отражающая точка конкретного луча (точка отражения в области интегрирования) для конкретного положения расчетной точки можно вычислить количество отражений луча  $n$  до выхода из световой шахты. Для этого нужно разницу между высотой шахты и высотой последней отражающей точки разделить на величину  $\Delta z$  для данной траектории, отбросить дробную часть и добавить единицу.

Для шахты в виде параллелепипеда яркость выходящего луча определялась аналогично, поскольку стенки световой шахты вертикальны. При этом для определения числа отражений  $n$  луча от поверхности световой шахты в виде параллелепипеда квадратного сечения использован метод выпрямления бильярдной траектории, предложенный немецким математиком Г.А. Шварцем [7, 8].

Его суть состоит в том, что необходимо отражать зеркально световую шахту и луч относительно отражающей плоскости (рис. 4). После такого отражения траектория луча выпрямится. Повторяя эту процедуру, получим прямолинейную траекторию луча. Но поскольку световая шахта имеет квадратное сечение, можно, не выбирая отражающую плоскость, просто замостить пространство вокруг световой шахты параллелепипедами, и, задавая точку 1 в области интегрирования, получать прямолинейные траектории лучей. Для определения количества отражений луча, вычисляются координаты точки  $A_1$  его пересечения с плоскостью верхней основы световой шахты  $z = H$ . При условии что луч на промежутке от РТ до  $A_1$  ни разу не попадет в ребро световой шахты, количество отражений будет равно количеству пересечений горизонтальной проекции выпрямленного луча со сторонами квадратной решётки до его выхода из световой шахты.

В работах [9, 10] было проведено сравнение предлагаемого метода и метода, приведенного в работах В.А. Земцова, а именно, рассчитаны КПД цилиндрических световых шахт и шахт в виде параллелепипеда квадратного сечения при разных значениях индекса шахты и коэффициента светоотражения (от 0,4 до 0,97 через 0,1). В результате были построены следующие графики: для цилиндрических шахт (рис. 5) и для шахт в виде параллелепипеда квадратного сечения (рис. 6).

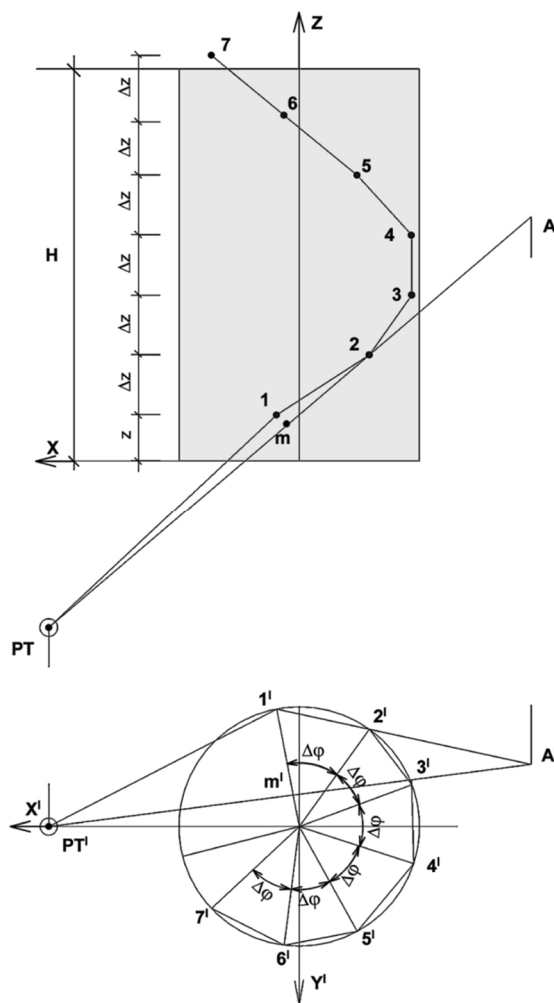


Рисунок 3 – Траектория луча в цилиндрической световой шахте

Сравнивая рисунки 1, 2 с рисунками 5, 6, видно, что графики, полученные предлагаемым методом и методом В.А. Земцова, значительно отличаются. На рисунках 5, 6 с увеличением коэффициента светоотражения увеличиваются значения КПД и асимптотически приближаются при увеличении индекса шахты к единице, что физически корректно. Тогда как на рисунках 1, 2 значения КПД при увеличении индекса шахты (в области малых значений индекса) уменьшаются и не реагируют на увеличение значения коэффициента светоотражения.

Определение КПД световых шахт позволяет оценить световой поток, полученный на выходе из шахты. КПД шахты зависит от ее формы, пропорций, характера отражений. Оценка КПД световых шахт позволяет сравнивать их между собой и на этой основе рационально подбирать световые шахты. В частности, возникает необходимость сопоставлять световые шахты разных форм и пропорций.

Для сравнения были рассчитаны КПД цилиндрических шахт и шахт в виде параллелепипеда квадратного сечения с одинаковыми площадями входного отверстия ( $S=1 \text{ м}^2$ ,  $S=4 \text{ м}^2$ ,  $S=9 \text{ м}^2$ ) при разных высотах (высота  $H$  изменялась от 0,5 м до 10 м через 0,5 м) и коэффициентах светоотражения ( $\rho=0,5 \div 0,97$ ). Сравнение показало, что более эффективными являются цилиндрические шахты. Так, на рисунке 7 в качестве примера показаны графики зависимости разницы значений КПД (в процентах) этих шахт для коэффициента светоотражения стенок 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 и 0,97. С увеличением значения коэффициента светоотражения разница возрастает, а при увеличении индекса световой шахты – уменьшается, что объясняется уменьшением вклада в КПД отраженного света.

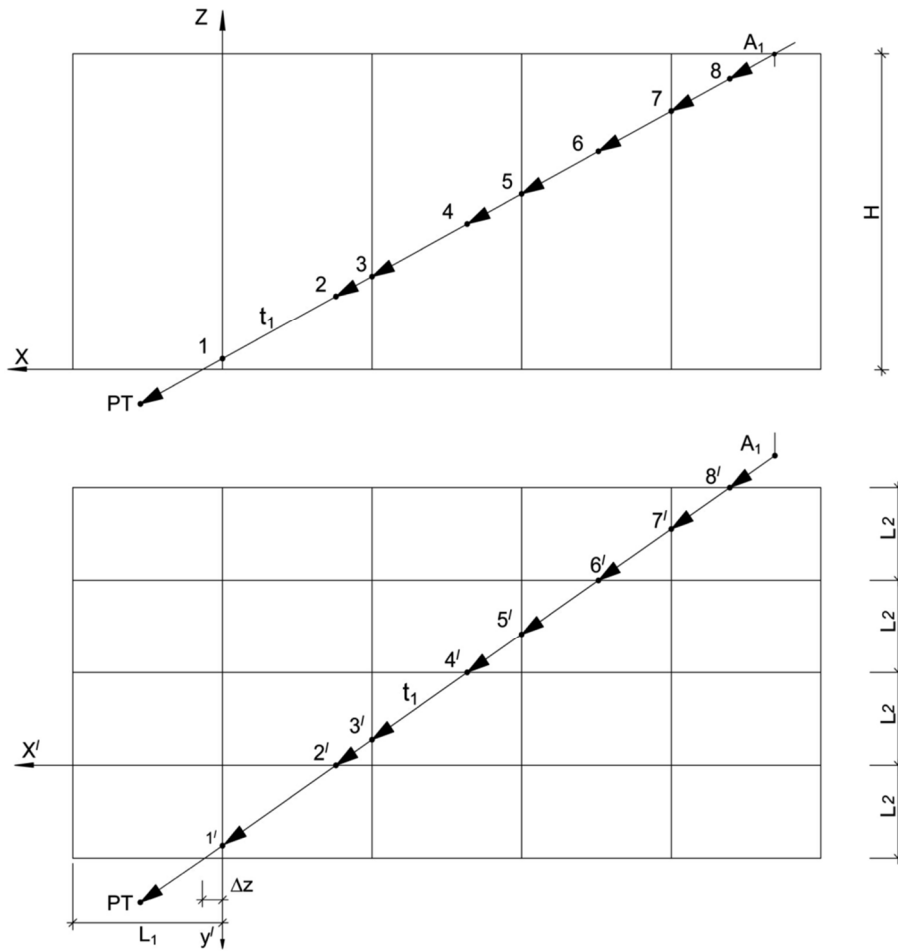


Рисунок 4 – К определению количества отражений луча в световой шахте в виде параллелепипеда квадратного сечения

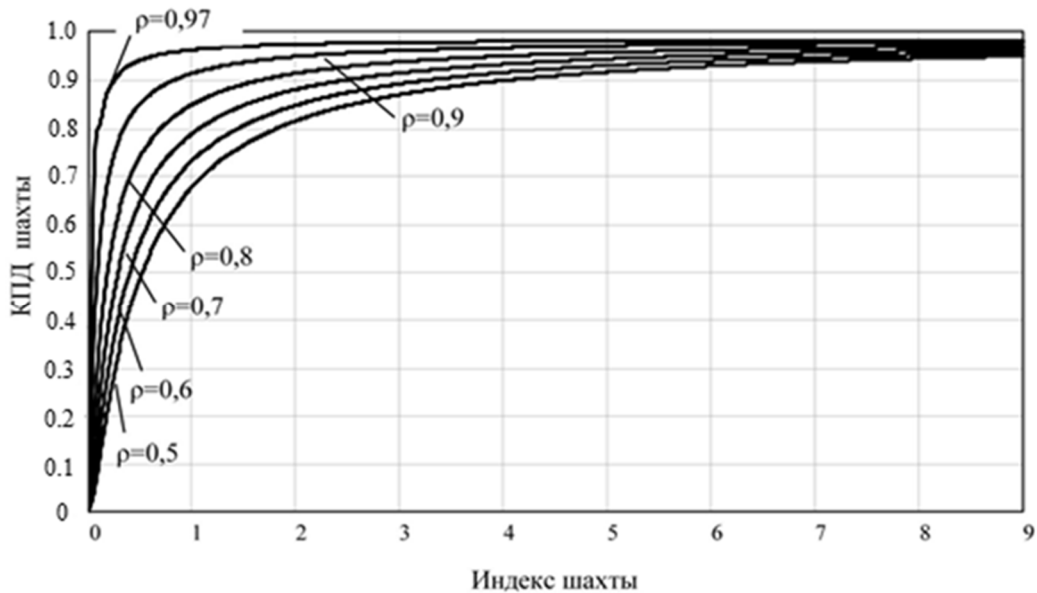


Рисунок 5 – Графики зависимости КПД, созданного сумарным светом, от индекса шахты ( $r=1$  м,  $H=3$  м,  $\rho=0,5\div 0,97$ , предлагаемый метод, цилиндрическая шахта)



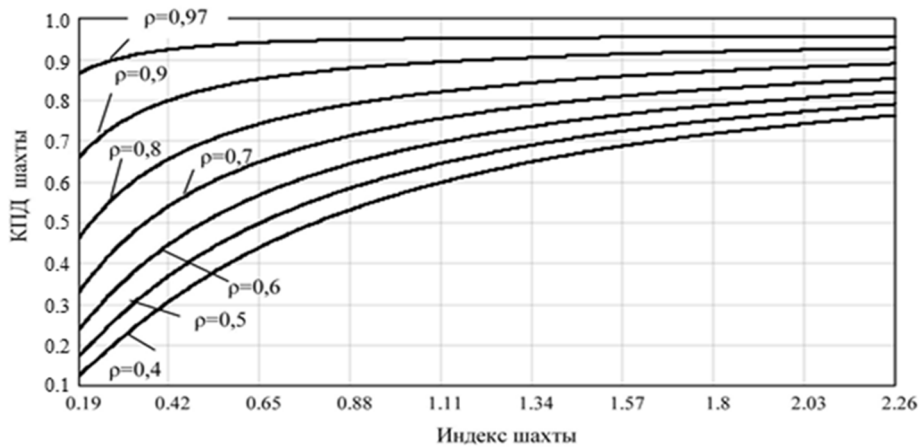


Рисунок 6 – Графики зависимости КПД, созданного сумарным светом, от индекса шахты ( $a=2$  м,  $H=3$  м,  $\rho=0,4\div 0,97$ , предлагаемый метод, шахта в виде параллелепипеда квадратного сечения)

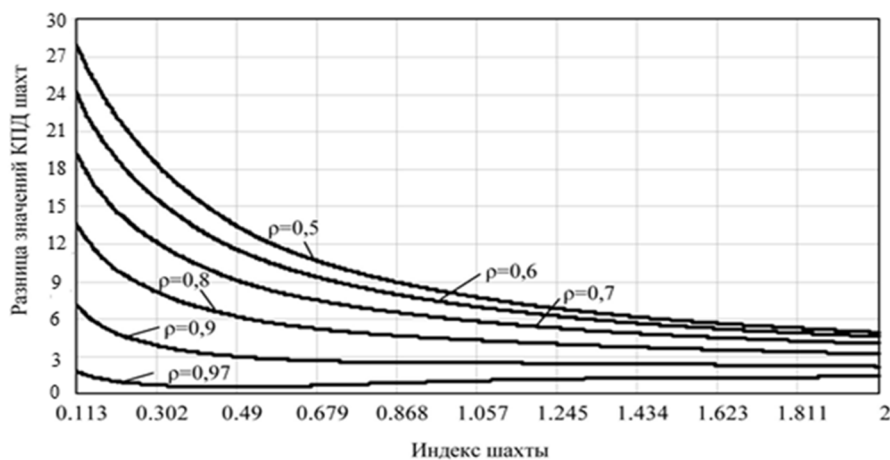


Рисунок 7 – График разницы значений КПД цилиндрической шахты и шахты в виде параллелепипеда квадратного сечения ( $S=4$  м<sup>2</sup>,  $H=0,5\div 10$  м,  $\rho=0,5\div 0,97$ ) в зависимости от индекса световой шахты

**Выводы.** Компьютерное моделирование КПД световых шахт с зеркальным отражением разных форм должно основываться на:

- вычислении количества отражений луча до выхода из шахты;
- вычислении по углу наклона к горизонтальной плоскости выходящего луча угла наклона к той же плоскости входящего луча.

Это означает, что корректное моделирование КПД световых шахт возможно лишь в том случае, когда решена геометрическая задача трассировки луча в шахте.

Цилиндрические световые шахты эффективнее шахт в виде параллелепипеда квадратного сечения, особенно при больших значениях коэффициента светоотражения и малых индексах шахт. Но выбор той или иной формы световой шахты зависит не только от ее эффективности, но и от светового решения интерьера, и остается за архитектором. Поэтому по-прежнему является актуальной задача моделирования освещенности (интегральных характеристик светового поля) под шахтами и других форм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земцов, В.А. К расчету естественного освещения помещений с зенитными фонарями // Исследования по строительной светотехнике [Текст] / В.А. Земцов // Труды НИИСФ. – М., 1984. – С. 56-59.
2. Земцов, В.А. Светопропускание проемов зенитных фонарей направленного отражения [Текст] / В.А. Земцов // Вопросы качества естественного и искусственного освещения зданий // Сборник трудов НИИСФ. – М., 1980. – С. 70-77.

3. Гарбарук, Ю.В. Моделирование освещенности від дзеркально відбиваючих циліндричних світлових шахт [Текст] / Ю.В. Гарбарук, Є.В. Пугачов // Науково-технічний збірник «Енергозбереження в будівництві». – КНУБА, Київ. – 2011. – С. 56-60.
4. Гарбарук, Ю.В. Моделирование светового вектора від циліндричної дзеркально відбиваючої світлової шахти [Текст] / Ю.В. Гарбарук, Є.В. Пугачов // Науковий журнал «Комп'ютерно – інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – ЛНТУ, Луцьк. – 2011. – Випуск 6. – С. 68-72.
5. Кундрат, Т.М. Геометричне моделювання освітленості від світлових шахт з дифузним відбиванням світла: дис. ... кандидата техн. наук: 05.01.01. – Київ., 2010. – 198 с.
6. Пугачов, Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: Дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01/К., 2001. – 353 с.
7. Гальперин, Г.А., Земляков А.Н. Математические бильярды [Текст] / Г.А. Гальперин, А.Н. Земляков. – М.: Наука, 1990. – 288 с.
8. Гальперин, Г.А. Бильярды и хаос [Текст] / Г.А. Гальперин, Н.И. Чернов. – М.: Знание, 1991. – 48 с.
9. Порівняння методів розрахунку ефективності світлових шахт квадратного перерізу з дзеркальним відбиванням світла [Текст] / Ю.В. Гарбарук, Є.В. Пугачов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці. Випуск 4. – ТДАТУ, Мелітополь. – 2012. – С. 145-149.
10. Порівняння методів розрахунку ефективності циліндричних дзеркально відбиваючих світлових шахт [Текст] / Ю.В. Гарбарук, Є.В. Пугачов // Науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». – КНУБА, Київ. – Випуск 90. – 2012. – С. 79-83.

**Ю.В. Гарбарук**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно  
Аспирант, ассистент кафедры «Основы архитектурного проектирования, конструирования и графика»  
E-mail: garbaruk.yuliya@gmail.com

**Е.В. Пугачев**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Основы архитектурного проектирования, конструирования и графика»  
E-mail: evgenpugachov@rambler.ru

YU. GARBARUK, E. PUGACHEV

**MODELLING OF EFFICIENCY OF SPECULARLY REFLECTING LIGHT WELLS HAVING THE FORM OF THE CYLINDER AND THE PARALLELEPIPED**

*In article modeling of efficiency of specularly reflecting cylindrical light wells and wells in the form of a parallelepiped of square section is considered, and also their efficiency at the identical areas of cross section, heights and identical values of coefficients of light reflection are compared. Nature of change of the efficiency created total (the direct and reflected light), depending on an index of well is analyzed. A light source is the cloudy firmament according to the CIE (International commission on illumination) standard.*

**Keywords:** light shaft, efficiency, coefficient of light-reflection, index of shaft.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Zemcov, V.A. K raschetu estestvennogo osveshhenija pomeshhenij s zenitnymi fonarjami // Issledovaniya po stroitel'noj svetotekhnike [Tekst] / V.A. Zemcov // Trudy NIISF. – M., 1984. – S. 56-59.
2. Zemcov, V.A. Svetopropuskaniye proemov zenitnykh fonarej napravlennogo otrazheniya [Tekst] / V.A. Zemcov // Voprosy kachestva estestvennogo i iskusstvennogo osveshheniya zdaniy // Sbornik trudov NIISF. – M., 1980. – S. 70-77.
3. Garbaruk, Ju.V. Model'juvannja osvishhenosti vid dzerkal'no vidbivajuchih cilindrichnih svitlovihi shaht [Tekst] / Ju.V. Garbaruk, E.V. Pugachov // Naukovo-tehnichnij zbirk «Energozbezhenija v budivnictvi». – KNUBA, Kiiiv. – 2011. – S. 56-60.
4. Garbaruk, Ju.V. Model'juvannja svitlovogo vektora vid cilindrichnoi dzerkal'no vidbivajuchoi svitlovoi shahti [Tekst] / Ju.V. Garbaruk, E.V. Pugachov // Naukovij zhurnal «Komp'juterno – integrovani tehnologii: osvita, nauka, vibornictvo». – LNTU, Luc'k. – 2011. – Vipusk 6. – S. 68-72.

5. Kundrat, T.M. Geometrichne modeljuvannja osvitlenosti vid svitlovih shaht z difuznim vidbivannjam svitla: dis. ... kandidata tehn. nauk: 05.01.01. – Kii., 2010. – 198 s.
6. Pugachov, C.V. Diskretne geometrichne modeljuvannja skaljarnih i vektornih poliv stosovno budivel'noi svitlotehniki: Dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.01.01/K., 2001. – 353 s.
7. Gal'perin, G.A., Zemljakov A.N. Matematicheskie bil'jardy [Tekst] / G.A. Gal'perin, A.N. Zemljakov. – M.: Nauka, 1990. – 288 s.
8. Gal'perin, G.A. Bil'jardy i haos [Tekst] / G.A. Gal'perin, N.I. Chernov. – M.: Znanie, 1991. – 48 s.
9. Porivnannja metodiv rozrahunku efekтивности svitlovih shaht kvadratnogo pererizu z dzerkal'nim vidbivannjam svitla [Tekst] / Ju.V. Garbaruk, C.V. Pugachov // Prikladna geometrija ta inzhenerna grafika. Praci. Vipusk 4. – TDATU, Melitopol'. – 2012. – S. 145-149.
10. Porivnannja metodiv rozrahunku efekтивности cilindrichnih dzerkal'no vidbivajuchih svitlovih shaht [Tekst] / Ju.V. Garbaruk, C.V. Pugachov // Naukovo-tehnichnij zbirnik «Prikladna geometrija ta inzhenerna grafika». – KNUBA, Kii. – Vipusk 90. – 2012. – S. 79-83.

**Yu. Garbaruk**

National university of water management and nature resources use, Rivne  
Graduate student, assistant of the department of «Architectural design principles, konstruirovane graphics»  
E-mail: garbaruk.yuliya@gmail.com

**E. Pugachev**

National university of water management and nature resources use, Rivne  
Doctor of technical sciences, professor of the department «Architectural design principles, konstruirovane graphics»  
E-mail: evgenpugachov@rambler.ru

КРЫЛОВ С.Б., ГОНЧАРОВ Е.Е.

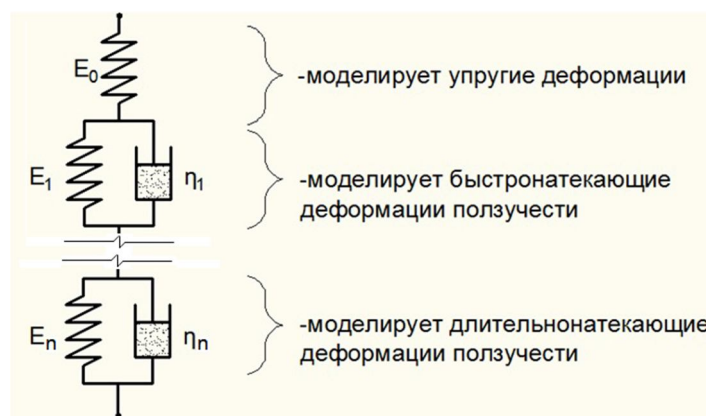
## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РЕЛАКСАЦИИ БЕТОНА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ

*Рассмотрено решение задачи релаксации напряжений в бетоне. Для описания ползучести бетона использована модель из вязкоупругих звеньев, соединенных последовательно. В качестве нагрузки принята относительная деформация в виде произвольной функции от времени. Задача сведена к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Выполнены проверки, подтверждающие высокую точность предлагаемого решения.*

**Ключевые слова:** ползучесть, релаксация, бетон, реологические модели.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева разработана модель ползучести бетона в дифференциальной форме на основе классической реологической модели Фойгта. Предложенная модель ползучести позволяет описать с высокой точностью все известные особенности поведения бетона под воздействием длительных нагрузок произвольно меняющихся во времени. Модель Фойгта выбрана потому, качественно ее поведение соответствует поведению бетона как при догрузке, так и при разгрузке. В отличие от нее, поведение модели Максвелла, например, при разгрузке качественно отличается от поведения бетона.

Проведенные исследования позволили принять модель деформирования бетона в виде пяти вязкоупругих звеньев Фойгта и одного чисто упругого звена. Все звенья в модели соединены последовательно (рис. 1). Последовательное расположение звеньев дает одинаковые напряжения в точках соединения. Это в свою очередь приводит к тому, что система, состоящая из 5 дифференциальных уравнений и одного алгебраического уравнения, описывающих работу модели, распадается на отдельные уравнения. При этом получаются наиболее простые решения уравнений, а также простые физически понятные начальные условия. Жесткости и коэффициенты вязкости всех элементов численной модели зависят от времени. Неизвестные постоянные, входящие в выражения для них, подбираются из условия совпадения деформаций модели с деформациями бетона, загружаемого в старом возрасте и в молодом возрасте при различных величинах времени наблюдения.



**Рисунок 1 – Модель ползучести бетона в виде упругого и вязкоупругих звеньев, соединенных последовательно**

Количество вязкоупругих звеньев в модели определяется необходимостью аппроксимировать функцию меры ползучести бетона с требуемой точностью с помощью получаемых решений.

Учитывая, что отдельные звенья соединены последовательно, напряжения в каждом звене одинаковые. Это позволяет описать деформирование модели набором уравнений:

$$\begin{aligned} \sigma &= E_0(t)\varepsilon_0 \\ \sigma &= E_i(t)\varepsilon_i + \eta_i(t)\frac{d\varepsilon_i}{dt}, \\ i &= 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

где  $E_i(t)$  – модели упругости отдельных звеньев;  $\eta_i(t)$  – коэффициенты вязкости.

Каждому звену модели соответствует отдельное уравнение. Поскольку система распалась на отдельные уравнения, их решения получить достаточно просто.

Для упрощения решения было введено допущение  $\eta_i(t)/E_i(t)=\text{const}$  для каждого звена. Это позволило перейти от уравнений с переменными коэффициентами к уравнениям с постоянными коэффициентами.

Параметры звеньев модели  $E_i(t)$ ,  $\eta_i(t)$  изначально неизвестны. Они определяются из условий наилучшего соответствия деформаций модели опытным данным или зависимостям для меры ползучести, имеющимся в нормативно-технической литературе.

Для упрощения решения задача была разбита на несколько этапов.

Вначале был рассмотрен старый бетон, загружаемый напряжениями  $\sigma=1$  в возрасте 200 суток. Для него были вычислены значения параметров, входящих в уравнения. При этом значения  $E_i$  и  $\eta_i$  рассматривались как постоянные величины в соответствии с физическим смыслом явления. После этого был рассмотрен молодой бетон в возрасте 28 суток. Для него величины  $E_i$  и  $\eta_i$  рассматривались как переменные. Вид этих функций был подобран таким образом, чтобы они стремились к соответствующим значениям для старого бетона при возрастании времени. Для улучшения сходимости решения все условия для  $t \rightarrow \infty$  выполнялись вручную.

В начале исследования для аппроксимации неизвестных параметров уравнений использовались функции, которые имеют постоянную асимптоту (т.е. стремящиеся к постоянной величине с ростом времени). Для высокоточной аппроксимации меры ползучести бетона потребовалась модель, содержащая четыре таких звена. Применение для коэффициентов вязкости функций, стремящихся к постоянным величинам, позволяет смоделировать ползучесть бетона при загрузке его в любом возрасте, даже в очень большом. Неограниченное возрастание коэффициентов вязкости в этих звеньях не позволило бы смоделировать ползучесть старого бетона.

Однако эти функции не позволили получить такое решение, чтобы предельные деформации ползучести зависели от возраста бетона при загрузении образца. Поэтому, в дальнейшем в модель было добавлено еще одно вязкоупругое звено, для которого коэффициент вязкости неограниченно возрастает во времени. Для этого звена модуль упругости принимался постоянным, а соответствующее дифференциальное уравнение было с переменными коэффициентами.

Полученное решение хорошо согласуется с опытными данными и достаточно полно отражает все известные особенности явления ползучести бетона.

Задача релаксации неразрывно связана с задачей ползучести. Рассмотрим решение этой задачи в данной дифференциальной постановке. Задача релаксации в данном случае формулируется в следующем виде:

$$\begin{aligned} E_0(t)\varepsilon_0 &= \sigma; \\ E_i(t)\varepsilon_i + \eta_i(t)\frac{d\varepsilon_i}{dt} &= \sigma; \\ \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \varepsilon_5 &= \varepsilon(t); \\ i &= 1, \dots, 5. \end{aligned} \quad (2)$$

То есть к системе уравнений (1) добавляется условие, выражающее равенство суммарных деформаций всех звеньев модели и заданной функции деформаций образца  $\varepsilon(t)$ .

В систему (2) входят как дифференциальные уравнения, так и алгебраические. Чтобы воспользоваться известными методами решения систем дифференциальных уравнений, необходимо выделить группу чисто дифференциальных уравнений. Для этого требуется исключить из них лишние неизвестные и ввести в эту группу функцию  $\varepsilon(t)$ . Вначале исключаем переменную  $\sigma$ , подставляя в правые части дифференциальных уравнений выражение для  $\sigma$  из первого уравнения системы (2). Система приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} E_0(t)\varepsilon_0 &= \sigma; \\ E_i(t)\varepsilon_i + \eta_i(t)\frac{d\varepsilon_i}{dt} &= E_0(t)\varepsilon_0; \\ \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \varepsilon_5 &= \varepsilon(t); \\ i &= 1, \dots, 5. \end{aligned} \tag{3}$$

Из последнего уравнения системы (3) выражаем  $\varepsilon_0$  и подставляем его в уравнения системы. После этого система (3) распадается на систему алгебраических (4) и систему дифференциальных уравнений (5). После преобразований окончательно получаем:

$$\begin{aligned} E_0(t)\varepsilon_0 &= \sigma; \\ \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \varepsilon_5 &= \varepsilon(t); \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon_i}{dt} &= \frac{1}{\eta_i} [E_0\varepsilon(t) - E_i\varepsilon_i - E_0(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 + \varepsilon_5)]; \\ i &= 1, \dots, 5. \end{aligned} \tag{5}$$

Здесь все переменные являются функциями от времени.

Начальные условия зависят от конкретной задачи. В данном исследовании качество получаемого решения проверялось при нулевых начальных условиях (6).

$$\begin{aligned} \varepsilon_i|_{t=0} &= 0; \\ i &= 1, \dots, 5. \end{aligned} \tag{6}$$

При решении задачи вначале решается система дифференциальных уравнений (5) относительно  $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_5$  вместе с граничными условиями (6). Затем с помощью выражений (4) определяются функции  $\varepsilon_0$  и  $\sigma$ .

Для оценки точности получаемых решений было выполнено сравнение с решением задачи релаксации классическим методом с использованием меры ползучести. Для сравнения было записано решение задачи релаксации напряжений для бетонной призмы размерами  $60 \times 60 \times 700$  мм из бетона класса В25 по прочности на сжатие. Все расчетные параметры принимались в соответствии с Рекомендациями [1]. Для бетонной смеси принималось, что мелким заполнителем является кварцевый песок, крупным заполнителем является гранитный щебень или речной гравий, осадка конуса – 10 см или более. Формулы Рекомендаций [1] для меры ползучести бетона были несколько изменены, чтобы максимально приблизить их к результатам экспериментов С.В. Александровского [2]. Подробности вычислений свойств отдельных звеньев реологической модели приведены в статье [3]. Здесь же остановимся только на вопросах точности полученного решения задачи релаксации напряжений.

Окончательно для модели бетона при указанных выше свойствах образца были получены следующие параметры:

$$\begin{aligned} E_0(t) &= E_b(t); E_s = 100 \text{ МПа}; \eta_5(t) = b_5(e^{a_5 t} - 1); \\ E_i(t) &= \frac{k_i}{k_i \lambda + a_i e^{b_i t}}; \eta_i(t) = \frac{1}{k_i \lambda + a_i e^{b_i t}}; i = 1, \dots, 4. \end{aligned}$$

Значения постоянных величин в этих формулах:



$$\begin{aligned}
 k_1 &= 12,122966; \\
 k_2 &= 0,1495128; \\
 k_3 &= k_2; \\
 k_4 &= 0,0533746; \\
 \lambda &= 1,885215 \cdot 10^{-5}; \\
 a_1 &= 3,507117 \cdot 10^{-4}; \\
 a_2 &= 2,115527 \cdot 10^{-26}; \\
 a_3 &= 1,0875588 \cdot 10^{-5}; \\
 a_4 &= 1,8915862 \cdot 10^{-6}; \\
 a_5 &= 0,017; \\
 b_1 &= -0,01826106; \\
 b_2 &= -0,0912458; \\
 b_3 &= -0,0419568; \\
 b_4 &= -0,0187544; \\
 b_5 &= 7,7884358 \cdot 10^5.
 \end{aligned}$$

Призма загружалась постоянными во времени относительными деформациями. Величина их принималась равной наибольшим упругим деформациям в соответствии с трехлинейной диаграммой деформирования бетона.

$$\varepsilon(t) = 0,6 \cdot \frac{14,5}{30000} = 2,9 \cdot 10^{-4} = const. \quad (7)$$

Деформации прикладывались к призме в возрасте бетона  $t_0=28$  суток.

На рисунке 2 приведены для сравнения графики напряжений по формулам (1) в упругом звене и в одном из вязкоупругих звеньев модели (по вертикальной оси график укорочен для большей наглядности). Графики совпадают, т.к. при правильном решении задачи, напряжения во всех звеньях, должны получиться одинаковыми. Такой же результат получается для всех остальных звеньев модели. Таким образом, качественно предложенное решение дает правильный результат.

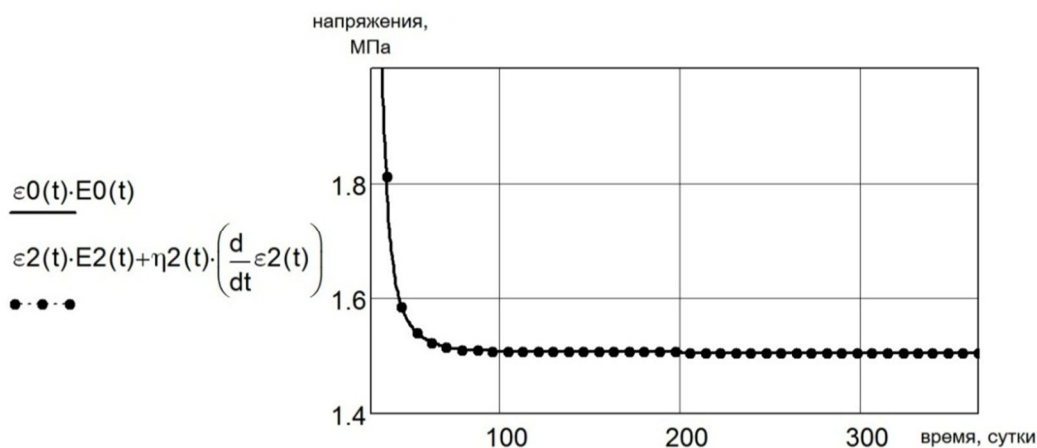


Рисунок 2 – Сравнение напряжений в разных звеньях модели

Для оценки точности решения с количественной точки зрения, выполнялось сравнение с результатами классической теории упруго-ползучего тела для данного бетона. Выражение для относительных деформаций при этом принималось в виде (8):

$$\varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma(t)}{E_b(t)} - \int_{t_0}^t \sigma(\tau) \frac{d}{d\tau} \left( \frac{1}{E_b(\tau)} + C(t, \tau) \right) d\tau, \quad (8)$$

где  $E_b$  – модуль упругости бетона;  $C$  – мера ползучести бетона;  $t_0$  – возраст бетона, в котором прикладывается нагрузка (в сутках). Для проверки точности, полученное решение для  $\sigma(t)$

подставлялось в правую часть выражения (8). Точность решения оценивалась сравнением получаемых при этом относительных деформаций с выражением (7). На рисунке 3 показаны полученные результаты для первых 10 суток после приложения нагрузки.

Различие в значениях относительных деформаций оценивается следующим соотношением:

$$0,9987 \leq \frac{\varepsilon_{\text{заданное}}}{\varepsilon_{\text{рассчитанное}}} \leq 1,00709.$$

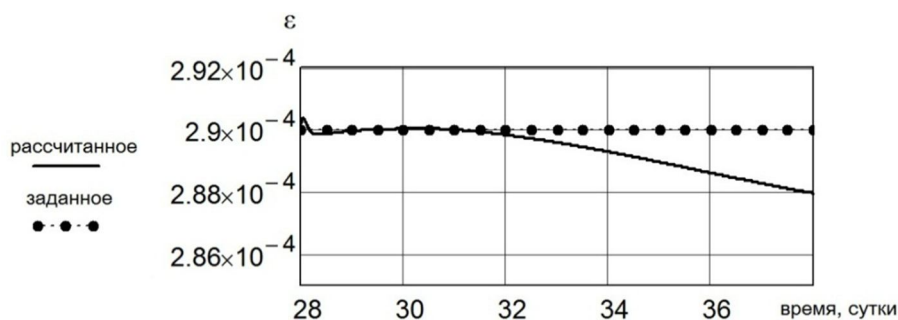


Рисунок 3 – Оценка погрешностей полученных результатов на основе теории упруго-ползучего тела

Приведенные данные подтверждают высокую точность результатов, получаемых предложенным методом. В отличие от решения задачи релаксации в рамках теории упруго-ползучего тела, данное решение отличается простотой. Кроме того, отпадает необходимость строить ядро релаксации, данные для которого редко встречаются в литературе и, как показывает опыт, в ряде случаев имеют недостаточную точность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1988. – 121 с.
2. Александровский, С.В. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1976. – 350 с.
3. Использование реологических моделей при моделировании ползучести бетона [Текст] / С.Б. Крылов, Е.Е. Гончаров // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №2. – С. 32-33.

#### С.Б. Крылов

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева, г. Москва  
Доктор технических наук

#### Е.Е. Гончаров

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева, г. Москва  
Инженер

S. KRYLOV, E. GONCHAROV

### THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF THE RELAXATION OF CONCRETE IN THE DIFFERENTIAL FORM

*Solution of the problem of stress relaxation in the concrete is considered. To describe the creep of concrete used model of visco-elastic links connected in series. Loading is done by relative deformation as an arbitrary function of time. The problem is reduced to solving a system of ordinary differ-*

*ential equations with variable coefficients. Checks completed, the high accuracy of the proposed solution is confirmed.*

**Keywords:** *creep, relaxation, concrete, rheological models.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Rekomendacii po uchetu polzuchesti i usadki betona pri raschete betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / NIIZhB Gosstroja SSSR. – M.: Strojizdat, 1988. – 121 s.
2. Aleksandrovskij, S.V. Polzuchest' i usadka betona i zhelezobetonnyh konstrukcij. – M.: Strojizdat, 1976. – 350 s.
3. Ispol'zovanie reologicheskikh modelej pri modelirovanii polzuchesti betona [Tekst] / S.B. Krylov, E.E. Goncharov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013. – №2. – S. 32-33.

### **S. Krylov**

Research, design and technology institute of concrete and reinforced concrete behalf of A.A. Gvozdeva, Moscow  
Doctor of technical sciences

### **E. Goncharov**

Research, design and technology institute of concrete and reinforced concrete behalf of A.A. Gvozdeva, Moscow  
Engineer

ПЕТРОВ В.В.

## ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИБКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

*В статье обсуждаются результаты расчета цилиндрических оболочек на прямоугольном плане с учетом геометрической и физической нелинейностей и неоднородности прочностных свойств материала по толщине оболочки. Неоднородность материала вызвана воздействием внешней рабочей среды.*

**Ключевые слова:** цилиндрическая оболочка, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, неоднородность.

При расчете оболочек в ряде случаев необходимо принимать во внимание наличие макронеоднородности материала по толщине оболочки возникающей при воздействии на нее во время эксплуатации различных природных или техногенных факторов. Наличие макронеоднородности приводит к перераспределению напряжений по толщине оболочки. Неоднородность свойств нелинейно-деформируемого материала проявляется в том, что в различных точках материала такие интегральные характеристики как диаграммы деформирования различны. Поэтому необходим учет физической нелинейности при определении несущей способности оболочки, а для определения критических нагрузок, при которых происходит потеря устойчивости оболочки, необходимо учитывать геометрическую нелинейность.

В статье исследуется влияние неоднородности материала по толщине цилиндрической оболочки на величину нагрузки, соответствующей потере устойчивости по симметричной или несимметричной форме. Кроме того, исследовано влияние граничных условий и характеристик неоднородностей на НДС оболочек.

Полагаем, что неоднородный материал по толщине оболочки разделен на три зоны, разделяемые фронтами неоднородности. В ослабленных поверхностных слоях оболочки прочностные характеристики неоднородного материала плавно возрастают от минимальных значений на поверхностях оболочки до характеристик основного материала в точках фронтов неоднородности, имеющих координаты  $z = \pm z_0$ .

Неоднородность описывается функцией неоднородности, которая вводится в физические уравнения фундаментальной системы уравнений. Функцию неоднородности  $\psi(z)$  задаем в виде степенной функции:

$$\psi(z) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |z| \leq |z_0|, \\ 1 - K (|z| - |z_0|)^m, & |z_0| < |z| \leq h/2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – целочисленный показатель степени, а коэффициент  $K$  определяется по формуле:

$$K = \frac{1 - \Pi}{(h/2 - |z_0|)^m}, \quad (2)$$

где  $\Pi < 1$  – физический параметр неоднородности прочностных свойств материала, равный отношению временного сопротивления ослабленного материала на поверхностях оболочки к временному сопротивлению основного материала. Введем следующие обозначения:  $s = h/2 - z_0$  – толщины ослабленных слоев,  $\lambda = 2s/h$  – их относительная толщина,  $p = 16qa^4 / E_0 h^4$  – безразмерная нагрузка,  $k = k_y (2a)^2 / h$  – безразмерная кривизна.

Решение нелинейной краевой задачи, осуществляем двухшаговым методом последовательных нагружений [1, 2]. Вывод соответствующих инкрементальных уравнений можно найти в работах [2, 3]. Численная реализация линейных дифференциальных уравнений на каждом этапе нагружения осуществлялась методом конечных разностей с сеткой размером  $32 \times 32$ , выбранной в результате пробных расчетов.

В статье исследуется влияние функции  $\psi(z)$  (1) на величины нагрузок потери устойчивости цилиндрических панелей с размерами  $2a \times 2a$  под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки  $q$ . и влияние параметров  $\lambda$  и  $\Pi$  для различных значений показателя степени  $m$  в (1). Кроме того, исследовано влияние вида граничных условий на контуре оболочки и безразмерного параметра кривизны.

Для определения нагрузки, соответствующей потере устойчивости по несимметричной форме, в поперечную нагрузку вводилась малая несимметричная составляющая  $\Delta P_{нес.} = A\eta$ , где  $A$  составляла порядка 0,1% от симметричной составляющей нагрузки. При этом задача поиска точек бифуркации заменялась задачей поиска предельных точек. После выхода на нисходящую ветвь равновесных состояний несимметричная составляющая нагрузки полагалась равной нулю. Увеличивая нагрузку, можно построить ветвь несимметричных равновесных состояний панели до пересечения ее с восходящей ветвью «симметричная нагрузка – максимальный прогиб». Точка пересечения этих ветвей является точкой бифуркации соответствующей нагрузке  $P_{буф.} < P_c$ , при которой потеря устойчивости оболочки происходит по несимметричной форме.

На рисунке 1 показаны кривые «нагрузка – максимальный прогиб» для цилиндрической панели с параметром кривизны  $K = 48$  при относительной толщине  $h / (2a) = 1 / 60$  для значений параметра  $m = 2, 3, 4$  при величинах параметров  $\Pi = 0,5$ ,  $\lambda = 0,5$ , что соответствует снижению прочностных свойств материала на поверхностях оболочки в два раза по сравнению с основным материалом и толщине ослабленного слоя равного четверти толщины оболочки. Граничные условия оболочки – подвижный шарнир. Пятиконечными звездочками отмечены нагрузки соответствующие потере устойчивости по симметричной форме, а четырехконечными звездочками отмечены нагрузки соответствующие потере устойчивости по несимметричной форме.

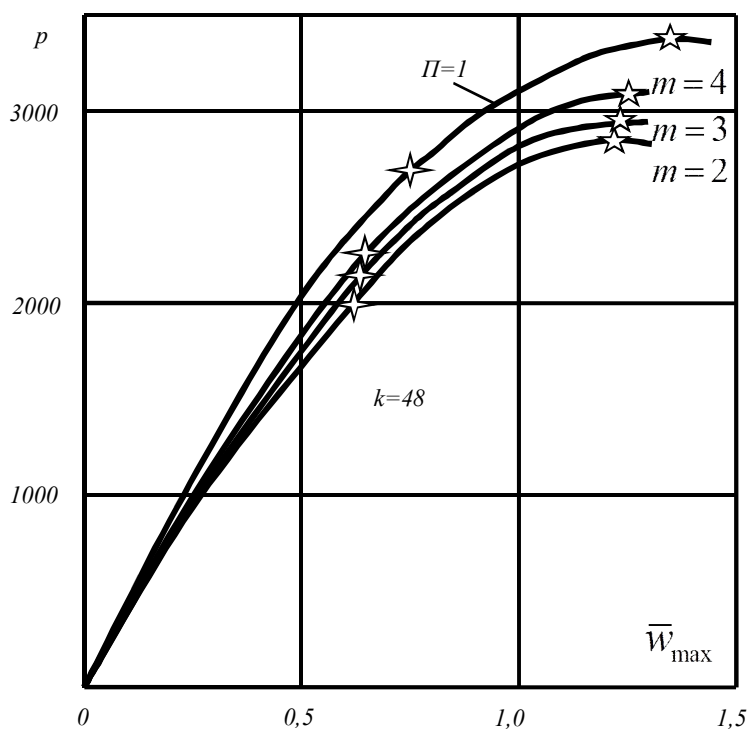


Рисунок 1

Эта панель была рассмотрена еще и в случае, когда параметр  $\lambda = 0,25$ , т.е. ослабленные слои материала охватывают нижнюю и верхнюю четверти толщины оболочки. Для рассмотренных цилиндрических панелей величины критических нагрузок потери устойчивости по симметричной форме  $P_{с.}$  и по несимметричной форме  $P_{биф.}$  приведены в таблице 1.

Таблица 1

Критические нагрузки	Однородная оболочка $\Pi=1$	$\Pi=0,5$					
		$\lambda = 0,5$			$\lambda = 0,25$		
		$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$
$P_{биф.}$	275,1	204,3	217,5	226,5	231,8	241,3	247,4
$P_{с.}$	333,9	285,9	298,0	304,7	309,8	315,0	318,4
$P_{биф.} / P_{с.}$ (в %)	82,4	71,5	73,0	74,3	74,8	76,6	77,7

Анализ полученных результатов показывает, что в рассмотренных цилиндрических оболочках потеря устойчивости происходит по несимметричной форме при меньших прогибах по сравнению с однородной оболочкой, наибольшее снижение критических нагрузок соответствует изменению функции неоднородности по закону квадратной параболы.

На рисунке 2 показаны результаты расчета цилиндрической панели с безразмерным параметром кривизны  $k = 64$ , относительной толщиной  $h / (2a) = 1 / 80$  и значениях параметров  $\lambda = 0,25$ ,  $m = 2$ . В отличие от результатов (рис. 1) кривые «нагрузка – максимальный прогиб» получены при различных значениях параметра  $\Pi$ .

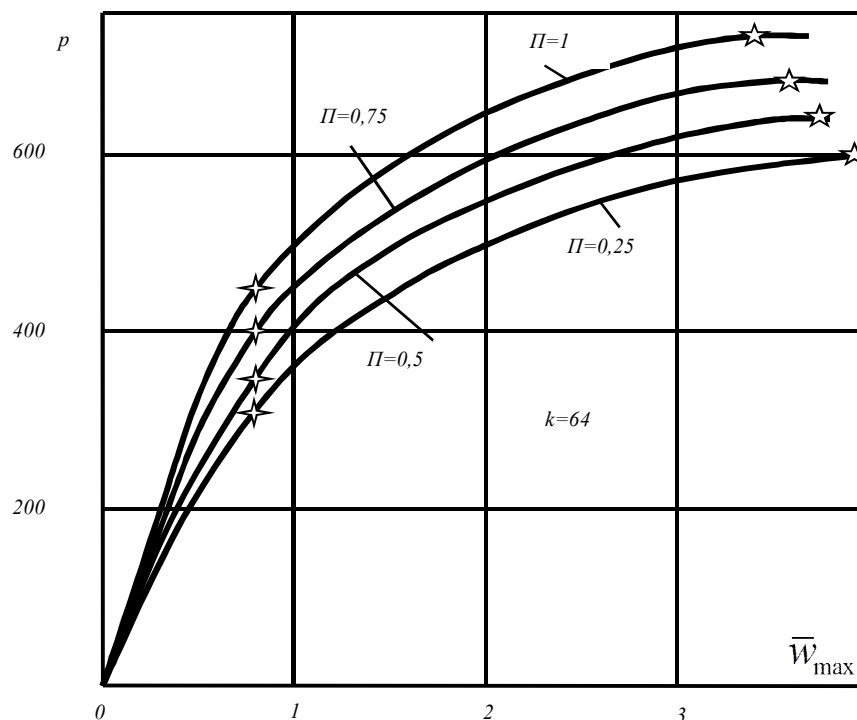


Рисунок 2

Для этих цилиндрических панелей величины нагрузок  $P_{биф.}$ , соответствующие несимметричной форме потери устойчивости, и нагрузок  $P_{с.}$ , соответствующих симметричной форме потери устойчивости, а также их процентное соотношение приведены в таблице 2.

Таблица 2

	$\Pi = 1$	$\Pi = 0,75$		$\Pi = 0,5$		$\Pi = 0,25$	
$P_{\text{буф.}}$	439,4	403,3	8,2%	366,8	16,4%	329,6	24,9%
$P_{\text{с.}}$	739,2	694,1	6,1%	647,9	12,3%	600,6	18,6%
$P_{\text{буф.}} / P_{\text{с.}}$ в %	59,4	58,1		56,6		54,9	

Анализ полученных результатов показывает, что в цилиндрической оболочке при снижении прочностных характеристик материала в ее поверхностных слоях нагрузки  $P_{\text{буф.}}$ , соответствующие потере устойчивости оболочки, уменьшаются на одну треть; отношение  $P_{\text{буф.}} / P_{\text{с.}}$  также уменьшается. Сравнение результатов, приведенных в таблицах 1 и 2, позволяет сделать вывод, что с ростом параметра кривизны величина отношения  $P_{\text{буф.}} / P_{\text{с.}}$  уменьшается, величина прогиба, при котором происходит потеря устойчивости по несимметричной форме, не зависит от величины параметра  $\Pi$ .

Исследуем теперь влияние параметров функции  $\psi(z)$  (1) на величины критических нагрузок потери устойчивости геометрически и физически нелинейных цилиндрических панелей с размерами в плане  $2a \times 2a$  под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки  $q$ . На контуре оболочки полагаем граничные условия шарнирного опирания на *не-смещаемые* опоры. На рисунке 3 показаны кривые «нагрузка – максимальный прогиб» для цилиндрической панели с безразмерным параметром кривизны  $k = 80$  и относительной толщине  $2a/h = 75$  при значениях параметров  $m = 2, \lambda = 0,25$  для следующих величин параметра  $\Pi = 0,75; 0,5; 0,25; 0,01$ .

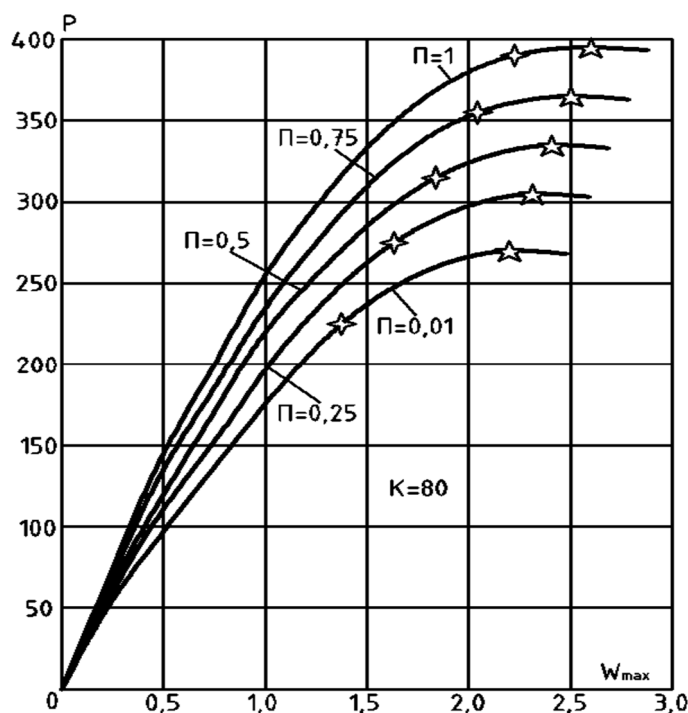


Рисунок 3

Следует отметить, что в однородной оболочке критическая нагрузка  $P_{\text{буф.}}$  находится вблизи предельной нагрузки  $P_{\text{с.}}$ , а с уменьшением параметра  $\Pi$  точка бифуркации удаляется от предельной точки и, кроме того, потеря устойчивости по несимметричной форме происхо-

дит при различных величинах максимального прогиба оболочки. Последнее замечание относится и к максимальным прогибам, соответствующим  $P_e$ .

В табл. 3 для этих цилиндрических панелей ( $k = 80$ ) приведены величины предельных нагрузок  $P_e$ , потери устойчивости по симметричной форме и нагрузки бифуркации равновесных состояний  $P_{биф.}$ . Полученные результаты соответствуют изменениям показателя степени  $m = 2 \div 4$  в выражении (1) при значениях параметров  $\lambda = 0,25$ ,  $\Pi = 0,5$ .

Таблица 3

Критические нагрузки	$\Pi = 1$	$\Pi = 0,5$		
		$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$
$P_{биф.}$	391,4	317,1	217,5	226,5
$P_e$	396,5	333,3	298,0	304,7
$P_{биф.} / P_e$ , в %	98,72%	95,14%	95,86%	96,36%

Величины критических нагрузок  $P_{биф.}$  и  $P_e$  для этих панелей при  $\lambda = 0,25$  приведены в таблице 4.

Таблица 4

	$\Pi = 1$	$\Pi = 0,75$	$\Pi = 0,5$	$\Pi = 0,25$	$\Pi = 0,01$
$P_{биф.}$	391,4	355,2	317,1	276,9	235,9
$P_e$	396,5	364,9	333,3	301,9	272,6
%	98,72%	97,34%	95,14%	91,72%	86,51%

Результаты, приведенные в таблице 4, показывают, что с уменьшением параметра  $\Pi$  критическая нагрузка  $P_{биф.}$  уменьшается, причем разница между величинами этих критических нагрузок и величиной  $P_{биф.}$  однородной оболочки увеличивается с 9% до 30%, а разница в критических нагрузках  $P_e$  увеличивается с 8% до 31%.

Рассмотрим эту же цилиндрическую панель ( $k = 80$ ) при  $\lambda = 0,5$ . Результаты для значений параметров  $m = 2$ ,  $\Pi = 0,75; 0,5; 0,25; 0,01$  сведены в таблицу 5.

Таблица 5

	$\Pi = 1$	$\Pi = 0,75$	$\Pi = 0,5$	$\Pi = 0,25$	$\Pi = 0,01$
$P_{биф.}$	391,4	346,7	300,0	250,7	200,1
$P_e$	396,5	356,5	316,5	276,8	240,4
$P_{биф.} / P_e$ (в %)	98,72%	97,26%	94,79%	90,56%	83,26%

Результаты, приведенные в таблице 5, показывают, что в этом случае с уменьшением параметра  $\Pi$  разница между величинами этих критических нагрузок и величиной  $P_{биф.}$  однородной оболочки увеличивается с 11% до 49%, а разница в критических нагрузках  $P_e$  увеличивается с 10% до 39%.



В таблице 6 приведены данные расчета цилиндрической панели с параметрами кривизны  $k=100$  и относительной толщине  $2a/h=75$  для значений параметров  $m=2$ ,  $\lambda=0,25$  при величинах параметра  $\Pi=0,75; 0,5; 0,25; 0,01$ .

Таблица 6

	$\Pi=1$	$\Pi=0,75$	$\Pi=0,5$	$\Pi=0,25$	$\Pi=0,01$
$P_{буф.}$	603,8	541,9	478,3	412,8	347,2
$P_{в.}$	706,5	657,1	610,2	566,9	522,5
$P_{буф.}/P_{в.}$ (в %)	85,46%	82,47%	78,38%	72,82%	66,45%

Данные таблицы 6 показывают, что с увеличением параметра кривизны при уменьшении параметра  $\Pi$  разница между величинами критических нагрузок  $P_{буф.}$  и соответствующей величиной нагрузки в однородной оболочке увеличивается с 10% до 25%, а разница в критических нагрузках  $P_{в.}$  увеличивается с 7% до 20%.

На рисунке 4 при тех же обозначениях, что и на рисунке 1 показаны кривые «нагрузка – максимальный прогиб» для цилиндрической панели с параметром кривизны  $k=120$  при относительной толщине  $2a/h=100$  для значений параметров  $m=2$ ,  $\lambda=0,25$  при величинах параметра  $\Pi=0,75; 0,5; 0,25; 0,01$ .

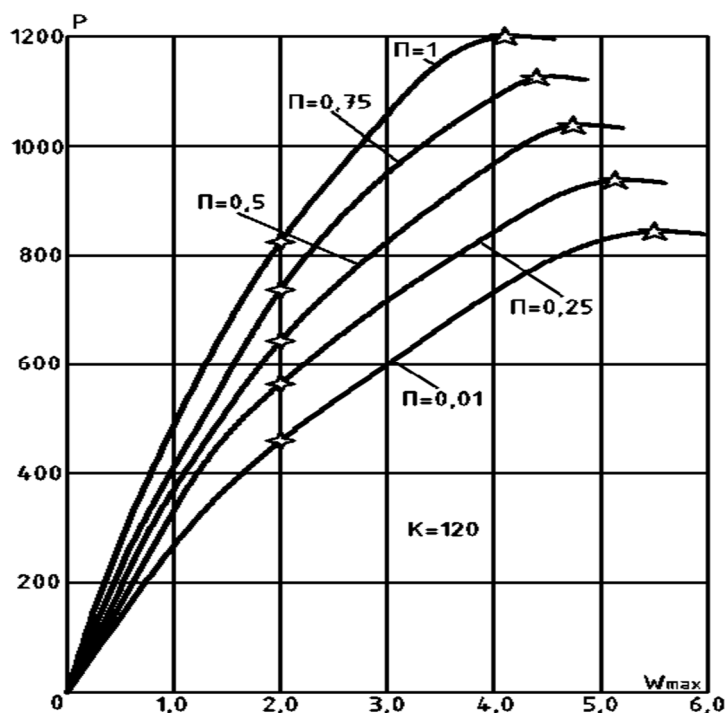


Рисунок 4

Из рисунка 4 видно, что потеря устойчивости по несимметричной форме происходит при одном и том же прогибе независимо от величины параметра  $\Pi$ , а потеря устойчивости по симметричной форме с ростом параметра  $\Pi$  происходит при возрастающих значениях максимального прогиба оболочки.

Величины  $P_{буф.}$ ,  $P_{в.}$ , а также их процентное соотношение для этих цилиндрических панелей приведены в таблице 7.

Таблица 7

	$\Pi=1$	$\Pi=0,75$	$\Pi=0,5$	$\Pi=0,25$	$\Pi=0,01$
$P_{\text{буф.}}$	827,2	738,8	648,7	556,0	463,8
$P_{\text{с.}}$	1204,0	1122,2	1033,6	938,6	842,5
%	68,70%	65,83%	62,76%	59,24%	55,05%

Результаты, приведенные в таблице 7, показывают, что в оболочках с кривизной  $k = 120$  с уменьшением параметра  $\Pi$  критическая нагрузка  $P_{\text{буф.}}$  уменьшается, причем разница между величинами этих критических нагрузок и величиной  $P_{\text{буф.}}$  однородной оболочки увеличивается с 11% до 44%, а разница в критических нагрузках  $P_{\text{с.}}$  увеличивается с 7% до 30%.

Результаты вычислений позволяют сделать следующие выводы. В рассмотренных цилиндрических панелях потеря устойчивости происходит по несимметричной форме. При неподвижном шарнирном опирании контура (по сравнению с подвижным шарнирным опиранием) критическая нагрузка, соответствующая несимметричной форме потери устойчивости, смещается в сторону предельной нагрузки  $P_{\text{с.}}$ . Во всех рассмотренных случаях наибольшее снижение нагрузки  $P_{\text{буф.}}$  соответствует функции неоднородности в виде квадратной параболы. С увеличением параметра кривизны оболочки и уменьшением параметра  $\Pi$ , характеризующего степень деградации прочностных параметров материала, критическая нагрузка  $P_{\text{буф.}}$  может уменьшиться в два раза. В то же время исследования показали, что в опасных (наиболее напряженных) сечениях оболочки с изменением параметров функции неоднородности максимальные значения интенсивности напряжений  $\sigma_i$  перемещаются с поверхности оболочки за фронт неоднородности и при этом  $\sigma_{i,\text{max}}$  не превышает  $\sigma_{i,\text{max}}$  на поверхности однородной оболочки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, В.В. Двухшаговый метод последовательного возмущения параметров и его применение к решению нелинейных задач механики твердого деформируемого тела [Текст] / В.В. Петров // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2001. – С. 6-12.
2. Петров, В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика [Текст] / В.В. Петров. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.
3. Петров, В.В. Неоднородные пологие оболочки с двумя видами нелинейности [Текст] / В.В. Петров, И.В. Кривошеин // АСАСЕМІА. Архитектура и строительство. – №1. – 2013. – С. 114-117.

#### В.В. Петров

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов

Доктор технических наук, профессор

Тел.: +7 905 382 21 23

E-mail: vvp@sstu.ru

V. PETROV

### INFLUENS OF HETEROGENETLY OF THE NONLINEAR DEFORMED MATERIAL ON THE TENSE STATE OF FLEXIBLE CILINRICAL SHELLS

*This article discusses the results of the calculation of cylindrical shells on a rectangular plan, taking into account the geometrical and physical nonlinearities and heterogeneity of the strength properties of the material in the thickness direction of the shell. In homogeneity of the material caused by the influence of the external operating environment.*

**Keywords:** *cylindrical shell, physical nonlinearity, geometric nonlinearity, heterogeneity.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Petrov, V.V. Dvuhshagovyj metod posledovatel'nogo vozmushhenija parametrov i ego primenenie k resheniju nelinejnyh zadach mehaniki tverdogo deformiruemogo tela [Tekst] / V.V. Petrov // Problemy prochnosti jelementov konstrukcij pod dejstviem nagruzok i rabochih sred: mezhvuz. nauch. sb. Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t, 2001. – S. 6-12.
2. Petrov, V.V. Nelinejnaja inkremental'naja stroitel'naja mehanika [Tekst] / V.V. Petrov. – M.: InfraInzhenerija, 2014. – 480 s.
3. Petrov, V.V. Neodnorodnye pologie obolochki s dvumja vidami nelinejnosti [Tekst] / V.V. Petrov, I.V. Krivoshein // ACADEMIA. Arhitektura i stroitel'stvo. – №1. – 2013. – S. 114-117.

### **V. Petrov**

Saratov state technical university named after Y.A. Gagarin, Saratov

Doctor of technical sciences, professor

Ph.: +7 905 382 21 23

E-mail: vvp@sstu.ru

ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ К.П.

## СДВИГОВАЯ ФОРМА РАЗРУШЕНИЯ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ В РАСЧЕТЕ ШВОВ СОЕДИНЕНИЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЕРЕВЯННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Приводится методика расчета конструктивных элементов швов оболочек покрытий из клееных ребер каркаса и панелей, заполняющих ячейки между ребрами. В общем случае несимметричных нагрузок в швах между элементами концентрируются сдвигающие усилия, которые достигают максимальных значений в местах примыкания собственно оболочки к диафрагмам. Для расчета используется теория сосредоточенного сдвига, разработанная А.Р. Ржаницыным применительно к пластинкам, работающим в сложном напряженном состоянии. Используется аппарат предельного равновесия. Методика расчета излагается на примере конструирования швов короткой цилиндрической оболочки.*

**Ключевые слова:** оболочки из древесины, конструкции, статический нелинейный расчет, метод предельного равновесия, сосредоточенный сдвиг.

Конструкция короткой цилиндрической оболочки образуется системой ребер из клееной древесины – криволинейных диафрагм, снабжаемых затяжками, промежуточных ребер арок с затяжками лишь на период монтажа, прямолинейных бортовых элементов, замыкающих оболочку, и прямолинейных ребер между арками. Эти ребра могут служить одновременно ребрами панелей, образующих собственно оболочку. Общий вид натурной конструкции во время монтажа показан на рисунках 1, 2. Схема конструкции приводится на рисунке 3.



Рисунок 1 – Монтаж короткой цилиндрической оболочки пролетом 42 м

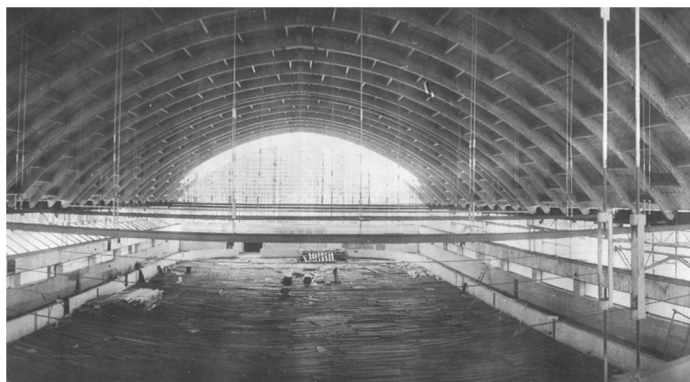


Рисунок 2 – Внутренний вид покрытия

Каркас и плиты оболочки объединяются в статически неопределимую конструкцию при помощи связей (6) в угловых зонах и путем жесткого соединения элементов каркаса в узлах пересечения ребер. Панели оболочки включаются в совместную работу с остальными элементами связями из металлических стержней, замоноличиваемых безводными полимерными растворами в местах примыкания плит к диафрагмам и аркам-ребрам (рис. 4).

Такие конструкции могут воспринимать большие нагрузки, в том числе запроектные, благодаря перераспределению усилий при нелинейных деформациях. Это обеспечивает живучесть и конструктивную безопасность без перерасхода материалов.

Сечения основных элементов оболочки определяются при использовании интегрального модуля деформаций для нелинейного расчета каркаса [2, 3, 5,6] и анализа сложного напряженного состояния панелей [1, 4, 7]. Затем пользуясь полученными усилиями вдоль швов соединения, выполняют расчет и конструирование связей в швах.

Особенного внимания требуют швы примыкания оболочки к диафрагмам. В этих местах концентрируются сдвигающие усилия, уравнивающие всю внешнюю нагрузку на оболочку. Швы соединения оболочки с диафрагмами представляют собой возможные зоны текучести в предельном состоянии оболочки. При этом экспериментально выявлена сдвиговая форма разрушения оболочки (рис. 3, 4). Такая картина разрушения соответствует разработанной А.Р. Ржаницыным приближенной модели расчета пластин и оболочек по предельному равновесию [8]. Согласно этой теории сосредоточенным сдвигом  $\Gamma$  называется смещение одной части тела относительно другой в плоскости разделяющего слоя, имеющего бесконечно малую толщину  $\delta$  (рис. 4). В предельном состоянии работа внутренних сил  $T$  должна быть равна работе внешних сил  $V$  на перемещениях оболочки, вызванных сдвигом.

Работа внутренних сил выразится формулой:

$$T = \sigma_{\tau} \int_{\omega} E_i d\omega, \quad (1)$$

где интегрирование производится по площади  $\omega$  слоя, по которому происходит сдвиг. В случае дискретных связей типа гвоздей интегрирование заменяется суммированием по числу связей, а напряжение текучести при сдвиге  $\sigma_{\tau}$  заменяется минимальной несущей способностью гвоздя при изгибе или смятии древесины.

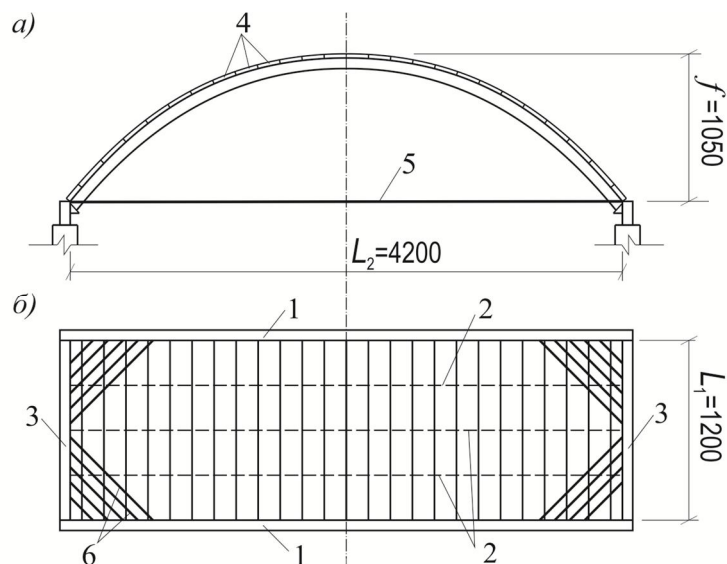


Рисунок 3 – Схема конструкций короткой цилиндрической оболочки:  
 а – разрез; б – план; 1 – диафрагмы; 2 – промежуточные арки; 3 – бортовые элементы;  
 4 – панели; 5 – затяжки диафрагм; 6 – связи в углах оболочки

$E_i$  – интенсивность деформации, которая согласно теории пластичности в общем случае определяется следующим выражением:

$$E_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}. \quad (2)$$

Для сосредоточенного сдвига  $\Gamma$  интенсивность деформации будет также сосредоточенная и ее определяют по формуле:

$$E_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\frac{3}{2} \Gamma^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} |\Gamma|. \quad (3)$$

Рассмотрим на примере короткой цилиндрической оболочки размерами в плане  $L_2 \times L_1$   $42 \times 12$  м, стрелой подъема  $f=10,5$  м построение расчета и определение несущей способности соединений в приконтурных швах вдоль криволинейных образующих. Конструкция и схема оболочки показаны на рисунке 3 [7].

Сосредоточенный сдвиг в случае цилиндрической оболочки получается в зависимости от единичного вертикального перемещения шельги оболочки и её геометрических соотношений (рис. 4).

В данном случае сдвиг по длине дуги окружности распределяется неравномерно и меняя направление по отношению к оси элемента.

Примем материал элементов, примыкающих к шву изотропным и бесконечно малое перемещение сосредоточенного сдвига  $\Gamma$  равным единице  $\Gamma=1$ . При этом  $E_i$  будет постоянным

$$E_i = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Работа внешней нагрузки  $q$  на перемещениях оболочки:

$$V = qSL_1, \quad (4)$$

где  $SL_1$  – объём эпюры перемещений.

Площадь сечения  $S$  эпюры перемещений, заштрихованной на рисунке 4, заключена между двумя дугами окружностей, определяемых уравнениями:

$$\begin{aligned} x^2 + (y+1575)^2 &= 2625^2; \\ x^2 + (y+1578,5)^2 &= 2627,5^2. \end{aligned} \quad (5)$$

где цифровые элементы в правой части уравнений содержат значения радиусов кривизны, а в левой – смещения центров окружностей относительно начала координат.

Решение системы уравнений (5) даёт координаты точек их пересечения  $x = 1838$  см,  $y = 299,1$  см.

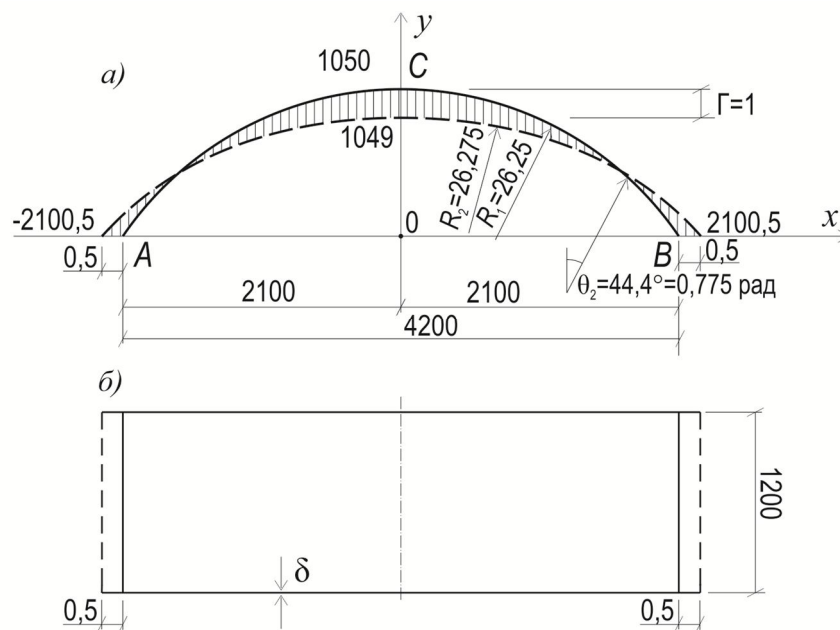


Рисунок 4 – К расчету короткой цилиндрической оболочки:  
а – схема перемещений; б – сдвиговая форма разрушения

Для определения площади эпюры перемещений составляем её выражение в полярных координатах:

$$S = \iint_s \rho d\rho d\theta = 2 \int_0^{44,4^0} d\theta \int_{\rho_1}^{\rho_2} \rho d\rho. \quad (6)$$

Внутренний интеграл:

$$S_1 = \int_{\rho_1}^{\rho_2} \rho d\rho = \frac{\rho^2}{2} \Big|_{26,275}^{26,25} = -0,658 \text{ м}^2. \quad (7)$$

Внешний интеграл:

$$S_2 = 2 \int_0^{44,4^0} -0,658 = 2 \cdot 0,658 \theta \Big|_0^{-0,775} = -1,02 \text{ м}^2. \quad (8)$$

Работа внешней нагрузки интенсивностью  $q = 2400$  кгс/м.п. по формуле (4) составит:

$$V = 2400 \cdot 1,02 \cdot 12 = 29376 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

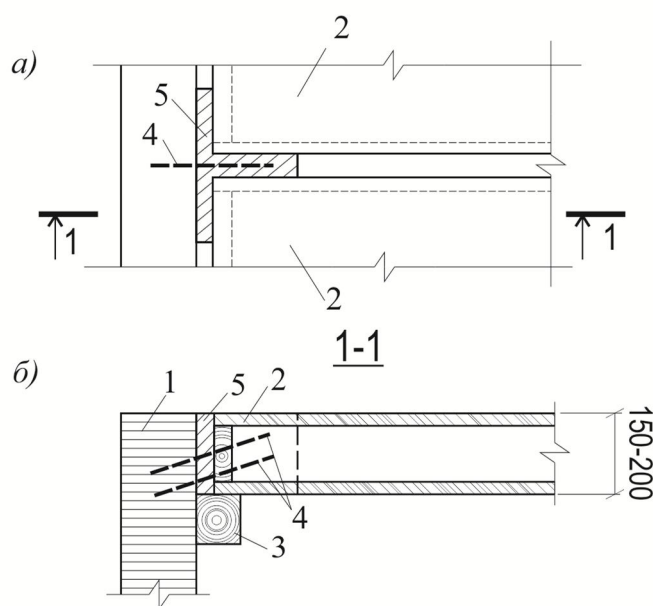


Рисунок 5 – Узел примыкания оболочки к диафрагмам:

*а – план; б – разрез 1-1; 1 – диафрагма; 2 – панель оболочки; 3 – черепной брусок; 4 – стержни, забиваемые в отверстия диафрагм; 5 – полимерцементный раствор*

Работа внутренних сил каждого стержня на единичном перемещении при установке в швы соединения оболочки с диафрагмой нагелей диаметром 12 мм (рис. 5) по два в каждый узел соединения панелей шириной 1,5 м и минимальной несущей способностью нагеля на изгиб согласно СП 64-13330-2011 [9], равна:

$$T_u = (18d^2 + 0,2a^2) \sqrt{k_d} = (18 \cdot 1,2^2 + 0,2 \cdot 12^2) \sqrt{1} = 574,2 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Суммарная работа всех соединений по формуле (1) при числе стыков с  $n=64$  нагелей на длине дуги диафрагмы, равной 48,56 м составит:

$$\sum T_u = \frac{1}{\sqrt{3}} 574,2 \cdot 64 = 20235,8 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Работа нагрузки превышает работу внутренних сил (соединений) в швах вдоль диафрагм на  $\Delta T = 29376 - 20236 = 9140$  кгс·м.

Это превышение должно быть компенсировано работой связей между криволинейными и прямолинейными диафрагмами на соответствующих перемещениях.

Нетрудно определить количество связей в виде арматурных стержней:

$$n = \frac{\Delta T}{R_p A_{CT} E_i} = \frac{9140 \cdot \sqrt{3}}{2400 \cdot 2} = 3,3.$$

где  $R_p$  и  $A$  – расчетное сопротивление стали и площадь сечения стержня.

Можно принять количество стержней равным 5.

Можно также определить в качестве искомой величины предельную нагрузку на оболочку, допустимую при заданном количестве всех связей, а затем скорректировать их необходимое число.

В работе [1] приведены этапы и принципы разработки расчетов обшивок, работающих в сложном состоянии, в том числе при возможной местной потере устойчивости, когда можно допустить запроектную их работу. Изложены предложения по расчету и результаты нелинейных расчетов каркасов статически неопределимых (пространственных) конструкций. Исследованы резервы силового сопротивления совместной работы каркасов и ограждающих элементов конструкций за пределами упругости. Разработаны предложения по обеспечению живучести и конструктивной безопасности сооружений. Здесь использован метод предельного равновесия для расчета наиболее ответственных соединений элементов пространственных конструкций. Материалы обладают определённой новизной, решают новые задачи и могут быть использованы при работе предложений для новых нормативных документов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятикрестовский, К.П. Развитие методов расчета деревянных конструкций при сложном напряженном состоянии (Часть I) [Текст] / К.П. Пятикрестовский // Строительная механика и расчет сооружений. – М. – 2014. – №6. – С. 6-12.
2. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.Стройиздат, 1982-287 с.
3. Ржаницын, А.Р. Теоретические предпосылки к построению методов расчета деревянных конструкций во времени [Текст] / А.Р. Ржаницын // Исследования прочности и деформативности древесины. – М., Госстройиздат, 1956. – С. 21-31.
4. Гениев, Г.А. Вопросы длительной и динамической прочности анизотропных конструкционных материалов (брошюра) ГУП ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко / Г.А. Гениев, К.П. Пятикрестовский. – М., 2000. – 38 с.
5. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Вл.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
6. Пятикрестовский, К.П. Обоснование зависимости между интенсивностями напряжений и деформаций для нелинейного расчета деревянных конструкций [Текст] / К.П. Пятикрестовский, Х.С. Хунагов // Строительная механика и расчет сооружений. – М.. – 2011. – №1. – С. 62-69.
7. Пятикрестовский, К.П. Нелинейные методы механики в проектировании современных деревянных конструкций [Текст] / К.П. Пятикрестовский. – М.: МГСУ, 2014. – 318 с.
8. Ржаницын, А.Р. Предельное равновесие пластинок и оболочек [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Наука, 1983. – 288 с.
9. СП 64.13330.2011. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция [Текст].

#### К.П. Пятикрестовский

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко, г. Москва  
Доктор технических наук

K. PJATIKRESTOVSKIJ

### SHEAR SHAPE OF DESTRUCTION BY THE LIMIT EQUILIBRIUM METHOD IN THE CALCULATION OF JUNCTURES BETWEEN ELEMENTS OF WOOD SPACE STRUCTURES

*In this paper it is adduced the technique for calculating the structural elements of junctures of covering shells, which consist of a glued ribs of shell and panels, which fill the cells between the ribs. In general, when load is irregular, shear forces concentrated at the junctures between elements and reach maximum in the junction of shell and diaphragms. For calculating it is used the theory of concentrated*



*shear developed by A.R. Rzhanitsyn applied to the plates, which work at complex stress state. It is used the technique of limit equilibrium. The technique of calculation is presented on the example constructing joints of a short cylindrical shell.*

**Keywords:** *wood shells, structures, static nonlinear analysis, limit equilibrium method, concentrated shear.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Pjatkrestovskij, K.P. Razvitie metodov rascheta derevjannyh konstrukcij pri sloznom naprjazhennom sostojanii (Chast' I) [Tekst] / K.P. Pjatkrestovskij // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – M. – 2014. – №6. – S. 6-12.
2. Bondarenko, V.M. Inzhenernye metody nelinejnoj teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, S.V. Bondarenko. – M. Strojizdat, 1982-287 s.
3. Rzhanitsyn, A.R. Teoreticheskie predposylki k postroeniju metodov rascheta derevjannyh konstrukcij vo vremeni [Tekst] / A.R. Rzhanitsyn // Issledovanija prochnosti i deformativnosti drevesiny. – M., Gosstrojizdat, 1956. – S. 21-31.
4. Geniev, G.A. Voprosy dlitel'noj i dinamicheskoj prochnosti anizotropnyh konstrukcionnyh materialov (broshjura) GUP CNIISK im. V.A. Kucherenko / G.A. Geniev, K.P. Pjatkrestovskij. – M., 2000. – 38 s.
5. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: ASV, 2004. – 472 s.
6. Pjatkrestovskij, K.P. Obosnovanie zavisimosti mezhdju intensivnostjami naprjazhenij i deformatsij dlja nelinejnogo rascheta derevjannyh konstrukcij [Tekst] / K.P. Pjatkrestovskij, H.S. Hunagov // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – M.. – 2011. – №1. – S. 62-69.
7. Pjatkrestovskij, K.P. Nelinejnye metody mehaniki v proektirovanii sovremennyh derevjannyh konstrukcij [Tekst] / K.P. Pjatkrestovskij. – M.: MGSU, 2014. – 318 s.
8. Rzhanitsyn, A.R. Predel'noe ravновесие plastinok i obolochek [Tekst] / A.R. Rzhanitsyn. – M.: Nauka, 1983. – 288 s.
9. SP 64.13330.2011. SNiP II-25-80. Derevjannye konstrukcii. Aktualizirovannaja redakcija [Tekst].

### **K. Pjatkrestovskij**

Central research Institute of building structures named after V.A. Kucherenko, Moscow  
Doctor of technical sciences

СКОРОБОГАТОВ С.М.

## ЭНТРОПИЙНАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ТЕОРЕМА ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ВИДЕ ЭПЮР НАПРЯЖЕНИЙ

*В более ранних статьях автора показано, что физический процесс развития иерархической системы трещин можно описать и даже предсказать с помощью информационной энтропии с использованием формулы К.Э. Шеннона. Данная статья посвящена уравнениям и формулам, полученным на основе статики и кинематики плоского сечения для определения напряженного состояния. Экспериментально полученная формула резерва живучести  $H_{ser}$  дает результаты, совпадающие с кривой  $H_i$ . Целью работы является создание методики по определению достоверности экспериментов, а также предсказывать и контролировать новую стадию живучести и другие эксплуатационные стадии вплоть до разрушения.*

**Ключевые слова:** иерархическая система разрушения трещин, информационная энтропия, формула К.Э. Шеннона, уравнения статики и кинематики, формула резерва живучести, достоверность результатов.

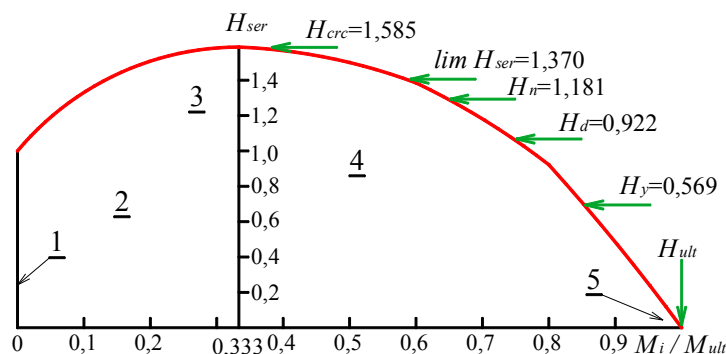
В более ранней работе автора [1] сообщалось, что достоверность результатов исследований в физических и других науках подтверждается наличием энтропийного хода процесса. Для неравновесных систем при адиабатном процессе опыты должны сопровождаться энтропией с положительной скоростью, т.е. с невозвратимой потерей энергии. Обзор обширной научной литературы показывает, что второе начало (закон) термодинамики превратило энтропийный метод в один из самых универсальных методов исследования и проник во многие области науки и техники. Необходимость энтропийной проверки исследований по железобетону следует считать актуальным, особенно, в тех проблемных работах, где нельзя положиться на детерминированные оценки даже энергетическим методом. Известно, что одной наиболее весомой проблемой, определяющей основное содержание исследований по железобетону, является наличие иерархической системы трещин в бетоне [2]. Иерархическая система означает систему вложенных друг в друга микро-, мезо и макроблоков, состоящих из зерен или совокупностей зерен и оконтуренных прерывистыми или сквозными микро-, мезо- и макротрещинами. Физические основы развития трещин в железобетоне описаны в работе [3].

В нашем случае под деградацией материала понимается появление продольных трещин в сжатой зоне бетона, что особенно актуально для средних и высоких процентах армирования железобетонных элементов. Состояние сжатой зоны, при которой фактическое напряжение (не при прямоугольном блоке) превышает величину расчетного сопротивления  $\sigma_{bc} \geq \gamma_{b1} R_{b1}$ , принимается за стадию продольной трещиностойкости, или за предел живучести  $\lim H_{ser}$ . При этом напряжение в растянутой арматуре при наличии трещины в растянутой зоне бетона должно превышать  $\sigma_{bc} \geq 40$  МПа. В статье [1] сообщалось, что все стадии работы, от трещиностойкости по нормальным сечениям и вплоть до разрушения, могут быть объединены общей подвижной, огибающей кривой информационной энтропии  $H_i$  (по К.Э. Шеннону) для экспериментальных точек живучести  $H_{ser}$  [2]. Понятие концепции «живучесть» введено, чтобы перекинуть мост от физического процесса деградации и ее математической «тенью» – информационной энтропии к методике расчета конструкций.

Увеличивающаяся внешняя нагрузка вызывает последовательные и иерархические разрывы связей между зернами, их совокупностями и блоками в бетоне. Разрывы этих связей принимаем в качестве сигналов при последовательном многоступенчатом и иерархическом их поступлении. Такое принципиальное предположение совпадает с концепцией теории коммуникаций, представленной в частности, в виде формулы К.Э. Шеннона [4]:

$$H_i = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 - \dots - P_n \log_2 P_n, \quad (1)$$

при  $\sum P_i = 1,0$ .



**Рисунок 1** – Изменение резерва живучести  $H_{ser}$  (bit) для изгибаемой железобетонной балки относительно огибающей кривой информационной энтропии  $H_i$  (при  $B15$  МПа)  
 1 – упругая работа; 2 – упругопластическая работа; 3 – появление первой поперечной трещины;  
 4 – стадии работы с трещинами; 5 – разрушение;  $H_{crc}$  – стадия появления первой поперечной трещины;  $lim H_{ser}$  – стадия появления продольных трещин в сжатой зоне;  $H_n$  – эксплуатационная стадия работы;  $H_d$  – стадия расчетной несущей способности;  $H_y$  – стадия текучести арматуры;  $H_{ult}$  – стадия разрушения по сжатому бетону

Для наиболее распространенных изгибаемых железобетонных конструкций (с высотой сечения) наиболее характерна трехступенчатая иерархическая система постепенного появления нормальных и продольных трещин. Эта система трещин основана на вероятности разрывов микросвязей  $P_1$ , мезосвязей  $P_2$  и макросвязей  $P_3$  (см. рис. 1). В этом случае формула К.Э. Шеннона (1) будет выглядеть следующим образом:

$$H_i = -P_1 \log_2 P_1 - P_2 \log_2 P_2 - P_3 \log_2 P_3, \quad (2)$$

при  $\sum P_i = 1,0$ .

Информационная энтропия  $H_i$  в виде формулы (2) при трехступенчатом поступлении сигналов, удивительным образом совпала с экспериментальными точками, отражающими структурную неопределенность изгибаемого элемента  $H_{str}$  или текущую концепцию живучести  $H_{ser}$  и вычисленным по впервые открытой экспериментально-теоретической формуле (3) (см. рис. 2):

$$H_{ser} = H_{str} = \frac{\sigma_{bc} \xi_{bt}}{R_{bt} \xi_{bc}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{bc}$  – величина напряжений для крайнего сжатого волокна изгибаемого элемента;  $R_{bt}$  – фактическая и средняя прочность бетона на осевое растяжение, полученная только на основе экспериментальной формулы Фере;  $\xi_{bt} = x_{bt} / h_0$  – относительная высота растянутой зоны бетона (без учета поперечной трещины);  $\xi_{bc} = x_{bc} / h_0$  – относительная высота сжатой зоны бетона.

В формуле (3) термин  $H_{str}$  ответственен за раскрытие трехступенчатой иерархии в трещинообразовании, термин  $H_{ser}$  ответственен за обобщенное и текущее состояние живучести конструкций (от момента появления нормальных трещин до стадии разрушения) и отражающий стадии расчета по принятой проектной методике.

Величины  $\sigma_{bc}$ ,  $\xi_{bt}$ ,  $\xi_{bc}$  должны определяться уточненным, инженерным способом или методами теории упругости и пластичности, но с учетом фактических или усредненных диаграмм деформирования бетона и арматуры. При любом способе определяется строгое положение нулевой линии из основного уравнения суммы проекций всех сил на горизонтальную ось,  $\sum X=0$  (см. рис. 2):

$$N_{bc} - R_{bt} - N_s = 0, \quad (4)$$

где  $N_{bc}$  – равнодействующая сжатой зоны бетона;  $N_{bt} = R_{bt} b x_{bt}$  – равнодействующая растянутой зоны бетона;  $N_s = \sigma_s A_s$  – равнодействующая основной растянутой арматуры.

Согласно рисунку 2 равнодействующая сжатой зоны равна:

$$N_{bc} = b \int_0^{x_{bc}} \sigma_{bc} dx, \quad (5)$$

Ключевой проблемой в снижении математической трудности в вычислениях является выбор выражения для  $\sigma_{bc}$ . В литературе описано около 50 формул для  $\sigma_{bc}$ .

Для определения  $\sigma_{bc}$  рекомендуется на первое время, наиболее простая зависимость ЕКБ-ФИП, 1970.

$$\sigma_{bc} = \bar{R}_b \left[ 2 \cdot \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} - \frac{\varepsilon_b^2}{\varepsilon_R^2} \right], \quad (6)$$

где  $\bar{R}_b$  – фактическое или среднее значение прочности бетона в призмах или цилиндрах;  $\varepsilon_b$  – текущая величина относительных деформаций бетона при сжатии;  $\varepsilon_R$  – абсцисса, которая соответствует пику напряжений на кривой  $\sigma_{bc} - \varepsilon_{bc}$  (см. рис. 2, а).

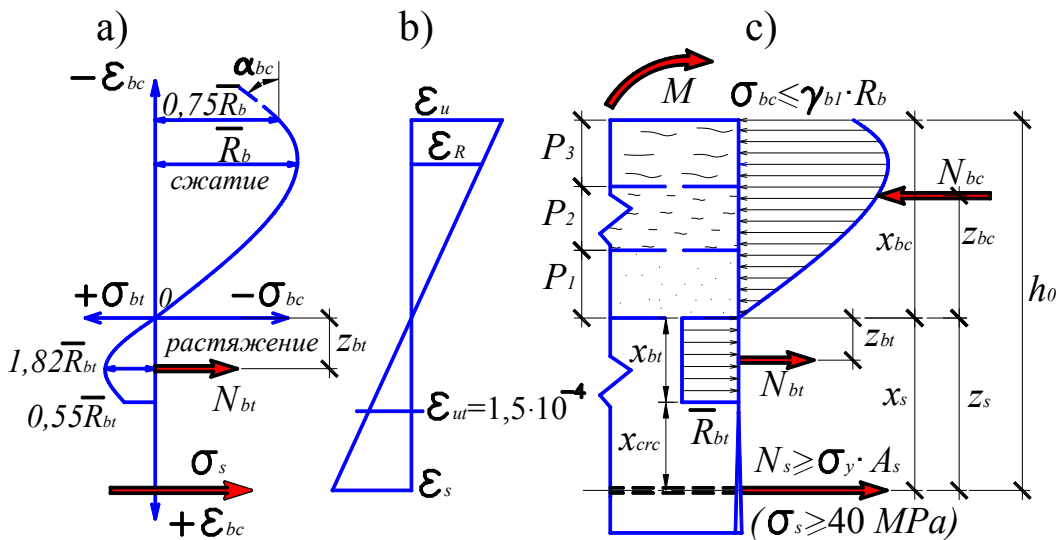


Рисунок 2 – Вероятностная эпюра напряженного состояния (а), кинематика плоского сечения (б) и схема статического равновесия (с) в изгибаемом железобетонном элементе  
 $P_1$  – вероятность появления микротрещин;  $P_2$  – вероятность появления мезотрещин;  
 $P_3$  – вероятность появления макротрещин

При эксплуатационных напряжениях разница в результатах между известными формулами – небольшая. Это дает возможность упростить интегрирование формулы (5):

$$N_{bc} = b \int \sigma dx = R_b b x_1 \left( \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R} - \frac{\varepsilon_b^2}{3\varepsilon_R^2} \right), \quad (7)$$

Величина  $\bar{R}_b$  принимается только по формуле Ю.П. Гуши и Т.Ю. Ларичевой (1984):

$$\bar{R} / \bar{R}_{cub} = (0,85 - 0,0015 \bar{R}_{cub}), \text{ МПа}, \quad (8)$$

при  $\bar{R}_b / \bar{R}_{cub} \geq 0,775$ .

Видоизмененная формула Фере выглядит следующим образом:

$$\bar{R}_{bc} = 0,2304 \sqrt[3]{R_{cub}^2}, \text{ МПа}, \quad (9)$$

Растяжимость бетона принята равной  $\varepsilon_{bt} = 0,00015$ . Форма эпюры растянутой зоны – только прямоугольная.

Для снижения неопределенности задачи использован закон плоских сечений (см. рис. 2, в).

Чрезвычайно важным вопросом является назначение относительных величин деформаций сжатия бетона  $\varepsilon_R$  при пике напряжений  $\sigma_{bc}$  (см. рис. 2, в). Рекомендуется назначить следующие величины:

$\varepsilon_R = 1,727 \times 10^{-3}$  для  $\bar{R}_b = 15$ ;  $\varepsilon_R = 1,868 \times 10^{-3}$  для  $\bar{R}_b = 20$ ;  $\varepsilon_R = 2,090 \times 10^{-3}$  для  $\bar{R}_b = 30$ ;  $\varepsilon_R = 2,30 \times 10^{-3}$  для  $\bar{R}_b = 40$ ;  $\varepsilon_R = 2,48 \times 10^{-3}$  для  $\bar{R}_b = 50$  МПа [1].

Такое назначение величин  $\varepsilon_R$  обеспечивает лучшее совпадение экспериментальных точек  $H_{ser}$  с кривой информационной энтропии  $H_i$  по К.Э. Шеннону (см. рис. 1).

Основное уравнение (4) принимает развернутую форму в виде кубического уравнения, решаемого относительно величины  $\xi_S = x_s / h_0$ :

$$\left[1 + 3 \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_S} - \frac{3w\bar{R}_{bt} \varepsilon_R^2}{\bar{R}_b \varepsilon_S^3}\right] \xi_S^3 - \left[3 + \frac{6\varepsilon_R}{\varepsilon_S} + 3 \frac{\sigma_s \mu_s \varepsilon_R^2}{R_b \varepsilon_S^2}\right] \xi_S^2 + \left[3 + \frac{3\varepsilon_R}{\varepsilon_S}\right] \xi_S - 1.0, \quad (10)$$

где  $w = 1,0$  – коэффициент полноты эпюры растянутой зоны бетона;  $\varepsilon_s = \sigma_s / E_s$  – удлинение в основной рабочей продольной арматуре;  $\sigma_s$  – напряжение в основной рабочей продольной арматуре;  $E_s = 2 \times 10^5$  МПа – модуль упругости стержневой арматуры.

Другие обозначения видны из рисунка 2. Перед решением уравнения (10) необходимо определиться с величинами  $\sigma_s$  и  $\varepsilon_s$ . При проектировании конструкции можно исходить из величины расчетного сопротивления арматуры  $R_s$ . Например, для арматуры класса А400 можно получить:  $\sigma_s = R_s / \gamma_f = 350 / 1,15 = 304,3$  МПа, где  $\gamma_f = 1,15$  – средняя величина коэффициента надежности для перехода от нормативных к расчетным величинам внешних нагрузок. Подбор арматуры по сортаменту требует соответствующего уточнения. В условиях обследования напряжения можно определить по формулам, используемым для расчета прогибов. При этом желательно пользоваться формулой  $\sigma_s = M / (A_s Z)$  из СНиП 2.03.01-84\*.

Кубическое уравнение (10) решается достаточно просто с помощью приближенного вычисления по методу Ньютона. При назначении первоначальной величины  $\varepsilon_{s0} = 0,6-0,7$  иногда достаточно две-три попытки. Напряженно-деформированное состояние сильно зависит даже от небольших колебаний нейтральной оси. Поэтому желательно доводить точность до пятого знака. Применение распространенного шагового метода вычислений вызывает сомнения.

После решения уравнения (10) относительно величина  $\xi_S$  с помощью гипотезы плоских сечений (рис. 2, в) определяются все другие величины:  $\sigma_{bc}$ ,  $\xi_{bt}$ ,  $\xi_{bc}$  которые входят в основную формулу живучести  $H_{str}$  (3):

$$\xi_{bc} = 1 - \xi_S; \varepsilon_{bc} = \varepsilon_s \xi_{bc} / \xi_S; \xi_{bt} = \xi_S \varepsilon_{bt} / \varepsilon_s; \varepsilon_{bt} = 0,00015; X_{bc} = \xi_{bc} h_0; X_{bt} = \xi_{bt} h_0.$$

Напряжение крайнего сжатого волокна  $\sigma_{bc}$  определяется по формуле (6), а равнодействующая сжатой зоны бетона по формуле (7).

Любой изгибающий момент, соответствующий точкам  $H_{ser}$ , (см. рис. 1) определяется как сумма моментов всех сил относительно нейтральной оси (рис. 2) формуле:

$$M = M_{bc} + M_{bt} + M_s, \quad (11)$$

где

$$M_{bc} = R_b b x_{bc}^2 \left( \frac{2\varepsilon_b}{3\varepsilon_R} - \frac{\varepsilon_b^2}{4\varepsilon_R^2} \right). \quad (12)$$

Уточненные значения крайних сжатых и растянутых волокон позволяют более точно определять прогиб изгибаемого элемента с помощью известной формулы:

$$f = S \frac{1}{r} \ell^2, \quad (13)$$

где  $\frac{1}{r} = \frac{\psi_s \varepsilon_s + \psi_b \varepsilon_{bc}}{h_0}$  – кривизна элемента.

Необходимо отметить, что предлагаемая методика анализа действует для изгибаемых элементов со средним и высоким процентом армирования, когда напряжения в сжатом бетоне при эксплуатационных нагрузках достигает больших величин относительно призмической (цилиндрической) прочности:

$$\sigma_{bc} \rightarrow \bar{R}_b \text{ непродолжительном (кратковременном) действии нагрузок;}$$

$$\sigma_{bc} \rightarrow \gamma_{b1} \cdot \bar{R}_b = 0,9 \cdot \bar{R}_b \approx 0,5 \cdot \bar{R}_b,$$

где  $\gamma_{b1} = 0,9$  согласно СНиП 52-01-2003 рекомендуется при продолжительном (длительном) действии нагрузок.

В качестве примера расчета были взяты данные для плоского безбалочного перекрытия с пролетами 7,2 м, представленного как проектное предложение [5], но с некоторыми изменениями по прочности бетона и количеству арматуры. Средняя призмическая прочность бетона

была принята равной  $\bar{R}_b = 30$  МПа. Это примерно соответствует классу бетона В30. Расчетное сопротивление бетона было принято равным  $R_b = 17,0$  МПа. Полезная высота сечения оказалась равной  $h_0 = 18,4$  см. Коэффициенты армирования колебались по величине:  $\mu_s = 0,005; 0,01; 0,015; 0,02$ . Напряжение в арматуре оставалось постоянным  $\sigma_s = 325$  МПа.

Результаты расчетов приведены на рисунках 3 и 4. Из рисунков 3 и 4 видно, что крайнее сжимающее напряжение везде превышает произведение  $0,9 \cdot R_b = 0,9 \cdot 17 = 15,3$  МПа на величины 49 и 69% соответственно для коэффициентов армирования  $\mu = 0,015$  и  $\mu = 0,02$ . Это говорит об опасности появления продольных трещин в сжатой зоне бетона при длительном действии эксплуатационных нагрузок.

Применение прямоугольных блоков напряжений, приведенных на рисунках 3 и 4 при эксплуатационных нагрузках может вызвать эффект неоправданного благополучия у расчетчиков.

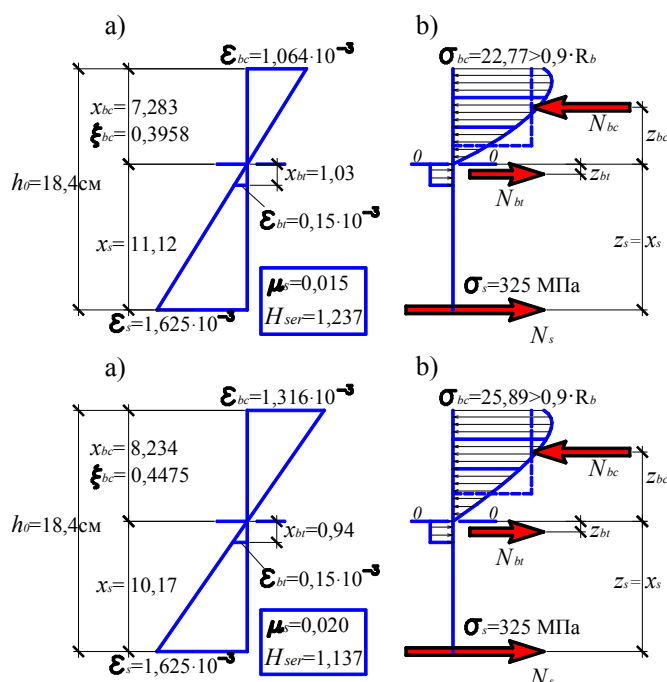


Рисунок 3 – Диаграммы деформаций и напряжений в сечении плоского безбалочного перекрытия вблизи опоры при коэффициенте армирования  $\mu = 0,015$  и  $0,020$ , средней призмной прочности бетона  $R_b = 30$  МПа и  $h_0 = 18,4$  см

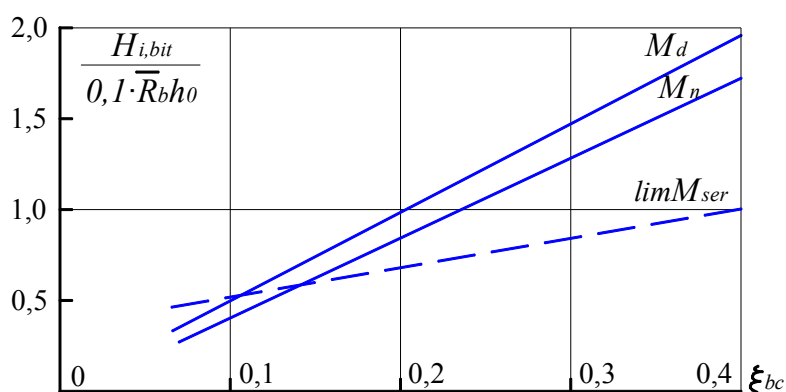


Рисунок 4 – Превышение относительных величин нормативного момента ( $M_n$ ) и расчетного момента ( $M_d$ ) над моментом  $lim M_{serv}$ , соответствующим появлению первых продольных трещин в сжатой зоне, в зависимости от относительной высоты сжатой зоны  $\xi_{bc}$

Ради справедливости следует отметить, что прямоугольная эпюра напряжений экспериментально оправдана при предельных нагрузках, когда напряжение в арматуре достигает предела текучести и переходит к величине временного сопротивления.

Выше уже указывалось на применимость предлагаемой методики живучести для изгибаемых элементов со средним или высоким процентом армирования. Из рисунка 4 видно, что начиная с процента армирования 0,5%, следует проверить резерв живучести в сжатой зоне. Это соответствует  $\sigma_{bc} \leq 0,9 \times R_b$  или  $\lim H_{ser} \leq 1,42$  для бетона класса В30.

Автор не претендует на абсолютную точность расчетов в предложенной энтропийной методике. Для описания эпюры напряженного состояния использована наиболее простая квадратичная зависимость *fib*, 1970. Между тем, только в источниках [7, 8, 9] приводится более 50 вариантов описания эпюры напряжений. Возможны кубические и другие виды зависимостей. Однако все они при эксплуатационных нагрузках дают мало отличимые результаты. Для выбора более точной, но сложной зависимости рекомендуется применить принцип информационной энтропии, но с положительным знаком (положительная скорость деградации). Более четко эта рекомендация сформулирована в теореме об оптимальном виде эпюр напряжений в сжатой и растянутой зонах в изгибаемом элементе (железобетонной конструкции), выполненной из твердого, пористого, неоднородного тела типа бетон, гранит и т.п.

**Теорема.** Из всех многочисленных приемлемых видов эпюр напряжений (квадратная, кубическая и т.д.) для сжатой и растянутой зон в изгибаемом элементе (железобетонной конструкции), выполненном из твердого, пористого, неоднородного тела типа бетон, гранит и т.п. существует такой вид, который дает максимальную положительную энтропию (скорость) при многоступенчатой деградации (иерархической системе трещин) в материале под нагрузкой при соблюдении адиабатного процесса и условий равновесия  $\Sigma X = 0$ ,  $\Sigma M = 0$ .

**Доказательство.** Допустим, что выбранные наугад эпюры напряжений под нагрузкой дают разные положительные величины энтропии (скорости деградации), одна из которых отличается от других максимальной энтропией. Тогда можно предположить, что некоторые другие эпюры дают меньшие скорости, приближающиеся к нулю и можно прийти к выводу, что внутренняя накопленная энергия в изгибаемом элементе (конструкции) при адиабатном процессе не была бы расходована, что противоречит второму началу термодинамики и что приближало бы процесс к появлению запрещенного вечного двигателя первого рода. Предлагаемая теорема, по-видимому, предшествует общепринятому принципу минимума потенциальной энергии при работе под эксплуатационной нагрузкой или испытании.

### Выводы

1. Изгибаемые элементы железобетонных конструкций с коэффициентом армирования  $\mu_s$  более 0,005 требуют проверки на сопротивление продольным трещинам в сжатой зоне бетона согласно экспериментальной формуле резерва живучести  $H_{ser}$ .
2. Выбор более оптимальной формулы для описания формы эпюры напряжений в сжатой зоне изгибаемого элемента рекомендуется производить по энтропийной методике, т.е. с учетом максимальной положительной скорости деградации при соблюдении условий равновесия  $\Sigma X = 0$  и  $\Sigma M = 0$ .
3. Выбор оптимального типа эпюры напряжений для сжатой зоны изгибаемого элемента регламентируется предлагаемой теоремой о соблюдении максимальной положительной энтропии (максимальная скорость деградации).
4. Расчет на предел живучести  $\lim H_{ser}$  для бетона сжатой зоны изгибаемого элемента претендует на отдельную стадию в нормативной методике расчетных предельных состояний – расчет на продольную трещиностойкость.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скоробогатов, С.М. Энтропийный метод как мера достоверности в исследованиях железобетонных конструкций [Текст] / С.М. Скоробогатов // Академия. Архитектура и строительство – 2014. – №4. – С. 104-110.

2. Скоробогатов, С.М. Иерархия в трещинообразовании в твердых неоднородных телах типа бетон, гранит [Текст] / С.М. Скоробогатов // Вестник отделения строительных наук / Выпуск 18. – М.: РААСН, 2014. – С. 82-88.
3. Бондаренко, В.М. Физические основы прочности бетона [Текст] / В.М. Бондаренко, В.П. Селяев, П.В. Селяев // Бетон и железобетон. – 2014. – №4. – С. 2-5.
4. Сигорский, В.П. Математический аппарат инженера [Текст] / В.П. Сигорский. – Киев: Техника, 1977. – 766 с.
5. Карабанов, Б.В. Приближенная оценка прогибов железобетонных перекрытий с использованием ПК ЛИРА [Текст] / Б.В. Карабанов // Бетон и железобетон. – 2010 – №2. – С. 12-13.
6. Скоробогатов, С.М. Поверочные расчеты безбалочных бескапитальных монолитных железобетонных перекрытий по второй группе предельных состояний (прогибы, трещины) [Текст] / С.М. Скоробогатов. – Екатеринбург, УрГУПС, 2012. – 91 с.
7. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона [Текст] / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 413 с.
8. Промышленность сборного железобетона. Развитие теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев, Д.А. Федоров. – М.: ВНИИ ЭСМ, 1970. – 45 с.

**С.М. Скоробогатов**

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: SSkorobogatov@usurt.ru

S. SKOROBOGATOV

**ENTROPIC METHOD OF INVESTIGATION OF BENDING  
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES.  
THEOREM OF OPTIMAL KINDS OF STRESS BLOCKS**

*In earlier papers of the author it is known that the physical process of development of the hierarchical crack system can be described and even predicted by information entropy with C.E. Shannon's formula  $H_i$ . This paper is devoted to static and kinematic equations under «a plane section» for determination of stress-strain state. Experimental received formula of a reserve of serviceability  $H_{ser}$  gives results coinciding with the curve  $H_i$ . The aim of work is to create a techniques for determination of reliability of experiments and for prediction and control of a new stage of serviceability and other stages exploitative stage up to destruction.*

**Keywords:** *ierarchical system of development of cracks, information entropy, C.E. Shannon's formula, static and kinematic equation formula of reserve of serviceability, reliability of results.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Skorobogatov, S.M. Jentropijnyj metod kak mera dostovernosti v issledovanijah zhelezobetonnyh konstrukcij [Текст] / S.M. Skorobogatov // Академичка. Архитектура и строител'ство – 2014. – №4. – С. 104-110.
2. Skorobogatov, S.M. Ierarhija v treshhinoobrazovanii v tverdih neodnorodnyh telah tipa beton, granit [Текст] / S.M. Skorobogatov // Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk / Vypusk 18. – М.: RAASN, 2014. – С. 82-88.
3. Bondarenko, V.M. Fizicheskie osnovy prochnosti betona [Текст] / V.M. Bondarenko, V.P. Seljaev, P.V. Seljaev // Beton i zhelezobeton. – 2014. – №4. – С. 2-5.
4. Sigorskij, V.P. Matematicheskij apparat inzhenera [Текст] / V.P. Sigorskij. – Kiev: Tehnika, 1977. – 766 s.
5. Karabanov, B.V. Priblizhennaja ocenka progibov zhelezobetonnyh perekrytij s ispol'zovaniem PK LIRA [Текст] / B.V. Karabanov // Beton i zhelezobeton. – 2010 – №2. – С. 12-13.
6. Skorobogatov, S.M. Poverochnye raschety bezbalochnyh beskapitel'nyh monolitnyh zhelezobetonnyh perekrytij po vtoroj gruppe predel'nyh sostojanij (progiby, treshhiny) [Текст] / S.M. Skorobogatov. – Ekaterinburg, Ur-GUPS, 2012. – 91 s.
7. Karpenko, N.I. Obshhie modeli mehaniki zhelezobetona [Текст] / N.I. Karpenko. – М.: Strojizdat, 1996. – 413 s.
8. Promyshlennost' sbornogo zhelezobetona. Razvitie teorii soprotivlenija zhelezobetona [Текст] / V.M. Mitasov, V.V. Adishhev, D.A. Fedorov. – М.: VNII JeSM, 1970. – 45 s.

**S. Skorobogatov**

Ural state university of railway transport, Ekaterinburg  
Doctor of technical sciences, professor  
E-mail: SSkorobogatov@usurt.ru



СПАССКАЯ М.В., ТРЕЩЕВ А.А.

## ИЗГИБ КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА

*В статье рассматривается тонкостенная круговая цилиндрическая оболочка, воспринимающая равномерно распределенную нагрузку, приложенную перпендикулярно к внутренней поверхности. Оболочка выполнена из анизотропного материала, обладающего свойством разносопротивляемости. Приведена система разрешающих уравнений поставленной задачи в смешанном виде, дополненная граничными условиями. Показаны некоторые наиболее характерные результаты исследования напряженно-деформированного состояния оболочки и выполнено сравнение результатов расчетов по предлагаемой модели с решением по классической теории с постоянными механическими характеристиками.*

**Ключевые слова:** изгиб, разносопротивляемость, анизотропия, цилиндрическая оболочка, разрешающие уравнения.

Использование классических теорий механики деформируемого твердого тела не позволяет обеспечить должную безопасность конструкций, поскольку у большинства новых материалов проявляется зависимость механических свойств от вида напряженно-деформированного состояния в точке. Подобная зависимость обнаружена не только у новых материалов, каковыми являются различные композитные составы, полимеры, графиты, стеклопластики, но и у традиционных конструкционных материалов типа чугуна, бетонов и керамики. Такие материалы принято называть разносопротивляющимися. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов является новой актуальной областью механики деформируемого твердого тела. Учет эффекта разносопротивляемости материала вносит значительные поправки в напряженно-деформированное состояние оболочек. При этом в настоящее время в химической промышленности, строительстве, машино- и авиастроительных отраслях все больше применяются особо ответственные конструкции. Именно поэтому необходимы надежные теории расчета, согласованные с экспериментальными данными. Цель работы – с использованием определяющих соотношений А.А. Трещева [1] получить систему разрешающих уравнений для расчета круговых цилиндрических оболочек из анизотропных разносопротивляющихся материалов, решить тестовую задачу и провести анализ полученных результатов.

Рассматривается круговая цилиндрическая оболочка из ортотропного разносопротивляющегося материала [2]. Главные оси ортотропии совпадают с осями главных напряжений. Геометрические характеристики оболочки: высота  $L$ , толщина  $h$ , радиус срединной поверхности оболочки  $R$ . Один торец цилиндрической оболочки при  $\beta_1 = 0$  полностью закреплен, а другой торец при  $\beta_1 = L$  свободен от закреплений и механической нагрузки. На оболочку действует равномерно распределенная нагрузка  $q_3$  на внутреннюю поверхность оболочки. Положение любой точки оболочки определяется в гауссовой системе координат  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ . Местоположение любой точки на срединной поверхности цилиндрической оболочки определяется гауссовыми координатами  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

Будем рассматривать оболочку в рамках теории пологих оболочек, в которой используются следующие зависимости:

а) компоненты деформации в срединной поверхности (удлинения и сдвиги):

$$\varepsilon_1 = u_{,1} + 0.5\theta_1^2; \quad \varepsilon_2 = v_{,1} + kw + 0.5\theta_2^2; \quad \gamma = v_{,1} + u_{,2} + \theta_1\theta_2, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – удлинения;  $\gamma$  – сдвиг;  $u, v, w$  – осевые, касательные и радиальные перемещения;  $k = 1/R$  – главная кривизна;  $\theta_1, \theta_2$  – повороты нормали к срединной поверхности:

$$\theta_1 = -w_{,1}; \theta_2 = -w_{,2} + kv; \quad (2)$$

б) компоненты изгибной деформации (изменения кривизн и кручение):

$$\chi_1 = -w_{,11}; \chi_2 = -w_{,22}; \tau = -w_{,12}, \quad (3)$$

где  $\chi_1, \chi_2$  – кривизны;  $\tau$  – кручение;

в) компоненты деформации точки оболочки, отстоящей на расстоянии  $\beta_3$  от срединной поверхности, выраженные через компоненты тангенциальных и изгибных деформаций:

$$e_{11} = \varepsilon_1 + \beta_3 \chi_1; e_{22} = \varepsilon_2 + \beta_3 \chi_2; \gamma_{12} = \gamma + 2\beta_3 \tau. \quad (4)$$

Выражения (1)-(4) являются кинематическими соотношениями. Они справедливы для теории пологих оболочек в квадратичном приближении при малых упругих деформациях.

Примем оболочку достаточно тонкой, при этом будут использоваться традиционные для данного класса задач технические гипотезы Кирхгофа-Лява:

1) нормаль к срединной поверхности после деформации остается перпендикулярной к этой поверхности в деформированном состоянии;

2) при определении параметров напряженного состояния влиянием нормальных напряжений  $\sigma_3$  можно пренебречь.

В качестве физических зависимостей будем использовать соотношения, предложенные в работе А.А. Трещева [1]. Для конкретизации структурной анизотропии материала оболочки принято ортотропное тело. С учётом принятых гипотез и при совпадении осей цилиндрической системы координат с главными осями анизотропии физические зависимости запишем в виде:

$$\begin{aligned} e_{11} &= (A_{1111} + B_{1111}\alpha_{11})\sigma_{11} + [A_{1122} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})]\sigma_{22}; \\ e_{22} &= [A_{1122} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})]\sigma_{11} + (A_{2222} + B_{2222}\alpha_{22})\sigma_{22}; \\ e_{12} &= (A_{1212} + B_{1212}\sqrt{2}\alpha_{12})\tau_{12}. \end{aligned} \quad (5)$$

где  $A_{kkkk}, B_{kkkk}, A_{ijij}, B_{ijij}, A_{ijij}, B_{ijij}$  – константы, зависящие от модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации материала;  $\alpha_{ij} = \sigma_{ij}/S$  – нормированные напряжения;  $S = \sqrt{\sigma_{ij}\sigma_{ij}}$  – модуль вектора полных напряжений.

Вычисление констант определяющих соотношений для материалов, обладающих анизотропией, рекомендовано выполнять по результатам простейших экспериментов на одноосное растяжение и одноосное сжатие вдоль главных осей анизотропии, из экспериментов на сдвиг в главных плоскостях или из экспериментов по одноосному растяжению и одноосному сжатию в направлениях, ориентированных под углом  $45^\circ$  к главным осям анизотропии [1]. При этом константы для ортотропного тела вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} A_{kkkk} &= (1/E_k^+ + 1/E_k^-)/2; & B_{kkkk} &= (1/E_k^+ - 1/E_k^-)/2; \\ A_{ijij} &= -(v_{ij}^+/E_j^+ + v_{ij}^-/E_j^-)/2; & B_{ijij} &= -(v_{ij}^+/E_j^+ - v_{ij}^-/E_j^-)/2; \\ A_{ijij} &= (1/E_{ij}^+ + 1/E_{ij}^-) - 0.25 \left[ \begin{aligned} &(1/E_i^+ + 1/E_j^+ + 1/E_i^- + 1/E_j^-) - \\ &-2(v_{ji}^+/E_i^+ + v_{ji}^-/E_i^-) \end{aligned} \right]; \\ B_{ijij} &= \sqrt{2}(1/E_{ij}^+ - 1/E_{ij}^-) - 0.125 \cdot \sqrt{2} \cdot \left[ \begin{aligned} &(1/E_i^+ + 1/E_j^+ - 1/E_i^- - 1/E_j^-) - \\ &-4(v_{ji}^+/E_i^+ - v_{ji}^-/E_i^-) \end{aligned} \right]; \end{aligned}$$

где  $v_{ij}^+/E_j^+ = v_{ji}^+/E_i^+$ ;  $v_{ij}^-/E_j^- = v_{ji}^-/E_i^-$ ;  $E_k^\pm, E_i^\pm, E_j^\pm$  – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях соответствующих главным осям анизотропии;  $v_{ij}^\pm, v_{ji}^\pm$  – коэффициен-

ты поперечной деформаций при растяжении и сжатии в направлениях соответствующих главным осям анизотропии;  $E_{ij}^{\pm}$  – модули упругости при растяжении и сжатии в направлениях под углом  $45^{\circ}$  к соответствующим главным осям анизотропии.

Преобразовав физические зависимости (5) по типу уравнений, используемых в форме метода упругих решений А.А. Ильюшина [3] и выразив напряжения через деформации, получим:

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= C_{11}e_{11} + C_{12}e_{12} - R_{11}; \\ \sigma_{22} &= C_{12}e_{11} + C_{22}e_{12} - R_{22}; \\ \tau_{12} &= C_{66}e_{12} - R_{12},\end{aligned}\tag{6}$$

где  $C_{11} = A_{2222}/\Delta$ ;  $C_{12} = -A_{1122}/\Delta$ ;  $C_{22} = A_{1111}/\Delta$ ;  $C_{66} = 1/A_{1122}$ ;

$$R_{11} = (A_{2222}T_{11} - A_{1111}T_{22})/\Delta; \quad R_{22} = (A_{1111}T_{22} - A_{1122}T_{11})/\Delta;$$

$$R_{12} = T_{12}/A_{1122}; \quad T_{11} = B_{1111}\alpha_{11}\sigma_{11} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})\sigma_{22}; \quad T_{12} = B_{1122}\sqrt{2}\alpha_{12}\tau_{12};$$

$$T_{22} = B_{2222}\alpha_{22}\sigma_{22} + B_{1122}(\alpha_{11} + \alpha_{22})\sigma_{11}; \quad \Delta = A_{1111}A_{2222} - A_{1122}^2.$$

Принимая за основу те или иные определяющие соотношения, мы не вносим изменений в соотношения статико-геометрической природы. Поэтому остаются справедливыми положения и зависимости геометрически нелинейной теории анизотропных оболочек. Внутренние усилия и моменты приводятся к срединной поверхности  $\beta_3 = 0$ , и при условии  $\beta_3 k \ll 1$  уравнения равновесия для пологих оболочек принимают вид:

$$\begin{aligned}N_{1,1} + S_{,2} + q_1 &= 0; \quad N_{2,2} + S_{,1} + k(Q_2 + H_{,1}) + q_2 = 0; \\ M_{1,1} + H_{,2} - Q_1 - N_1\theta_1 - S\theta_2 &= 0; \quad M_{2,2} + H_{,1} - Q_2 - N_2\theta_2 - S\theta_1 = 0; \\ Q_{1,1} + Q_{2,2} + kN_2 + q_3 &= 0,\end{aligned}\tag{7}$$

где  $N_k$ ,  $S$  – усилия в срединной поверхности оболочки;  $Q_k$  – поперечные силы;  $M_k$ ,  $H$  – изгибающие и крутящий моменты;  $q_m$  – интенсивности внешней нагрузки по соответствующим направлениям.

Поскольку переход от напряжений к усилиям и моментам не зависит от физической природы материала, эти характеристики определим обычным способом:

$$\begin{aligned}N_k &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{kk} d\beta_3; \quad M_k = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{kk} \beta_3 d\beta_3; \\ Q_k &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{k3} d\beta_3; \quad H = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{12} \beta_3 d\beta_3.\end{aligned}\tag{8}$$

Уравнения совместности деформаций принимается в виде:

$$k\chi_1 + \chi_1\chi_2 - \tau^2 - \gamma_{,12} + \varepsilon_{1,22} + \varepsilon_{2,11} = 0.\tag{9}$$

В задаче оболочка воспринимает нагрузку в виде внутреннего давления  $q_3$ . С учётом симметрии рассматриваемой задачи все параметры напряженно-деформированного состояния будут зависеть только от координаты  $\beta_1$ . Поэтому кинематические (1)-(4), статические (7) зависимости, а также уравнение неразрывности (9) принимают вид:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= u_{,1} + 0,5\theta_1^2; \quad \varepsilon_2 = kw; \quad \chi_1 = -w_{,11}; \\ e_{11} &= \varepsilon_1 + \beta_3\chi_1; \quad e_{22} = \varepsilon_2; \\ N_{1,1} &= 0; \quad M_{1,1} - Q_1 - N_1\theta_1 = 0; \quad Q_{1,1} - kN_2 + q_3 = 0; \\ k\chi_1 + \varepsilon_{2,11} &= 0.\end{aligned}\tag{10}$$

Проинтегрируем соотношения для напряжений (6) по толщине оболочки в соответствии с правилами (8) и подставим получившиеся соотношения для поперечной силы в уравнение равновесия (10). Кроме того, используя уравнение неразрывности деформаций, оконча-

тельно получаем систему двух дифференциальных уравнений в смешанном виде относительно неизвестных угла поворота и продольной силы в тангенциальном направлении:

$$\begin{cases} \theta_{1,1} + RL_{22}N_{2,11} = -R\eta_{2,11}; \\ \theta_{1,11} - \frac{1}{RP_{11}}N_2 = -\frac{1}{P_{11}}q_3 + \frac{1}{P_{11}}J_{11,1} \end{cases}, \quad (11)$$

где  $L_{22} = \frac{C_{11}}{(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)h}$ ;  $P_{11} = C_{11}h^3/12$ ;

$$\eta_2 = -\frac{C_{12}}{(C_{11}C_{22} - C_{12}^2) \cdot h} I_{11} + L_{22}I_{22}; \quad I_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} R_{ij} d\beta_3; \quad J_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} R_{ij} \beta_3 d\beta_3;$$

Граничные условия жесткого закрепления при  $\beta_1 = 0$ :  $\theta_1 = 0$ ;  $\varepsilon_1 = 0$ ;  
 $\varepsilon_2 = 0 \Rightarrow N_2 = -\frac{1}{L}\eta_2$ .

Так как задача является нелинейной, было принято линеаризовать полученные разрешающие дифференциальные уравнения (11), следуя методике последовательных нагружений В.В. Петрова [4]. Полученные линеаризованные разрешающие дифференциальные уравнения достаточно сложны, поэтому для их решения следует прибегать к численным методам, из которых в данном случае наиболее просто реализуется метод конечных разностей с привлечением двухшагового метода последовательного возмущения параметров [5]. Разрешающие уравнения в форме метода конечных разностей здесь не приводятся ввиду их чрезмерной громоздкости.

Исследуем напряженно-деформированное состояние оболочки, исходная схема которой показана на рисунке 1. Для решения тестовой задачи воспользуемся следующими исходными данными: толщина оболочки  $h = 0,05$  м; радиус срединной поверхности оболочки  $R = 0,5$  м; длина  $L = 3,0$  м; нагрузка на оболочку равномерно распределенная, приложенная перпендикулярно к внутренней поверхности оболочки,  $q = 8$  МПа. Материал оболочки – трехармированный тканый полимер ПЗ2-57 [6] с механическими характеристиками, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Механические характеристики материала ПЗ2-57

$E_1^+$	$E_1^-$	$E_2^+$	$E_2^-$	$\nu_{12}^+$	$\nu_{12}^-$
12,75 ГПа	14,03 ГПа	16,425 ГПа	20,6 ГПа	0,176	0,194

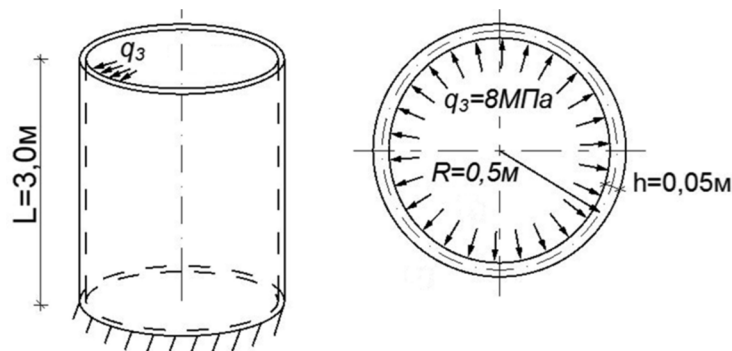


Рисунок 1 – Схема исходной задачи

Сравнение результатов расчета по предложенной модели проводилось с результатами расчета, полученными по классической теории анизотропных материалов, на основе программного комплекса ANSYS.

На рисунках 2-4 приведены некоторые наиболее характерные результаты расчета напряженно-деформированного состояния оболочки, описанной выше. Сплошной линией построены графики, полученные по модели А.А. Трещева [1] в программе MATLAB, пунктирной – полученные для ортотропного неанзотропного материала в программном комплексе ANSYS.

Как видно из рисунка 2, расхождение в значениях максимальных прогибов с учетом и без учета разнородности составляет 9,6%.

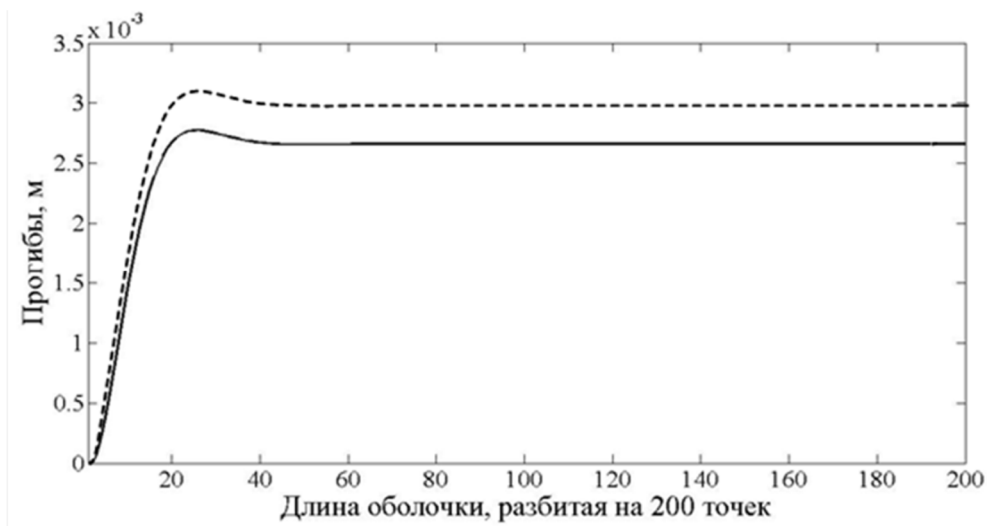


Рисунок 2 – Прогибы оболочки, м

Как видно из рисунка 3, для осевых напряжений значения, полученные без учета разнородности, в заделке превышают результаты по модели с учетом разнородности на 13,2%. Для максимальных растягивающих осевых напряжений значение с учетом разнородности превосходит результат без ее учета на 36,8%.

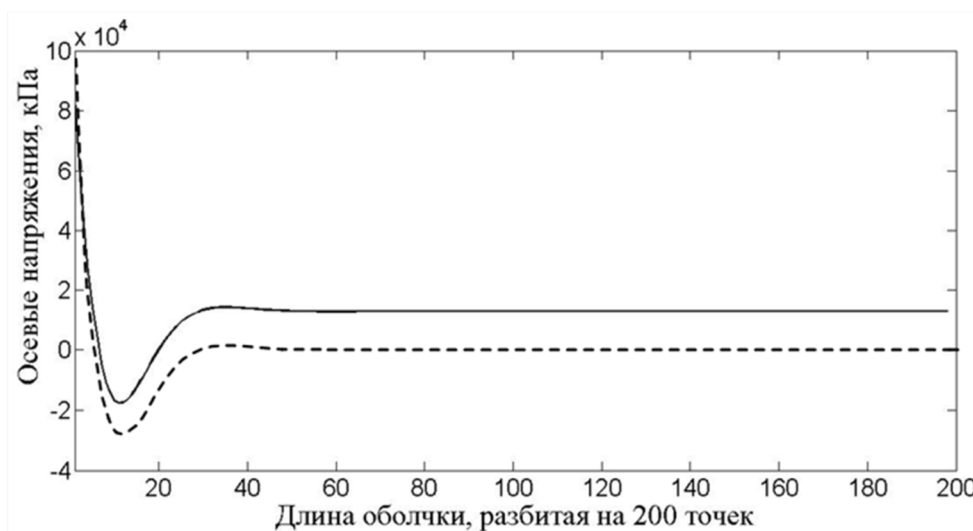


Рисунок 3 – Осевые напряжения, кПа

Как видно из рисунка 4, для окружных напряжений в заделке значения с учетом разнородности меньше на 24%, чем без ее учета. Однако для максимальных значений растягивающих окружных напряжений данные с учетом разнородности превосходят результаты без ее учета на 13,5%, кроме того, на расстоянии  $0,3L-L$  эти напряжения с учетом разнородности материала выше на 12,7%.

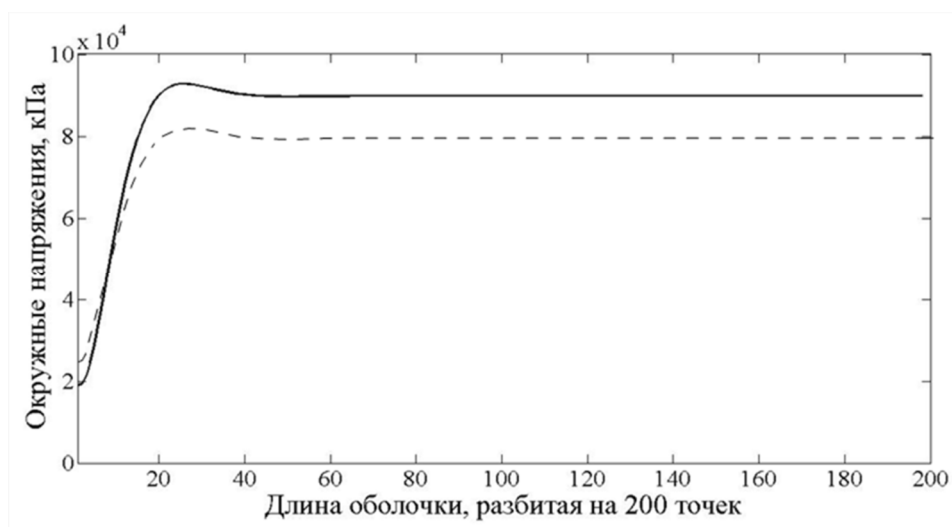


Рисунок 4 – Окружные напряжения, кПа

Проанализировав результаты, полученные на рисунках 2\*4, можно сделать вывод, что учет влияния разнсопротивляемости при расчете цилиндрических оболочек значительно влияет на точность расчета параметров напряженно-деформированного состояния. Таким образом, учет зависимости деформационных, прочностных характеристик от вида напряженного состояния необходим для получения достоверных результатов расчета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения [Текст]: монография. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2008. – 264 с.
2. Спасская, М.В. Подход к решению термоупругой задачи для круговой цилиндрической оболочки из анизотропных разнсопротивляющихся материалов [Текст] / М.В. Спасская // Вестник магистратуры. – №7. – 2013. – С. 63-65.
3. Ильюшин, А.А. Пластичность [Текст] / А.А. Ильюшин. – М.: АН СССР, 1963. – 271 с.
4. Петров, В.В. Методы расчета конструкций из нелинейно деформируемого материала [Текст]: учеб. пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошеин. – М.: АСВ, 2009. – 208 с.
5. Варвак, П.М. Метод сеток в задачах расчёта строительных конструкций [Текст] / П.М. Варвак, Л.П. Варвак. – М.: Стройиздат, 1977. – 160 с.
6. Розе, А.В. Трехармированные тканые материалы [Текст] / А.В. Розе, И.Г. Жигулин, М.Н. Душин // Механика полимеров. – 1970. – №3. – С. 471-476.

#### М.В. Спасская

Тульский государственный университет, г. Тула  
Аспирантка кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции»  
E-mail: ma71ruska@mail.ru

#### А.А. Трещев

Тульский государственный университет, г. Тула  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции»  
E-mail: taa58@yandex.ru

M. SPASSKAYA, A. TRESCHEV

### BENDING OF THE CIRCULAR CYLINDRICAL SHELL MADE OF ANISOTROPIC DIFFERENT RESISTANT MATERIAL

*The article is about a thin-walled circular cylindrical shell, is perceived uniformly distributed load applied perpendicular to the inner surface. The shell is made of an anisotropic material having the property different resistance. Shows the system of resolving equations of the task in a mixed form, supplemented by boundary conditions. Shows some of the most typical results of a study of stress-strain state of the shell and performed to compare the results of calculations on the proposed model with the decision of the classical theory with constant mechanical properties.*

**Keywords:** bending, different resistance, anisotropy, cylindrical shell, resolving equations.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Treshhev, A.A. Teorija deformirovanija i prochnosti materialov, chuvstvitel'nyh k vidu naprjazhennogo sostojanija. Opredejajushhie sootnoshenija [Tekst]: monografija. – M.; Tula: RAASN; TulGU, 2008. – 264 s.
2. Spasskaja, M.V. Podhod k resheniju termouprugoj zadachi dlja krugovoj cilindricheskoj obolochki iz anizotropnyh raznosoprotivljajushhihsja materialov [Tekst] / M.V. Spasskaja // Vestnik magistratury. – №7. – 2013. – S. 63-65.
3. Il'jushin, A.A. Plastichnost' [Tekst] / A.A. Il'jushin. – M.: AN SSSR, 1963. – 271 s.
4. Petrov, V.V. Metody rascheta konstrukcij iz nelinejno deformiruемого материала [Tekst]: ucheb. posobie / V.V. Petrov, I.V. Krivoshein. – M.: ASV, 2009. – 208 s.
5. Varvak, P.M. Metod setok v zadachah raschjota stroitel'nyh konstrukcij [Tekst] / P.M. Varvak, L.P. Varvak. – M.: Strojizdat, 1977. – 160 s.
6. Roze, A.V. Treharmirovannye tkanye materialy [Tekst] / A.V. Roze, I.G. Zhigulin, M.N. Dushin // Mehanika polimerov. – 1970. – №3. – S. 471-476.

### **M. Spasskaya**

Tula state university, Tula  
Postgraduate student  
E-mail: ma71ruska@mail.ru

### **A. Treshev**

Tula state university, Tula  
Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Construction, construction materials and coning»  
E-mail: taa58@yandex.ru

ТУРКОВ А.В., МАРФИН К.В.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВНЫХ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН НА ДИНАМИЧЕСКИЕ И СТАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

*Рассматривается экспериментальное исследование круглой двухслойной пластины на податливых связях шарнирно опертой и защемленной по контуру. В ходе эксперимента проводятся статические и динамические испытания, в результате которых, находятся максимальный прогиб и частота собственных колебаний соответственно. Произведено сопоставление теоретических и экспериментальных данных.*

**Ключевые слова:** составная пластина, статические испытания пластины, динамические испытания пластины, кратковременный модуль упругости, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

Статические и динамические испытания составной двухслойной пластины проводились на специальном стенде, изготовленном в лаборатории (рис. 1, а). Стенд представляет собой нижний (неподвижный) и верхний (съемный) контуры круглой формы в плане, между которых устанавливается исследуемая пластина круглого очертания. В полках уголка обоих контуров просверлено равномерно 16 отверстий под болт М8 для моделирования жесткого/шарнирного опирания (рис. 1, б). Несъемный контур установлен на стойки, выполненные из равнополочного уголка 4×40. Пространственную жесткость обеспечивают подкосы, выполненные из равнополочного уголка 3×25 мм (рис. 1, в).

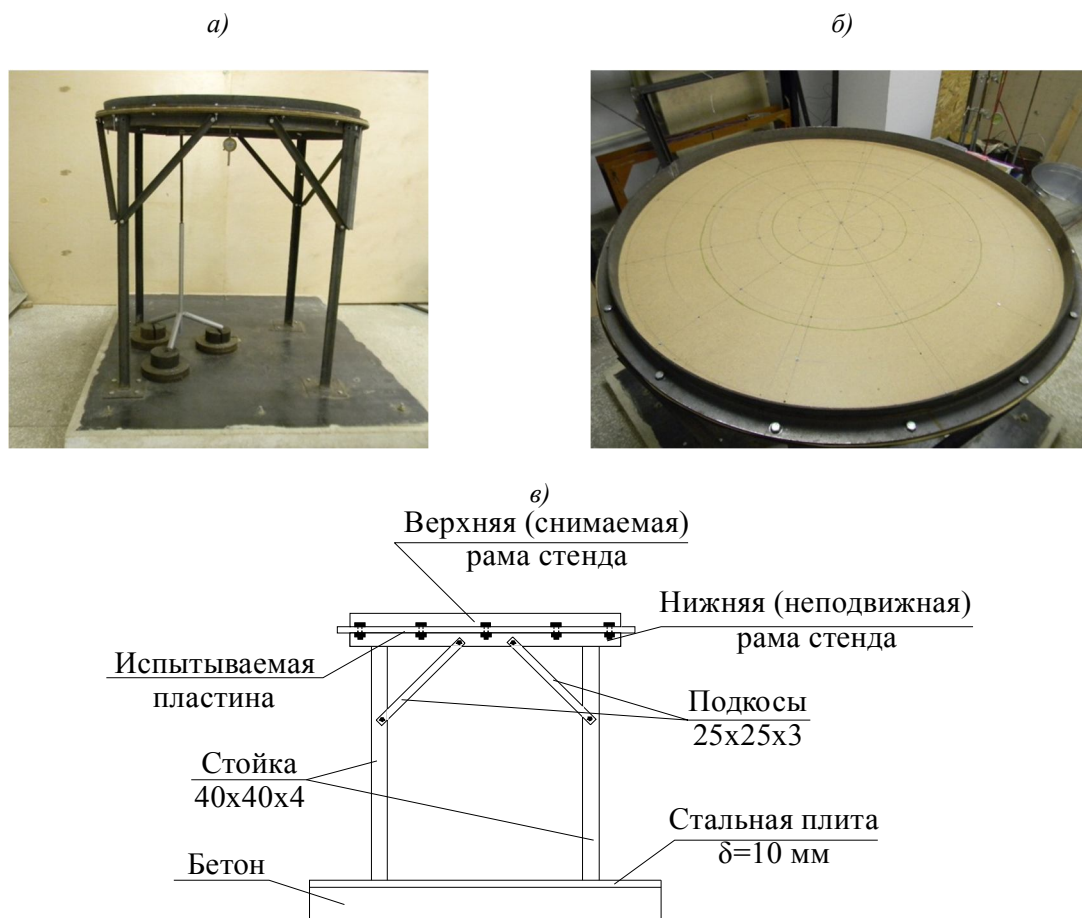


Рисунок 1 – Испытательный стенд



Для проведения испытаний была выбрана древесноволокнистая плита толщиной 5,5 мм. Двухслойную пластину связывали между собой симметрично расположенными нагелями, которые представляли собой стальной болт диаметром  $\varnothing 3$  мм (Продольная жесткость  $EF=1455390$  Н), Двухслойная пластина была разбита на 60 конечных элементов. Были рассмотрены схемы с 1, 12, 30 и 54 нагеля (рис. 4).

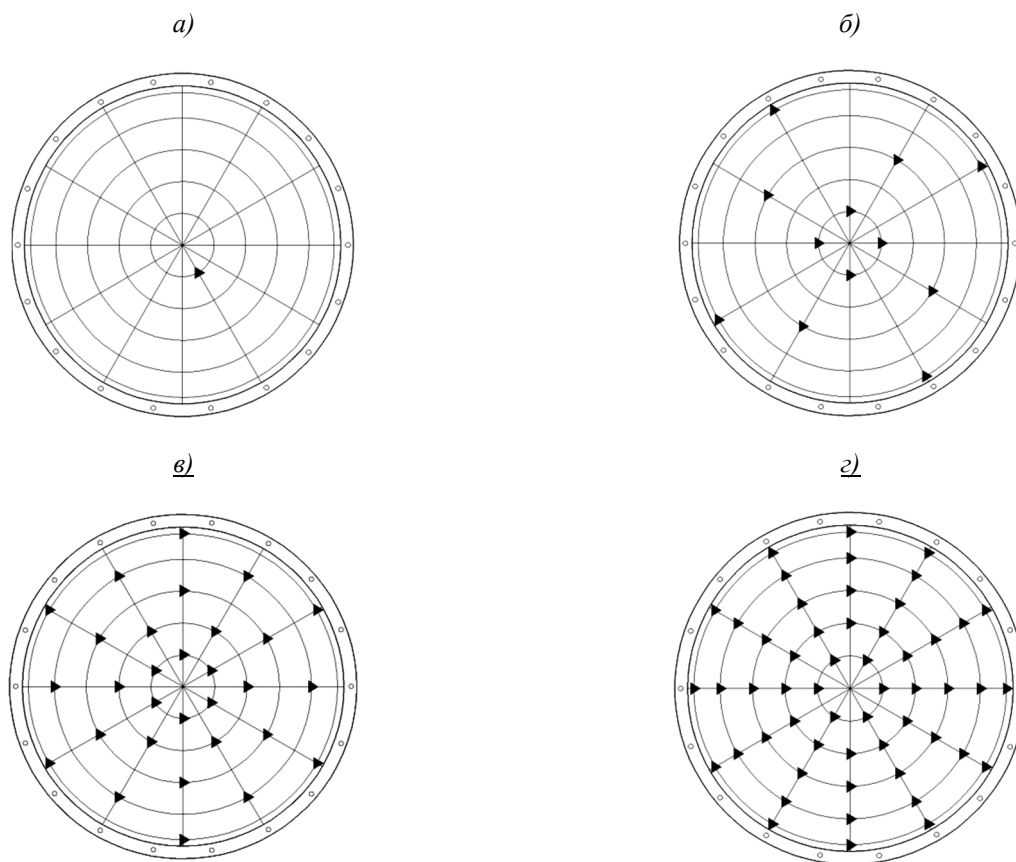


Рисунок 2 – Схема симметричной расстановки нагелей в двухслойной составной пластине (а – 1 нагель; б – 12 нагелей; в – 30 нагелей; г – 54 нагеля)

#### А) Статические испытания

Для определения прогиба двухслойная составная пластина загружалась равномерно распределенной нагрузкой (рис. 3).



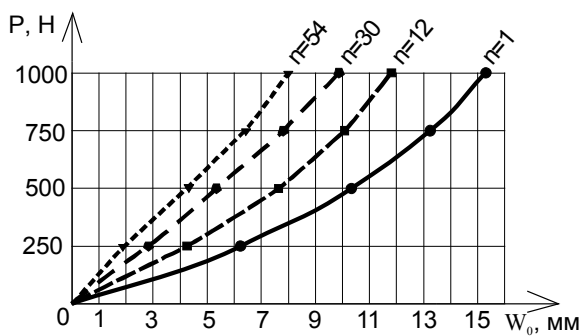
Рисунок 3 – Загрузка круглой составной пластины равномерно распределенной нагрузкой

Для моделирования распределенной нагрузки использовались запаянные полиэтиленовые пакеты с песком, вес каждого 10 Н. Загрузка производилась в четыре ступени, общий

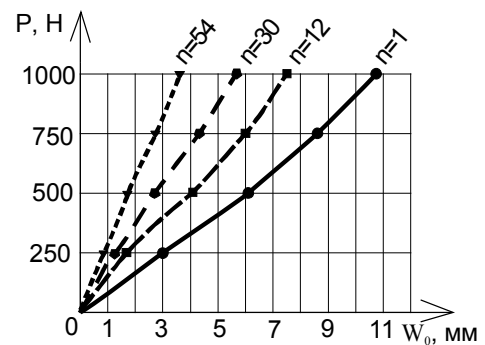
вес каждой ступени составил 20 кг. Измерение производилось в центре пластины индикатором часового типа ИЧ-25 с ценой деления 0,01 мм на штативе. Сняв показания прибора после четвертого нагружения, пластина разгружалась, и после пятнадцатиминутного перерыва нагружение осуществлялось повторно. Для каждого условия закрепления и разного количества симметрично расположенных нагелей было проведено три нагружения. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований прогиба (мм) двухслойной составной пластины на податливых связях при изменении количества симметрично расположенных связей сдвига для шарнирного опирания и жесткого защемления по контуру

Количество симметрично расположенных нагелей	Нагрузка, Н	Двухслойная пластина, шарнирно опертая по контуру				Двухслойная пластина, жестко защемленная по контуру			
		Показания ИЧ-25 при соответствующем статическом нагружении, $X_i$			Средний прогиб по трём нагружениям	Показания ИЧ-25 при соответствующем статическом нагружении, $X_i$			Средний прогиб по трём нагружениям
		1	2	3		1	2	3	
1	0	195	172	24434	-	154	159	73	-
	250	765	820	25075	6,197	451	468	362	2,98
	500	1190	1249	25493	10,437	767	762	675	6,06
	750	1525	1496	25742	13,207	1020	1029	943	8,69
	1000	1744	1709	25950	15,340	1246	1240	1138	10,79
12	0	304	45	64	-	1444	648	639	-
	250	662	498	532	4,263	1584	796	836	1,62
	500	1040	794	858	7,597	1834	1052	1074	4,1
	750	1309	1058	1077	10,103	2039	1244	1251	6,01
	1000	1504	1211	1250	11,840	2185	1390	1392	7,45
30	0	72	117	278	-	631	69	468	-
	250	356	413	567	2,897	769	198	597	1,32
	500	604	663	824	5,413	915	348	739	2,78
	750	848	893	1058	7,773	1061	490	883	4,22
	1000	1064	1098	1286	9,937	1178	612	1000	5,41
54	0	5	245	386	-	353	375	373	-
	250	225	469	551	2,030	445	465	462	0,9
	500	417	665	834	4,267	538	560	556	1,84
	750	602	854	1044	6,213	637	656	647	2,8
	1000	782	1029	1193	7,893	735	750	737	3,74



1) Шарнирно опертая по контуру пластина (n – количество нагелей, шт.)



2) Жестко защемленная по контуру пластина (n – количество нагелей, шт.)

Рисунок 4 – Графики зависимости нагрузки P от прогибов  $W_0$  для двухслойной круглой пластины

На основании экспериментальных прогибов двухслойной пластины на податливых связях, приведенных в таблице 1, был построен график зависимости нагрузки  $P$  от прогибов  $W_0$  (рис. 4).

### Б) Динамические испытания

Определения измерения основных частот колебаний использовался виброанализатора «ВИБРАН – 2.0». Способ закрепления и методы обработки данных представлены в работе [1]. Для каждого условия закрепления пластины по контуру и количества нагелей производилось не менее трех измерений. Характерные виброграммы, полученные в ходе эксперимента, представлены на рисунках 5, 6. Результаты измерения представлены в таблице 2.

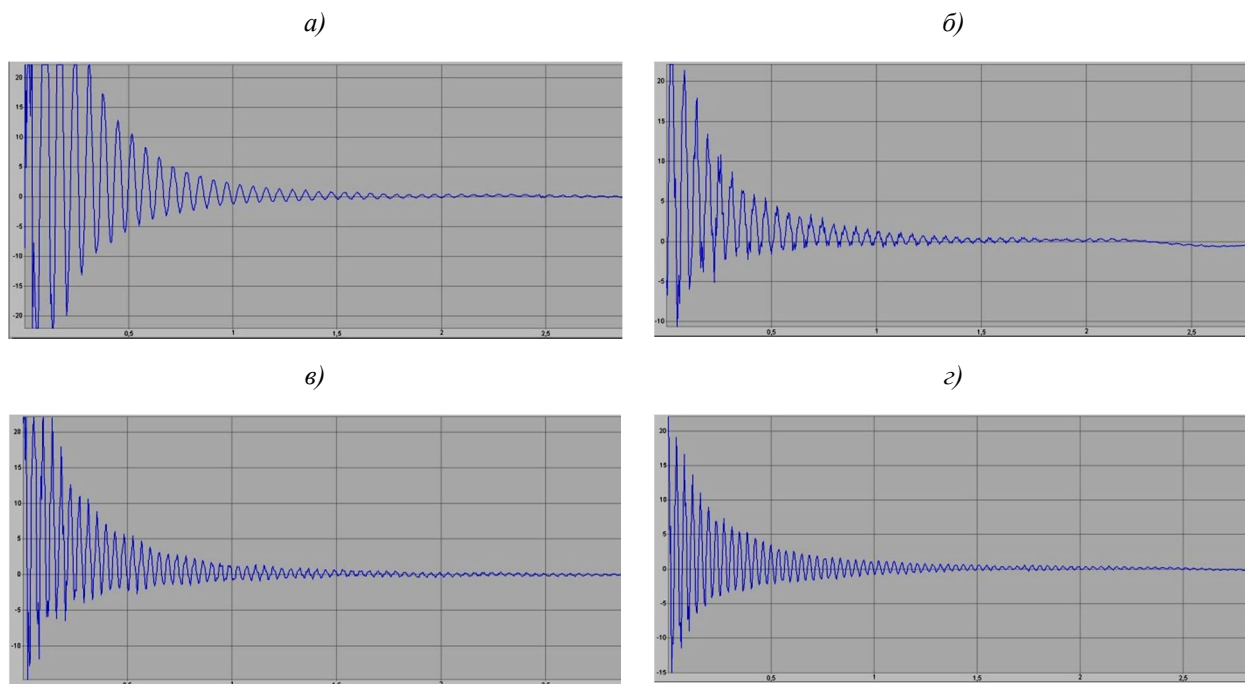


Рисунок 5 – Характерные виброграммы собственных колебаний составной пластинки шарнирно опертой по контуру (а – 1 нагель; б – 12 нагелей; в – 30 нагелей; г – 54 нагеля)

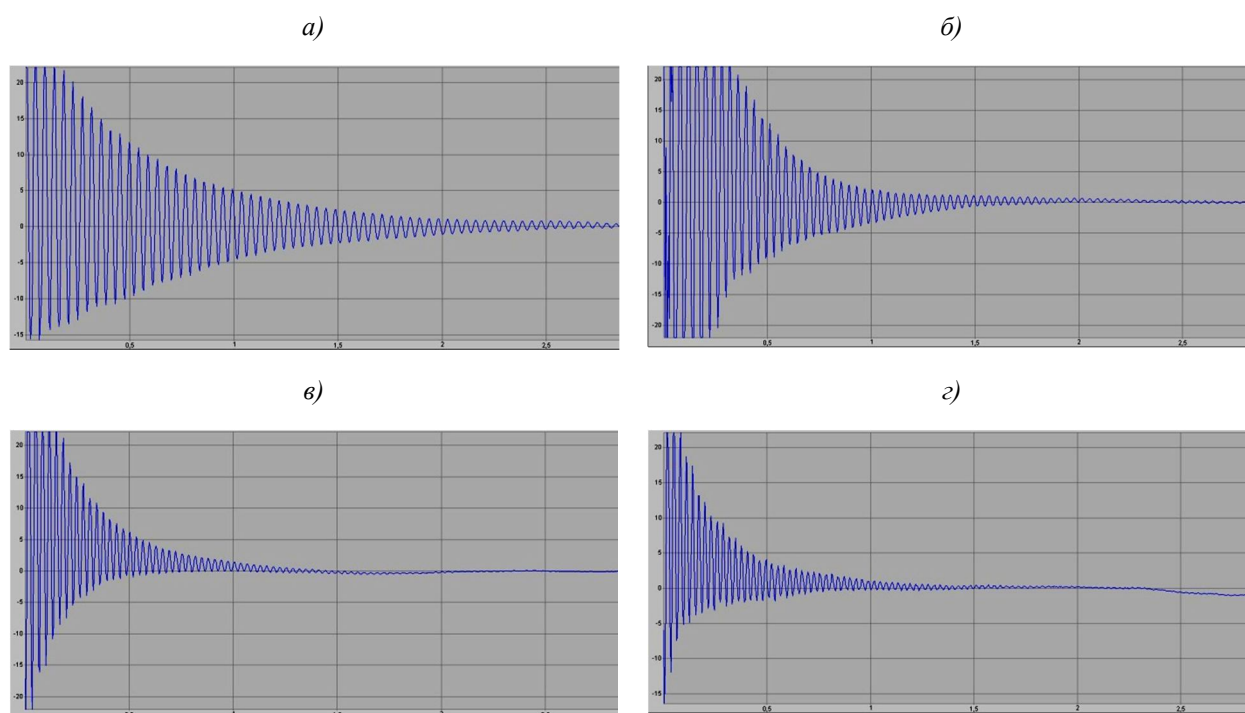


Рисунок 6 – Характерные виброграммы собственных колебаний составной пластинки жестко заземленной по контуру (а – 1 нагель; б – 12 нагелей; в – 30 нагелей; г – 54 нагеля)

Таблица 2 – Экспериментальные частоты собственных колебаний пластин (с-1) с различным количеством симметрично расположенных нагелей

Количество симметрично расположенных нагелей	Двухслойная пластина шарнирно оперта по контуру		Двухслойная пластина жестко зашце-млена по контуру	
	Частота, $f$	Круговая частота, $\omega$	Частота, $f$	Круговая частота, $\omega$
1	15,75	98,91	22,2	139,42
12	19,1	119,95	26,2	164,54
30	23,8	149,46	31	194,68
54	26,7	167,68	34,89	219,12

**В) Сопоставление экспериментальных и теоретических данных.**

Оценка степени податливости защемления пластинки по контуру описана в [2] и составляет  $U=46,9$  Н·м/рад. Сравнение экспериментальных и теоретических данных с учетом и без учета податливости пластины при её защемлении по контуру приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение экспериментальных и теоретических данных для 1 пластины жестко защемленной по контуру с учетом податливости узла заделки

	Круговая частота $\omega$ (с <sup>-1</sup> )	Максимальный прогиб $W_0$ (мм)
Экспериментальные значения	113,17	8,22
Численно МКЭ без учета податливости защемления по контуру	146,24	4,1
Численно МКЭ с учетом податливости защемления по контуру	102,12	8,23

Неучёт податливости заделки по контуру пластины приводит к превышению частоты собственных колебаний примерно на 29% по сравнению с экспериментальными частотами и снижает максимальный прогиб примерно на 50%. Далее учитываем податливость при моделировании двухслойной пластины жестко защемленной по контуру, путем введения связей конечной жесткости.

Полученные результаты экспериментальных и численных исследований представлены в таблицах 4 для шарнирного опирания и таблицах 5 для жесткого защемления. Критерием точности является коэффициент  $K$ , связывающий частоту собственных поперечных колебаний пластины  $\omega$  с распределенной массой  $m$  и максимальный прогиб  $W_0$  при действии равномерно распределенной нагрузки  $q$  в формуле В.И. Коробко (1). Этот коэффициент для круглых пластин с жестким защемленным контуром составляет  $K=1,629$ , а при шарнирно опертом контуре  $K=1,579$ .

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}, \tag{1}$$

Анализ полученных данных показывает, что экспериментальные прогибы меньше, а частоты – выше полученных численно независимо от схемы опирания и количества нагелей. Для шарнирно опертой пластины разница между экспериментальными и численными значениями прогибов составляет от 0,7% до 16,4%, а разница между частотами составляет от 2% до 13,5%. Для пластинки с податливой заделкой по контуру разница между экспериментальными и численными значениями прогибов составляет от 3,9% до 14,4%, разница между частотами составляет от 8,9% до 21,6%.

Основной причиной несоответствия экспериментальных и численных значений прогибов и частот поперечных колебаний являются, на наш взгляд, возникающие при деформировании пластины неучтенные при расчёте силы трения между слоями конструкции, что повышает фактическую изгибную жёсткость составной пластины. Для коэффициента  $K$  разница между теоретическими и экспериментальными данными несколько выше – до 33%, что указывает на необходимость учёта сил трения для получения приемлемого результата.

Таблица 4 – Результаты экспериментальных и теоретических значений максимальных прогибов и основных частот собственных колебаний составной пластины, шарнирно опертой по контуру

Исследуемый параметр	Количество связей сдвига							
	1		12		30		54	
	Численно	Эксперимент	Численно	Эксперимент	Численно	Эксперимент	Численно	Эксперимент
Круговая частота основного тона $\omega$ ( $c^{-1}$ )	95,08	98,91	117,52	119,95	131,7	149,46	148,77	167,68
Максимальный прогиб $W_0$ (мм)	18,34	15,34	11,75	11,84	9,45	9,94	7,43	7,89
$K=W_0 \omega^2/(q/m)$	1,573	1,424	1,540	1,616	1,522	2,11	1,56	2,11
$K_{аналит.}$ на основании аналит. $W_0$ и $\omega$	1,579							
отклонение $k$ от $k_{аналит.}$	0,39	9,83	2,50	2,35	1,52	33,38	1,2	33,33

Таблица 5 – Результаты экспериментальных и теоретических значений максимальных прогибов и основных частот собственных колебаний составной пластины, жестко защемленной по контуру

Исследуемый параметр	Количество связей сдвига							
	1		12		30		54	
	Численно*	Эксперимент	Численно*	Эксперимент	Численно*	Эксперимент	Численно*	Эксперимент
Круговая частота основного тона, $\omega$ ( $c^{-1}$ )	128,02	139,42	139,28	164,54	162,58	197,68	196,9	219,11
Максимальный прогиб, $W_0$ (мм)	10,38	10,79	8,51	7,45	6,07	5,4	4,37	3,74
$K=W_0 \omega^2/(q/m)$	1,614	1,99	1,566	1,91	1,522	1,94	1,607	1,702
$K_{аналит.}$ на основании аналит. $W_0$ и $\omega$	1,629							
отклонение $k$ от $k_{аналит.}$ , %	0,93	22,17	1,61	17,51	6,56	19,34	1,33	4,47

\* – Результаты получены с учётом податливости заделки по контуру пластины

**Заключение.** На основании исследования можно сделать вывод о достаточно хорошей сходимости результатов численных и экспериментальных прогибов и частот собственных колебаний, а также соответствие экспериментального коэффициента  $K$  для составных изотропных пластин, аналитическим значениям, выведенным В.И. Коробко для изотропных пластин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турков, А.В. Методика проведения эксперимента для статического и динамического испытания изотропных составных пластин на податливых связях [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительство и реконструкция. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». – 2014. – №4. – С. 30-35.
2. Турков, А.В. Способы учета податливости жесткого защемления при проведении эксперимента [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительство и реконструкция. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». – 2015. – №1. – С. 42-45.

**А.В. Турков**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
 Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»  
 E-mail: aturkov@bk.ru

**К.В. Марфин**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
 Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
 E-mail: marfinkirill@yandex.ru

A. TURKOV, K. MARFIN

## EXPERIMENTAL STUDIES OF COMPOSITE ROUND PLASTEEN ON DYNAMIC AND STATIC LOAD

*Considered experimental study of two-layer round plate on the compliant links pivotally supported and fixed on the circuit. In the experiment carried out static and dynamic tests, which are the maximum deflection and natural frequency, respectively. Made comparison of theoretical and experimental data.*

**Keywords:** *composite plate, static test plate, dynamic test plates, short-term modulus of elasticity, natural frequency, the maximum deflection.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Turkov, A.V. Metodika provedeniya jeksperimenta dlja staticheskogo i dinamicheskogo ispytaniya izotropnyh sostavnyh plastin na podatlivykh svyazjah [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK». – 2014. – №4. – S. 30-35.

2. Turkov, A.V. Sposoby ucheta podatlivosti zhestkogo zashhmenija pri provedenii jeksperimenta [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK». – 2015. – №1. – S. 42-45.

#### **A. Turkov**

State university – educational-science-production complex, Orel

Doctor of technical sciences, head of the department «Urban construction and management»

E-mail: aturkov@bk.ru

#### **K. Marfin**

State university – educational-science-production complex, Orel

Senior lecturer of the department «Structures and Materials»

E-mail: marfinkirill@yandex.ru

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВОЛНЫ СДВИГА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ УДАРЕ ПО ВЫСОТНОМУ ЗДАНИЮ

*Построены уравнения уточненной теории статического и динамического изгиба длинной упругой полосы учитывающей сдвиговые деформации исходя из общих уравнений плоской задачи теории упругости. Двумерные уравнения с помощью метода простых итераций сведены к одномерным. Уточненный подход дает классические уравнения для медленно меняющихся напряженно-деформированных состояний и уравнения типа пограничного слоя для устранения разрывов в точках приложения сосредоточенных нагрузок. В случае сильной динамики при поперечном ударе получаются классические уравнения для поперечных колебаний, связанные с уравнениями быстроменяющейся волны сдвига. На основе свойств образующихся волн сдвига при ударе предложена модель разрушения высокого здания.*

***Ключевые слова:** принцип сжатых отображений, сосредоточенная сила, удар, волна сдвига, колебания, уточненная теория, уравнение Тимошенко.*

**Введение.** Решающую роль играет постановка задачи и такой анализ результатов ее решения, который позволяет сделать некоторые общие, скорее, качественные, заключения. Напротив, увеличение точности качественно ясных результатов оказывается зачастую ненужным. Такое положение дел существовало всегда, и появление и широкое распространение вычислительных машин лишь усугубило его. С помощью машинной математики многие технические трудности были преодолены, в результате чего возможности расчетов неизмеримо выросли. Однако познавательная ценность извлекаемых результатов ещё более чем в домашнюю эру определяется адекватностью модели, чёткостью постановки задачи расчета и глубокой предварительного анализа имеющихся данных.

Под уточненными понимают теории, отличающиеся от обычных классических наличием в дифференциальных уравнениях дополнительных членов, расширяющих области применения классических теорий. Поскольку классические теории стержней основаны на гипотезе плоских сечений, в них применяются простейшие линейные по поперечной координате аппроксимации и не учитываются упругие поперечные взаимодействия. Классические теории продольных растяжений-сжатий и колебаний также являются простейшими аппроксимациями, основанными на предположениях о постоянстве характерных функций по сечению (толщине) и малости поперечных эффектов.

Появление уточненных теорий обусловлено тем, что классические теории при решении ряда задач современной техники приводят к заметным погрешностям. Можно сказать, что это является следствием физического и математического несовершенства классических динамических теорий. Они предсказывают, например, бесконечные скорости распространения фронтов возмущений и не улавливают элементарных упругих толщинных эффектов. В настоящей работе будут рассматриваться задача получения уточненных уравнений теории статического изгиба полосы (балки) и её уточненных динамических уравнений, не основанных на модели Тимошенко или Рейсснера, как это обычно делается. Будут получены, без каких либо гипотез, уравнения непосредственно из уравнений плоской задачи теории упругости путём выделения главных членов в каждом из уравнений состояния и граничных на длинных сторонах полосы.

Заметим, что любое решение задачи теории упругости подчиняется теореме о неподвижной точке, сформулированной С. Банахом в 1922 году, и связанному с ней принципу сжатых отображений [1]. Ряд вопросов, связанных с существованием и единственностью решений уравнений, можно сформулировать в виде вопроса о существовании и единственности неподвижной точки при некотором отображении соответствующего метрического пространства в

себя. Понятие неподвижной точки встречается во многих, чуть ли не во всех задачах. Например, любое уравнение  $F(x) = 0$  можно свести к неподвижной точке, переписав его в виде  $F(x) + x = x$ .

Отображение  $x = Ax$  метрического пространства  $M$  в себя называется сжимающим отображением (сжатием), если существует такое число  $\alpha < 1$ , что для любых двух точек  $x, y \in M$  выполняется неравенство  $\rho(Ax, Ay) \leq \alpha\rho(x, y)$ . Точка  $X$  называется неподвижной точкой отображения, если  $x = Ax$ . Иначе говоря, неподвижные точки – это решения уравнения  $x = Ax$ .

Итерационный процесс начинается, исходя из некоторого начального приближения  $x_0$ . Если оператор  $A$  является сжимающим, процедура сходится к некоторому решению  $X$  независимо от выбора величины начального приближения. Последовательные приближения  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots$  находятся с помощью формулы.

$$x_{n+1} = Ax_n$$

Принцип сжимающих отображений применяется к доказательству существования и единственности решений для уравнений различных типов (дифференциальных, интегральных, алгебраических, трансцендентных и т.д.). Помимо доказательства существования и единственности решения уравнения  $x = Ax$ , принцип сжимающих отображений дает и фактический метод приближенного нахождения этого решения – метод простых итераций [2].

**1. Задача статического изгиба полосы.** Уравнения плоской задачи теории упругости для длинной упругой полосы

$$\frac{\partial \sigma_z^*}{\partial z^*} + \frac{\partial \tau^*}{\partial x^*} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_x^*}{\partial x^*} + \frac{\partial \tau^*}{\partial z^*} = 0$$

$$\sigma_x^* = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_z), \quad \tau^* = \frac{E}{2(1+\nu)}\gamma, \quad \sigma_z^* = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_z + \nu\varepsilon_x)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w^*}{\partial z^*}, \quad \varepsilon_x = \frac{\partial u^*}{\partial x^*}, \quad \gamma = \frac{\partial u^*}{\partial z^*} + \frac{\partial w^*}{\partial x^*},$$

отнесенной к системе прямоугольных координат  $x^*, z^*$  так, что  $0 \leq x^* \leq l, -h \leq z^* \leq h$ , преобразуем к следующему виду путем введения безразмерных координат  $x = x^* / l, z = z^* / h$ , безразмерных перемещений  $u = u^* / h, w = w^* / h$  вдоль осей  $x^*, z^*$  соответственно и безразмерных напряжений  $\sigma_x = \sigma_x^* / E, \sigma_z = \sigma_z^* / E, \tau = \tau^* / E$  (размерные перемещения, напряжения и нагрузки отмечаются звездочкой):

$$\frac{\partial u}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial w}{\partial x} + 2(1+\nu)\tau, \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial \tau}{\partial x}, \quad \varepsilon_x = \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x},$$

$$\sigma_x = \varepsilon_x + \nu\sigma_z, \quad \varepsilon_z = (1-\nu^2)\sigma_z - \nu\varepsilon_x, \quad \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_z, \quad \frac{\partial \tau}{\partial z} = -\varepsilon \frac{\partial \sigma_x}{\partial x}.$$

В уравнениях выделена величина  $\varepsilon = h / l$ , которую будем считать малым параметром. Здесь и в дальнейшем в статье там, где используются стандартные обозначения теории упругости и сопротивления материалов, они не поясняются.

Предположим, что поперечные перемещения  $W$  и касательные напряжения  $\tau$  известны. Тогда, подставляя  $w, \tau$  в первое уравнение и  $\tau$  во второе, путем интегрирования по  $z$  вычисляем продольное перемещение  $u$  и поперечное нормальное напряжение  $\sigma_z$ . Зная  $u$ , можно путем дифференцирования по  $x$  вычислить продольную деформацию  $\varepsilon_x$ . С помощью преобразованных соотношений упругости алгебраически вычисляются продольное напряжение  $\sigma_x$  и величина поперечной деформации  $\varepsilon_z$ . Затем последние уравнения системы позволяют путем прямого интегрирования по  $z$  вычислить  $w$  и  $\tau$ . Если функции  $w$  и  $\tau$  являют-



ся точным решением системы (1), они совпадут с исходными  $w$  и  $\tau$ , взятыми в начале цепочки вычислений. Но поскольку точные решения задач теории упругости обычно неизвестны, то в качестве исходных величин можно взять некоторые пробные функции  $w_0, \tau_0$  и в конце описанной последовательности вычислений получить некоторые величины  $w_1, \tau_1$  в первом приближении и сравнить их с исходными  $w_0, \tau_0$ . Описанная здесь последовательность вычислений является процедурой двукратного применения метода последовательных приближений Пикара.

С целью нахождения приближенного решения примем, что поперечные перемещения и касательные напряжения в нулевом приближении равномерно распределены по высоте полосы, т.е. не зависят от координаты  $z$ . В соответствии с этим, положив в первом и втором уравнениях системы (1)  $w = w_0(x), \tau = \tau_0(x)$  в качестве известных величин нулевого приближения, вычисляем  $u_0(x, z)$  и  $\sigma_{z0}(x, z)$ . Затем вычисляем  $\varepsilon_{x0}(x, z)$  и через соотношения упругости находим  $\sigma_{x0}(x, z)$  и  $\varepsilon_{z0}(x, z)$ . Подставляя их в два последних уравнения системы, получаем  $w_1(x, z)$  и  $\tau_1(x, z)$  в первом приближении. Процесс вычисления следующих приближений может быть продолжен. Вычисление искомых неизвестных дает:

$$\begin{aligned} w &= w_0 + v\varepsilon^2 w_0'' \frac{z^2}{2} - (1+v)^2 \varepsilon \tau_0' \frac{z^2}{2} + \left[ (1-v^2) \sigma_{z0} - v\varepsilon u_0' \right] z \\ u &= -\varepsilon w_0' z + 2(1+v) \tau_0 z + u_0 \\ \tau &= \left[ \varepsilon^3 w_0''' - (2+v) \varepsilon^2 \tau_0'' \right] \frac{z^2}{2} + \tau_0 - (\varepsilon^2 u_0'' + v\varepsilon \sigma_{z0}') z \\ \sigma_z &= -\left[ \varepsilon^4 w_0^{IV} - (2+v) \varepsilon^3 \tau_0''' \right] \frac{z^3}{6} - \varepsilon \tau_0' z + (\varepsilon^3 u_0''' + v\varepsilon^2 \sigma_{z0}'') \frac{z^2}{2} + \sigma_{z0} \\ \sigma_x &= -\varepsilon^2 w_0'' z + (2+v) \varepsilon \tau_0' z + \varepsilon u_0' + v \sigma_{z0} \end{aligned} \quad (2)$$

Произвольные функции интегрирования  $u_0, \sigma_{z0}$  зависят только от  $x$ . В записанных в первом приближении выражениях (2) продольное перемещение  $u$  и продольное напряжение  $\sigma_x$  являются линейными функциями координаты  $z$ , поперечное перемещение  $w$  и касательное напряжение  $\tau$  – квадратичными функциями  $z$  и поперечное напряжение  $\sigma_z$  – кубической функцией  $z$ . При вычислении второго приближения порядки искомых функций повысятся на две единицы по  $z$ . Процесс вычисления следующих приближений может быть легко продолжен.

Выполним граничные условия  $\sigma_z^* = -q^*, \tau^* = 0$  при  $z^* = h$  и  $\sigma_z^* = 0, \tau^* = 0$  при  $z^* = -h$ , где считается, что верхняя граница нагружена распределенной нагрузкой интенсивности  $q^*$ , а касательная нагрузка для простоты изложения принята отсутствующей. Им соответствуют безразмерные условия:

$$\sigma_z = -q, \tau = 0 \text{ при } z = 1 \text{ и } \sigma_z = 0, \tau = 0 \text{ при } z = -1, \quad (3)$$

где  $q = q^* / E$ .

После подстановки выражений  $\tau, \sigma_z$  из (2) в граничные условия (3) получим два уравнения на длинных сторонах полосы для определения двух функций  $u_0, \sigma_{z0}$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 u_0'' + v\varepsilon \sigma_{z0}' &= 0, \\ \varepsilon^3 u_0''' + v\varepsilon^2 \sigma_{z0}'' + 2\sigma_{z0} &= -q, \end{aligned} \quad (4)$$

определяющих растяжение-сжатие, и двух функций  $w_0, \tau_0$

$$\begin{aligned} \varepsilon^3 w_0''' - (2+v) \varepsilon^2 \tau_0'' + 2\tau_0 &= 0, \\ \varepsilon^4 w_0^{IV} - (2+v) \varepsilon^3 \tau_0''' + 6\varepsilon \tau_0' &= 3q, \end{aligned} \quad (5)$$

определяющих изгиб.

Первые два уравнения относительно  $u_0, \sigma_{z0}$ , описывающие растяжение-сжатие вдоль осей  $x, y$ , решаются отдельно от второй системы.

Введем матрицу операторов:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \varepsilon^3 \frac{d^3}{dx^3} & \Gamma \\ \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} & \varepsilon \frac{d}{dx}(\Gamma + 4) \end{pmatrix}, \text{ в которой } \Gamma = -(2 + \nu) \varepsilon^2 \frac{d^2}{dx^2} + 2, \text{ векторы } \mathbf{w} = \begin{pmatrix} w_0 \\ \tau_0 \end{pmatrix}, \mathbf{q} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3q \end{pmatrix} \text{ и}$$

перепишем систему уравнений (5) в символическом виде:

$$\mathbf{A}\mathbf{w} = \mathbf{q}.$$

Через обратную матрицу  $\mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{\Delta} \mathbf{B}$ , где  $\mathbf{B}$  имеет вид:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \varepsilon \frac{d}{dx}(\Gamma + 4) & -\Gamma \\ -\varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} & \varepsilon^3 \frac{d^3}{dx^3} \end{pmatrix} \text{ и } \Delta = (\Gamma + 4) \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} - \varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} \Gamma = 4\varepsilon^4 \frac{d^4}{dx^4} - \text{определитель матрицы}$$

цы  $\mathbf{A}$ , придадим системе вид  $\Delta \mathbf{w} = \mathbf{B}\mathbf{q}$ .

В развернутом виде уравнения выглядят так:

$$-\frac{2}{3} \varepsilon^4 w_0^{IV} = q - \frac{2 + \nu}{2} \varepsilon^2 q'', \quad \left( \frac{4}{3} \varepsilon \tau_0' = q \right)'''. \quad (6)$$

Выражение в скобках во втором уравнении можно получить проще, продифференцировав первое уравнение по  $x$  и вычтя его из второго.

Очевидно, что однородные уравнения (6) описывают медленно меняющиеся состояния.

Исходя из того, что в этом случае имеют место соотношения  $w_0^{(g)IV} = 0, 4\tau_0^{(p)'} = 3q$ , из второго уравнения (5) (или из продифференцированного по  $x$  первого) следует выражение  $-(2 + \nu) \varepsilon^2 \tau_0''' + 2\tau_0' = 0$ . Проинтегрировав его и отбросив постоянную интегрирования как уже учтенную уравнением  $\tau_0^{(p)'} = 0$ , получим уравнение:

$$-(2 + \nu) \varepsilon^2 \tau_0'' + 2\tau_0 = 0, \quad (7)$$

описывающее быстро меняющиеся напряженно-деформированные состояния типа пограничного слоя и служащее для устранения разрывов в точке приложения сосредоточенной силы.

Уточненные уравнения (6) и (7) описывают напряженно-деформированное состояние длинной полосы. Если нагрузка является медленно меняющейся вдоль координаты  $x$ , вторая производная в первом уравнении (6) может быть отброшена, а уравнение (7) имеет тривиальное решение. В этом случае имеем уравнения, совпадающие с уравнениями классической теории.

Заметим, что уравнения (6), (7) можно получить из уравнений (5) прямым путем. Приравняв в уравнениях системы (5) быстро и медленно меняющиеся величины нулю по отдельности, получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon^3 \frac{d^3 w_0^s}{dx^3} + 2\tau_0^s &= 0 \\ \varepsilon^4 \frac{d^4 w_0^s}{dx^4} + 6\varepsilon \frac{\partial \tau_0^s}{\partial x} &= 3q^s \\ -(2 + \nu) \varepsilon^2 \frac{d^2 \tau_0^f}{dt^2} + 2\tau_0^f &= 0 \\ -(2 + \nu) \varepsilon^3 \frac{d^3 \tau_0^f}{dt^3} + 6\varepsilon \frac{\partial \tau_0^f}{\partial x} &= 3q^f \end{aligned}$$

Здесь индексом  $s$  обозначены медленные компоненты решения, индексом  $f$  – быстрые. Медленные уравнения сводятся к двум, разрешенным относительно неизвестных:

$$-\frac{2}{3}\varepsilon^4 \frac{d^4 w_0^s}{dx^4} = q^s, \quad \frac{4}{3}\varepsilon \frac{d\tau_0^s}{dx} = q^s \quad (8)$$

и быстрые – также к двум уравнениям:

$$-(2+\nu)\varepsilon^2 \frac{d^2 \tau_0^f}{dt^2} + 2\tau_0^f = 0, \quad \frac{4}{3}\varepsilon \frac{d\tau_0^f}{dx} = q^f, \quad (9)$$

первое из которых однородное, второе служит для определения частного быстрого решения.

**2. Задача динамического изгиба полосы.** Применим описанную выше процедуру для построения уравнений движения длинной полосы. Добавив безразмерные инерционные члены в статические уравнения изгиба (1), получим следующие уравнения движения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial z} &= -\varepsilon \frac{\partial w}{\partial x} + 2(1+\nu)\tau, & \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= -\varepsilon \frac{\partial \tau}{\partial x} + m^2 \ddot{w}, \\ \sigma_x &= \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \sigma_z, & \varepsilon_z &= -\nu \varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} + (1-\nu^2)\sigma_z, & \left( m^2 = \frac{\rho h^2}{ET^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial z} &= \varepsilon_z, & \frac{\partial \tau}{\partial z} &= -\varepsilon \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + m^2 \ddot{u}, \end{aligned} \quad (10)$$

в которых  $\rho$  – удельная плотность материала полосы,  $t = t^* / T$  – безразмерное время ( $t^*$  – размерное время),  $T$  – некоторый характерный период колебаний балки единичной ширины, имеющей длину  $l$  и высоту  $h$ . Точка над буквой означает дифференцирование по  $t$ .

Здесь также как и в статической задаче можно последовательно вычислить все неизвестные, считая  $w, \tau$  известными. Примем, что поперечные перемещения и касательные напряжения в нулевом приближении равномерно распределены по высоте полосы, т.е. не зависят от координаты  $z$ , но зависят от координаты  $x$  и времени  $t$ . В соответствии с этим, положив в первом и втором уравнениях системы (8)  $w = w_0(x, t)$ ,  $\tau = \tau_0(x, t)$  в качестве известных величин нулевого приближения, вычисляем  $u_0(x, t, z)$  и  $\sigma_{z0}(x, t, z)$ . Затем вычисляем  $\varepsilon_{x0}$  и через соотношения упругости находим  $\sigma_{x0}$  и  $\varepsilon_{z0}$ . Подставляя их в два последних уравнения системы, получаем  $w_1$  и  $\tau_1$  в первом приближении. Процесс вычисления следующих приближений может быть продолжен. Для нахождения приближенного решения методом простых итераций можно выбрать начальное приближение  $w_0, \tau_0$  и вести вычисления по схеме:

$$w_0, \tau_0 \Rightarrow u_0, m^2 \ddot{w}_0, \sigma_{z0} \Rightarrow \varepsilon_{x0}, \sigma_{x0}, \varepsilon_{z0} \Rightarrow m^2 \ddot{u}_0, w_1, \tau_1,$$

в которой в дополнение к ранее использованной статической вычисляются еще и инерционные члены. Проведя вычисления, получим следующие выражения для искомых неизвестных:

$$\begin{aligned} w &= w_0 + \left[ (1-\nu^2)m^2 \ddot{w}_0 + \nu \varepsilon^2 w_0'' \right] \frac{z^2}{2} - (1+\nu)^2 \varepsilon \tau_0' \frac{z^2}{2} + \left[ (1-\nu^2)\sigma_{z0} - \nu \varepsilon u_0' \right], \\ u_0 &= -\varepsilon w_0' z + 2(1+\nu)\tau_0 z + u_0, \\ \sigma_x &= (-\varepsilon^2 w_0'' + \nu m^2 \ddot{w}_0)z + (2+\nu)\varepsilon \tau_0' z + \varepsilon u_0' + \nu \sigma_{z0}, \\ \tau &= \left[ \varepsilon^3 w_0''' - (1+\nu)\varepsilon m^2 \ddot{w}_0' - (2+\nu)\varepsilon^2 \tau_0'' + 2(1+\nu)m^2 \ddot{\tau}_0 \right] \frac{z^2}{2} + (-\varepsilon^2 u_0'' - \nu \varepsilon \sigma_{z0}' + m^2 \ddot{u}_0)z + \tau_0, \\ \sigma_z &= -\left[ \varepsilon^4 w_0'''' - (1+\nu)\varepsilon^2 m^2 \ddot{w}_0'' - (2+\nu)\varepsilon^3 \tau_0''' + 2(1+\nu)\varepsilon m^2 \ddot{\tau}_0' \right] \frac{z^3}{6} - \\ &\quad - \left( \varepsilon^3 u_0''' - \nu \varepsilon^2 \sigma_{z0}'' + \varepsilon m^2 \ddot{u}_0' \right) \frac{z^2}{2} - \varepsilon \tau_0' z + m^2 \ddot{w}_0 z + \sigma_{z0}. \end{aligned} \quad (11)$$

Пусть на границу полосы  $z^* = h$  действует только направленная вниз нагрузка

$q^* = q^*(x^*, t)$ , которая может быть как распределенной, так и локальной. Соответственно, в безразмерном виде в первом приближении надо выполнить условия:

$$\tau = 0 \text{ при } z = \pm 1, \quad \sigma_z = -q(x, t) \text{ при } z = 1, \quad \sigma_z = 0 \text{ при } z = -1.$$

После подстановки выражений  $\tau, \sigma_z$  из (11) в граничные условия получим два уравнения на длинных сторонах полосы для определения двух функций  $u_0, \sigma_{z0}$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 u_0'' + \nu \varepsilon \sigma_{z0}' &= 0, \\ \varepsilon^3 u_0''' + \nu \varepsilon^2 \sigma_{z0}'' + 2\sigma_{z0} &= -q, \end{aligned} \quad (12)$$

определяющих растяжение-сжатие и двух функций  $w_0, \tau_0$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon^3 w_0''' - (1+\nu) \varepsilon m^2 \ddot{w}_0 - (2+\nu) \varepsilon^2 \tau_0'' + 2(1+\nu) m^2 \ddot{\tau}_0 + 2\tau_0 &= 0 \\ \varepsilon^4 w_0^{IV} - (1+\nu) \varepsilon^2 m^2 \ddot{w}_0'' - 6m^2 \ddot{w}_0 - (2+\nu) \varepsilon^3 \tau_0''' + 2(1+\nu) \varepsilon m^2 \ddot{\tau}_0' + 6\varepsilon \tau_0' &= 3q, \end{aligned} \quad (13)$$

определяющих изгиб. Эти два уравнения относительно двух неизвестных так же как и в статическом случае выше могут быть разрешены относительно неизвестных. Дискриминант системы, определяющий вид уравнения, дает для каждого неизвестного уравнение Тимошенко [3]. Однако такой подход дает лишние решения для касательного напряжения и ниже будет выбран путь разделения быстро меняющихся и медленно меняющихся состояний.

В силу разделения состояний растяжения-сжатия и изгиба ограничимся в дальнейшем рассмотрением задачи изгиба. В уравнениях (13) также как и в аналогичных статических (5) объединены два типа решений. Одно из них медленное по пространственной координате и времени поперечное движение ( $w$ -движение), второе – быстрое и по координате и по времени ( $\tau$ -движение). Добавим в уравнения (13) оценки инерционных членов, для чего надо выбрать единицу измерения времени  $T$ . Выпишем известные безразмерные уравнения продольных и поперечных колебаний стержня прямоугольного сечения:

$$\varepsilon^2 u'' - m_l^2 \ddot{u} = 0, \quad \frac{2}{3} \varepsilon^4 y'''' - m_t^2 \ddot{y} = 0$$

где введены обозначения  $m_l^2 = \frac{\rho h^2}{ET_l^2}$ ,  $m_t^2 = \frac{\rho h^2}{ET_t^2}$ ,  $u$  – продольные смещения точек стержня,  $y$  – поперечные смещения нейтральной оси. Понимая под  $T_l$  – характерный период продольных колебаний стержня и  $T_t$  – характерный период поперечных, заключаем, что:

$$m_l^2 \sim \varepsilon^2, \quad m_t^2 \sim \varepsilon^4 \quad (14)$$

В соответствии с этими оценками, произведя в уравнениях (13) замену  $m_l = \varepsilon n_l$ ,  $m_t = \varepsilon^2 n_t$ , где  $n_l, n_t \sim \varepsilon^0$ , получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon^3 w_0''' - (1+\nu) \varepsilon^5 n_t^2 \ddot{w}_0 - (2+\nu) \varepsilon^2 \tau_0'' + 2(1+\nu) \varepsilon^2 n_t^2 \ddot{\tau}_0 + 2\tau_0 &= 0 \\ \varepsilon^4 w_0^{IV} - (1+\nu) \varepsilon^6 n_t^2 \ddot{w}_0'' - 6\varepsilon^4 n_t^2 \ddot{w}_0 - (2+\nu) \varepsilon^3 \tau_0''' + 2(1+\nu) \varepsilon^3 n_t^2 \ddot{\tau}_0' + 6\varepsilon \tau_0' &= 3q \end{aligned} \quad (15)$$

В каждом из уравнений можно отбросить по второму члену, имеющим порядок  $\varepsilon^2$  по сравнению с первыми. Приравнявая в полученных после отбрасывания малых членов уравнениях члены с большой и малой изменчивостью по-отдельности, получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \varepsilon^3 \frac{\partial^3 w_0^s}{\partial x^3} + 2\tau_0^s &= 0 & -(2+\nu) \varepsilon^2 \frac{\partial^2 \tau_0^f}{\partial x^2} + 2(1+\nu) \varepsilon^2 n_t^2 \ddot{\tau}_0^f + 2\tau_0^f &= 0 \\ \varepsilon^4 \frac{\partial^4 w_0^s}{\partial x^4} - 6\varepsilon^4 n_t^2 \ddot{w}_0^s + 6\varepsilon \frac{\partial \tau_0^s}{\partial x} &= 3q^s & -(2+\nu) \varepsilon^3 \frac{\partial^3 \tau_0^f}{\partial x^3} + 2(1+\nu) \varepsilon^3 n_t^2 \frac{\partial \ddot{\tau}_0^f}{\partial x} + 6\varepsilon \frac{\partial \tau_0^f}{\partial x} &= 3q \end{aligned}$$

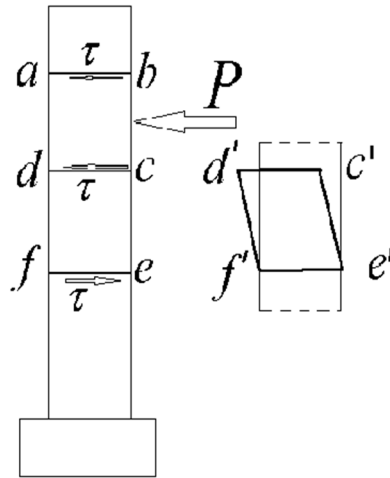
Медленные уравнения сводятся к двум, разрешенным относительно неизвестных

$$\frac{2}{3} \varepsilon^4 \frac{\partial^4 w_0^s}{\partial x^4} + 2\varepsilon^4 n_t^2 \ddot{w}_0^s = -q^s, \quad \frac{4}{3} \varepsilon \frac{\partial \tau_0^s}{\partial x} - 2\varepsilon^4 n_t^2 \ddot{w}_0^s = q^s \quad (16)$$

и быстрые – также к двум уравнениям:

$$-(2+\nu)\varepsilon^2 \frac{d^2\tau_0^f}{dt^2} + 2(1+\nu)\varepsilon^2 n_1^2 \ddot{\tau}_0^f + 2\tau_0^f = 0, \quad \frac{4}{3}\varepsilon \frac{\partial\tau_0^f}{\partial x} = q^f, \quad (17)$$

первое из которых однородное, второе служит для определения частного быстрого решения.



Из системы (16) следуют оценки  $w_0^s \sim \varepsilon^{-4}q^s$ ,  $\tau_0^s \sim \varepsilon^{-1}q^s$ , из (17) –  $\tau_0^f \sim q^f$ , т. к. дифференцирование быстрого решения увеличивает асимптотический порядок дифференцируемой функции в  $\varepsilon^{-1}$ , следовательно операция  $\varepsilon \frac{\partial\tau_0^f}{\partial x} \sim 1$ . Если присутствует только быстрая нагрузка,

то из уравнений (17) следует, что возникающая при ударе сосредоточенной силой  $P$  по зданию (см. рисунок) волна движется в соответствии с первым уравнением системы (17) в обе стороны от места удара. Со стороны элемента  $abcd$  верхняя и нижняя часть полосы, моделирующая здание, нагружены некоторыми внутренними напряжениями  $\tau$ . Элемент  $abcd$ , будучи нагруженным сдвигающими напряжениями, приобретает деформированную сдвигом форму  $d'c't'f'$ . Этот искаженный элемент, добежав до низа, отражается и отправляется вверх. (Для верхней части здания можно предположить аналогичное описание процесса). В силу соотношения (14) такая волна в течение периода поперечного колебания  $T_i$  сделает  $\varepsilon^{-1}$  пробегов. Добежав до верха или низа здания, искаженный элемент волны сдвига  $\tau_0^f$  приносит на концы здания неуравновешенные напряжения или перемещения, требующие для выполнения концевых условий результирующих сил и моментов (или деформаций в случае задания ограничений на перемещения) Эти силы вызывают поперечные колебания здания. Чем больше отношение ширины здания к его высоте, тем меньше вероятность возникновения поперечных колебаний, т.к. при большом числе пробегов волны сдвига она существенно затухает; важны только первые пробеги. Поэтому с увеличением высоты здания при пробеге сдвиговой волны с большой скоростью вдоль несущих колонн возрастает возможность разрушения связей между колоннами и имеющими большую инерционность перекрытий. Поперечные колебания при этом скорее всего не возникнут.

Рассмотренная модель в первую очередь должна быть дополнена учетом рассеяния энергии при распространении волн в здании, т.к. хотя и ясно, как построить решение задачи исходя из выведенных уравнений и это нетрудно, волна будет бегать бесконечно, что противоречит физическому смыслу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа [Текст] / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1976. – 543 с.

2. Коллатц, Л. Функциональный анализ и вычислительная математика [Текст] / Л. Коллатц. – М.: Мир. 1968. – 447 с.

3. Зверьяев Е.М. Общий метод построения теорий типа Тимошенко [Текст] / Е.М. Зверьяев, Г.И. Макаров // ПММ. – 2008. – Т. 72. – Вып. 2. – С. 308-321.

**Е.М. Зверьяев**

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная математика и информатика»

Тел.: +7 (494) 932-41-79

E-mail: zveriaev@mail.ru

---

E. ZVERIAEV

**ARISE OF SHEAR WAVE WHEN WAVE LATERAL  
IMPACT AT HIGH BUILDING**

*Corrected theory equations for a long elastic strip static and dynamic bending are constructed starting from the plane theory elasticity equations. The shear deformation is taken into account. The 2D equations with the help of the simple iteration method are reduced to the one-dimensional ones. The corrected approach gives the classic equations for the slowly vary load and type boundary layer equations for smoothing the discontinuity at the concentrated force application point. In the case of the strong dynamics when the lateral impact the classics theory equations are obtained for the transvers oscillations conjugated with the fast vary shear wave equations. For the case of impact the model of the high building destruction on the base of shear wave is proposed.*

**Keywords:** contraction mapping principle, concentrated force, impact, shear wave vibrations improved theory, the equation Timoshenko.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kolmogorov A.N., Fomin S.V. Jelementy teorii funkcij i funkcional'nogo analiza [Tekst] / A.N. Kolmogorov, S.V. Fomin. – М.: Nauka, 1976. – 543 s.

2. Kollatc, L. Funkcional'nyj analiz i vychislitel'naja matematika [Tekst] / L. Kollatc. – М.: Mir. 1968. – 447 s.

3. Zverjaev E.M. Obshhij metod postroenija teorij tipa Timoshenko [Tekst] / E.M. Zverjaev, G.I. Makarov // PММ. – 2008. – Т. 72. – Вып. 2. – С. 308-321.

**E. Zveriaev**

Moscow state construction university, Moscow

Doctor of technical sciences, professor of the department «Applied mathematics and computer science»

Ph.: +7 (494) 932-41-79

E-mail: zveriaev@mail.ru

ТРАВУШ В.И., ВОЛКОВ Ю.С.

## ЧТО СЛЕДУЕТ ИЗМЕНИТЬ В ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГЛАМЕНТЕ «О БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

*В настоящее время Минстроем России ведется работа по внесению изменений в действующий технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» 384-ФЗ. В данной статье приводится ряд предложений по возможным изменениям регламента. В преамбуле регламента предлагается указать то, что регламент должен использоваться, прежде всего, при разработке нормативных документов. В нормативных документах общие положения регламента должны быть преобразованы в конкретные технические требования, выполнение которых обеспечит безопасность проектируемых, возводимых и эксплуатируемых строительных объектов.*

***Ключевые слова:** технический регламент, безопасность зданий и сооружений, технические требования.*

Минстрой России в настоящее время ведет работу по внесению изменений в действующий технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» 384-ФЗ [1]. Ниже приводится ряд предложений по возможным изменениям регламента.

Следует отметить важные положительные аспекты принятого 30 декабря 2009 года технического регламента «О безопасности зданий и сооружений». Прежде всего, в Федеральный Закон «О техническом регулировании» №184-ФЗ [2] регламент добавил статью 5.1, подчеркивающую специфику технического регулирования в строительной отрасли. Эта статья так и называется «Особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений». Одной из этих особенностей, введенных регламентом, является обязательность выполнения требований определенной группы нормативных документов, применение которых обеспечивает безопасность зданий и сооружений.

Если вспомнить, в своё время Закон «О техническом регулировании» наибольшее неприятие и критику встретил в свое время, как раз со стороны строительного сообщества, именно из-за игнорирования этим Законом специфики строительной деятельности.

В то же время, технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» не является документом прямого действия и в нем не указан адресат – для кого он, собственно, написан. В первой статье сформулированы лишь общие цели принятия регламента. Поэтому в преамбуле регламента надо прямо указать, что **регламент должен использоваться, прежде всего, при разработке нормативных документов.** Именно в нормативных документах общие положения регламента должны быть преобразованы в конкретнее технические требования, выполнение которых и обеспечит безопасность проектируемых, возводимых и эксплуатируемых строительных объектов.

Статья 5 п. 2 регламента озаглавленная «Обеспечение соответствия безопасности зданий и сооружений требованиям настоящего Федерального Закона» так и утверждает, что выполнение обязательных требований данного регламента обеспечиваются через выполнение требования по безопасности, содержащиеся в сводах и правилах, или специальных технических условиях. При этом, выполнение требований этих документов может быть двойным: обязательным и добровольным.

Обязательное исполнение требований сводов правил и национальных сводов правил относится только к документам, включенным в перечень, утверждаемый Правительством Российской Федерации. На это указывает статья 6, пункт 1 Технического регламента.

Еще один перечень документов, утверждает Ростехрегулирование. Эти документы применяются на добровольной основе, но, тем не менее, также обеспечивают выполнение обязательных требований данного технического регламента. Получается, что обязательные требования можно выполнять на добровольной основе. Это юридический казус, который никто

обосновать не может. Поэтому упоминание о добровольном применении нужно либо исключить, либо принцип добровольного применения внятно юридически разъяснить в виде отдельного параграфа.

В Резолюции Международной конференции «Техническое регулирование в строительстве» (Челябинск, октябрь 2013 года) было подчеркнуто, что в техническом регулировании строительства до настоящего времени не решен целый комплекс проблем. При этом в Решении Конференции указывается, что «добровольное» применение никакими правовыми актами не определено, и что, добровольное применение нормативных документов не может быть основой для проведения экспертизы, как проектной документации, так и для целей строительного надзора, представлений для судебных органов и т.д. далее в Решении Конференции указано, что не пересмотрен Перечень нормативных документов обязательного применения. Подготовленный проект нового Перечня повторяет ошибки действующего, когда нормативный документ делится на части для добровольного и обязательного применения.

Упомянутые перечни вот уже ряд лет являются предметом нареканий и двоякого толкования. Например, вопрос, делают ли ссылки в обязательном документе на документы добровольного применения их также обязательными. Критерии составления перечней совершенно не ясны, отсюда и обилие мнений на этот счет. Если критерием является безопасность, то получается, что есть безопасность обязательная, а есть не очень обязательная, то есть добровольная. Между тем, в реалиях, мало какие строительные процедуры не влияют на безопасность объектов. Например, за рамками обоих перечней остались документы на правила производства работ, влияющих на безопасность зданий и сооружений, хотя, по логике, эти документы, должны быть, все без исключения, указаны в обязательном перечне, хотя список этих работ довольно длинен.

Наиболее радикальный способ решить проблему перечней документов, это вообще не составлять никакого перечня. Действующие нормативные акты вполне позволяют это сделать. Кто бы ни составлял подобный перечень, неизменно будут возникать вопросы о целесообразности включения того или иного документа. Пользователями упомянутых перечней, как инструмента выполнения требований Технического регламента, являются прежде всего проектировщики и органы государственного строительного надзора. В обязанности органов надзора входит согласно Положению, утвержденному Правительством от 1 февраля 2006 года №54, проверка строительных работ и используемых материалов на соответствие требованиям норм и, подчеркнем, проектной документации. Согласно требованиям Технического регламента о безопасности зданий и сооружений, ст. 15, п. 6, проектировщик должен в проекте давать ссылки на примененные им нормативные документы из обязательного или добровольного перечня. Но помимо этих документов, проектировщик пользуется большим количеством других нормативов, прежде всего, стандартами, определяющими технические требования к строительным материалам. Все они являются неотъемлемой частью проектной документации. Соответственно, органы строительного надзора обязаны проверять строительные работы на стадии производства или завершения на соответствие требованиям этих нормативных документов. Следует отметить, что в Положении о государственном строительном надзоре, ни слова не говорится о том, при проверке следует руководствоваться перечнями документов обязательного или добровольного применения, но неоднократно подчеркивается, что проверка должна проводиться на соответствие проектной документации. Более того, Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» прямо указывает, что проектная документация должна использоваться в качестве основного документа при принятии решения об обеспечении безопасности здания или сооружения (статья 15, п. 10). Потому в каждом конкретном случае достаточно в проекте указать применённый документ, чтобы сделать его обязательным.

Вернемся к регламенту. В регламенте «О безопасности зданий и сооружений» использовано, заимствованное из Закона «О техническом регулировании» понятие «минимальные необходимые требования» (ст. 3 п. 6). Совершенно не ясно, в чем их минимальность для данного регламента. Тем более, регламент не оперирует при формулировании конкретных требований численными техническими характеристиками, анализируя которые можно было бы



оценить минимум это или максимум. Для расчета и проектирования строительных конструкций концепция «минимальные необходимые требования» вообще то и психологически опасна. Любая конструкция должна иметь определённый запас прочности. Аварии строительных объектов происходят нередко по причине выполнения необходимых требований по минимуму.

То же можно сказать о «пониженном уровне ответственности»

Вызывает недоумение отнесение в регламенте к пониженному уровню ответственности зданий и сооружений для индивидуального жилищного строительства (ст. 4, п. 10).

В самом термине «пониженный уровень ответственности заложено пренебрежение к пользователям таких зданий и сооружений. В сейсмоопасных зонах в случаях землетрясения, рушатся и убивают людей чаще всего именно такие объекты «пониженного уровня ответственности». Ответственность может быть либо **особая** для объектов, выход из строя которых приводит к огромному экологическому ущербу (высокие плотины, атомные электростанции, химические объекты, объекты жизнеобеспечения городов и т.д.), либо **повышенная** (высотные здания, внеклассные мосты, тепловые электростанции, зрелищные объекты с одновременным присутствием большого числа людей и т.д.), либо **нормативная** (проектная).

Несколько случайным выглядит перечень «понятий» (почему-то не терминов), используемых в регламенте по безопасности зданий и сооружений.

Из видов безопасности дано определение лишь термину «механическая безопасность», хотя в главе 3 Регламента указаны многие другие виды безопасности. В тоже время, в разделе «понятия» даны термины в тексте регламента не используемые в частности «апробированная методика», «аварийное освещение», приведены определения «усталости явления», но нет более общего термина «надежность строительных конструкций», а также «долговечность».

В ГОСТ 54257 «Надежность строительных конструкций и оснований. Общие положения» термин «воздействие» включает нагрузку, что логично, поскольку учет воздействия (например, температуры) реализуется через учет эквивалентных нагрузок. В регламенте же это разные термины.

Термин «механическая безопасность» определяется через отсутствие недопустимого риска. Риск является вероятностной, т.е. численной величиной. Это определение «механической безопасности» делает данный технический регламент законом отложенного действия до тех пор, пока не будут разработаны стандарты, устанавливающие допустимые значения рисков для различных зданий и сооружений. Кроме того, необходимо будет разработать стандарты, содержащие методики определения фактических значений конкретных для зданий и сооружений величин рисков. Полученные значения необходимо будет затем сопоставить с допустимыми. До сегодняшнего дня оценка «механической безопасности» или надежности делалась путём анализа первой группы предельных состояний и на этом принципе построены все нормы расчета прочности. Вероятностные методы (а к ним относится оценка риска) допускаются использовать в том случае, если количество данных позволяет проводить их статистический анализ и, если эти данные являются однородными и статистически независимыми (см ГОСТ «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения»).

Термин «жизненный цикл здания» неправомерно включает периоды времени, связанные с инженерными изысканиями и проектированием, это отдельные процессы к исчерпанию эксплуатационной пригодности здания, не имеющие отношения. Термин «здание» это не результат, как указано в его определении (здание может быть не закончено), а объект строительства.

В требованиях к проектной документации (ст. 15) регламента «О безопасности зданий и сооружений» необходимо дополнительно указать, что эта документация должна содержать ссылки на конкретные нормативные документы, которые были использованы при ее подготовке.

В ст. 16 «Требования к обеспечению механической безопасности зданий и сооружений» технического регламента следует исключить численные значения коэффициентов надежности по ответственности и количеству уровней ответственности. Технический регламент – это, прежде всего, юридический документ.

Подобные уровни должны быть обозначены в соответствующем стандарте, в частности, в упомянутом выше ГОСТ 54257.

Главу 4 регламента следует дополнить статьей, содержащей положения, что контроль процесса строительства должен включать контроль на соответствие проектов организации строительства и правилам производства работ. Следует в тексте дать определение основополагающих нормативных документов – **стандарт** и **свод правил**. Термин **стандарт** может быть позаимствован из Закона «О техническом регулировании».

**Стандарт** – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, и т.д.

Но этот же Закон даёт неудачное определение **свода правил**.

**Свод правил** – документ, в котором содержатся технические правила и (или) *описание процессов* проектирования, производства и т.д. Прямо скажем, беспомощное определение. Вряд ли кто-нибудь может внятно объяснить, что такое «описание процессов проектирования».

В стандарте – устанавливаются, в своде правил – содержатся; в стандарте – характеристики процессов проектирования, в своде правил – описание процессов проектирования.

А вот как свод правил, определял, до своей отмены, СНиП 10.01-94 «Система нормативных документов в строительстве» – «**Свод** правил являются документами, содержащими с необходимой полнотой и оправдавшие себя на практике положения, применение которых позволяет обеспечить соблюдение обязательных требований строительных норм».

Техническим регламентом «О безопасности зданий и сооружений» СНиПам был придан статус, иными словами, присвоено второе название – «Свод правил», что породило определённую путаницу, поскольку термин «свод правил» уже был задействован. Всего с 1995 года до вступления в силу Федерального закона «О техническом регулировании» в строительной отрасли было разработано около ста сводов правил. После выхода Постановления Правительства от 19.11.2008 № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил». Начался цикл превращения действующих СНиП в своды правил, и актуализируемые документы были названы сводами правил. Была утрачена важная семантическая составляющая, а именно, слово «нормы». Сравните: **Свод правил** и **Строительные нормы** и **правила**, коротко – СНиП. Что звучит более весомо?

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 30.12.2009 №384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [Текст].
2. Федеральный закон от 27.12.2002 №184-ФЗ (ред. от 23.06.2014) «О техническом регулировании» (с изм. и доп., вступ. в силу с 22.12.2014) [Текст].

#### **В.И. Травуш**

Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: travush@mail.ru

#### **Ю.С. Волков**

Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Кандидат техн. наук

---

V. TRAVUSH, Yu. VOLKOV

## WHAT SHOULD CHANGE IN THE TECHNICAL REGULATIONS «ON SAFETY OF BUILDINGS AND STRUCTURES»

*At present, the Ministry of Construction of Russia is working on amendments to the existing technical regulations «On the safety of buildings and structures» 384-FZ. This article provides a number of suggestions for possible changes in the regulations. The preamble to the regulations it is proposed to*

*indicate that the regulations should be used primarily in the development of regulations. In the general provisions of the Regulations it must be converted into specific technical requirements that will ensure the safety of designed, constructed and operated structures.*

**Keywords:** *technical regulations, safety of buildings and structures, technical requirements.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 №384-FZ (red. ot 02.07.2013) «Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij» [Tekst].
2. Federal'nyj zakon ot 27.12.2002 №184-FZ (red. ot 23.06.2014) «O tehničeskom regulirovanii» (s izm. i dop., vstup. v silu s 22.12.2014) [Tekst].

### **V. Travush**

Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, professor  
E-mail: travush@mail.ru

### **Yu. Volkov**

Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences

**ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЯДРА  
ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО  
СПРОСА НА РЕГИОНАЛЬНОМ РЫНКЕ ЖИЛЬЯ**

*Представлено описание агентной имитационной модели, где в качестве агентов рассматриваются потенциальные покупатели, а в качестве среды – региональный рынок жилья. В модель интегрированы модули системной динамики, учитывающие популяционную динамику региона, ввод новых жилых объектов и изменения на рынке вторичного жилья. Для агента разработана структура, позволяющая осуществлять переходы между физическими состояниями посредством методики «вложенных квантилей».*

***Ключевые слова:** имитационное моделирование, агенты, диаграмма состояний, системная динамика, экспоненциальный закон распределения, квантиль.*

**Введение**

Покупательский спрос на объекты рынка жилья является основополагающим аспектом развития региональной строительной отрасли. Оценка динамики покупательского спроса (положительная, отрицательная) позволяет прогнозировать объемы, сроки и этапы строительства жилья, а также формирует ответ на основной вопрос, вытекающий из следующей формулировки: «Необходим ли ввод новых объектов жилой недвижимости (если да, то какого типа; если да, то в каком объеме, и т.д.)». Кроме того, необходимо оценивание ситуации на всем региональном рынке жилья с позиции взаимного влияния предложений на первичном и вторичном рынках жилья, а также возможности приобретения частного жилья (коттеджей).

Несомненно, что ситуация на региональном рынке жилья оказывает влияние и на социальные факторы в регионе, улучшая его привлекательность, что, в свою очередь, обосновывает актуальность разработок в данном направлении, подчеркивая ее не только экономическую, но и социальную составляющую [1, 2].

Анализ существующих методик моделирования функционирования данного бизнес-процесса позволил выделить два (взаимосвязанных) подхода: построение аналитических математических моделей и использование имитационного моделирования, основанного на системной динамике. По сути, эти подходы базируются на формировании, решении и анализе результатов и имитационных экспериментов систем алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений, не учитывая дискретной структуры бизнес-процесса, реализуя тем самым стратегическое (обобщенное, с минимальным набором основных параметров) моделирование. Общеизвестно, что понижение уровня абстракции моделирования осуществляется введением в функциональное ядро модели агентных и дискретно-событийных модулей. Кроме того, определенный бизнес-процесс, несомненно, реализуется в пределах социально-экономической системы, для которой введение в рассмотрение агентов является наиболее естественным и правильным решением [3]. Таким образом, авторами, с целью моделирования бизнес-процесса потребительского спроса на региональном рынке жилья, был реализован подход, связанный с имитационным агентным моделированием с использованием дискретно-событийных и системно-динамических модулей [4, 5].

**Постановка задачи**

Сформулируем основные требования к разрабатываемой имитационной модели. С одной стороны, в модели должны учитываться процессы, связанные с вводом в строй нового

жилья, переходом жилья из первичного рынка во вторичный, выводом строений из жилого фонда и т.п. С другой стороны, поскольку потенциальные покупатели жилья составляют некоторую часть населения региона, необходимо учитывать популяционные процессы: рождаемость, смертность, миграцию и иммиграцию населения. Кроме всего этого, следует принимать во внимание экономические и социальные факторы, как положительно, так и отрицательно влияющие на возможность приобретения жилья. Также имитационная модель, являющаяся программным продуктом, должна отвечать основным требованиям, предъявляемым к программным продуктам, в частности масштабируемости.

По своей сути жилье является товаром, в связи с чем, авторами был проведен анализ методик моделирования всевозможных возникающих бизнес-процессов с прямой и обратной связью, а также в условиях конкуренции. В результате были сделаны однозначные выводы: об использовании агентного подхода к формированию имитационной модели в качестве базового, не исключая возможности введения дискретно-событийных и системно-динамических модулей, и о необходимости разработки методики (методика «вложенных квантилей»), позволяющей учитывать многокритериальность как предлагаемого жилья, так и требований, предъявляемых к нему потенциальными покупателями.

### Результаты и методы исследования

В качестве базы функционального ядра имитационной модели было выбрано взаимодействие АГЕНТ-СРЕДА, где в качестве АГЕНТА рассматриваются потенциальные покупатели, а в качестве СРЕДЫ – региональный рынок жилья. Для агента определено пространство физических состояний и правила и условия перехода между ними посредством разработанной диаграммы состояний (рис. 1).

Прежде чем перейти к рассмотрению диаграммы состояний агента, необходимо ввести краткую справку, характеризующую различные типы переходов из одного состояния в другое:

- 1) переход «по таймауту»;
- 2) переход «с заданной интенсивностью»;
- 3) переход «по условию»;
- 4) переход «по получению сообщения».

Первые два типа напрямую связаны с характеристиками модельного времени, и в обоих возможно использовать результаты генерации значений случайных величин, имеющих определенные законы распределения, но они имеют разные сферы применения: первый тип используется для переходов, значения времени для которых заранее известны и введение вероятностной составляющей, по сути, устанавливает некий интервал вокруг этого значения; второй тип организует переходы по значению частоты, определяемой значением интервала модельного времени, связанного с конкретным типом распределения, и полностью имитирует стохастическую природу перехода из одного состояния в другое. Таким образом, обосновывается важность задачи, связанной с определением условной единицы модельного времени посредством анализа и синхронизации всех возможных временных интервалов имитируемого бизнес-процесса. Переходы третьего и четвертого типа полностью характеризуются своими названиями: переход третьего типа происходит непосредственно, когда сформулированное условие принимает значение «Истина» (True); переход четвертого типа происходит непосредственно при получении сообщения, выраженного в передаче параметром объекта некоторого класса, в частности – символьной строки, причем необходимо отметить, что переход осуществляется при наличии агента в исходном состоянии.

Продолжим рассмотрение агентной структуры в порядке прохождения транзакций. При запуске имитационной модели реплицированный агент инициализируется в состоянии PotentialUses. Далее, согласно анализу табличной интерполяционной функции, случайным образом (используется равномерный закон распределения), одновременно (переход «по условию») агенты размещаются среди трех состояний, определяющих единую горизонталь общностей:

- Second – состояние связанное с имитацией поведения потенциальных покупателей жилья на вторичном рынке жилья;

- First – состояние связанное с имитацией поведения потенциальных покупателей жилья на первичном рынке жилья;
- Cottage – состояние связанное с имитацией поведения потенциальных покупателей жилья типа частного домовладения (коттеджа).

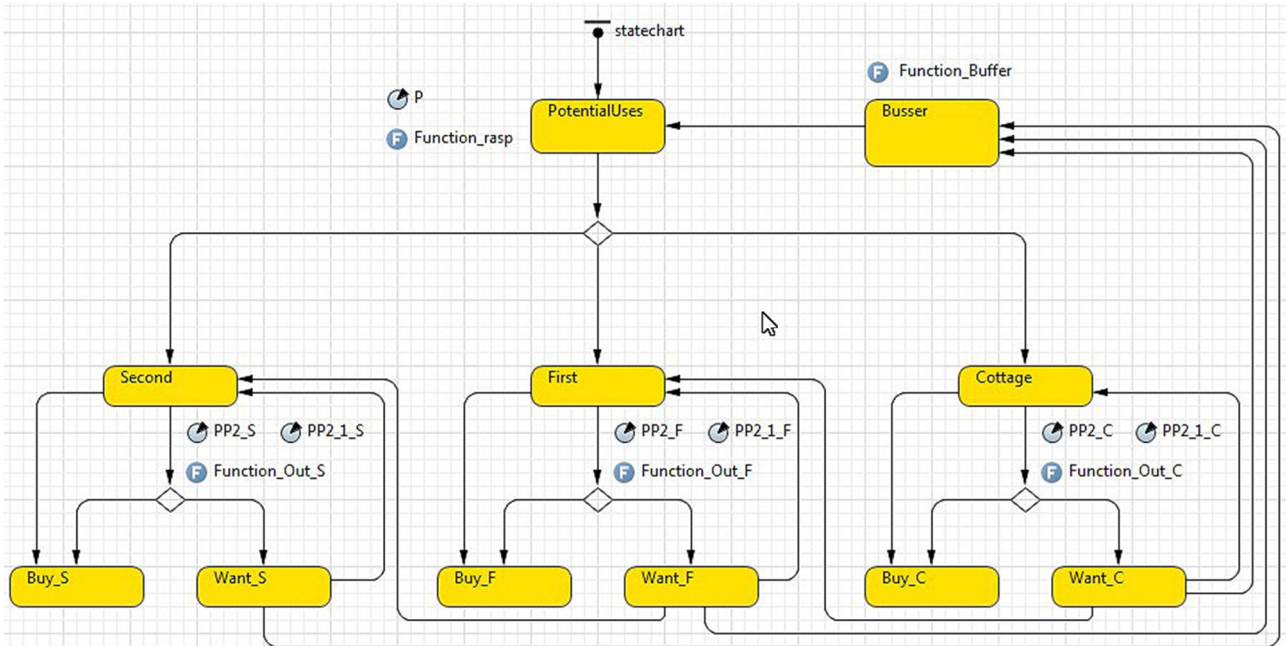


Рисунок 1 – Диаграмма состояний (Statechart) агента, определяющая физические состояния и переходы между ними

Нетрудно заметить определенное подобие блоков диаграммы состояний, отвечающих за имитацию процессов приобретения частного домовладения на первичном и вторичном рынках жилья. В таком случае достаточно рассмотреть функционирование одного из них, в частности – процесс приобретения нового жилья (рис. 2), и все идеи, сформулированные по данному блоку, применить ко всем остальным.

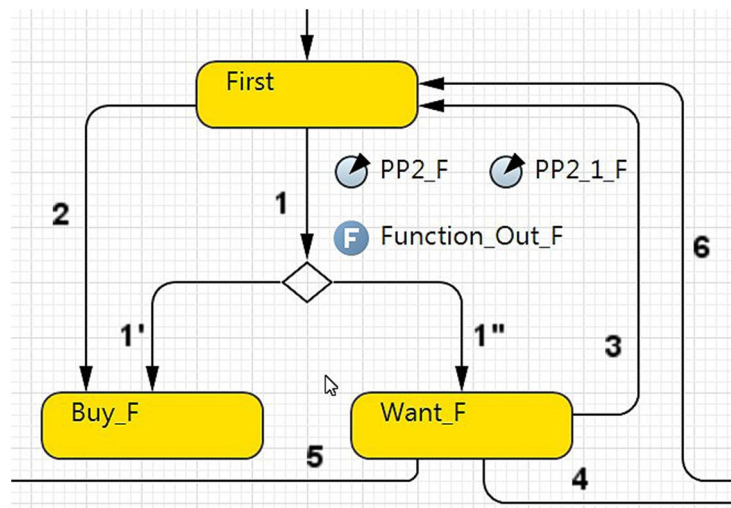


Рисунок 2 – Фрагмент диаграммы состояний агента, имитирующий процесс приобретения жилья в новостройке

В приведенном фрагменте диаграммы состояний присутствует три состояния:

- First – состояние связанное с имитацией поведения потенциальных покупателей на первичном рынке жилья;

- Buy\_F – состояние связанное с имитацией осуществления покупки;
- Want\_F – состояние связанное с имитацией ожидания покупки.

Теперь в едином комплексе рассмотрим состояния с пронумерованными переходами и соответствующие им имитируемые процессы. Агент находится в состоянии First (готовность купить квартиру в новостройке), у него сформирован набор критериев, предъявляемых к приобретаемому жилью. По переходу «1» (переход «с заданной интенсивностью») осуществляется доступ к ветвлению «1' – 1"» (переход «по условию»): если на рынке представлено жилье, удовлетворяющее критериям покупателя (переход «1'»), покупка совершается, если нет (переход «1"») – переход «3» (переход «с заданной интенсивностью») из состояния Want\_F в состояние First, имитирующее процесс ожидания подходящей квартиры. Также покупка может быть совершена, если в процессе ожидания клиента подходящей ему по критериям квартиры она появляется на рынке жилья. Процесс появления на первичном рынке жилья имитируется посредством дискретно-событийных модулей (рис. 3), осуществляющих «пакетную» генерацию объектов жилья и формирования динамических структур коллекций, определяющих его (жилья) критериев с использованием метода «вложенных квантилей». В связи с этим процессом в основном модуле Main имитационной модели формируется цикл, обеспечивающий прохождение по всем агентам, находящимся в состоянии First, на предмет соответствия критериев поступившего на рынок жилья требованиям потенциального покупателя. Если таковое соответствие устанавливается, то генерируется процесс отправки сообщения найденному агенту и осуществляется переход «2» (переход «по получению сообщения»), имитирующий процесс приобретения жилья.

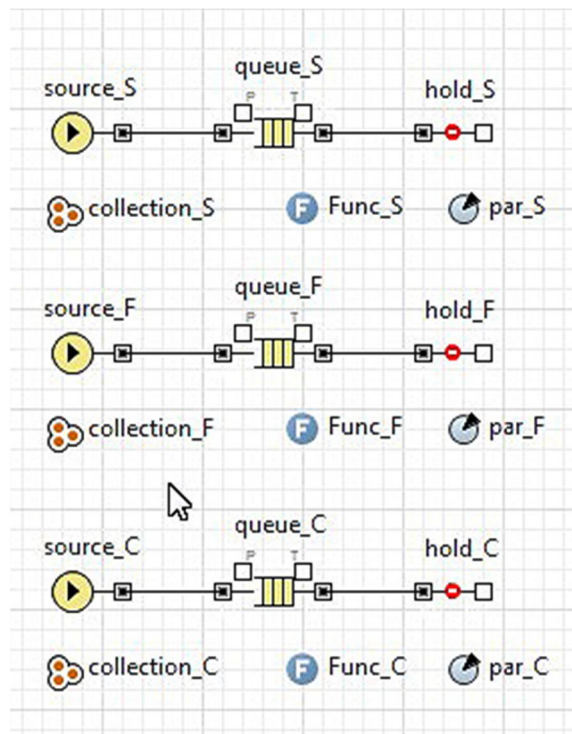


Рисунок 3 – Блок-схема дискретно-событийного модуля формирования критериальных коллекций

Также на рисунке 2 представлены переходы «4», «5» и «6», являющиеся переходами «с заданной интенсивностью». Переход «4» связывает состояния Want\_F и Buffer. В состоянии Buffer посредством программной реализации агент может быть либо удален (покупатель прекращает поиск жилья), либо отправлен в состояние PotentialUses (покупатель продолжает поиск жилья), причем существует возможность программной блокировки некоторых переходов, что имитирует процессы поиска жилья в ограниченных областях регионального рынка жилой недвижимости. Переход «5» связывает состояния Want\_F и Second, имитируя процесс отказа

покупателя от безуспешных попыток приобретения квартиры в новостройке и начала поисков на вторичном рынке жилья. Переход «б» по своей сути аналогичен переходу «5», то есть связывает состояния Cottage и First, имитируя процесс отказа покупателя от попытки приобрести частное домовладение и продолжения поисков на первичном рынке жилья.

Выше уже был обозначен метод «вложенных квантилей» для установления многокритериальности как признаков приобретаемого жилья, так и потребностей потенциальных покупателей (количество комнат, тип здания, этажность, метраж жилой и нежилой площади, привлекательность района, наличие инфраструктуры и т.д.), теперь перейдем к его рассмотрению.

В данной работе описывается функциональное ядро имитационной модели, но, естественно, подразумевается последующее проведение экспериментов на основании неких статистических данных, имеющих как технико-экономическую, так и социальную природу, но формирующих определенный набор критериев для оценки «спроса/предложения». Естественным способом получения такой информации является социологическое анкетирование потенциальных покупателей на предмет формирования значимости критериев, предъявляемых к приобретаемому товару (жилью), а также данные, характеризующие региональный рынок жилья. В настоящий момент любые исследования, в том числе и социологические, могут быть приведены к количественному результату, используя методы математической статистики. Предположим, что было выделено  $N$  признаков. Данная работа не посвящена анализу и рассмотрению методик получения количественных статистических характеристик, поэтому будем считать, что они даны. Соответственно, можно сформировать две таблицы количественных статистических оценок.

Таблица статистического анализа предложений на региональном рынке жилья:

1	2	3	...	$N-2$	$N-1$	$N$
$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_{N-2}$	$X_{N-1}$	$X_N$

Таблица статистического анализа спроса на региональном рынке жилья:

1	2	3	...	$N-2$	$N-1$	$N$
$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	...	$Y_{N-2}$	$Y_{N-1}$	$Y_N$

Будем считать, что все значения во вторых строках обеих таблиц имеют положительные ( $X_i > 0, Y_i > 0, i = 1, 2, \dots, N$ ).

Определим новые характеристики статистических данных:

$$\tilde{X}_i = \frac{\sum_{k=1}^i X_k}{\sum_{j=1}^N X_j}, \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (1)$$

$$\tilde{Y}_i = \frac{\sum_{k=1}^i Y_k}{\sum_{j=1}^N Y_j}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Квантиль уровня  $\alpha$  экспоненциального распределения  $t(\lambda) = \exp_{\alpha}(\lambda) = \frac{\ln(1-\alpha)^{-1}}{\lambda}, \lambda > 0$ .

Расположим на действительной оси квантили типа  $t_i = \frac{\ln(1-\tilde{X}_i)^{-1}}{\lambda}, i = 1, 2, \dots, N$ , при некотором значении  $\lambda$ , причем отметим, что последовательность  $\{t_i\}$  возрастающая, и введем  $t_0 = 0$ . Тогда  $\forall t \in (t_i, t_{i+1}), \tilde{X}_i < 1 - e^{-\lambda t} < \tilde{X}_{i+1}, i = 1, 2, \dots, N-1$ , а также  $\forall t \in (0, t_1), 0 < 1 - e^{-\lambda t} < \tilde{X}_1$  [6-9].



Именно эти рассуждения и являются обоснованием введения метода «вложенных квантилей» для формирования динамических структур, определяющих критерии спроса и предложения жилья в имитационной модели – для экспоненциального распределения ( $\lambda = 1$ ) и таблиц статистического анализа, согласно формулам (1), (2), определяются статистические характеристики и квантили, соответствующие их уровням, генерируется значение случайной величины, оценивается попадание в определенный интервал и тем самым имитируется назначение определенного исходной таблицей признака.

Данный метод хорошо согласуется с необходимостью постоянного изменения критериальных оценок, так как статистические данные «спроса и предложения» постоянно меняются.

В модели используются два модуля системной динамики (рис. 4, а, б). В первом моделируются процессы ввода новых жилых объектов и изменения на рынке вторичного жилья, причем предусмотрена возможность перевода объектов из жилого, в нежилой фонд, а также полный износ зданий и, соответственно, вывод из жилого фонда. Во втором модуле реализована популяционная динамика региона, влияющая на увеличение (уменьшение) численности потенциальных потребителей, что, в свою очередь, программно реализовано посредством реплицирования (удаления) агентов [10, 11].

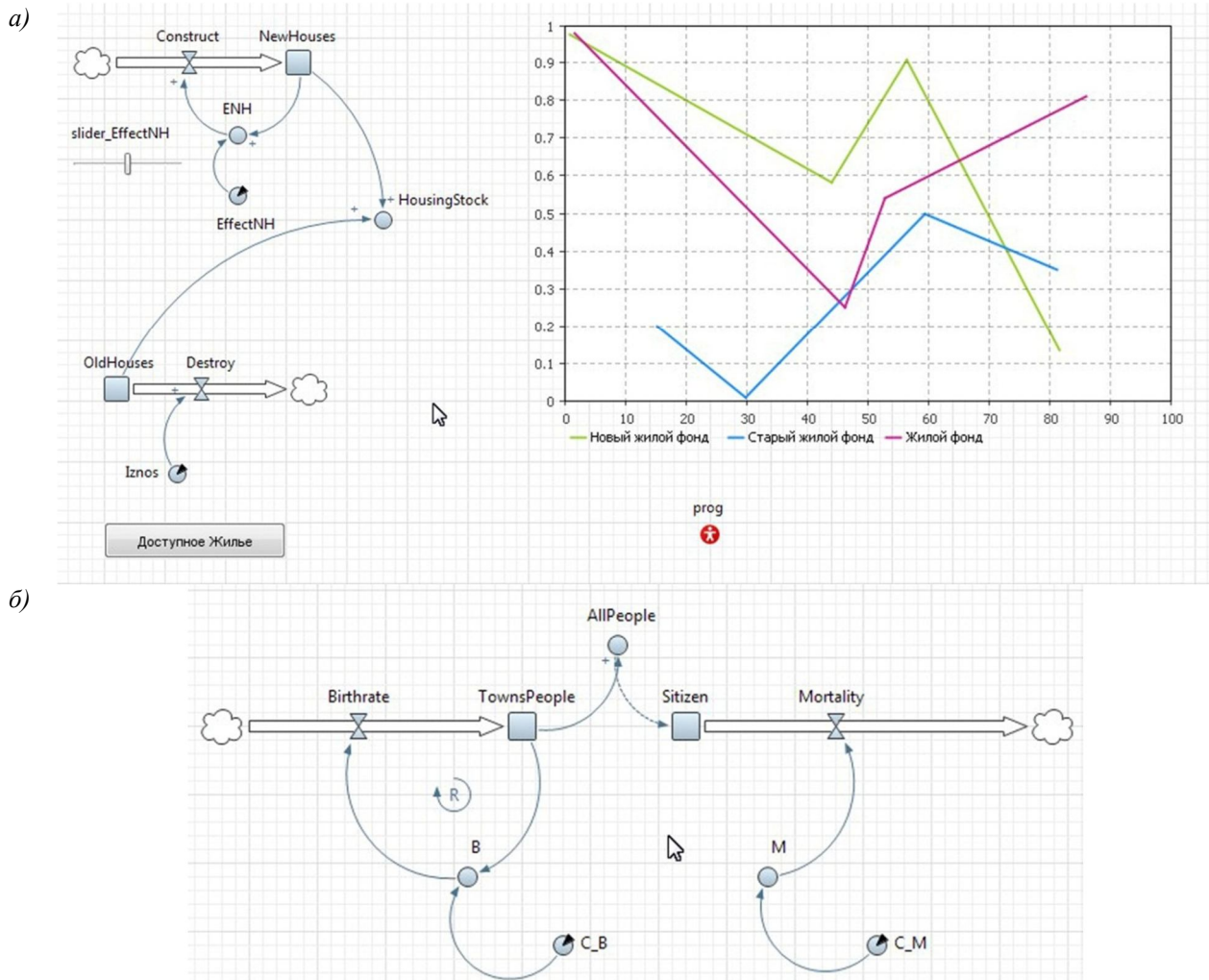


Рисунок 4 – Блок-схемы модулей системной динамики: а – модуль популяционной динамики региона; б – модуль динамики ввода новых жилых объектов и изменений на рынке вторичного жилья

### Заключение

Разработана агентная имитационная модель оценки динамики потребительского спроса на региональном рынке жилья. С целью понижения уровня абстракции модели был разработан дискретно-событийный модуль, формирующий критерии, определяющие спрос на жилые объ-

екты недвижимости. Модель позволяет прогнозировать финансовые потоки, инициируемые приобретением жилья на региональном рынке. Необходимо отметить, что разработанная модель является многоагентной, что, в свою очередь, предоставляет возможность ее улучшения (понижения уровня абстракции) посредством перехода к мультиагентной модели.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ануфриев, Д.П. Жилище как элемент социально-экономической системы региона: опыт прикладного исследования [Текст] / Д.П. Ануфриев // Вестник МГСУ. – 2014. – №2. – С. 187-195.
2. Ануфриев, Д.П. Математическая модель регионального строительного комплекса [Текст] / Д.П. Ануфриев // Астрахань – дом будущего: тезисы II Междунар. науч.-практ. конф. – Астрахань: Изд. Сорокин Роман Васильевич, 2010. – С. 58-73.
3. Ануфриев, Д.П. Управление строительным комплексом как социально-экономической системой: постановка проблемы [Текст] / Д.П. Ануфриев // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №8. – С. 8-10.
4. Ануфриев, Д.П. Имитационная модель системы массового обслуживания с накопителем и интервальной задержкой начала обслуживания [Текст] / Д.П. Ануфриев, А.Ю. Холодов // Перспективы развития строительного комплекса: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. 28-31 октября 2013 г.: под ред. В.А. Гутмана, А.Л. Хаченьяна. – Астрахань: ГАОУ АОО ВПО «АИСИ», 2013. – Т. 1. – С. 88-94.
5. Ануфриев, Д.П. Статистический анализ имитационных экспериментов модели системы массового обслуживания с накопителем и интервальной задержкой начала обслуживания [Текст] / Д.П. Ануфриев, А.Ю. Холодов // Вестник МГСУ. – 2014. – №10. – С. 197-211.
6. Economou A., Fakinos D. Product form stationary distributions for queueing networks with blocking and re-routing // Queueing Systems: Theory Appl. – 1998. – Vol. 30. – №3/4. – P. 251-260.
7. Williams R.J. Diffusion approximations for open multiclass queueing networks: sufficient conditions involving state space collapse // Queueing Systems: Theory Appl. – 1998. – Vol. 30. – №1/2. – P. 27-88.
8. Konheim A.G., Reiser M. A Queueing Model with Finite Waiting Room and Blocking // J. Assoc. Comput. Mach. – 1976. – Vol. 23. – №2. – P. 328-341.
9. Kuehn P. Approximate analysis of general queueing networks by Decomposition // IEEE Transact. on Communications. – 1979. – Vol. 27. – №1. – P. 113-126.
10. Холодов, А.Ю. Имитационная модель финансовых взаимоотношений участников долевого строительства [Текст] / А.Ю. Холодов, Д.П. Ануфриев // Имитационное моделирование. Теория и практика сб. докладов V Всероссийской науч.-практ. конф. ИММОД-2011. – СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011. – Т.2. – С. 300-302.
11. Холодов А.Ю., Ануфриев Д.П. Имитационное моделирование финансовых взаимоотношений участников долевого строительства и оценки рисков строительных организаций при комплексной застройке [Текст] / А.Ю. Холодов, Д.П. Ануфриев // Труды Всероссийской науч.-практ. конф. по имитационному моделированию соц.-эконом. систем (ВКИМСЭС). 15 мая 2012 г. – М. ООО «Принт-Сервис», 2012. – С. 120-124.

#### Д.П. Ануфриев

Астраханский инженерно-строительный институт, г. Астрахань  
Кандидат технических наук, профессор, ректор  
E-mail: adp\_2000@mail.ru

#### А.Ю. Холодов

Астраханский инженерно-строительный институт, г. Астрахань  
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физики и математики, информационных технологий  
E-mail: artemhol@rambler.ru

D. ANUFRIEV, A. HOLODOV

### DESCRIPTION CORE FUNCTIONALITY SIMULATION MODEL CONSUMER DEMAND FOR REGIONAL HOUSING MARKET

*The description of the agent-based simulation model, where the agents are considered potential buyers, and as a medium - the regional housing market. In the model of integrated modules of system dynamics, taking into account the population dynamics of the region, the introduction of new residential properties and changes in the secondary housing market. Agent develop a framework to implement transitions between physical states by the method "nested quantile".*

**Keywords:** simulation, agents, state diagram, system dynamics, exponential distribution law, quantile.

## BIBLIOGRAPHY

1. Anufriev, D.P. Zhilishhe kak jelement social'no-jekonomicheskoj sistemy regiona: opyt prikladnogo issledovanija [Tekst] / D.P. Anufriev // Vestnik MGSU. – 2014. – №2. – S. 187-195.
2. Anufriev, D.P. Matematicheskaja model' regional'nogo stroitel'nogo kompleksa [Tekst] / D.P. Anufriev // Astrahan' – dom budushhego: tezisy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Astrahan': Izd. Sorokin Roman Vasil'evich, 2010. – S. 58-73.
3. Anufriev, D.P. Upravlenie stroitel'nym kompleksom kak social'no-jekonomicheskoj sistemoj: postanovka problemy [Tekst] / D.P. Anufriev // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2012. – №8. – S. 8-10.
4. Anufriev, D.P. Imitacionnaja model' sistemy massovogo obsluzhivaniya s nakopitelem i interval'noj zaderzhkoj nachala obsluzhivaniya [Tekst] / D.P. Anufriev, A.Ju. Holodov // Perspektivy razvitija stroitel'nogo kompleksa: materialy VII Mezhdunar. nauch.- prakt. konf. 28-31 oktjabrja 2013 g.: pod red. V.A. Gutmana, A.L. Hachen'jana. – Astrahan': GAOU AOO VPO «AISI», 2013. – T. 1. – S. 88-94.
5. Anufriev, D.P. Statisticheskij analiz imitacionnyh jeksperimentov modeli sistemy massovogo obsluzhivaniya s nakopitelem i interval'noj zaderzhkoj nachala obsluzhivaniya [Tekst] / D.P. Anufriev, A.Ju. Holodov // Vestnik MGSU. – 2014. – №10. – S. 197-211.
6. Economou A., Fakinos D. Product form stationary distributions for queueing networks with blocking and re-routing // Queueing Systems: Theory Appl. – 1998. – Vol. 30. – №3/4. – P. 251-260.
7. Williams R.J. Diffusion approximations for open multiclass queueing networks: sufficient conditions involving state space collapse // Queueing Systems: Theory Appl. – 1998. – Vol. 30. – №1/2. – P. 27-88.
8. Konheim A.G., Reiser M. A Queueing Model with Finite Waiting Room and Blocking // J. Assoc. Comput. Mach. – 1976. – Vol. 23. – №2. – P. 328-341.
9. Kuehn P. Approximate analysis of general queueing networks by Decomposition // IEEE Transact. on Communications. – 1979. – Vol. 27. – №1. – P. 113-126.
10. Holodov, A.Ju. Imitacionnaja model' finansovyh vzaimootnoshenij uchastnikov dolevogo stroitel'stva [Tekst] / A.Ju. Holodov, D.P. Anufriev // Imitacionnoe modelirovanie. Teorija i praktika sb. dokladov V Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. IMMOD-2011. – SPb.: OAO «CTSS», 2011. – T.2. – C. 300-302.
11. Holodov A.Ju., Anufriev D.P. Imitacionnoe modelirovanie finansovyh vzaimootnoshenij uchastnikov dolevogo stroitel'stva i ocenki riskov stroitel'nyh organizacij pri kompleksnoj zastrojke [Tekst] / A.Ju. Holodov, D.P. Anufriev // Trudy Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. po imitacionnomu modelirovaniju soc.-jekonom. sistem (VKIMSJeS). 15 maja 2012 g. – M. OOO «Print-Servis», 2012. – C. 120-124.

### D. Anufriev

Astrakhan Institute of civil engineering, Astrakhan  
Candidate of technical sciences, professor, rector  
E-mail: adp\_2000@mail.ru

### A. Holodov

Astrakhan Institute of civil engineering, Astrakhan  
Candidate of technical sciences, associate professor of physics and mathematics, information technology  
E-mail: artemhol@rambler.ru

АСЕЕВА И.А., ТОКАРЕВА Е.С., ПАЩЕНКО Е.Н.

## КОНВЕРГЕНТНЫЕ NBIC-ТЕХНОЛОГИИ КАК ТРЕНД СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И ФАКТОР СТАНОВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ\*

*Образ современной науки все чаще определяют междисциплинарные, конвергентные практики и технологии, затрагивающие основные сферы познания мира и строящие новую инновационную цивилизацию. Взаимодействие нано-, био-, инфо- и когни- технологий открывает фантастические возможности перед человечеством, но, в то же время, ставят не только технические, но и философско-методологические, этические и социально-психологические проблемы, которые невозможно проигнорировать при поиске пути развития современной науки.*

**Ключевые слова:** философия науки и техники, инновационная цивилизация, NBIC-конвергенция, биоэтика.

*... Технизированное и машинизированное общество хотят, чтобы человек был их частью, их средством и орудием, они все делают, чтобы человек перестал быть единством и целостностью, т.е. хотят, чтобы человек перестал быть личностью. И предстоит страшная борьба между личностью и технической цивилизацией, технизированным обществом... Техника всегда безжалостна ко всему живому и существующему. И жалость к живому и существующему должна ограничить власть техники в жизни.*

Бердяев Н.А. Человек и машина  
(Проблема социологии и метафизики техники)

Ускорение научно-технического прогресса в конце XX века привело к биотехнологическому прорыву и последовавшим за ним революционным открытиям в области нанотехнологий, затем информационных и коммуникационных технологий. Последние десятилетия ознаменовались бурным прогрессом развития когнитивной науки. Причем речь идет не о прогрессе в различных областях науки, а именно об их совместном развитии, о синергетическом эффекте их взаимопроникновения и взаимообогащения. Этот синтез наиболее ярко проявлен в новом научно-технологическом укладе и базируется на так называемых конвергентных NBIC-технологиях.

Термин «NBIC-конвергенция» был введен Михаилом Роко и Уильямом Бейнбриджем в 2002 году в отчете «Converging Technologies for Improving Human Performance» для Национального научного совета и министерства торговли США [1]. В отчете указывалась важность и особенность NBIC-конвергенции, ее значение для становления нового этапа человеческой цивилизации.

Конвергенция в переводе с латинского звучит как «сближаю», «схожусь». Однако современный смысл, вкладываемый в это понятие, несколько глубже. NBIC-конвергенция дает такие технологические результаты, которые, претворяясь в нашу жизнь, способны кардинально изменять саму природу человека. Причем их огромный ресурс, в силу чрезвычайно быстрого развития, человечество пока не в состоянии точно оценить. NBIC-конвергенция является своего рода механизмом взаимодействия большого количества областей технологий. Благодаря конвергенции этих технологий начинают возникать и развиваться совершенно новые междисциплинарные области, такие, как трансгуманизм, концепция постчеловеческого общества.

\* (Публикация подготовлена при поддержке гранта РГНФ, проект № 13-33-01023).

Происходят серьезные культурные и социальные сдвиги и перестройки всех сфер жизни и деятельности человека [2].

Появление и использование NBIC-технологий расширило возможности и уже преобразило жизнь огромного числа людей. Развитие компьютерной техники и средств связи, появление интернета навсегда изменило информационную картину мира и восприятие информации человеком. Сегодня нет ни одной развивающейся отрасли без использования информационных технологий, которые несут объединительную функцию. «Информационные технологии стали неким «обручем», который объединил все науки и технологии» [3].

В 90-е годы на первый план выдвинулись биотехнологии. Биотехнологии – совокупность промышленных методов, использующих живые организмы и биологические процессы, достижения геномной инженерии (отрасли молекулярной генетики, связанной с созданием искусственных молекул вещества, передающего наследственные признаки живого организма) и клеточной технологии. Одним из важнейших технологических и научных завоеваний стал проект «Геном человека», успешное завершение которого позволило разработать новые виды лекарств, поставило вопрос о существовании индивидуальной медицины и технологии создания «запасных» человеческих органов [4].

Нанотехнологии, появившиеся вслед за информационными технологиями, имеют в своем основании стремление соединения существующей узкоспециализированной науки и отраслевой экономики в единую картину естествознания на совершенно новом уровне развития цивилизации, основанном на использовании отдельных атомов и молекул. Нанотехнологии также все чаще находят применение на практике, прежде всего, в области создания инновационных материалов, вычислительных систем, а также новых видов лекарств.

Когнитивная наука как особая область знания появилась относительно недавно. Она представляет собой комплекс междисциплинарных исследований познавательных процессов, т. е. процессов восприятия, памяти и мышления, а также взаимодействие человека и его окружения. Когнитивная сфера, включающая объяснение и понимание содержания познания, общие принципы управления ментальными процессами в человеческом мозге, восприятие и осмысление окружающего мира, конвергируют разные дисциплины. Хорошо известно, что сталкиваясь с одними и теми же событиями и фактами, люди могут очень по-разному их воспринимать и оценивать. Соответственно, совершенно различна и их реакция. Это происходит из-за того, что разные люди извлекают из событий и фактов разные знания, а этот процесс определяется когнитивными факторами, влияющими на людей. Любая информация из любого источника, которая приходит к человеку, получает для него определенный смысл только благодаря тем или иным когнитивным факторам. То есть, если мы даже не можем изменить поступающую к человеку информацию, изменить сами события и факты, мы можем в широких пределах изменять его реакцию, правильно сформировав когнитивные факторы. Обратим внимание на особенность этого подхода: традиционные методы влияния на сознание людей, такие как пропаганда, основаны на попытках контролировать поступающую человеку информацию (утаивание фактов, дезинформация и т.д.), когнитивные методы не изменяют саму информацию, но создают условия, в которых она получает иной смысл и превращается в иное знание. Когнитивные технологии ориентированы на развитие интеллектуальных способностей человека.

Несмотря на то, что когнитивные технологии оформились и стали развиваться сравнительно позже других рассматриваемых нами технологий, с уверенностью можно сказать, что в самое ближайшее время разработки в этой области выйдут на новый, революционный уровень. А, учитывая, что современные технологии развиваются комплексно, дополняя и обогащая друг друга, целесообразным представляется дальнейшее их рассмотрение во взаимодействии между собой.

Взаимодействие нано- и биотехнологий (впрочем, как и других составляющих) является взаимным. Биологические системы дали ряд инструментов для строительства наноструктур. В перспективе нанотехнологии приведут к возникновению и развитию новой отрасли, наномедицины (а потом и нанобиологии): комплекса технологий, позволяющих

управлять биологическими процессами на молекулярном уровне. По мере развития этой области, будут созданы новые инструменты (наносенсоры и т.д.) для изучения биологических структур на молекулярном и клеточном уровне.

Если на макроуровне соединение живого и неживого (например, человек и механический протез) приводит к возникновению существа смешанной природы (киборг), то на микроуровне различие между живым и неживым не столь очевидно. Разрабатываемые сегодня гибридные микросистемы не отличаются принципиально от естественных или искусственных систем. Подобное сходство строения и функций природных биологических и искусственных нанообъектов приводит к особенно явной конвергенции нанотехнологий и биотехнологий.

Нанотехнологии и когнитивная наука больше других далеки друг от друга, поскольку на данном этапе развития науки возможности для взаимодействия между ними ограничены. Кроме того нанотехнологии и когнитивная наука начали активно развиваться позже других описываемых областей, и поэтому развитие их взаимодействия во многом лежит в будущем. Но из просматриваемых уже сейчас перспектив можно выделить использование наноинструментов для изучения мозга, а также его компьютерного моделирования. Существующие внешние методы сканирования мозга не обеспечивают достаточной глубины и разрешения [5]. Нанотехнологии представляются самым технически простым путем изучения деятельности отдельных нейронов и даже их внутриклеточных структур.

Взаимодействие между нанотехнологиями и информационными технологиями носит двусторонний синергетический и взаимоусиливающийся характер. С одной стороны, информационные технологии используются для симуляции наноустройств, с другой стороны, уже сегодня идет активное использование нанотехнологий для создания более мощных вычислительных и коммуникационных устройств [6].

Информационные технологии также используются для моделирования биологических систем. Возникла новая междисциплинарная область вычислительная биология, включающая биоинформатику, системную биологию. Появился новый тип биологических/медицинских экспериментов *in silico* (в компьютерной симуляции) в дополнение к давно известным *in vivo* и *in vitro*. Уже начаты международные научные проекты, ставящие своей целью создание таких моделей. Проект International E. coli Alliance работает над моделированием бактерии кишечной палочки, проект Blue Brain создан для работы над моделированием коры головного мозга человека [6].

Успешное моделирование сложных организмов на молекулярном, клеточном и системном уровнях сделает возможным разработку и тестирование лекарств на компьютерных моделях, изучение всей совокупности процессов обмена веществ, создание искусственных организмов с нуля, разработку высокоэффективных лекарств от большинства болезней и старения [7].

Развитие «нейро-силиконовых» интерфейсов (объединения нервных клеток и электронных устройств в единую систему) открывает широкие возможности для киборгизации (подключения искусственных частей тела, органов к человеку через нервную систему), разработки интерфейсов «мозг-компьютер» (прямое подключение компьютеров к мозгу) для обеспечения высокоэффективной двусторонней связи. Замечательный эксперимент по разработке такого интерфейса был произведен исследовательской группой компании Cyberkinetics в 2004 году. В результате эксперимента практически полностью парализованный человек смог управлять курсором на экране монитора, рисуя, переключая программы и пр. [8].

Стремительный прогресс, который мы наблюдаем сейчас в когнитивной науке в скором времени, как полагает ряд ученых, позволит «разгадать загадку разума», то есть описать и объяснить процессы в мозгу человека, ответственные за высшую нервную деятельность человека. Следующим шагом может стать реализация данных принципов в системах универсального искусственного интеллекта.

Обратное влияние информационных технологий на когнитивную область весьма значительно, но оно не ограничивается использованием компьютеров в изучении мозга.



Информационные и коммуникационные технологии уже сейчас используются для усиления человеческого интеллекта. В таких областях человеческой деятельности, как поиск и обработка информации, структурирование знаний, планирование деятельности, организация творческого мышления, специально созданные компьютерные инструменты играют значительную роль. Эти технологии все больше дополняют естественные способности человека к работе с информацией [9].

Принимая во внимание описанные выше взаимосвязи, а также в целом междисциплинарный характер современной науки, можно говорить об ожидаемом в перспективе слиянии NBIC областей в единую научно-технологическую область знания. Такая область будет включать в предмет изучения и действия почти все уровни организации материи: от молекулярной природы вещества (нано), до природы жизни (био), природы разума (когни) и процессов информационного обмена (инфо). Единая структура знания будет включать в себя все области: от бытовой до культурной, религиозной, научной и технической.

В целом, можно говорить о том, что развивающийся на наших глазах феномен NBIC-конвергенции представляет собой радикально новый этап научно-технического прогресса, не имеющий исторических аналогов по степени влияния на человеческую цивилизацию. По своим возможным последствиям NBIC-конвергенция является важнейшим эволюционно-определяющим фактором: развитие входящих в NBIC-блок технологий повлияет на все стороны человеческой жизни.

Формируется новый тип цивилизации, который можно было бы определить как инновационная. Если отталкиваться от термина «инновация», который подразумевает нововведение, изменение или обновление, то «инновационная цивилизация» представляет собой стадию в развитии человеческого общества, ориентированную на деятельность по созданию, освоению, использованию и распространению нового, с целенаправленным изменением, вносящим в среду внедрения новые элементы, вызывающие изменение системы из одного состояния в другое [10].

Следует отметить, что инновационная цивилизация характеризуется не просто развитием высокотехнологичного пространства, но также взаимозависимостью в социально-экономической системе и во всех сферах общественной жизни, что свидетельствует о масштабности и значимости данного феномена. Ориентация инновационной цивилизации в большой степени направлена на нематериальную сферу, а именно на информацию, знания и творчество. Данные элементы влияют на результаты производства и воздействуют на жизнедеятельность социума.

Можно выделить основные характерные черты инновационной цивилизации, в тоже время они являются элементами, наличие которых будет способствовать эффективному развитию общества.

- Благоприятные условия для распространения технологических новшеств (высокий технический уровень производства, наличие высококвалифицированных кадров и т.д.). Данный критерий можно считать фундаментальным, ведь от условий, в рамках которых будет осуществляться развитие и внедрение новаций, будет зависеть эффективность этого процесса.
- Наука (финансирование интеллектуальной деятельности и сферы культуры). Финансовая поддержка со стороны государства должна быть приоритетной.
- Укреплению субъектной базы инновационного развития. В данном случае говорится о перестройке в пользу высокотехнологичных и наукоемких отраслей.
- Активная социальная поддержка инноваций исходит от «креативного класса», т.е. ученых, инженеров, программистов, менеджеров, аналитиков и т.д.
- Инновационная культура. Речь идет об адекватной восприимчивости граждан к новым идеям и нововведениям, их способность быстро «схватывать» преимущества тех или иных новшеств и столь же быстро отрешаться от устаревших стандартов и образцов, добиваясь максимально гармоничного сочетания новаторства и стабильности в своей жизни и жизни общества) [11].

Таким образом, инновационная цивилизация характеризуется необходимым наличием новых ресурсов инновационного потенциала человека и социума, энергетических и сырьевых ресурсов, высокого уровня научного потенциала и образованности населения, понимания необходимости крупных инноваций. Для инновационной цивилизации свойственна постоянная генерация новых образцов, идей, концепций, которые могут реализовываться в сегодняшней действительности, а также могут стать программами жизнедеятельности грядущих поколений.

«В конце XX века ученые, философы, политики, социологи встают перед необходимостью решения целого комплекса реальных этических проблем. Сегодня возможность сохранения человеческой цивилизации зависит от того, каким ценностям будет отдано предпочтение. От того, хватит ли моральных и нравственных сил, чтобы устоять от соблазна продления жизни небольшого числа людей за счет сознательного уничтожения множества других, за счет превращения их в потенциальных доноров, в биомассу, в ходячие вместилища «запасных частей»» [12]. Практическая реализация новых технологий может разрушить естественные основы социальных отношений, вызвать катастрофическое изменение мировоззренческих установок в сторону дальнейшего обесценивания жизни каждого отдельного человека, который перестанет восприниматься как уникальное существо. Природа остается главным ориентиром наших ценностей. Мы полагаем, что только мораль и этика еще могут провести границу между технически возможным, и тем, что является нравственным.

Многие ученые отмечают несоответствие между стремительно развивающимися демографическими, медицинскими и техническими преобразованиями в обществе и степенью их осмысления. Наблюдается процесс противостояния между технологией, которая, как правило, этически нейтральна, и применением технологии, которая может быть весьма сомнительной с нравственной точки зрения [13]. Необходимо выбрать нужные ориентиры, определяющие пути выхода из многочисленных моральных затруднений, связанных с прогрессом биологических наук и продуцируемыми ими биотехнологиями.

Как было показано, в настоящее время развитие науки и техники определяется ускоряющимся прогрессом в таких областях, как информационные технологии, биотехнологии, нанотехнологии и когнитивная наука. Эти технологии не развиваются в изоляции, а активно влияют друг на друга. Благодаря NBIC-конвергенции появляется возможность качественного роста возможностей человека за счет его технологической перестройки [14]. Речь может даже идти о начале нового этапа эволюции человека.

Развитие NBIC-технологий сильно меняет наши представления о мире, в том числе – о природе базовых понятий, таких, как природа, жизнь, человек, разум. Сложно описать результат подобных трансформаций, где изменению подвержены все аспекты жизни человека. Но можно ожидать, что изменения станут все более стремительными. При этом подобные прогнозы жестко основаны на возможностях технологий, начиная от сегодняшних исследовательских проектов и заканчивая ожидаемыми результатами принимаемых сейчас долгосрочных научных стратегий. При всей своей революционности, NBIC-конвергенция и ее последствия заслуживают и требуют внимательного и непредвзятого научного анализа, внимательного изучения социальных эффектов, вызванных их бурным развитием.

Обсуждая существование альтернативных путей развития нашей цивилизации, большинство экспертов сходятся в том, что всепроникающее техно – единственный возможный путь эволюции человека, при этом упор делается на то, что такое развитие непременно должно сопровождаться экологической, социальной, гуманитарной экспертизой, при сохранении того, что называется «человеческим качеством». Однако некоторые эксперты наряду с развитием техногенной среды призывают также к индивидуальному развитию способностей человека, к развитию нравственно-этического потенциала, к включению в «техно» созданные человеком искусство, науку и культуру.

Все это в конечном итоге подтверждает правомерность создания контролирующего элемента в структуре NBIC, которым являются социальные технологии, имеющие своей целью гуманистическое развитие супер-технологий во благо человечества, прогрессивного развития и во избежание всех тех негативных и опасных сценариев, которые рисует нам вообра-



жение и создает кинематограф. Потребность в социальном осмыслении, социогуманитарной экспертизе сегодня воплощается в создании комплекса NBIC(S)-технологий, где регулирующим элементом выступают социальные технологии. Только такой подход сегодня реально может обеспечить гармоничное развитие общества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roco, M.C., Bainbridge, W.S. (EDS.) *Converging Technologies for Improving Human Performance*. NSF-DOC Report. – Boston: Cluwer. – 2003.
2. Асеева, И.А. Гуманитарные аспекты NBICS-технологий: системный подход [Текст] / И.А. Асеева, Е.Н. Пашенко, О.А. Кравченко // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – 2013. – №6-1 (51). – Ч. 1. – С. 78-80.
3. Ковальчук, М.В. Конвергенция наук и технологий. Прорыв в будущее Российский нанотехнологии [Текст] / М.В. Ковальчук // *Экономический и научно-технический журнал*. – 2011. – №2.
4. Миндич, Д.А. Игры разума [Текст] / Д.А. Миндич // *Энергия промышленного роста*. – 2009. – №4.
5. Ястреб, Н.А. Конвергентная модель научно-инновационного процесса [Электронный ресурс] / Н.А. Ястреб. URL: <http://www.teoria-practica.ru/-12-2012/philosophy/yastreb.pdf>.
6. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А.И. Гусев. – М. – 2011.
7. Медведев, Д.А. Конвергенция технологий – новая детерминанта развития общества [Электронный ресурс] / Д.А. Медведев // Сайт Российского трангуманистического движения. – URL: <http://transhumanism-russia.ru/content/view/621/32>.
8. Технологии нейророботов уже давно реальность [Электронный ресурс] // *Mechanoid* Большие человекоподобные роботы. – URL: <http://mechanoid.ru/nanotech/index.html>.
9. Буданов, В.Г. Инновационные технологии в образовательных средах на основе самоорганизации студенческо-преподавательского сообщества [Текст] / В.Г. Буданов, Э.М. Сороко, И.А. Асеева // *Философия и культура*. – 2012. – №12. – С. 104-109.
10. Величко, Л.М. Эволюция философско-методологических представлений о технике и технических науках [Текст] / Л.М. Величко // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – №4-3 (43). – 2012. – С. 158-162.
11. *Инновационная модернизация России. Политологические очерки* / Под редакцией Ю.А. Красина. – М.: Институт социологии РАН, 2011.
12. Кучерова, И.А. *Современные биотехнологии: социально-этические аспекты: диссертация на соискание ученой степени кандидата философских наук*. – М. – 2006.
13. Величко, Л.М. Научные основы современной методологии технических наук [Текст] / Л.М. Величко // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – №4 (49). – 2013. – С. 111-118.
14. Каменский, Е.Г. Экзистенциальные риски инновационной парадигмы постиндустриального развития социума [Текст] / Е.Г. Каменский // *Гуманитарные науки и образование*. – 2012. – №4 (12). – С. 78-82.

### **И.А. Асеева**

Юго-Западный государственный университет, г. Курск  
Доктор философских наук, доцент, заведующий кафедрой «Философии и социологии»  
E-mail: [irinaaseeva2011@yandex.ru](mailto:irinaaseeva2011@yandex.ru)

### **Е.С. Токарева**

Юго-Западный государственный университет, г. Курск  
Студент специальности «Социология»  
E-mail: [voroshnevo46@mail.ru](mailto:voroshnevo46@mail.ru)

### **Е.Н. Пашенко**

Юго-Западный государственный университет, г. Курск  
Магистрант направления подготовки «Социология»  
E-mail: [kate280590@yandex.ru](mailto:kate280590@yandex.ru)

---

I. ASEEVA, E. TOKAREVA, E. PASCHENKO

## **NBIC-CONVERGENT TECHNOLOGIES AS TREND OF MODERN SCIENCE AND FACTOR OF INNOVATIVE CIVILIZATION'S FORMATION**

*Interdisciplinary, convergent technologies and practices that affect the main areas of knowledge of the world and building innovative new civilization define the image of modern science increasingly. Interaction of nano-, bio-, info- and kogni- technologies offers fantastic opportunities for humanity, but at the same time put not only the technical but also the philosophical and methodological, ethical, social and psychological problems that can not be ignored in the search path development of modern science.*

**Keywords:** *philosophy of science and technology, innovative civilization, NBIC-convergence, bioethics.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Roco, M.C., Bainbridge, W.S. (EDS.) *Converging Technologies for Improving Human Performance*. NSF-DOC Report. – Boston: Cluwer. – 2003.
2. Aseeva, I.A. Gumanitarnye aspekty NBICS-tehnologij: sistemnyj podhod [Tekst] / I.A. Aseeva, E.N. Pashhenko, O.A. Kravchenko // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2013. – №6-1 (51). – Ch. 1. – S. 78-80.
3. Koval'chuk, M.V. Konvergencija nauk i tehnologij. Proryv v budushhee Rossijskij nanotehnologii [Tekst] / M.V. Koval'chuk // *Jekonomicheskij i nauchno-tehnicheskij zhurnal*. – 2011. – №2.
4. Mindich, D.A. Igry razuma [Tekst] / D.A. Mindich // *Jenergija promyshlennogo rosta*. – 2009. – №4.
5. Jastrebnaja, N.A. Konvergentnaja model' nauchno-innovacionnogo processa [Jelektronnyj resurs] / N.A. Jastrebnaja. URL: <http://www.teoria-practica.ru/-12-2012/philosophy/yastrebnaja.pdf>.
6. Gusev, A.I. Nanomaterialy, nanostruktury, nanotehnologii [Tekst] / A.I. Gusev. – M. – 2011.
7. Medvedev, D.A. Konvergencija tehnologij – novaja determinanta razvitija obshhestva [Jelektronnyj resurs] / D.A. Medvedev // *Sajt Rossijskogo transhumanisticheskogo dvizhenija*. – URL: <http://transhumanism-russia.ru/content/view/621/32>.
8. Tehnologii nejroshlemov uzhe davno real'nost' [Jelektronnyj resurs] // *Mechanoid Bol'shie chelovekopodobnye roboty*. – URL: <http://mechanoid.ru/nanotech/index.html>.
9. Budanov, V.G. Innovacionnye tehnologii v obrazovatel'nyh sredah na osnove samoorganizacii studenchesko-prepodavatel'skogo soobshhestva [Tekst] / V.G. Budanov, Je.M. Soroko, I.A. Aseeva // *Filosofija i kul'tura*. – 2012. – №12. – S. 104-109.
10. Velichko, L.M. Jevoljucija filosofsko-metodologicheskikh predstavlenij o tehnike i tehnicheskikh naukah [Tekst] / L.M. Velichko // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. – №4-3 (43). – 2012. – S. 158-162.
11. Innovacionnaja modernizacija Rossii. Politologicheskie ocherki / Pod redakciej Ju.A. Krasina. – M.: Institut sociologii RAN, 2011.
12. Kucherova, I.A. *Sovremennye biotehnologii: social'no-jeticheskie aspekty: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata filosofskih nauk*. – M. – 2006.
13. Velichko, L.M. Nauchnye osnovy sovremennoj metodologii tehnicheskikh nauk [Tekst] / L.M. Velichko // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. – №4 (49). – 2013. – S. 111-118.
14. Kamenskij, E.G. Jekzistencial'nye riski innovacionnoj paradigmy postindustrial'nogo razvitija sociuma [Tekst] / E.G. Kamenskij // *Gumanitarnye nauki i obrazovanie*. – 2012. – №4 (12). – S. 78-82.

### I. Aseeva

South-West state university, Kursk

Doctor of philosophical sciences, senior lecturer, head of the department of «Philosophy and sociology»

E-mail: [irinaaseeva2011@yandex.ru](mailto:irinaaseeva2011@yandex.ru)

### E. Tokareva

South-West state university, Kursk

Student of the specialty «Sociology»

E-mail: [voroshnevo46@mail.ru](mailto:voroshnevo46@mail.ru)

### E. Pashchenko

South-West state university, Kursk

Master's student of the specialty «Sociology»

E-mail: [kate280590@yandex.ru](mailto:kate280590@yandex.ru)

БАВИЛОВ А.В.

## НА ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Намечены пути решения экологических и энергетических проблем при формировании среды жизнедеятельности за счет ликвидации свалок из образуемых твёрдых коммунальных отходов и эффективного использования этих отходов для получения энергии. Для этого в Беларуси обосновано эффективное использование газогенераторных установок небольшой мощности, приспособленных для сжигания твёрдых коммунальных отходов и рассредоточенных по территории республики для локального использования.*

**Ключевые слова:** жизнедеятельность, коммунальные отходы, экология, энергетика, торф, биогаз.

В процессе жизнедеятельности человека неизбежно образуются отходы: бытовые, промышленные, сельскохозяйственные и т.д. Их образование создает неблагоприятную нагрузку на окружающую среду, а значит на человека. В большинстве стран мира решают экологическую проблему через удаление отходов от мест обитания человека, их вывоз на свалки или уничтожение.

Однако образованные свалки, особенно около больших городов ухудшают среду жизнедеятельности человека. Уничтожение отходов методом сжигания в больших объемах также приводит к загрязнению окружающей среды.

В то же время имеется множество примеров использования отходов с пользой для человека. Однако повсеместно проблема не решается, поскольку для обеспечения утилизации требуется большие затраты, порой не окупаемые [1].

Можно ли эффективно использовать отходы, одновременно решая экологические и энергетические проблемы?

Сегодня, в Беларуси, в частности бытовые отходы, в основном выводят на свалки. В таком мегаполисе, как город Минск, образованные свалки создают большую экологическую проблему. Мировой опыт подсказывает, что при очень больших объемах собираемых отходов целесообразно строить мусороперерабатывающие заводы и получать энергию, прежде всего тепловую. Но возникает вопрос, куда эту энергию с пользой направить?

В том же городе Минске функционирует несколько ТЭЦ, потребляющих импортируемый природный газ и, которые успешно обеспечивают теплом городскую инфраструктуру. По этой причине закрытие ТЭЦ сегодня проблематично. Остается вариант рассредоточенного использования бытовых отходов для получения энергии на небольших энергетических установках с высоким к.п.д. и, соответственно, хорошими экологическими показателями. Получаемую тепловую энергию можно использовать на отопление отдельных жилых домов, в парниковом хозяйстве, для отопления мастерских, гаражей, бытовок строителей и т.д. Еще есть один плюс от рассредоточенного использования бытовых отходов: уменьшается транспортная составляющая затрат из-за уменьшения расстояния от места сбора отходов до места их использования.

В Беларуси разработаны и уже используются целый ряд газогенераторных установок для газификации твердых коммунальных отходов (ТКО).

Генераторный газ, получаемый путем газификации бытовых отходов при соответствующей очистке и обеспечении современных требований по охране окружающей среды, может заменять природный газ в отопительных системах, а также в ряде технологических процессов строительной отрасли (обжиг керамики, кирпича, производство цемента). Для осуществления промышленного внедрения процессов получения горючих газов из ТКО путем их газификации проведена работа по совершенствованию оборудования, применявшегося ранее для газификации.

фикации древесины, углей и торфа. При этом учитывается тот фактор, что ТКО отличаются от применяемых твердых топлив и древесины не только сложностью компонентного состава, но и наличием тяжелых металлов, серо- и хлорсодержащих соединений. Жесткие требования к концентрации токсичных выбросов в атмосферу при переработке ТКО вызывают необходимость разработки специальных технологических приемов и методик газификации ТКО.

Институтом тепло- и массообмена Национальной академии наук Беларуси (ИТМО НАНБ) разработана конструкция газогенератора, который обеспечивает возможность совместной газификации ТКО, древесины, рапсовой соломы, отходов птицеводства и животноводства тяжелых остатков нефтепродуктов и смол [2].

В разработанном газогенераторе протекает газификация отходов с образованием горючих газов, которые сжигаются в специальном жаровом канале и продукты сгорания используются в водогрейном котле для получения горячей воды отопительного назначения.

Тепловая эффективность газогенератора, определяется возвратом обратно в топочную зону части тепла от нагретых отработанных газов и снижения тепловых потерь при их последующей транспортировке в охлажденном виде. Повышение калорийности получаемого газа обеспечено совместной газификацией низкокалорийных бытовых и высококалорийных резинотехнических отходов, мазута, смол, а также полным термохимическим разложением отходов на легкие горючие компоненты в 2-х зонной топочной камере.

При эксплуатации газогенератора для получения генераторного газа путем газификации ТКО, установив рекуперирующий теплообменник в камеру газификации можно вернуть тепло выходящих из газификатора генераторных газов и в этом случае эффективность газогенератора с рекуператором повышается до КПД=84% [2].

Для повышения удельной теплоты сгорания генераторного газа в качестве исходного топлива может использоваться смесь ТКО с резинотехническими отходами, например, изношенными шинами. Смесь топлива, состоящая из 75% бытовых отходов и 25% изношенных шин с теплотой сгорания 35000 кДж/кг будет иметь общую теплоту сгорания 14000 кДж/кг.

На рисунке 1 представлена схема газогенератора, разработанного в ИТМО НАНБ для получения тепловой энергии, приспособленного для работы на топливе, представляющем собой смесь ТКО, осадков сточных вод и отходов нефтепродуктов [2].

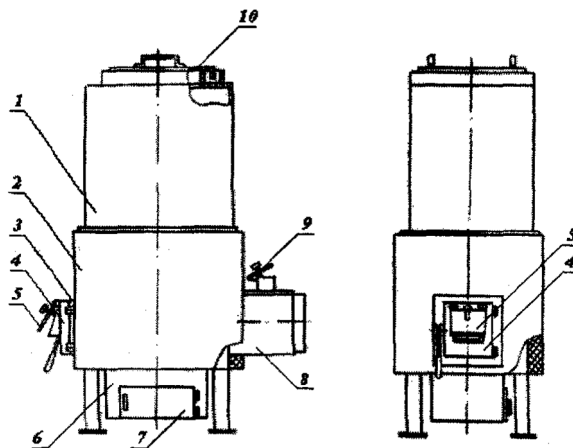


Рисунок 1 – Схема газогенератора [2]: 1 – топливный бункер; 2 – камера газификации; 3 – горловина; 4 – дверца горловины; 5 – заслонка первичного воздуха; 6 – зольник; 7 – дверца зольника; 8 – жаровая труба; 9 – заслонка вторичного воздуха; 10 – крышка бункера

Этот газогенератор имеет тепловую мощность 200 кВт и габариты длиной 1,9 м, шириной 1,1 м и высотой 3,0 м. Генераторный газ из камеры газификации (рисунок 1) подается на дожигание в жаровую трубу 8. Подача первичного и вторичного воздуха регулируется соответствующими заслонками 5 и 9. Рабочий объем исходной топливной смеси содержится в бункере 1. Негорючая минеральная фракция и зола накапливаются в зольнике 6 под колосниковой решеткой. Дверца 7 служит для периодической очистки зольника 6. Первичный розжиг

генератора осуществляется через горловину 3 с дверцей 4. Герметично прилегающая крышка 10 бункера 1 выполняет также функцию взрывного клапана. Горячие продукты сгорания, выходящие из жаровой трубы, подаются в теплообменник бойлера с водой для накопления и последующего потребления тепловой энергии [2].

В Белорусском НИИ строительных материалов (НИИСМ) рассматривается свой подход к получению топлива из осадков сточных вод [3].

Одним из наиболее перспективных вариантов решения вопроса является сушка обезвоженного осадка с последующим его использованием в качестве альтернативного топлива на цементных заводах.

По результатам исследований сухие осадки сточных вод относятся к низкокалорийному топливу с теплотворной способностью около 3500 ккал/кг и высоким содержанием тяжелых металлов. Данные показатели являются факторами, ограничивающими для цементной печи долю сжигания осадков в составе многокомпонентного топлива.

С целью уточнения физико-химических и энергетических показателей сухих осадков сточных вод проведены полупромышленные испытания на пилотной установке фирмы «УООМ» (Италия) по сжиганию топлива из осадков сточных вод Минской очистной станции в количестве 16,75 т в печи сухого способа цементного клинкера  $\varnothing 4,5 \times 80$  м ОАО «Белорусский цементный завод» [3]. Целью испытаний являлось определение основных технологических параметров работы печного агрегата, качества клинкера и вредных выбросов в атмосферу при замещении части угольного форсуночного топлива, сжигаемого в декарбонизаторе, альтернативным топливом из сухих осадков сточных вод.

Для последующего анализа отбирались пробы топлива, сырьевой муки, клинкера, фиксировались основные технологические параметры работы печного агрегата и состав отходящих печных газов согласно предварительно разработанной и утвержденной программе.

По результатам испытаний предварительно установлено [3]:

- 1) технологические параметры работы печного агрегата находились в оптимальном диапазоне;
- 2) при расходе топлива из осадков сточных вод 8,4 т/ч обеспечено замещение угольного форсуночного топлива в количестве 4 т/ч, что в тепловом эквиваленте в пересчете на условное топливо составляет 1:1;
- 3) производительность печного агрегата соответствовала производительности при работе на чистом угольном форсуночном топливе;
- 4) качественные показатели цемента за время испытаний не изменились;
- 5) в ходе непрерывного мониторинга состава отходящих газов отмечено значительное снижение вредных выбросов  $\text{NO}_x$ , которое связано с содержанием в осадках сточных вод мочевины.

Результаты промышленных испытаний свидетельствуют о перспективности данного направления, что позволит решить серьезную экологическую проблему г. Минска, а также использовать на предприятиях города порядка 25-30 тыс. т у.т./год местного возобновляемого топлива [3].

Таким образом, из ТКО и осадков сточных вод можно получать биогаз, твердое топливо, можно получать энергию путем мусоросжигания. Выбор любого из вышеперечисленных способов получения энергии зависит, прежде всего, от объемов исходного энергоресурса и применения получаемой энергии. В любом случае решается экологическая проблема- ликвидируются свалки, нарушающие природное равновесие.

Одним из путей решения экологических проблем при формировании среды жизнедеятельности является снижение вредных выбросов в атмосферу от сжигания в каждой стране ее основных видов топлива. В Беларуси одним из основных местных видов топлива является торф.

По количеству вредных выбросов торф стоит примерно на уровне каменного угля. С целью снижения вредных выбросов в атмосферу в Республике Беларусь уже был опыт производства топливных брикетов, состоящих из торфа и экологически чистых древесных опилок [4].

Поскольку опилки сегодня повсеместно задействованы для производства белого обжаренного дорогого топлива в виде пеллет, нами предпринята попытка получать кусковое

топливо на основе торфа из мелкоизмельченных не востребуемых лесосечных отходов или древесно-кустарниковой растительности, удаляемой при выполнении подготовительных работ в строительстве. Измельчение лесосечных отходов до фракции щепы проводилось на известных рубильных машинах, а до фракции 2-3 мм на лабораторном оборудовании Белорусского государственного технологического института (БГТУ). В промышленном производстве для такого мелкого измельчения щепы рекомендуется применять молотковую дэковую дробилку. Экспериментальные исследования по получению кускового топлива из мелкоизмельченных не востребуемых лесосечных отходов и торфа, проведенные в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) используя естественную сушку кускового топлива показали, что представляется возможным получать такой композит. Причем получаемое кусковое топливо не разрушалось при почти равном соотношении компонентов. Поэтому намечаются в дальнейшем работы в этом направлении, но уже в промышленном масштабе, поскольку удельные выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании древесного топлива находятся на нулевом уровне, а чистого торфа на уровне более 100 г/ мДж. Вышеупомянутый композит позволит снизить удельные выбросы CO<sub>2</sub> почти в два раза и получить эти выбросы на уровне сжигания природного газа.

Таким образом, выявлены эффективные пути решения экологических и энергетических проблем при формировании среды жизнедеятельности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов, А.В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов [Текст] / А.В. Вавилов // Монография. Мн., 2014. – 90 с.
2. Журавский, Г.И. Газогенераторные технологии для промышленности строительных материалов [Текст] / Г.И. Журавский, О.Г. Мартинов, Д.Э. Полесский // Сборник докладов VII Международной НТК «Научно-технические проблемы использования альтернативных видов топлива в строительном комплексе Республики Беларусь». – Минск 2013. – С. 18-21.
3. Подлузский, Е.Я. Альтернативные виды топлива в производстве строительных материалов Республики Беларусь [Текст] / Е.Я. Подлузский, Л.Н. Туровский, С. Новиков, Д.И. Волоткович // Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции «Научно-технические проблемы использования альтернативных видов топлива в строительном комплексе Республики Беларусь». – Минск, 2013. – С. 4-9.
4. Нашкевич, И.С. Технология и машины для производства кускового топлива на основе торфа и отходов деревообработки / И.С. Нашкевич. Н.К. Лисай 1<sup>й</sup> Научн.-маркетинг, журнал «НТИ и рынок». – 1998. – №5. – С. 40-41.

#### **А.В. Вавилов**

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины»  
E-mail: ftkcdm@bntu.by

---

A. VAVILOV

### **ON THE WAY TO SOLVE ENVIRONMENTAL AND ENERGY PROBLEMS IN THE FORMATION OF LIVING ENVIRONMENT**

*Ways of solving environmental and energy problems in the formation of the living environment by eliminating landfill of municipal waste generated solid and effective use of either of these wastes for energy. To do this in Belarus obos Nova efficient use of gas plants-not a great power; a device for burning solid Comunale-level waste and dispersed across the state to local-uses. Invited to address environmental and energetiche-ing problems by reducing harmful emissions into the atmosphere from the burning of-mass fuels environmentally un-safe. In Belarus, this type of fuel is peat.*

**Keywords:** livelihoods, municipal waste, ecology, energy, peat, biogas

**BIBLIOGRAPHY**

1. Vavilov, A.V. Toplivo iz netradicionnyh jenergoresursov [Tekst] / A.V. Vavilov// Monografija. Mn., 2014. – 90 s.
2. Zhuravskij, G.I. Gazogeneratornye tehnologii dlja promyshlennosti stroitel'nyh materialov [Tekst] / G.I. Zhuravskij, O.G. Martinov, D.Je. Polesskij // Sbornik dokladov VII Mezhdunarodnoj NTK» Nauchno-tehnicheskie problemy ispol'zovanija al'ternativnyh vidov topliva v stroitel'nom komplekse Respubliki Belarus'». – Minsk 2013. – S. 18-21.
3. Podluzskij, E.Ja. Al'ternativnye vidy topliva v proizvodstve stroitel'nyh materialov Respubliki Belarus' [Tekst] / E.Ja. Podluzskij, L.N. Turovskij, S. Novikov, D.I. Volotkovich // Sbornik dokladov VII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Nauchno-tehnicheskie problemy ispol'zovanija al'ternativnyh vidov topliva v stroitel'nom komplekse Respubliki Belarus'». – Minsk, 2013. – S. 4-9.
4. Nashkevich, I.S. Tehnologija i mashiny dlja proizvodstva kuskovogo topliva na osnove torfa i othodov derevoobrabotki / I.S. Nashkevich. N.K. Lisaj 1; Nauchn.-marketing, zhurnal «NTI i rynek». – 1998. – №5. – S. 40-41.

**A. Vavilov**

Belarusian national technical university, Republic of Belarus, Minsk

Doctor of technical science, professor, head of the department «Building and Road Machines»

E-mail: ftkcdm@bntu.by

КРИВОШАПКО С.Н.

**ТЕНТОВАЯ АРХИТЕКТУРА**

*Хотя примитивные тентовые сооружения появились еще в глубокой древности, тентовые покрытия получили признание как явление архитектуры высоких технологий только после 1983 года. Дана классификация тентовых сооружений с привлечением большого количества иллюстративного материала. Отмечается, что бескаркасная тентовая конструкция может быть только поверхностью отрицательной гауссовой кривизны, а базовой поверхностью каркасно-тентовой структуры могут быть и поверхности положительной гауссовой кривизны. Приводятся примеры реальных тентовых сооружений, оказавших влияние на развитие тентовой архитектуры.*

**Ключевые слова:** *тентовая архитектура, архитектура высоких технологий, каркасно-тентовые сооружения, натяжные тентовые конструкции, формообразование тентовых сооружений.*

Некоторые историки архитектуры пространственных структур отмечают, что «тема тентовой архитектуры недостаточно проработана. Более того, существует определенный информационный вакуум, оказывающий влияние на оценку ее нынешнего состояния и дальнейшего развития» [1].

Тентовые укрытия ведут свою историю с древних времен, когда первобытные люди строили себе жилища в виде каркаса из палок, костей, обтянутого шкурами животных. На основе первобытного укрытия появились монгольские юрты, корякские яранги, палатки воинов и др. Однако считается, что самое известное народное тентовое сооружение – палатка бедуинов. Именно она обеспечила возможность оседлого существования в жарком климате [2]. Плиний Старший писал: «Ничто в Риме, даже гладиаторский бой, не удивляло так сильно, как гигантский тент, натянутый над Колизеем». В наше время на стене 4-го яруса сохранились штрабы, служившие опорами для стержней-бревен, к которым с помощью канатов крепился гигантский шелковый тент-навес, защищавший зрителей от лучей солнца. Подобные выдвигающиеся навесы и сейчас устанавливаются поперек узких улиц испанского города Севилья для их затенения.

В 1520 г. в г. Кале (Англия) был установлен временный павильон – круглое в плане здание диаметром 37 м с центральной 40-метровой мачтой, поддерживавшей холстяной тент, прикрепленный по периметру к 3-этажным деревянным стенам. С давних времен до настоящего времени широко известны цирки-шапито.

В 1920 годы советские проекты и постройки тентовых сооружений были связаны с именами архитекторов братьев В.А. и А.А. Весниных (конструктивистские принципы формообразования), представившими проект ангара легкого полевого типа размером 54×12 м, Г.М. Людвиг (символично-инженерный функционализм), реализовавшим проект временного покрытия из прорезиненного брезента над Летним театром в ЦПКО в Москве (1929 г.), и др. В 1950-1960-х годах немецкий архитектор Ф. Отто перешел от экспериментов с моделями к полноразмерным сооружениям, в том числе с учетом форм живой природы. Наиболее известными его тентовыми сооружениями являются сетчатый тентовый павильон ФРГ на ЭКСПО-67 в Монреале (1967 г.), покрытие олимпийского стадиона в Мюнхене (1972 г., рис. 1), аэропорт в Джидде (СА, 1980 г., рис. 2).

Если до 1983 г. тентовые конструкции применялись исключительно для выставочных павильонов, то после победы датского архитектора Й.О. Спрекельсена в конкурсе на Арку эспланады Дефанс в Париже (1983 г.) (рис. 3) тентовые покрытия получили признание как явление архитектуры. Они уже не стали рассматриваться как объекты, используемые ограниченное время для выставочных целей или для спортивных сооружений, а начали восприниматься как полноценные архитектурные сооружения.

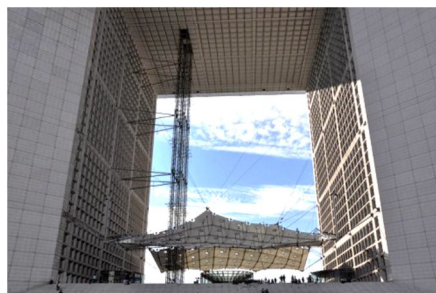




*Рисунок 1 – Олимпийский стадион в Мюнхене, Германия, 1972*



*Рисунок 2 – Аэровокзал «Hajj terminal», СА, 1980*



*Рисунок 3 – Арка эспланады Дефанс в Париже (1983 г.), арх. J.Otto Spreckelsen*

В качестве тентового сооружения мирового значения называют ангар для дирижаблей CargoLifter в Бранде (Германия) размером 363×225 м при высоте 107 м.

Тентовая ткань сейчас – это прочная армирующая сетка из нитей полиэстера с ячейками, на которую с обеих сторон наносятся слои пластифицированного поливинилхлорида, поэтому она прочна, надежна, эластична, обладает гибкостью и устойчивостью к температурным перепадам и горению. Срок ее эксплуатации составляет более 10 лет. О.В. Мыскова и И.А. Казусь [3] утверждают: «Тентовые сооружения – это конструкции архитектуры будущего, образующие пространства, освобожденные от громоздких внутренних структур» (рис. 4, 5).

В России теоретические исследования систем, относимые к тентовым, развивались в трудах П.Л. Чебышева (1890 г.), создавшего математические основы раскрытия текстильно-сетчатых оболочек. Архитектурно-конструктивные решения тентовых покрытий представлены в работах Т.М. Дымковой [4], И.Х. Мифтахутдинова [5], Е.М. Удлера, Ю.И. Блинова [6] и др.



*Рисунок 4 – Тент-навес: [www.teniradi.ru](http://www.teniradi.ru)*



*Рисунок 5 – Стадион «Illinois State Rodeo Arena», Springfield, Illinois, USA*

В 1930-1970 годы развитие тентовых покрытий в нашей стране находилось все еще в начальной стадии. Проектирование тентовых сооружений сдерживались отсутствием долговечных и прочных тканевых покрытий. К наиболее ярким тентовым сооружениям этого периода можно причислить тентовое покрытие ресторана гостиницы «Тарасова гора» (Киев, 1961 г.), покрытие танцевальной площадки в парке Победы (Киев) и универсальный сборно-разборный выставочный павильон размером 25×45 м в Черкассах (рис. 6). Опыт проектирова-

ния и строительства тентовых сооружений в СССР в 1960-1980-х годах описан в докторской диссертации Ю.И. Блинова [2].



*Рисунок 6 – Универсальный сборно-разборный тентовый павильон областной ярмарки в Черкассах, Украина, 1969*

Хотя, начиная с 1983 года, тентовые конструкции уже признавались архитектурными произведениями, но только в XXI веке тентовая архитектура была выделена в новое направление современной архитектуры. На рубеже XX и XXI веков стали появляться новые признаки, такие как взаимозависимость конструкции – композиции – формообразования, возросшие потребности в тентовых сооружениях из-за возрастающей динамичности общества, ускоренные темпы научно-технического прогресса в материаловедении, расширение географии применения тентов и возникновение национального колорита в проектах тентовых сооружений, позволившие предположить, что тентовая архитектура становится явлением современной жизни. Перед архитекторами была поставлена задача раскрытия колоссальных творческих возможностей конструирования новых форм. Теперь уже тентовые сооружения не рассматриваются как технические объекты, используемые ограниченное время, но воспринимаются как полноценные архитектурные сооружения с архитектурно-художественными качествами. И архитекторы, работающие с тентами, показали свою творческую состоятельность.

Сторонники *продуктивизма* считают тентовые конструкции *архитектурой высоких технологий*. С точки зрения продуктивизма архитектурным произведением считается только элегантная инженерия – продукт промышленного дизайна.

Перейдем к рассмотрению приемов архитектурного формообразования тентовых сооружений на примерах зарубежного и отечественного опыта строительства в период с 2000 года по настоящее время.

К заметным сооружениям мирового значения можно отнести купол Центра SONY на Потсдамер плац в Берлине (рис. 7). Фактически это – большая перекрытая шатровым куполом площадь среди нескольких бизнес центров и торгово-развлекательных зданий (рис. 8). Купол символизирует священную гору Фудзияма. Центр был открыт в 2000 году. Главным архитектором центра был Гельмут Ян, который построил офисные помещения, музей кино, развлекательную и жилую зоны.

Компания «ФОРВАРД» является партнёром и представителем интересов на территории РФ Венгерской компании «GRABOPLAN», являющейся одним из мировых лидеров в производстве тентовых конструкции и сооружений с 1968 года. Компания «GRABOPLAN» специализируется в проектировании и строительстве каркасно-тентовых сооружений. *Каркасно-тентовые конструкции и сооружения* на дюралюминиевом каркасе предназначены для проведения оздоровительных, культурных и спортивных мероприятий, а также и для складов и прочих целей. *Натяжные мембранные конструкции* предназначены для временного и постоянного покрытия площадей любых размеров и любого характера. Текстильные оболочки являются современными композиционными материалами, которые в большинстве случаев являются техническими тканями большой прочности, обработанными ПВХ или PTFE (тефлоном). Дополнительно эти оболочки снабжаются ещё и поверхностным защитным покрытием. Удельная прочность таких оболочек выше прочности традиционных конструкционных сталей. Компания «GRABOPLAN» реализовала свои проекты каркасно-тентовых покрытий в Олимпийском стадионе в Берлине, стадионе во Франкфурте, в Пусане (Южная Корея, рис. 9).



Самое грандиозное тентовое сооружение на Украине имеет размеры в плане 60×60 м без промежуточных опор (рис. 10). Тентовое покрытие киноконцертного зала туристско-оздоровительного комплекса «Судак» покоится на наклонных под заданными углами стержневых арках (рис. 11), опирающихся на шарнирно-неподвижные опоры (рис. 12). Изготовление и монтаж зала проведены НПКО «Тент», г. Симферополь, Украина.



Рисунок 7 – Купол Центра SONY в Берлине



Рисунок 8 – Шатровый купол Центра SONY над площадью, Берлин, Германия



Рисунок 9 – Каркаснотентовое покрытие стадиона в Пусане, Южная Корея



Рисунок 10 – Киноконцертный зал туристско-оздоровительного комплекса «Судак»

Третий тип тентовых покрытий состоит из центрального сооружения из бетона или металла, объединенного с одним или несколькими тентовыми комплексами. Рассмотрим, например, самую большую в мире тентовую крышу павильона Expo Boulevard на выставке EXPO-2010 в Шанхае (рис. 13), перекрывающую 65000 м<sup>2</sup> плана. Сооружение – длиной 1000 м и шириной 100 м. Сооружение спроектировано фирмой SBA из Штутгарта, Германия. Тент представляет собой долговечный высокопрочный политетрафлуоротиленовый со стеклянными волокнами материал фабричного изготовления (polytetrafluoroethylene-coated glass fabric). Тент поддерживается 19 внутренними и 31 внешними трубчатыми мачтами, расстояния между которыми около 100 м. Ветровая нагрузка воспринимается тросами спиральной навивки. Внутренние мачты заглублены в грунт и опираются на бетонные фундаменты. Основная вертикальная нагрузка приходится на них. Внешние мачты опираются на фундаменты кубической формы со сторонами равными 8 м. Они воспринимают растягивающие усилия от стальных тросов. Дождевая вода, стекающая с покрытия, используется для полива и в туалетах. После окончания выставки сооружение продолжает эксплуатироваться. Согласно классификации тентовых сооружений, павильон Expo Boulevard относится к *бескаркасным тентовым сооружениям* (рис. 14).

Существуют еще сооружения с висячим тентовым покрытием. В этих сооружениях вся вертикальная нагрузка воспринимается непосредственно тентовой тканью и через узлы крепления передается на удерживающие опорные элементы здания (рис. 15).



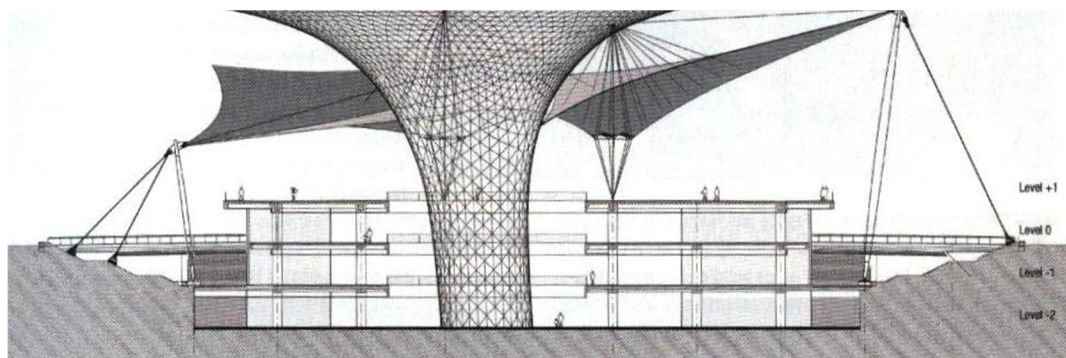
*Рисунок 11 – Арочный каркас под тентовое покрытие*



*Рисунок 12 – Шарнирно-неподвижные опоры наклонных арок*



*Рисунок 13 – Павильон Expo Boulevard на выставке EXPO-2010 в Шанхае*



*Рисунок 14 – Фрагмент проекта павильона Expo Boulevard на выставке EXPO-2010 в Шанхае, 2009*

Сооружения с висячим тентовым покрытием имеют меньшие габаритные размеры в связи с тем, что на тентовую ткань здесь приходится очень большие растягивающие мембранные усилия от внешней нагрузки и от натяжения тента на опоры.

Однако начало XXI века, времени расцвета строительства тентовых сооружений, знаменито не только грандиозными тентовыми сооружениями, но и массовым внедрением небольших временных тентовых сооружений для разнообразных нужд человека (рис. 16).

Перечислим дополнительно образцы творчества архитекторов, работающих с тентами. Например, уникальный транспортный терминал в Детройте (США), разработанный студией FTL Design Engineering Studio, архитектор Парсол Бринкерх (рис. 17).

Французское бюро Jean de Gastines и японское – Shigeru Ban запроектировало привлекательный Центр Помпиду-Метц, в стиле архитектурной бионики, который расположенный на



северо-востоке Франции в городе Мец (рис. 18). Крыша выполнена из тентовой ткани с тефлоновым покрытием. Ткань не только защищает от проникновения влаги, но и позволяет создать наиболее комфортные условия для хранения предметов искусства. Общая площадь крыши составляет 10 700 квадратных метров.



Рисунок 15 – Тентовые павильоны развлекательных комплексов, ООО «Техинвест – Сервис», [www.tis-ilt.ru]



Рисунок 16 – Маломерные тентовые павильоны

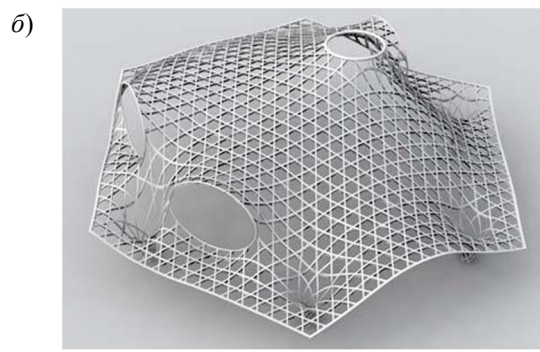


Рисунок 19 – Центр Помпиду-Мец (а); геометрическая модель центра (б)

Следующий пример каркасно-тентовой конструкции, состоящий из алюминиевых рам, изготовленных из высококачественного алюминиевого профиля, накрытый ПВХ тканью, не претендует быть названным достижением архитектурной мысли (рис. 19). Но эта тентовая структура – строго функциональна: возвести спортивное сооружение дешево, здесь и сейчас с возможностью в сжатые сроки разобрать и перенести павильон на другое место. Крепежные элементы и узлы соединения изготовлены из черного металлопроката и покрыты цинком. Стабильность конструкции обеспечивается дополнительными тросами, крестообразно соединяющими формы сооружения. Опорные колонны конструкций крепятся к земле или к предусмотренной системе пола при помощи металлических анкеров. Сооружение не нуждается в фундаменте. В дневное время нет необходимости в дополнительном освещении или окнах, если крыша сооружения изготовлена из светопропускаемой ткани. Долговечность тентового покрытия свыше 25 лет, и в любое время может быть заменено на новое. Эти структуры идеально подходят для теннисных кортов, бассейнов, многофункциональных площадок, полей для мини-футбола и т.д.

Есть еще одна сфера применения тентовых структур. Это – *архитектурная инсталляция*. Основное назначение подобного рода конструкций – привлечь внимание и запоминаться, чтобы в следующий раз при возвращении было легко узнать прежнее место или его запомнить. Область применения: парки (рис. 20), городские площади и сады, выставочные павильоны (рис. 21), внутренние дворики офисных и общественных зданий.



*Рисунок 19 – Спортивное сооружение, компания «VIP Sport Construction», Азербайджан, vip sport.az.*



*Рисунок 20 – Тентовая структура в парке [teniradi.ru]*



*Рисунок 21 – Тентовые конструкции в одном из павильонов ВВЦ, Москва, 2009*

Выше рассмотрены только гражданские, сельскохозяйственные и промышленные тентовые сооружения, покрытия и конструкции. Отметим, что тентовые конструкции используются также в качестве туристического инвентаря (палатки, зонты и т.д.), защиты кузовов грузовых автомобилей от атмосферных осадков, аксессуаров для семейного и корпоративного отдыха.

### **Заключение**

В этой статье рассмотрены безмоментные оболочки, т.е. оболочки с очень малой изгибной жесткостью, поэтому в них возникают только тангенциальные (мембранные) усилия, а именно, нормальные и касательные усилия.

Обобщая вышеприведенный материал, конструктивные системы тентовых сооружений и конструкций можно разделить на:

- 1) каркасно-тентовые сооружения с жестким каркасом, накрытом тентом (рис. 9, 10, 18);
- 2) висячие тентовые покрытия с полным (рис. 22) или неполным несущим жестким опорным контуром (рис. 15, 17, 21);
- 3) натяжные тентовые конструкции мембранного типа (бескаркасные тентовые конструкции, рис. 3, 4, 6, 20);

комбинированные тентовые комплексы с жестким центральным сооружением, объединенным с одним или несколькими тентовыми покрытиями (рис. 2, 5, 13).

Некоторые считают, что торгово-развлекательный комплекс «Хан Шатыр» в Астане (Казахстан) является самым большим в мире тентовым сооружением. Однако его конструкция из сети стальных вант, держащаяся на 3-х стальных опорах, не подходит под определение тентовых сооружений, но может быть отнесена к *группе сооружений с висячими конструкциями*

[8]. Правда, в зарубежной научно-технической литературе, в отличие от принятой здесь классификации, тентовые сооружения относят к висячим конструкциям.



Рисунок 22 – Тентовая конструкция ООО «Кубаньтент»

Часто выделяют еще одну группу тентовых сооружений – трансформируемые тентовые структуры.

В.А. Скопенко [2] предлагает отдельную классификацию для промышленных тентовых структур, хотя она может быть использована в целом для всех тентовых конструкций. Его классификация разделяет рассматриваемые структуры по степени герметичности производства (открытые и крытые), по наличию каркаса, по степени обогрева (неотапливаемые и утепленные), по степени мобильности (стационарные, трансформируемые и мобильные), по скорости ввода мобильного тентового сооружения в действие (от нескольких минут до нескольких дней), по отраслям промышленности, по функциональности (специализированные и полифункциональные), по количеству слоев покрытия (однослойные, двухслойные и трехслойные с утеплителем). Однако он же отмечает, что официальной общепринятой классификации тентовых структур не существует. Хочется отметить, что в промышленном строительстве применяются, в основном, каркасно-тентовые сооружения и покрытия цилиндрической формы. Самая подробная классификация тентовых сооружений разработана Ю.И. Блиновым [7].

Все виды рассмотренных сооружений широко применяются при строительстве объектов различного назначения. Архитекторы и конструкторы, работающие в определенной области, считают, что именно их творения являются знаковыми сооружениями XXI века.

Так архитекторы тентовых структур уверены, что многие заметные сооружения мирового значения, связанные с началом нового тысячелетия, построены именно с применением тентовых структур и, что «тентовые сооружения – это конструкции архитектуры будущего» [9]. Они утверждают, что пространственные тентовые конструктивные системы способны перекрывать большие пространства без промежуточных опор при минимальных затратах материала, решая задачи экономичности на новом, ранее невозможном уровне» [3].

Теперь несколько предположений о геометрической форме тентовых конструкций. Проектирование формы тентовых конструкций представляет собой чрезвычайно сложную задачу, т.к. её даже при заданном каркасе трудно описать математическими формулами в силу специфики тканевых материалов, представляющих собой тонкие мембраны с нулевой изгибной жесткостью, работающих только на растяжение. Проблемой является определение формы плоских лоскутов ткани, составляющих поверхность. Может получиться так, что после сборки этих лоскутов и монтаже их на жесткий каркас форма поверхности будет неадекватна проектируемой. Наиболее просто задача раскроя решается, если поверхность тентового сооружения состоит из больших плоских фрагментов (рис. 16, 19), особенно вертикальных (рис. 16), с прямолинейными элементами каркаса в местах пересечения плоскости.

Каркасно-тентовые сооружения с жесткими каркасами, накрытыми тентом, допускают использование поверхности положительной гауссовой кривизны (рис. 9, 10, 23) в качестве базовой поверхности.

Висячие тентовые покрытия с жестким опорным контуром и бескаркасные тентовые конструкции могут быть только в форме поверхностей отрицательной гауссовой кривизны близкой к минимальным поверхностям. Форму минимальной поверхности автоматически принимает мыльная пленка, натянутая на замкнутый проволочный каркас.





*Рисунок 23 – Геодезический купол, производственная компания ООО «Потемкин»*

Чисто теоретически, наиболее выгодной для тентовой конструкции с точки зрения раскроя может считаться торсовая поверхность [10], которая разворачивается на плоскость без складок и разрывов, но для этого материал покрытия должен обладать определенной жесткостью на изгиб. Торсовые поверхности уже применяются в автоматизированном процессе конструирования одежды [11].

Изучение предпосылок появления конструктивных решений в строительстве, история развития и совершенствования строительных технологий возведения безмоментных сооружений позволит обобщить накопленный десятилетиями опыт и выдать принципиально новое решение. В противном случае, архитекторы и инженеры будут вынужденно повторять уже достигнутое в строительстве и архитектуре [8, 12].

В заключение воспроизведем выводы, изложенные на сайте компании TENTMAX [1]: «В России есть потенциальные возможности применения тентовых структур – быстровозводимых, мобильных, легко трансформирующихся в соответствии с изменением функции и обладающих высокими эстетическими достоинствами. Тентовая архитектура позволяет отечественным проектировщикам в достаточной мере свободно экспериментировать с формой и предоставляет возможность найти свой путь в мировом архитектурном процессе».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. История тентовой архитектуры [Текст]: [www.tentmax.ru](http://www.tentmax.ru).
2. Скопенко, В.А. Тентовая архитектура: «индустриальные» возможности [Текст] / В.А. Скопенко // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2010. – № 3. – С. 64-69.
3. Мыскова, О.В. Тентовые конструкции в архитектуре советского авангарда 1920-х годов [Текст] / О.В. Мыскова, И.А. Казусь // Технологии строительства. – 2003. – №1. – С. 134-137.
4. Дымкова, Т.М. Тентовая конструкция с несущими тросостоечными элементами [Текст] / Т.М. Дымкова, – Дис. канд. техн. наук. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1988. – 208 с.
5. Мифтахутдинов, И.Х. Экспериментальные методы проектирования форм покрытий тентовых сооружений [Текст] / И.Х. Мифтахутдинов. – Дис. канд. техн. наук. – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1982. – 242 с.
6. Блинов, Ю.И. Опыт и перспективы развития форм и конструкций сооружений с оболочками из пленок и текстиля в архитектуре [Текст] / Ю.И.Блинов, Б.С. Стригин // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2001. – №8-9. – С. 41-43.
7. Блинов, Ю.И. Тентовые здания и сооружения (аспекты мягких покрытий и перспектив развития) [Текст]. – Дис. д-ра техн. наук. – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1991.
8. Кривошапко, С.Н. Архитектурно-строительные конструкции [Текст] / С.Н. Кривошапко, В.В. Галишникава: Учебник. – М.: ЮРАЙТ, 2015. – 476 с.
9. Мыскова, О.В. Тентовая архитектура на рубеже XX и XXI веков [Текст] / О.В. Мыскова // Технологии строительства. – 2003. – №2. – С. 134-137.
10. Кривошапко, С.Н. Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек [Текст]: Монография / С.Н. Кривошапко. – М.: РУДН, 2009. – 357 с.
11. Ito Miori, Imaoka Haruki. A method of predicting sewn shapes and a possibility of sewing by the theory of developable surfaces// Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – Vol. 48. – №1. – 2007. – P. 42-51.
12. Мыскова, О.В. Тентовые сооружения в современной архитектуре [Текст] / О.В. Мыскова // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – №7. – С. 41-42.



**С.Н. Кривошапко**

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прочность материалов и конструкций»

Тел.: +7 (495) 955-09-78

E-mail: sn\_krivoshapko@mail.ru

---

S. KRIVOSHAPKO

**TENT ARCHITECTURE**

*Primitive tent structures have appeared in ancient times but tent coverings obtained the recognition as the phenomenon of architecture of high technologies after 1983 only. The classification of tent structures with attracting of illustrative materials is given. It is shown that frameless tent structures are surfaces of negative Gaussian curvature and surfaces of positive Gaussian curvature may be taken as the base surfaces of frame tent structures. Examples of real tent buildings rendered the influence on the development of tent architecture are presented.*

**Keywords:** tent structure, architecture of high technologies, frame tent structure, membrane tent structure, the forming of tent erection.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Istorija tentovoj arhitektury [Tekst]: www.tentmax.ru.
2. Skopenko, V.A. Tentovaja arhitektura: «industrial'nye» vozmozhnosti [Tekst] / V.A. Skopenko // Akademicheskij vestnik UralNIIproekta RAASN. – 2010. – № 3. – S. 64-69.
3. Myskova, O.V. Tentovye konstrukcii v arhitekture sovetskogo avangarda 1920-h godov [Tekst] / O.V. Myskova, I.A. Kazus' // Tehnologii stroitel'stva. – 2003. – №1. – S. 134-137.
4. Dymkova, T.M. Tentovaja konstrukcija s nesushhimi trosostochnymi jelementami [Tekst] / T.M. Dymkova, – Dis. kand. tehn. nauk. – M.: CNIISK im. V.A. Kucherenko, 1988. – 208 s.
5. Miftahutdinov, I.H. Jeksperimental'nye metody proektirovanija form pokrytij tentovyh sooruzhenij [Tekst] / I.H. Miftahutdinov. – Dis. kand. tehn. nauk. – M.: MISI im. V.V. Kujbysheva, 1982. – 242 s.
6. Blinov, Ju.I. Opyt i perspektivy razvitija form i konstrukcij sooruzhenij s obolochkami iz plenok i tekstilja v arhitekture [Tekst] / Ju.I. Blinov, B.S. Strigin // Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve. – 2001. – №8-9. – S. 41-43.
7. Blinov, Ju.I. Tentovye zdanija i sooruzhenija (aspekty mjagkih pokrytij i perspektiv razvitija) [Tekst]. – Dis. d-ra tehn. nauk. – M.: MISI im. V.V. Kujbysheva, 1991.
8. Krivoshapko, S.N. Arhitekturno-stroitel'nye konstrukcii [Tekst] / S.N. Krivoshapko, V.V. Galishnikova: Uchebnik. – M.: JuRAJT, 2015. – 476 s.
9. Myskova, O.V. Tentovaja arhitektura na rubezhe XX i XXI vekov [Tekst] / O.V. Myskova // Tehnologii stroitel'stva. – 2003. – №2. – S. 134-137.
10. Krivoshapko, S.N. Geometrija linejchatyh poverhnostej s rebrom vozvrata i linejnaja teorija rascheta torsovyh obolochek [Tekst]: Monografija / S.N. Krivoshapko. – M.: RUDN, 2009. – 357 s.
11. Ito Miori, Imaoka Haruki. A method of predicting sewn shapes and a possibility of sewing by the theory of developable surfaces // Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – Vol. 48. – №1. – 2007. – P. 42-51.
12. Myskova, O.V. Tentovye sooruzhenija v sovremennoj arhitekture [Tekst] / O.V. Myskova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2003. – №7. – S. 41-42.

**S. Krivoshapko**

Peoples' friendship university of Russia, Moscow

Doctor of technical science, professor, head of the department «Strength of materials and structures»

Ph.: +7 (495) 955-09-78

E-mail: sn\_krivoshapko@mail.ru

УДК 691.43:66

АБДРАХИМОВ В.З., КОЛПАКОВ А.В., КАЙРАКБАЕВ А.К.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО КИРПИЧА МЕТОДОМ  
ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ**

*Исследована зависимость между содержанием в керамических образцах на основе межсланцевой глины отощающей и выгорающей добавки в виде горелых пород и основных физических свойств керамического теплоизоляционного кирпича (средняя плотность, водопоглощение, морозостойкость) методом линейной регрессии. Модель зависимости строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает зависимость результатов опытов.*

**Ключевые слова:** межсланцевая глина, горелые породы, теплоизоляционный кирпич, метод линейной регрессии, средняя плотность, водопоглощение, морозостойкость.

В работах [1-3] была показана принципиальная возможность использования в производстве керамических материалов отходов при добыче горючих сланцев: межсланцевой глины и горелых пород, химический состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	п.п.п.
Межсланцевая глина	45-47	13-14	5-6	11-13	2-3	3-4	1-2	9-20
Горелые породы	39-40	12-13	7-8	17-18	1-2	1-2	4-5	14-15

В качестве глинистого компонента для производства керамических материалов в данной работе использовалась межсланцевая глина [1], которая образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах и является отходом. По числу пластичности межсланцевая глина относится к высокопластичному глинистому сырью (число пластичности 27-32) с истинной плотностью 2,55-2,62 г/см<sup>3</sup>. Минералогический состав межсланцевых глин разнообразен, однако, общим для них является наличие кремнезема, гидрослюда, монтмориллонита и кальцита.

Для производства керамических теплоизоляционных материалов в качестве отощителя и выгорающей добавки нами использовались горелые породы [2, 3], химический состав которых представлен в таблице 1.

Образуются горелые породы в местах добычи сланцев. По основным физическим и химическим свойствам они близки к глинам, обожженным при 800-1000°С.

Горелые породы, хотя и являются отходами производства, но по химическому составу идентичны алюмосиликатному природному сырью для производства стеновых керамических материалов, что позволяет использовать их в производстве легковесного кирпича как основного компонента шихты.

Повышенные содержания в горелых породах:

- 1) органических веществ способствует обжигу кирпича;
- 2) оксидов железа и кальция спеканию при относительно невысоких температурах (1000-1050°С);
- 3) оксида алюминия повышению прочности и морозостойкости.

При исследовании зависимости между содержанием горелых пород и основными физическими характеристиками керамического теплоизоляционного кирпича (средняя плотность, водопоглощение, морозостойкость) использовался достаточно распространенный метод линейной регрессии. Этот метод позволяет выявить, как изменения одной переменной влияют на другие [4, 5]. Модель строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает зависимость результатов опытов.

Определяющим фактором качества керамического материала является единственный показатель – процентное содержание горелых пород в массе. Эксперимент состоял из девяти опытов. В первом опыте независимая переменная  $X$  принимала минимальное значение, равное 0 %. В каждом последующем опыте содержание горелых пород увеличивали, и в последнем опыте  $X$  приняла максимальное значение, равное 50 % (табл. 2).

Таблица 2 – Составы керамических масс

Компоненты	Содержание компонентов, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Межсланцевая глина	100	85	80	75	70	65	60	55	50
Горелые породы	0	15	20	25	30	35	40	45	50

Составы керамических масс готовили пластическим способом формования при влажности шихты 22-28 % (в зависимости от содержания горелых пород). Сформованные образцы, высушенные до остаточной влажности не более 8%, обжигались при температуре 1050°C. Механические показатели керамической массы и образцов приведены в таблица 3.

Таблица 3 – Физические свойства теплоизоляционного кирпича

Показатели	Состав								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Средняя плотность обожженных образцов, кг/м <sup>3</sup> ( $Y_1$ )	1900	1850	1800	1750	1650	1550	1420	1240	1100
Водопоглощение, % ( $Y_2$ )	10,4	12,2	12,8	13,3	13,7	14,2	15,3	16,4	17,2
Морозостойкость, циклы ( $Y_3$ )	48	43	40	35	29	25	22	18	15

При проведении экспериментов такие факторы, как давление прессования и температура обжига не изменяли своих значений. Поэтому влияния на полученные результаты они не оказывали. Таким образом, определяющим фактором качества образца является показатель процентного содержания горелых пород в массе.

Регрессивный анализ проводился в два этапа: на первом этапе анализировалось влияние содержания горелых пород на пластичность керамической массы, на втором – влияние содержания горелых пород на прочность при сжатии.

Составленное линейное уравнение модели первого порядка имело вид:

$$Y = aX + b, \tag{1}$$

где  $a$  – коэффициент при независимой переменной  $X$ ;  $b$  – свободный член регрессии. Для определения коэффициентов был применен метод наименьших квадратов. Расчеты проводились по методикам, приведенным в работах [4, 5]:

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}; \tag{2}$$

$$b = \frac{(\sum x)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}, \tag{3}$$

где  $n$  – количество опытов;  $x$  – известное содержание горелых пород;  $y$  – известные значения функции отклика.

При выполнении регрессионного анализа были получены значения коэффициентов  $a$  и  $b$ , приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Значение коэффициентов а и b уравнения регрессии

Коэффициенты	Для уравнения регрессии по:		
	Средней плотности (Y <sub>1</sub> )	Водопоглощению (Y <sub>2</sub> )	Морозостойкости (Y <sub>3</sub> )
Значение коэффициента <i>a</i>	-16,6453	0,1327	-0,7237
Значение коэффициента <i>b</i>	2065,3073	10,1106	51,4637

Модельное уравнение приняло вид:

$$\text{для средней плотности } Y_1 = -16,6453 X + 2065,3073, \quad (4)$$

$$\text{для водопоглощения } Y_2 = 0,1327 X + 10,1106, \quad (5)$$

$$\text{для морозостойкости } Y_3 = -0,7237 X + 51,4637, \quad (6)$$

где *X* – содержание горелых пород, *Y* – значение соответствующих их величин.

Для оценки величины корреляции с моделью определили коэффициент детерминированности (*R*-квадрат), получаемый при сравнении фактических и предсказанных значений *Y*. Этот коэффициент при расчетах нормируется от 0 до 1, и в случае если он равен единице, можно сделать вывод, что имеется полная корреляция модели с экспериментом. Значения коэффициентов детерминированности приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения величин регрессионного анализа

Значения	Для уравнения регрессии по:		
	Средней плотности (Y <sub>1</sub> )	Водопоглощению (Y <sub>2</sub> )	Морозостойкости (Y <sub>3</sub> )
R <sup>2</sup>	0,8749	0,9751	0,9698
Стандартной ошибки	106,08	0,36	4,63
Ошибки для коэффициента <i>a</i>	2,38	0,008	0,0483
Ошибки для свободного члена <i>b</i>	77,28	0,26	1,57
t-критерия для коэффициента <i>a</i>	7	16,56	14,99
t-критерия для свободного члена <i>b</i>	26,72	38,83	32,82
Нижней границы (95%) для коэффициента <i>a</i>	-22,27	0,11	-0,84
Верхней границы (95%) для коэффициента <i>a</i>	-11,02	0,15	-0,61
Нижней границы (95%) для свободного члена <i>b</i>	1882,54	9,49	47,76
Верхней границы (95%) для свободного члена <i>b</i>	2248,08	10,73	55,17
F-наблюдаемое значение	48,97	274,18	224,84
Средний коэффициент эластичности	-0,3	0,27	-0,68
Средняя ошибка аппроксимации	5,47	1,88	4,58
Границы интервала <i>Y</i>	(1447,22; 1618,1)	(14,07; 14,65)	(26,57; 30,04)

Для оценки статистической надежности уравнения регрессии использовали критерий Фишера. Определили наблюдаемое значение *F*-критерия по формуле:

$$F = \frac{R^2 (n - m - 1)}{1 - R^2 m},$$

где *m* = 1 для парной регрессии (см. табл. 5). Затем определяли табличное значение по таблицам распределения Фишера для заданного уровня значимости (0,05), принимая во внимание, что число степеней свободы для общей суммы квадратов (большой дисперсии) равно 1 и число степеней свободы остаточной суммы квадратов (меньшей дисперсии) при линейной регрессии равно *n*-2. В нашем случае *F* табличное равно 5,59 [6]. Если фактическое значение *F*-критерия меньше табличного, то уравнение в целом статистически незначимо, т.е. делается вывод о возможности случайного характера взаимосвязи между переменными. В противном случае, с вероятностью 0,95 утверждаем, что коэффициент детерминации статистически значим и найденная оценка уравнения регрессии статистически надежна. Таким образом, все уравнения регрессии (4)-(5) статистически надежны с вероятностью 0,95.

Далее была рассчитана стандартная ошибка, определяемая в простых случаях по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n(n-2) \cdot \{n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2 - [n(\Sigma xy - \Sigma x)(\Sigma y)]^2 / n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2\}}} \quad (6)$$

Значения стандартных ошибок по каждому из этапов анализа и для констант уравнений приведены в таблице 5. Более того, рассчитаны границы интервала, в котором будет сосредоточено 95% возможных значений  $Y$  (для каждого уравнения) при неограниченно большом числе наблюдений. Найдены средний коэффициент эластичности и средняя ошибка аппроксимации (см. табл. 5).

Таблица 6 – Рассчитанные значения  $Y$  и остатки

Опыт	Для уравнения регрессии по:					
	Средней плотности ( $Y_1$ )		Водопоглощению ( $Y_2$ )		Морозостойкости ( $Y_3$ )	
	Предсказанное $Y$	Остатки	Предсказанное $Y$	Остатки	Предсказанное $Y$	Остатки
1	15,36	-0,959	10,11	-0,289	51,46	-3,46
2	13,51	0,49	12,1	0,099	40,61	2,39
3	12,89	0,305	12,76	0,035	36,99	3,01
4	12,28	0,52	13,43	-0,128	33,37	1,63
5	11,66	0,436	14,09	-0,387	29,75	-0,75
6	11,05	0,346	14,76	-0,557	26,13	-1,13
7	10,43	-0,332	15,42	-0,119	22,51	-0,51
8	9,82	-0,412	16,08	0,316	18,9	-0,9
9	9,2	-0,4	16,75	0,458	15,28	-0,28

Коэффициенты  $a$  и  $b$  уравнения линейной регрессии  $Y = bX + a$  вычисляли по известным формулам:

$$b = \frac{\Sigma x \Sigma y - n \Sigma xy}{(\Sigma x)^2 - n \Sigma x^2} = -16,6453;$$

$$a = \frac{\Sigma x \Sigma y x - n \Sigma y \Sigma x^2}{(\Sigma x)^2 - n \Sigma x^2} = 2065,3073.$$

Коэффициентам уравнения линейной регрессии можно придать экономический смысл.

Коэффициент регрессии  $b = -16,65$  показывает среднее изменение результативного показателя (в единицах измерения  $y$ ) с повышением или понижением величины фактора  $x$  на единицу его измерения. В данном примере с увеличением на 1 единицу  $y$  понижается в среднем на  $-16,65$ .

Коэффициент  $a = 2065,31$  формально показывает прогнозируемый уровень  $y$ , но только в том случае, если  $x = 0$  находится близко с выборочными значениями.

Но если  $x = 0$  находится далеко от выборочных значений  $x$ , то буквальная интерпретация может привести к неверным результатам, и даже если линия регрессии довольно точно описывает значения наблюдаемой выборки, нет гарантий, что также будет при экстраполяции влево или вправо.

Ошибка аппроксимации в пределах 5-7% свидетельствует о хорошем подборе уравнения регрессии к исходным данным.

$$\bar{A} = \frac{0,49}{9} 100\% = 5,47\%.$$

Поскольку ошибка меньше 7%, то данное уравнение можно использовать в качестве регрессии.

Как известно, квадрат (множественного) коэффициента корреляции называется коэффициентом детерминации, который показывает долю вариации результативного признака, объясненную вариацией факторного признака.

Чаще всего, давая интерпретацию коэффициента детерминации, его выражают в процентах:  $R^2 = -0,94^2 = 0,8749$ , т.е. в 87,49% случаев изменения  $x$  приводят к изменению  $y$ . Другими словами, точность подбора уравнения регрессии – высокая. Остальные 12,51% изменения  $Y$  объясняются факторами, не учтенными в модели.

Определим доверительные интервалы коэффициентов регрессии, которые с надежностью 95% будут следующими:

$$(b - t_{\text{крит}} S_b; b + t_{\text{крит}} S_b);$$

$(-16,65 - 2,365 \cdot 2,38; -16,65 + 2,365 \cdot 2,38);$

$(-22,27; -11,02).$

С вероятностью 95% можно утверждать, что значение данного параметра будут лежать в найденном интервале.

$(a - t_{\text{крит}} S_a; a + t_{\text{крит}} S_a);$

$(2065,31 - 2,365 \cdot 77,28; 2065,31 + 2,365 \cdot 77,28);$

$(1882,54; 2248,08).$

С вероятностью 95% можно утверждать, что значение данного параметра будут лежать в найденном интервале.

Графики полученных зависимостей и экспериментальные данные представлены на рисунках 1-3.

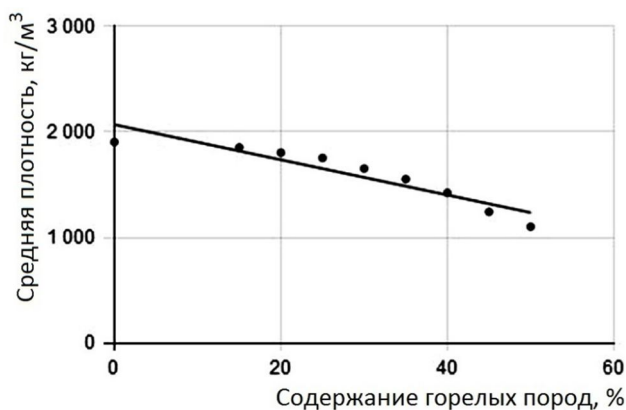


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности от содержания горелых пород

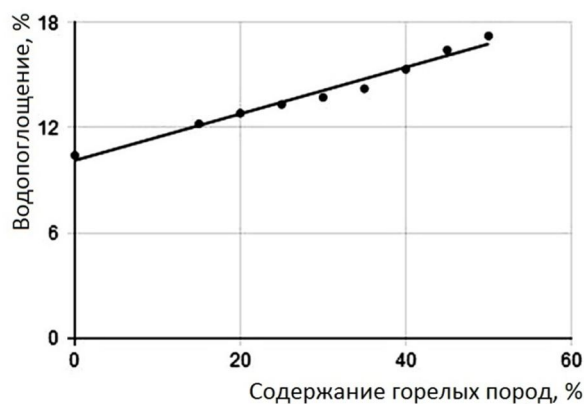


Рисунок 2 – Зависимость водопоглощения от содержания горелых пород

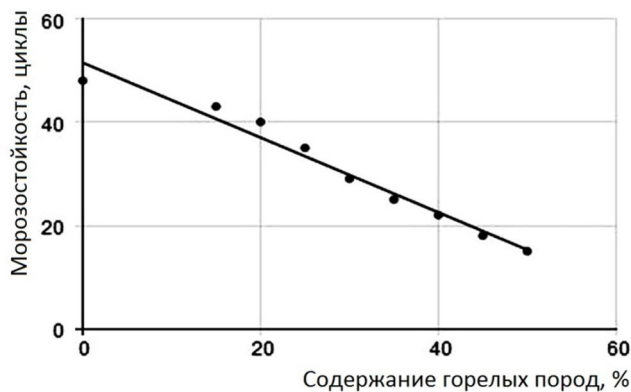


Рисунок 3 – Зависимость морозостойкости от содержания горелых пород

### Выводы

1. Исследована зависимость между содержанием в керамических образцах на основе межсланцевой глины отошающей и выгорающей добавки в виде горелых пород и основных физических свойств теплоизоляционного кирпича методом линейной регрессии.
2. Модель зависимости строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает зависимость результатов опытов.
3. Приведенный регрессионный анализ позволяет получить математические модели, делающие возможным предсказание свойств керамических масс в точках, не вошедших в серию эксперимента, а также определить область оптимальных с точки зрения использования отходов топливно-энергетического комплекса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахимов, В.З. Исследование тепломассообменных процессов при обжиге легковесного кирпича на основе межсланцевой глины и нефтяного кека [Текст] / В.З. Абдрахимов, А.В. Колпаков // Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – №11-12. – С. 24-28.
2. Абдрахимов, В.З. Экспериментальное исследование теплопроводности легковесного кирпича на основе бейделлитовой глины и горелых пород [Текст] / В.З. Абдрахимов, Е.А. Белякова, Д.Ю. Денисов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2010. – №11-12. – С. 49-52.
3. Абдрахимов, В.З. Использование отходов горючих сланцев в производстве теплоизоляционных материалов без применения природного сырья [Текст] / В.З. Абдрахимов, И.Ю. Рощупкина, Е.С. Абдрахимова, А.В. Колпаков // Экология и промышленность России. – 2012. – №3. – С. 28-31.
4. Абдрахимов, В.З. Оптимизация состава керамических масс по физико-механическим свойствам [Текст] / В.З. Абдрахимов // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №1. – С. 45-47.
5. Ковков, И.В. Исследование регрессивным методом анализа влияния шлака от выплавки ферросплава на физико-механические показатели кирпича [Текст] / И.В. Ковков, В.З. Абдрахимов // Известия вузов. Строительство. – 2006. – №9. – С. 105-110.
6. Абдрахимова, Е.С. Оптимизация состава керамических масс по физико-механическим свойствам кислотоупорной плитки [Текст] / Е.С. Абдрахимова, Г.И. Бердов // Известия вузов. Строительство. – 2000. – №12. – С. 54-58.

#### В.З. Абдрахимов

Самарский государственный экономический университет, г. Самара  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: 3375892@mail.ru

#### А.В. Колпаков

Самарская академия государственного и муниципального управления, г. Самара  
Аспирант  
E-mail: roland.alex@mail.ru

#### А.К. Кайракбаев

Казахско-русский международный университет, Казахстан  
Кандидат физико-математических наук, доцент  
E-mail: kairak@mail.ru

---

V. ABDRAKHIMOV, A. KOLPAKOV,  
A.I. KAYRAKBAEV

### RESEARCH OF PHYSICAL PROPERTIES OF THE HEAT-INSULATING BRICKS BY LINEAR REGRESSION

*The dependence between the content in the ceramic samples based on intershale clay non-plastic and burnable additives in the form of burnt rocks and basic physical properties of the heat-insulating bricks (mass specific gravity, absorption of water, freeze-thaw resistance) by linear regres-*

sion. Depending on the model is built based on the actual results of the experiment and analytically describes the dependence of the results of experiments.

**Keywords:** *intershale clay, burnt rocks, heat-insulating bricks, linear regression method, mass specific gravity, absorption of water, freeze-thaw resistance.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Abdrahimov, V.Z. Issledovanie teplomassoobmennyyh processov pri obzhige legkovesnogo kirpicha na osnove mezhslancavoj gliny i nefljanogo keka [Tekst] / V.Z. Abdrahimov, A.V. Kolpakov // Ogneupory i tehničeskaja keramika. – 2011. – №11-12. – S. 24-28.
2. Abdrahimov, V.Z. Jeksperimental'noe issledovanie teploprovodnosti legkovesnogo kirpicha na osnove bejdelitovoj gliny i gorelyh porod [Tekst] / V.Z. Abdrahimov, E.A. Beljakova, D.Ju. Denisov // Ogneupory i tehničeskaja keramika. – 2010. – №11-12. – S. 49-52.
3. Abdrahimov, V.Z. Ispol'zovanie othodov gorjuchih slancev v proizvodstve teploizoljacionnyh materialov bez primeneniya prirodnoho syr'ja [Tekst] / V.Z. Abdrahimov, I.Ju. Roshhupkina, E.S. Abdrahimova, A.V. Kolpakov // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2012. – №3. – S. 28-31.
4. Abdrahimov, V.Z. Optimizacija sostava keramicheskikh mass po fiziko-mehanicheskim svojstvam [Tekst] / V.Z. Abdrahimov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2003. – №1. – S. 45-47.
5. Kovkov, I.V. Issledovanie regressivnym metodom analiza vlijanija shlaka ot vyplavki ferrosplava na fiziko-mehanicheskie pokazateli kirpicha [Tekst] / I.V. Kovkov, V.Z. Abdrahimov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2006. – №9. – S. 105-110.
6. Abdrahimova, E.S. Optimizacija sostava keramicheskikh mass po fiziko-mehanicheskim svojstvam kislotoupornoj plitki [Tekst] / E.S. Abdrahimova, G.I. Berdov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2000. – №12. – S. 54-58.

### **V. Abdrakhimov**

Samara state economic university, Samara  
Doctor of technical sciences, professor  
E-mail: 3375892@mail.ru

### **A. Kolpakov**

Samara Academy of state and municipal management, Samara  
Graduate student  
E-mail: roland.alex@mail.ru

### **Aj. Kayrakbaev**

Kazakh-Russian international university, Kazakhstan  
Candidate of physico-mathematical Sciences, associate professor  
E-mail: kairak@mail.ru



АХМАТОВ М.А.

## КЕРАМЗИТОБЕТОН НА ЩЕБНЕ И ПЕСКЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ КЫЗБУРУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

*В статье представлены исследования керамзитовых глин Кызбурунского месторождения Кабардино-Балкарской республики в качестве сырья для производства искусственных пористых заполнителей легких бетонов пониженной плотности. Приведены способы испытания и оценка прочности керамзитовых заполнителей и их свойства. Приведены составы легких керамзитобетонов, их прочность при сжатии. Даны рекомендации по применению керамзитобетонов в строительстве.*

**Ключевые слова:** пористые заполнители, легкие бетоны, стеновые материалы, объемная масса, прочность бетона.

### 1. Введение

Темпы роста строительства после перестроечных лет в России является стимулом развития собственной производственной базы строительной индустрии в городах и сельской местности. В последние годы объем жилищного и культурно-бытового строительства в сельской местности непрерывно возрастает. Заметно растет строительство школьных образовательных учреждений, спортивных комплексов в городах и в сельских муниципальных районах Кабардино-Балкарской республики.

Применение легких бетонов на искусственных и естественных пористых заполнителях способствует уменьшению массы зданий и сооружений, снижению стоимости транспортных расходов, монтажных работ, улучшению теплоизоляции, снижению расхода энергии и теплотеря в эксплуатируемых зданиях, повышению огнестойкости, морозостойкости и сейсмостойкости [1]. Установлено, что при расходе условного топлива на производство 1 кубического метра пористых заполнителей менее 100 кг экономическая эффективность изготовления несущих конструкций из легких бетонов будет на 10-20% выше, даже с учетом повышенной стоимости искусственных пористых заполнителей по сравнению с плотными.

### 2. Кызбурунские глины – сырье для получения керамзитового гравия

Исследования показали, что освоение массового производства эффективных наружных ограждающих конструкций из легких бетонов пониженной плотности ( $800 \dots 900 \text{ кг/м}^3$ ), обеспечивающих снижение массы стены до 40%, материалоемкости – до 15%, энергозатрат – до 30%, трудозатрат – до 15%, экономию стали – до 10%, цемента – до 15% требуется дальнейшее изучение перспективных месторождений для производства и выпуска фракционных пористых заполнителей типа керамзита с насыпной плотностью  $400 \dots 450 \text{ кг/м}^3$  и прочностью при сдавливании в цилиндре 2-3 МПа [1].

Основным направлением темпов роста объемов, как полносборного, так и монолитного строительства, связаны с выпуском и внедрением новых эффективных строительных материалов и конструкций на базе местных месторождений. Увеличение мощностей капитального строительства по производству искусственных и естественных пористых заполнителей может быть связано с освоением Кызбурунского месторождения керамзитовых глин и увеличением добычи и переработки богатых запасов пористых каменных пород вулканического происхождения.

Химический состав глин определялся в лабораторных условиях согласно требованиям ГОСТ2646.0.71. Было проанализировано 17 проб. Классификация сырья по содержанию суммы окислов алюминия проводилась по ГОСТ 9169-75. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Анализ таблицы 1 показал, что химический состав глин отвечают требованиям, предъявляемым к керамзитовому сырью. Исключение составляет только повышенное содержание железа. Глины по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  относятся к группе полукислого глинистого сырья. Ла-

бораторные испытания показали, что четкой картины закономерностей изменения вспучиваемости глин в зависимости от изменения химического состава не выявлено (рис. 1).

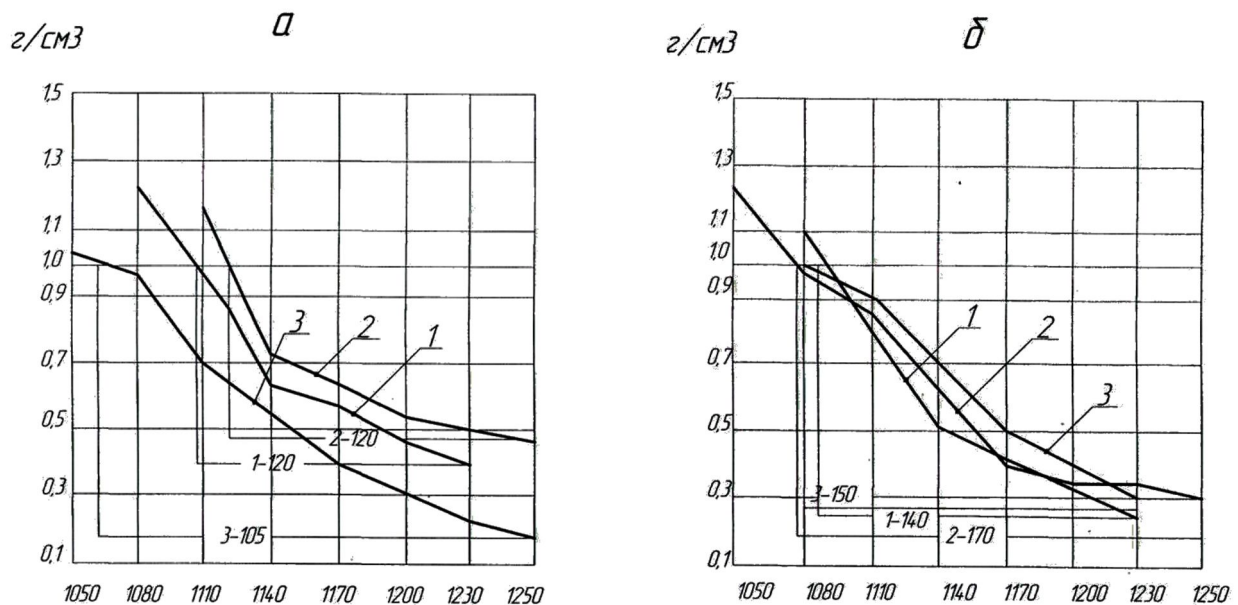
Таблица 1 – Химический состав Кызбурунского месторождения глин

Отбор проб	Основные компоненты по весу на высушенное при 110°C вещество										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Органические вещества	п.п.п.
1	56,6	20,2	-	6,7	1,1	1,65	-	-	0,34	0,34	9,66
2	54,73	19,1	0,96	8,57	1,60	2,18	1,90	0,76	0,59	1,77	9,39

Следовательно, сырьем для получения керамзитового гравия могут служить легкоплавкие глинистые породы месторождения Кызбурунских глин, которые были разведаны в начале 70-х годов XX века нерудной партией КБГЭ [2, 3]. По месторождению, утвержденные запасы составляют 33,5 млн. м<sup>3</sup> по категории А+В+С, в том числе по категории А-1,06 млн. м<sup>3</sup>, В – 8,94 млн. м<sup>3</sup>.

В лабораторных условиях глиняная проба после тщательного перемешивания затворялась водой в естественном составе с введением добавок до получения массы нормальной формовочной влажности. Из составленных глинистых масс формовались образцы – гранулы цилиндрической формы размерами 16×16 мм. Подготовленные гранулы высушивались в сушильном шкафу при температуре 100-105°C до постоянного веса. Обжиг образцов-гранул производился в лабораторной шахтной печи с силитовыми нагревателями при температуре 1080-1250°C с интервалом 30 минут. За интервал вспучивания принимается разница между оптимальной температурой обжига и температурой, которой соответствуют гранулы с объемной массой в куске 1,00 г/см<sup>3</sup>. в основу методики определения вспучиваемости принят принцип ступенчатой термообработки образцов-гранул.

Зависимость объемной массы в куске вспученных образцов-гранул от температуры обжига представлена на рисунках 1, а, б.



1 – 1м/31.33 - в естественном составе  
 2 – 2м/31.33 – в естественном составе  
 3 – 2м/31.33 – 99,65% + 0,5% мазута

1 – 3м/31 - в естественном составе  
 2 – 4м/38 - в естественном составе  
 3 – 5м/31 - в естественном составе

Рисунок 1 – Зависимость объемной массы в куске вспученных образцов гранул глинистого сырья Кызбурунского месторождения Кабардино-Балкарии

Анализ рисунка 1 позволяет сделать вывод: Кызбурунское месторождение глин, имея запасы сырья, является в перспективе одним из основных месторождений для получения керамзитового гравия на Северном Кавказе и Юге России.

### 3. Оценка качества керамзитового гравия в качестве заполнителя бетона

Промышленные испытания проб по сухому методу были проведены в Ростовском до-мостроительном комбинате. Исследования более крупной пробы сырцовых опудренных гранул производилось пластическим способом в керамзитовом цеху завода «Стройдеталь», Северная Осетия-Алания.

В печь поочередно было загружено 3 тонны сырья фракции 10-50 мм; 2,7 тонны фракции 20-50 мм; 2,5 тонны фракции 10-30 мм и 3,8 тонны фракции 10 мм и менее. Общее время обжига сырья заняло 50-55 минут, продолжительность вспучивания 5-15 минут. При температуре на входе в печь 780-795°, на выходе 920-940°, в зоне обжига 1770-1190°. Оптимальная температура вспучивания колебалась в пределах 1180-1220° при скорости вращения барабана тепловой подготовки 1,42 об./мин.

Полученный керамзитовый гравий имеет объемную массу 327-391 кг/м<sup>3</sup> с пределом прочности при сжатии в цилиндре 1,5-1,8 МПа и водопоглощением по весу 5,4-7,0%, что отвечает требованиям ГОСТ 9759-93 на керамзитовый гравий [1].

Для наиболее полной оценки качества керамзитового гравия, полученного при полупромышленных испытаниях, при установившемся режиме обжига, отбирались опытные партии керамзитового гравия для определения физико-механических характеристик его и испытания в бетонах различного назначения (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-механические характеристики керамзитового гравия Кызбурунского месторождения

Наименование пробы	Зерновой состав		Насыпная плотность фракции, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	Морозостойкость циклов	Водопоглощение по массе в течение часа, %	Марка заполнителя	
	размер отв. мм	остатки на ситах, %					по насыпной плотности	по прочности
1. В естественном составе	20	40	312 (фр.20-40 мм)	1,35	15	16	350	П50
	10	51,0						
	5	8,4	348 (фр.10-20 мм)	1,94	15	1±5	350	П75
	менее 5	-						
2. В естественном составе с опудриванием сырцовых гранул огнеупорной глиной	20	40	312 (фр.20-40 мм)	1,20	15	14	350	П50
	10	51,0	348 (фр.10-20 мм)	1,57	15	14	350	П75
	5	1,4	-					
	менее 5	-	-					
3. Керамзит Нальчикский	10...20	20...25	650	2,3...3,0	25	10...17	500	П250

Физико-механические характеристики керамзитового гравия, определенные в соответствии с ГОСТ 9759-93 «Гравий и песок керамзитовые» приведены в таблице 2. В таблице приведены также заводские испытания (поз. 3) в керамзитовом цеху ЗЖБИ №2 ОАО «Каббалкпромстрой», на базе которого в последующем выпускались стеновые панели для крупнопанельного домостроения в городах и поселениях Кабардино-Балкарии.

Из таблицы 2 следует, что качество керамзитового гравия, полученного из сырья в естественном составе и с опудриванием сырцовых гранул огнеупорным порошком, почти не отличается, так как указанные заполнители имели почти одинаковую плотность, что обеспечило им одинаковую пористость и водопоглощение.

По содержанию глинистой фракции сырьё относится к низкодисперсному и среднедисперсному. По показателю суммы окислов  $Al_2O_3+TiO_2$  пробы относятся к группе полукислого сырья. Глинистое сырьё всех проб, представленных на испытание, преимущественно вспучиваются в естественном составе. При этом получены образцы гранулы с объемной массой в куске 0,20-0,40 г/см<sup>3</sup>, при температуре вспучивания 1200-1250°С. Интервал вспучивания составил 120-185°С. Вспучивание сырья двух проб из 17 с объемной массой в куске образцов гранул составил 0,47-0,50 г/см<sup>3</sup>.

При введении 0,5% мазута в сырьё этих проб объемная масса в куске снижается соответственно до 0,20-0,30 г/см<sup>3</sup> при температуре вспучивания 1230-1250°С. Интервал вспучивания 155-185°С. Кривые зависимости объемной массы образцов гранул в куске в зависимости от температуры вспучивания приведены на рисунке 2.

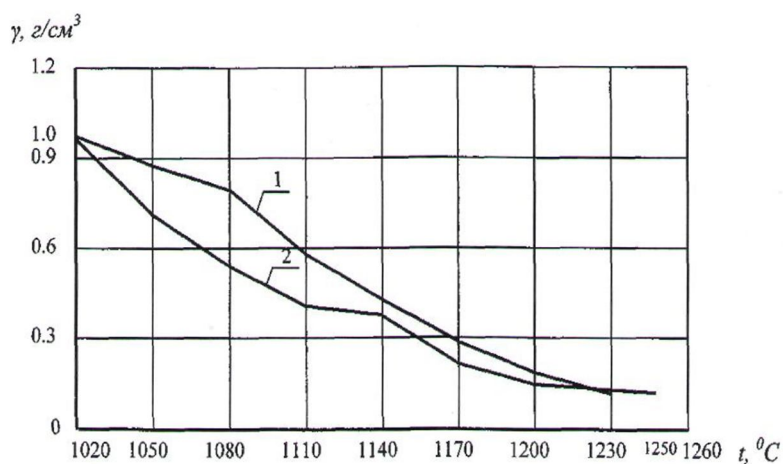


Рисунок 2. Кривые зависимости объемной массы образцов гранул в куске от температуры вспучивания: 1 – пробы в естественном составе (1205°С); 2 – пробы в естественном составе с опудриванием сырцовых гранул (1205°С)

Характерной особенностью представленных проб Кызбурунского месторождения глинистого сырья, является то, что начало слипания образцов гранул, с шероховатой поверхностью наблюдается при температуре 1140-1170°С. Однако с повышением температуры обжига вспучиваемость образцов улучшается и обжиг заканчивается при температуре 1200-1250°С до начала оплавления гранул.

Для окончательного выяснения пригодности Кызбурунского месторождения глин в качестве сырья для керамзитового гравия были проведены дополнительные полузаводские испытания. Полученный керамзитовый гравий характеризуется следующими физико-механическими свойствами (табл. 3).

Таблица 3 – Физико-механические свойства стандартной смеси\*

№№ п/п	Основные характеристики керамзитового гравия	Единица измерения	Результаты испытания
1	Объемная насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	335
2	Масса зерен заполнителя в цементном тесте	кг/м <sup>3</sup>	578
3	Пустотность	%	42
4	Водопоглощение за 30 минут	%	14

\* Стандартная смесь: 60% фракции 20-40мм; 40% фракции 10-20 мм.

#### 4. Подбор составов легких бетонов и результаты испытания на прочность

Для полной оценки качества керамзитового гравия, полученного в заводских условиях из глинистого сырья Кызбурунского месторождения, проведены испытания бетонов на полученном керамзитовом заполнителе. Бетон изготовлен на цементе марки 500 «Жигулёвского комбината строительных материалов». Результаты испытания цемента приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика цемента и результаты испытания

№/№	Наименование показателей	Единица измерения	Результаты испытания
1	Объёмная насыпная масса	кг/м <sup>3</sup>	1220
2	Пустотность	г/см <sup>3</sup>	3,1
3	Нормальная густота	%	27,8
4	Активность	МПа	58,7
5	Сроки схватывания: начало	час	2 ч. 35мин.
	конец	час	6 ч. 15мин.
6	Равномерность изменения объёма	-	выдержал

В работе использовался Вольский кварцевый песок в соответствии с требованиями ГОСТ 8735-75 объёмной насыпной массовой и плотностью соответственно 1590 кг/м<sup>3</sup> и 2,63 г/см<sup>3</sup>. Пустотность песка оказалась 39,6%. При подборе конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона в качестве мелкого заполнителя применялся керамзитовый песок, полученный путём дробления керамзитового гравия в лабораторной щековой дробилке. Объёмная насыпная масса дроблёного пористого песка в среднем составила 550 кг/м<sup>3</sup>, а объёмная масса зерен в цементном тесте 1020 кг/м<sup>3</sup>. По гранулометрическому составу пески характеризуются данными, приведенными в таблице 5.

Таблице 5 – Характеристики свойств песков

Наименование песков	Группа по крупности	Полный остаток по массе на сите, %						Модуль крупности
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	менее 0,14	
Вольский	Мелкий	0,5	0,4	0,5	35,2	60,6	2,8	1,34
Керамзитовый Кызбурунского месторождения дробленый	Средний	28	22	17,3	12,8	10,4	10,0	2,2

Определение рациональной области применения керамзитового гравия в бетоне в сравнении с естественными пористыми заполнителями может быть составлено на основе анализа кривых, названные по предложению А.И. Ваганова механическими характеристиками заполнителя.

Из литературных источников известно, что объем крупного заполнителя в бетоне может значительно изменяться. Для легкого бетона этот показатель, называемый коэффициентом насыщения  $r'$ , составляет 0,4-0,45. Однако на этот счет нет единого мнения.

В исследованиях И. А.Иванова и А. И.Тимофеева максимальный показатель степени насыщения бетона пористым заполнителем оказался  $r' = 0,6$  [4]. Такой же результат получен Г.С. Агабаляном в работе [5]. Как утверждает Г.С. Агабалян обмазка зерен заполнителя гелиевой составляющей зависит от степени насыщения бетона пористым заполнителем, что в свою очередь приводит к разной степени концентрации напряжений по поверхности сцепления [5]. Установлено, что имеется определенная функциональная зависимость, связывающая прочность легкого бетона с прочностью и модулем деформации цементного камня и крупного заполнителя, а также с той частью объема бетона, которая заполнена этими составляющими бетонной смеси.

В исследованиях М.А. Ахматова максимальная степень насыщения бетона на естественных пористых заполнителях принята 0,5 [1], а в исследованиях керамзитобетонных содержащих керамзитового гравия Кызбурунского месторождения в бетоне было принято во всех случаях неизменным и равным 0,45.

Для построения кривой были использованы результаты испытаний образцов-кубов с размерами ребра 15 см из растворных и бетонных смесей разных составов. Осадка растворов по конусу была принята постоянной и равной 4 см. Для сохранения пластичности свойств раствора растворных и бетонных образцов и обеспечения постоянной жесткости бетонной смеси (45 сек.), в бетонную смесь вводилось дополнительное количество воды на поглощение его заполнителем, равное половине получасового водопоглощения керамзитового гравия. После завершения тепловлажностной обработки бетонные образцы-кубы были испытаны на прочность при сжатии. По результатам испытаний кубы с ребрами 15 см строился график зависимости  $R_{бет} = f(R_{раст})$ , который приведен на рисунке 3.

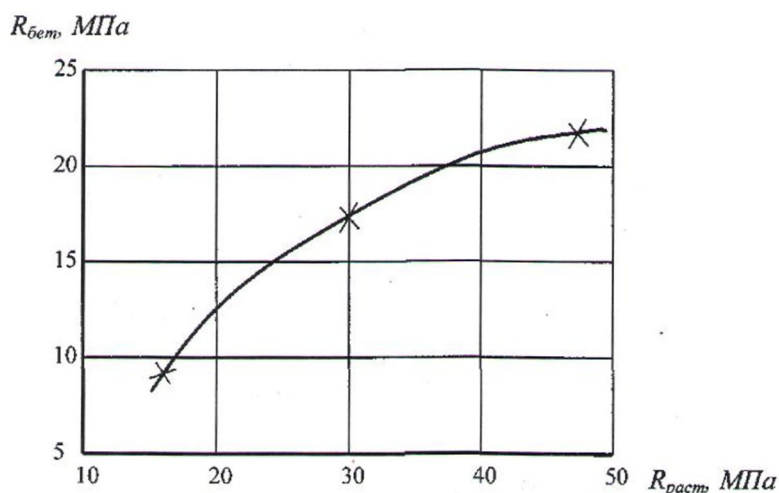


Рисунок 3 – Зависимость прочности бетона  $R_{бет}$  от прочности растворной составляющей  $R_{раст}$

Кривая (рис. 3) позволяет установить возможную рациональную область применения керамзитового гравия в бетоне, полученную на основе глинистого сырья Кызбурунского месторождения в естественном составе. Причем предельной прочностью бетона на данном заполнителе можно считать  $R_{бет} = 21$  МПа, то есть класс бетона В20. В строительной индустрии всегда ощущается большая потребность в теплоизоляционных крупнопористых и конструкционно-теплоизоляционных легких бетонах.

Задачей подбора составов легких бетонов является получение бетона с минимально возможной объемной массой, обуславливающей заданные свойства изделий и конструкций и заданную прочность. Подбор составов крупнопористого теплоизоляционного легкого бетона производился на фракции щебня 20-40 мм из условия получения керамзитобетона с возможно минимальной объемной массой.

Из этой бетонной смеси формовались бетонные образцы с размером ребра 15 см с различными расходами цемента. Укладка бетонной смеси в формы производилась с легким трамбованием. По истечении суток образцы подвергались тепловой обработке по режиму 3+8+3 час при температуре изотермического прогрева 85°C. После пропаривания образцы испытывались на прочность при сжатии. Состав бетонов и результаты испытания приводятся в таблице 6.

Дальнейшие испытания были направлены на получение конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных керамзитобетонных на керамзите Кызбурунского месторождения керамзитовых глин Кабардино-Балкарии. Были подобраны составы конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных легких керамзитобетонных, с учетом получения бетона нужной плотности и прочности. Жесткость бетонной смеси для конструкционно-теплоизоляционных бетонов была принята 30-40, а для конструкционных – 45 сек. Бетонная

смесь в том и другом случае готовилась в ручную на металлическом бойке. Из бетонной смеси изготовлялись кубы размером 15×15×15 см, которые уплотнялись на лабораторном вибростоле с частотой колебаний 3000 кол/мин. Образцы из конструкционного керамзитобетона подвергались уплотнению с пригрузом 50 г/см<sup>3</sup>. Через сутки все образцы-кубы подвергались пропариванию по той же схеме, что и образцы из теплоизоляционного бетона. Перед испытанием образцы взвешивались и испытывались на прочность при сжатии. Результаты испытания и составы конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонов приводятся в таблице 7.

Таблица 6 – Состав крупнопористого керамзитобетона и их свойства

№/№ составов	Расход материалов на 1м бетона, кг			Объемная масса бетона, кг/м <sup>3</sup>		Прочность бетона при сжатии, R <sub>сж</sub> , МПа
	Ц	Щ <sub>кр</sub>	В	после пропаривания	после высушивания	
1	100	327	70	495	450	0,7
2	120	327	80	525	470	0,9
3	140	327	85	550	495	1,2

Таблице 7 – Составы конструкционно-теплоизоляционных бетонов на керамзитовом заполнителе и результаты испытания

№/№	Расход материала на 1м <sup>3</sup> бетона, кг				Объемная масса бетона, кг/м <sup>3</sup>		Прочность керамзито-бетона, МПа
	Ц	Щ <sub>к</sub>	П <sub>к</sub>	В, л	после пропаривания	после высушивания	
1	200	335	335	200	1050	900	6,8
2	240	335	289	250	1100	915	8,0

По результатам подбора составов конструкционных бетонов на керамзитовом щебне и кварцевом песке, испытания бетонных кубов на прочность при сжатии, выбраны примерные классы керамзитобетонов плотной структуры, которые приводятся в таблице 8.

Таблице 8 – Составы бетонов и результаты испытания контрольных кубов конструкционного керамзитобетона

№/№ составов	Класс бетона, В	Расход материалов на 1м бетона, кг				Объемная масса бетона, кг/м <sup>3</sup>		Прочность бетона при сжатии, МПа
		Ц	К <sub>кр</sub>	П <sub>к</sub>	В	после пропаривания	после высушивания	
1	10	250	270	715	185	1410	1280	11,0
2	15	300	270	670	200	1485	1300	15,5
3	20	350	270	630	220	1465	1320	20,1

### **Вывод**

Предварительные исследования и испытания керамзитового гравия в легких бетонах, полученного из глин Кызбурунского месторождения, показали, что на их основе можно организовать промышленный выпуск керамзитового заполнителя для изготовления легких керамзитобетонов для самонесущих крупных стеновых изделий и несущих конструкций из них.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ахматов, М.А. Легкие бетоны и железобетонные конструкции на заполнителях из каменных отходов и рыхлых пористых пород [Текст] / М.А. Ахматов. – Нальчик: КБГСХА им. В.М. Кокова. – 2010. – 165 с.
2. Трегубов, В.В. Отчет о результатах поисков и детальной разведки Кызбурунского месторождения керамзитового сырья на территории КБАССР [Текст] / В.В. Трегубов. – 1962-1963 гг. Фонд КБГЭ. – Нальчик. – 1963.
3. Лезина, И.Б. Отчет о результатах детальной разведки Кызбурунского месторождения керамзитовых глин за 1976-1978 гг. [Текст] / И.Б. Лезина. – Нальчик. – 1978. – Том 1 и 2.
4. Иванов, И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях [Текст] / И.А. Иванов. – М.: Стройиздат. – 1993. – 182 с.

5. Агабалъян, Г.С. Исследования по технологии высокопрочных легких бетонов на пористых заполнителях [Текст] / Г.С. Агабалъян: автореф. дис. канд.техн. наук. – Минск. – 1975. – 23 с.

**М.А. Ахматов**

ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: prof-ahmatow@mail.ru

---

M. AHMATOW

## CLAYDITE ON GRAVEL AND SAND CLAY RAW MATERIALS KIZBURUNSKY FIELD OF KABARDINO-BALKARIA

*This article deals with investigations of Kizburunsky expanded clay in Kabardino-Balkaria Republik and using them in production of artificial porous aggregates in low-density lightweight concrete. The methods of trial and valuation of expanded clay concrete strength as well as their characteristics are presented in this article. The components of lightweight expanded clay and their solidity under pressure are also given. All necessary recommendations of using expanded clay in construction are presented.*

**Keywords:** porous aggregates, lightweight concrete, wall materials, bulk density, strength of concrete.

### BIBLIOGRAPHY

1. Ahmatov, M.A. Legkie betony i zhelezobetonnye konstrukcii na zapolniteljah iz kamennyh othodov i ryhlyh poristyh porod [Tekst] / M.A. Ahmatov. – Nal'chik: KBGSHA im. V.M. Kokova. – 2010. – 165 s.
2. Tregubov, V.V. Otchet o rezul'tatah poiskov i detal'noj razvedki Kyzburunskogo mestorozhdenija keramzitovogo syr'ja na territorii KBASSR [Tekst] / V.V. Tregubov. – 1962-1963 gg. Fond KBGJe. – Nal'chik. – 1963.
3. Lezina, I.B. Otchet o rezul'tatah detal'noj razvedki Kyzburunskogo mestorozhdenija keramzitovyh glin za 1976-1978 gg. [Tekst] / I.B. Lezina. – Nal'chik. – 1978. – Tom 1 i 2.
4. Ivanov, I.A. Legkie betony na iskusstvennyh poristyh zapolniteljah [Tekst] / I.A. Ivanov. – M.: Strojizdat. – 1993. – 182 s.
5. Agabaljan, G.S. Issledovaniya po tehnologii vysokoprochnykh legkih betonov na poristyh zapolniteljah [Tekst] / G.S. Agabaljan: avtoref. dis. kand.tehn. nauk. – Minsk. – 1975. – 23 s.

**M. Ahmatow**

Kabardino-Balkarian state agricultural university named after V.M. Kokov

Doctor of technical sciences, professor

E-mail: prof-ahmatow@mail.ru



ВОРОБЬЕВ В.А., КОЛБАСИН А.М.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ЕГО ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА

*В настоящее время в качестве крупного заполнителя бетона наиболее широко используется гравий, щебень, керамзитовый гравий и ряд других искусственных заполнителей. Заполнитель является основным по весу и по объему компонентов бетона. Заполнители улучшают технические свойства бетона. Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и модуль упругости бетона, то есть уменьшает деформации конструкций под нагрузкой, а также уменьшает ползучесть бетона (необработанные деформации, возникающие при длительном действии нагрузки). Заполнитель уменьшает усадку бетона, способствует получению более долговечного материала. Кривые зернового состава смеси заполнителей в пределах размеров зерен от нуля до наибольшего допустимого могут быть непрерывные и прерывистые в зависимости от требуемой подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси и плотности бетона.*

**Ключевые слова:** Дозирование, плотность усадки, изготовление бетона, фракционный состав, пустотность.

Наиболее существенное влияние на свойства бетона оказывает гранулометрический состав крупного заполнителя, т.е. относительное содержание зерен различных размеров (для рядового заполнителя) или же – отдельных фракций (для фракционного заполнителя). Гранулометрическим составом непосредственно связана пустотность заполнителя, определяемая возможностью его плотной усадки.

Примем обозначения:  $H$  – объем пустот;  $C$  – абсолютный объем зерен заполнителя;  $V=C+H$  – полный объем смеси;  $a=H/V$  – пустотность в относительных единицах;  $b=a/(1-a)$ . При заполнении пустот крупного заполнителя зернами мелкой фракции пустотность будет уменьшаться в соответствии с выражением:

$$H_1 = b_k C_k - C_M = a_k V - C_k . \quad (1)$$

При добавке крупных зерен к мелкой фракции вследствие замещения части объема крупными зернами, не имеющими пустот, пустотность заполнителя будет уменьшаться в соответствии с выражением.[1]

$$H_2 = b_M C_M = a_M (V - C_k) . \quad (2)$$

Формула (1) применяется при условии, что  $V_M < b_k C_k$ , т.е. когда объем мелкой фракции не превосходит объем пустот крупной фракции. Формула (2) действительна при условии, что  $V_M > b_k C_k$ , т.е. при избытке песка по сравнению с объемом пустот крупной фракции.

Теоретически наименьший объем пустот можно определить по формуле:

$$H_{\min} = a_k a_M V . \quad (3)$$

Важной характеристикой заполнителя, связанной с его ГС и определяющей его влияние на свойства бетона и бетонной смеси, является удельная поверхность его зерен. Применительно к рядовому расположению паров удельная поверхность зерен, заключенных в единице объема, равна  $S = \pi d^2 / d^3 = \pi / d$ .

Отсюда следует, что удельная поверхность зерен обратно пропорциональна диаметру зерен. С уменьшением размеров зерен их поверхность возрастает. Удельная поверхность также несколько возрастает в смесях угловых зерен. Очень значительно начинает возрастать удельная поверхность при диаметре зерна менее 1 мм [2].

Необходимо, чтобы в бетоне цементное тесто не только заполняло пустоты между зернами песка, но и раздвигало зерна с целью создания между ними цементной прослойки для

образования единого монолита. Расход цемента на получение подобной оболочки зависит от удельной поверхности заполнителя, возрастая с уменьшением размера зерен. В результате с увеличением удельной поверхности заполнителя либо повышается техническая вязкость бетонной смеси, либо для получения определенной жесткости или подвижности смеси приходится увеличивать расходы воды и соответственно расход цемента, чтобы обеспечить получение бетона заданной прочности.

Добавление к крупному заполнителю мелкого уменьшают его пористость, но одновременно возрастает удельная поверхность, поэтому окончательное влияние заполнителя на бетон лучше всего определить непосредственным испытанием заполнителя в бетоне.

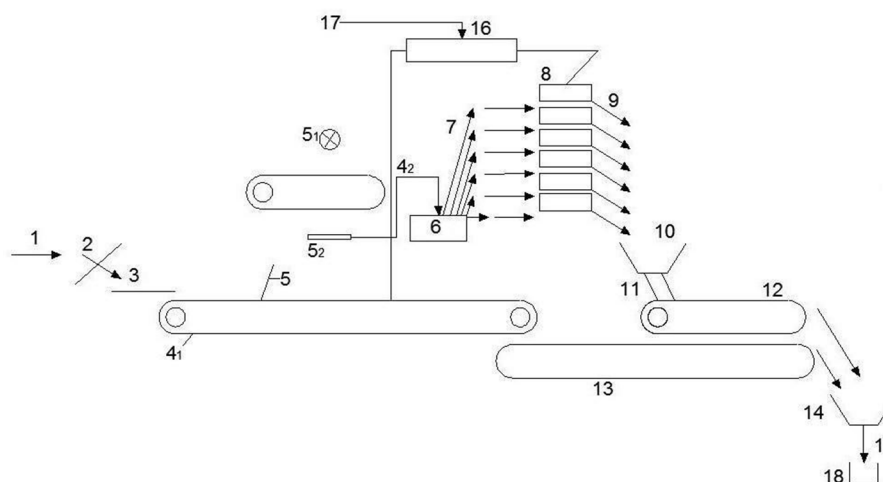
При изготовлении бетона большое значение имеет максимально допустимая крупность заполнителя. Максимальная крупность заполнителя зависит от размера бетонируемых конструкций: для удобной укладки бетонной смеси нельзя применять заполнитель крупнее  $\frac{1}{4}$  части минимального размера сечения конструкций и больше минимального расстояния между стержнями арматуры в железобетонной конструкции.

К крупности, зерновому составу, прочности гравия и щебня требования одинаковые.

Установлено, что форма зерен щебня влияет на пустотность и удельную поверхность бетона, при этом объемная масса, водопоглощение и марка прочности практически не меняется. При увеличении содержания в щебне зерен пластинчатой и игольчатой формы с 15 до 35% повышается пустотность щебня на 2-3% и удельная поверхность на 8-12%; при увеличении содержания таких зерен до 45% пустотность щебня повышается на 23-25% [3].

В технологии получения щебня одной из основных технологических операций является дробление. Степень измельчения или дробления характеризуется  $i = D/d$ , где  $D$  – диаметр наибольшего или средневзвешенного размера куска исходного материала в м;  $d$  – диаметр наибольшего и средневзвешенного куска продукта дробления в м. Практически номинальная степень дробления щековых, конусных и валковых дробилок 3-6, а дробилок ударного действия 6-10. В настоящее время контроль степени дробления осуществляется ситовым способом, грохотами. Грохоты просты по конструкции, надежны в работе, но имеют низкую эффективность грохочения, часто забиваются материалом, занимают много места по высоте [4].

Предназначением системы формирования смесей крупного заполнителя, заданного фракционного состава является выполнение данной технологической операции на основе получения в непрерывном режиме информации о фракционном составе дробленного каменного материала, перемещаемого на ленте технологического транспортера. По получаемой при этом информации выполняется последующее дополнение в потоке крупного заполнителя отдельных фракций с целью получения в результате смесей крупного заполнителя требуемого фракционного состава (рис. 1).



**Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема системы формирования дробленного каменного материала заданного фракционного состава с использованием радиационного гранулометра-классификатора**

Система, функциональная схема которой продемонстрирована на рисунке 1, выполняет следующие операции. Поток дробленого каменного материала – щебня (1) – попадает на вибросито (2). Вибросито отсекает дробленый каменный материал (щебень), превышающий верхний предел по допустимой крупности. Затем материал попадает на виброситовое устройство (3), устраняющее из потока дробленого каменного материала частицы мелкой и мельчайшей крупности. Транспортёр (4<sub>1</sub>) перемещает дробленый каменный материал, предназначенный для приготовления бетонной смеси с фракциями в допустимых верхнем и нижнем пределах, благодаря отсекателю (5) части каменного материала с транспортера, направляемого на транспортёр гранулометра. С основного транспортера (4<sub>1</sub>) осуществляется дополнительная подача порций дробленого каменного материала (4<sub>2</sub>) на приемник-классификатор (6). Приемник-классификатор является формирователем потоков каменного материала, распределяемого по фракциям. Таким образом формируются потоки отдельных фракций дробленого каменного материала (7) в бункере фракционного щебня. Вычислительное устройство (16) предназначено для управления дозированием отдельных фракций из бункеров фракционированного каменного материала (8) по информации с гранулометра, включающего в себя источник излучения радиационного гранулометра (5<sub>1</sub>) и комплекс аппаратуры для определения фракционного состава дробленого каменного материала, перемещаемого на ленте гранулометра (5<sub>2</sub>). Система информации (17) осуществляет контроль над управлением дозирования дополнительных составляющих потока каменного материала из бункеров (8). Из бункеров (8) дозированные потоки каменного материала (9), направляются для доведения каменного материала до нужного для приготовления бетона по фракционному составу на приемник-формирователь (10) требуемого по фракционному составу дополнений в общий поток. Вибропитатель – формирователь дополнительного потока каменного материала (11) осуществляет подачу этого дополнительного потока на транспортёр (12). В накопитель смеси каменного материала (14) поступают поток дополнительного каменного материала с транспортера (12) и поток основного каменного материала, принимающий дополнительный поток с транспортера (13), после чего уже поток рабочей смеси каменного материала (15) поступает в накопитель подготовленного для приготовления бетона требуемого фракционного состава для дальнейшего использования для приготовления бетонных смесей или для формирования порций смесей каменного материала для потребителей таковых.

Представленная на рисунке 1 функциональная схема дает представление о функциональных элементах системы автоматизированного управления технологическим процессом формирования потоков крупного заполнителя необходимого фракционного состава. Этот технологический процесс выполняется следующим порядком в следующей последовательности.

В поступающих после дробильно-сортировочного производства потоков дробленого каменного материала с целью дальнейшего транспортирования для приготовления бетонных смесей в них отделяется с помощью виброситового фильтра крупная компонента, которая вследствие невозможности ее последующего использования возвращается для повторного дробления. Вслед за этим из потока устраняется так же мельчайшая компонента, засоряющая поток крупного заполнителя так же с применением виброситового фильтра.

Далее от уже сформированного потока дробленого каменного материала отбирается путем отсекающей части потока некоторая определенная его часть, которая направляется для прохождения через радиационный гранулометр источник и приемник-регистратор излучения, у которого могут быть основаны как на рентгеновском, так и на световом излучателях. Вычислительные системы гранулометра выполняют необходимый анализ поступающей на приемник-регистратор информации и необходимые расчеты, выдавая сведения о фракционном составе потока каменного материала в виде гистограмм, число колонок которых соответствует числу фракций, на которые в технологическом процессе подразделяются поток крупного заполнителя [5].

Особенности формирования потока каменного материала, происходящего через зону контроля радиационного гранулометра, связаны с физической природой применяемого в гранулометрии излучения. Для радиационного гранулометра с использованием в качестве источ-

ника излучения рентгеновской установки необходимо формировать поток каменного материала заданной и стабильной высоты (толщины слоя). Для оптического гранулометра в зоне контроля формируется однослойное распределение зерен крупного заполнителя по поверхности прозрачной для видимого света ленты транспортера.

Информация о фракционном составе потока дробленного каменного материала подается в вычислительное устройство системы управления формированием потока крупного заполнителя необходимого фракционного состава путем досыпки в поток смеси, сформированной из дозированных потоков отдельных фракций различной крупности, заранее заготовленных в специальных бункерах для хранения и оперативного использования таковых. Для этого используется система специализированных дозаторов потока каменного материала каждой отдельной фракции в сборник-накопитель дополнительного каменного материала, из которого через вибропитатель он опускается в общий основной поток крупного заполнителя, подаваемого далее для приготовления бетонной смеси. При переходе на приготовление бетонной смеси, использующей крупный заполнитель иного фракционного состава, система автоматизированного управления соответственно перестраивается введением новых данных в ее вычислительно-управляющие составляющие [6].

Для оперативного непрерывного определения реального фракционного состава дробленного каменного материала, предназначенного для использования в качестве крупного заполнителя при приготовлении бетонных смесей, наиболее целесообразно из разработанных нами типов радиационных гранулометров применить тот, который основан на применении оптически импульсного излучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев, В.А., Автоматизация процесса производства фракционированного щебня на смесительных установках непрерывного действия [Текст] / В.А. Воробьев, А.В. Либенко // Изв. вузов «Строительство». – Новосибирск. – 2007. – №1. – С. 61-64.
2. Воробьев, В.А., Непрерывное дозирование сыпучих компонентов строительных смесей [Текст] / В.А. Воробьев, А.В. Либенко, А.Р. Махер // Сб. науч. тр. Секции «Строительство». – Вып. 7. – 2006. – С. 184-186.
3. Колбасин, А.М., Принципы связанного дозирования многокомпонентных смесей [Текст] / А.М. Колбасин, А.В. Либенко // Новые технологии в автоматизации управления. Сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 2006. – С. 73-75.
4. Колбасин, А.М., Оптимизация состава многокомпонентной смеси при детерминированных ограничениях [Текст] / А.М. Колбасин, А.В. Либенко // Новые технологии в автоматизации управления. Сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 2006. – С. 69-72.
5. Воробьев, В.А., Непрерывное измерение массы в линиях транспортирования сыпучих материалов [Текст] / В.А. Воробьев // Известия ВУЗов «Строительство», 2005. – С. 120-123.
6. Воробьев, В.А., Новое поколение дозирующих устройств непрерывного действия [Текст] / В.А. Воробьев // Жилищное строительство. – Новосибирск, – 2005. – №1. – 148 -с.

### **В.А. Воробьев**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: vladim-bel@yandex.ru

### **А.М. Колбасин**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: alex123456789.a@yandex.ru

V. VOROBIEV, A. KOLBASIN

## **AUTOMATION OF PREPARATION OF COARSE AGGREGATE FOR CONCRETE MIXTURES WITH OPERATIVE CORRECTION OF ITS FRACTIONAL COMPOSITION**

*Now as large filler of concrete gravel, crushed stone, ceramsite gravel and some other artificial fillers is most widely used. Filler is the basic on weight and on the volume of components of concrete. Fillers improve technical properties of concrete. The rigid skeleton from high-strength filler increases durability and the module of elasticity of concrete a little, that is reduces deformations of designs under loading, and also reduces creep of concrete (the raw deformations arising at long action of loading). Filler reduces concrete shrinkage, promotes receiving more durable material. Curves of grain composition of mix of fillers within the sizes of grains from zero to the greatest admissible can be continuous and faltering depending on the demanded mobility and an udoboukladyvayemost of concrete mix and density of concrete.*

**Keywords:** dispensing, shrinkage density, concrete production, fractional structure, hollowness.

## BIBLIOGRAPHY

1. Vorob'ev, V.A., Avtomatizacija processa proizvodstva frakcionirovannogo shhebnya na smesitel'nyh ustanovkah nepreryvnogo dejstvija [Tekst] / V.A. Vorob'ev, A.V. Libenko // Izv. vuzov «Stroitel'stvo». – Novosibirsk. – 2007. – №1. – S. 61-64.
2. Vorob'ev, V.A., Nepreryvnoe dozirovanie sypuchih komponentov stroitel'nyh smesej [Tekst] / V.A. Vorob'ev, A.V. Libenko, A.R. Maher // Sb. nauch. tr. Sekcii «Stroitel'stvo». – Vyp. 7. – 2006. – S. 184-186.
3. Kolbasin, A.M., Principy svjaznogo dozirovanija mnogokomponentnyh smesej [Tekst] / A.M. Kolbasin, A.V. Libenko // Novye tehnologii v avtomatizacii upravlenija. Sb. nauch. tr. – M.: MADI, 2006. – S. 73-75.
4. Kolbasin, A.M., Optimizacija sostava mnogokomponentnoj smesi pri determinirovannyh ogranichenijah [Tekst] / A.M. Kolbasin, A.V. Libenko // Novye tehnologii v avtomatizacii upravlenija. Sb. nauch. tr. – M.: MADI, 2006. – S. 69-72.
5. Vorob'ev, V.A., Nepreryvnoe izmerenie massy v linijah transportirovanija sypuchih materialov [Tekst] / V.A. Vorob'ev // Izvestija VUZov «Stroitel'stvo», 2005. – S. 120-123.
6. Vorob'ev, V.A., Novoe pokolenie dozirujushhijh ustrojstv nepreryvnogo dejstvija [Tekst] / V.A. Vorob'ev // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – Novosibirsk, – 2005. – №1. – 148 -s.

### V. Vorobiev

Moscow state automobile and road technical university, Moscow  
Doctor of technical sciences, professor  
E-mail: vladim-bel@yandex.ru

### A. Kolbasin

Moscow state automobile and road technical university, Moscow  
Candidate of technical sciences, associate professor  
E-mail: alex123456789.a@yandex.ru

ЕГОРОВ А.Н., ШПРИЦ М.Л., ГДИМИЯН Н.Г.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*В статье рассмотрены инновационные технологии в строительстве, выполнена их систематизация на основе анализа крупных строительных проектов с участием зарубежных фирм в г. Санкт-Петербург, показана роль инновационных методов в нейтрализации негативного факторного влияния на различных стадиях реализации строительных проектов. Приводится зарубежный опыт трансфера инноваций в строительстве.*

**Ключевые слова:** инновации, строительство, технологии, методы, «Топ-Даун».

В настоящее время применение инновационных технологий в строительстве кардинально меняет представление об инвестиционно-строительных проектах и возможностях их реализации. В строительной сфере инициирован процесс крупномасштабных инновационных преобразований – все строительные технологии, материалы, оборудование, методы организации и управления производством строительных работ стремительно совершенствуются. Особенно развитие заметно в процессах проектирования, возведения и эксплуатации зданий. К сожалению, далеко не все российские проектные, строительно-монтажные и эксплуатирующие организации обладают достаточными трудовыми (по квалификационно-количественному составу), материально-техническими и финансовыми ресурсами для отслеживания инновационных достижений и своевременного внедрения их в производство. В результате, качество строительных проектов, реализованных в Российской Федерации, существенно ниже западных аналогов, сроки и стоимость строительства – выше, эксплуатационные затраты построенных зданий увеличены. Проанализируем некоторые знаковые инновационные мероприятия, которые успешно применяются большинством современных зарубежных компаний с целью ресурсосбережения. Многие из них были успешно внедрены в отечественную практику строительства при реализации проектов строительства многофункциональных комплексов в г. Санкт-Петербург («Стокманн Невский Центр» и «Охта Молл»).

Инновационные строительные технологии, материалы, конструкции, инженерные системы закладываются на стадии проектирования здания. Но и сам современный процесс проектирования, во многом, затронут инновационными технологиями. Совмещение во времени процессов проектирования и строительства, большое количество участников, находящихся порой за тысячи километров друг от друга (а иногда, даже в разных странах), необходимость своевременной передачи проектной документации на строительную площадку требуют соответствующего инновационного программного обеспечения, позволяющего осуществлять 3D моделирование, синхронизировать выработку архитектурно-планировочных решений с расчетом конструкций, выполнять контроль-проверку на взаимное соответствие разных частей проекта (например, архитектурно-планировочные и конструктивные решения – запроектированным инженерным системам и т.п.), корректировку проекта и постоянное обновление базы данных на основе мощных файлообменных ресурсов с уведомлением всех участников проекта в режиме «on-line» о внесенных в проект изменениях и др.

Во время строительства многофункционального комплекса «Стокманн Невский Центр» в г. Санкт-Петербург на разных стадиях в проектировании принимало участие более 30 фирм из 4 различных стран (России, Финляндии, Эстонии, Германии). Основные разделы проектной документации выполнялись с применением современных методов трехмерного моделирования, а обмен проектной документацией осуществлялся через базу данных файлообменной си-

стемы «Raksanet», что позволило исправить большое количество ошибок в проектной документации на стадии проектирования, обеспечить обмен информацией между его участниками и своевременную выдачу проектной документации на строительную площадку.

Одним из современных методов строительства, являющимся крайне востребованным в крупных городах, особенно в условиях плотной исторической застройки и наличия огромного количество различных коммуникаций, непосредственно примыкающих к объекту строительства, является метод «Top-Down». Строительство многофункционального комплекса «Стокманн Невский Центр» велось именно этим методом, с помощью которого было освоено подземное пространства в центре Санкт-Петербурга – в условиях плотной исторической городской застройки XIX века.

Метод организации работ «Top-Down» позволяет существенно сократить сроки строительства за счет параллельного возведения надземного и подземного объемов здания. В случае строительства здания в условиях плотной городской застройки ограждение пространства будущего котлована, осуществляющееся на одном из первых этапов строительства по данному методу, выполняется с применением инновационных технологий, в основе которых положены методы «стена в грунте», устройства комбинированных стен из шпунта и др. В случае устройства шпунтового ограждения рядом с существующей застройкой применяются безрезонансные высокочастотные методы погружения шпунта. На рисунке 1 представлены фотографии погружения шпунта и устройства «стены в грунте» возле существующих зданий на объекте «Стокманн Невский Центр».



*Рисунок 1 – Погружения шпунта и устройство «стены в грунте» возле существующих зданий на объекте «Стокманн Невский Центр» в г. С.-Петербург*

Следующим шагом является выполнение свайных фундаментов по строительной технологии «Barrette Piles» или «Баретт Сваи»), после чего приступают к устройству монолитного железобетонного перекрытия на уровне «дневной поверхности». Перекрытие опирается на сваи. Сваи запроектированы таким образом, чтобы они могли выдержать нагрузки, в т.ч. возникающие в процессе строительства. Перекрытие предотвращает горизонтальные смещения конструкций, ограждающих подземное пространство (шпунта, стены в грунте и др.). В перекрытии предусматривают технологические отверстия для начала работ по освоению подземного пространства землеройно-транспортными машинами, последующей выемки грунта и др.

После набора перекрытием необходимой прочности начинаются земляные работы – как правило, они производятся мини-экскаваторами с дальнейшей транспортировкой выработанного грунта посредством системы ленточных конвейеров к технологическим отверстиям в перекрытиях и далее на уровень «дневной поверхности» строительной площадки. По мере обра-



зования подземного пространства устраиваются следующие перекрытия, которые также играют роль распорной системы ограждения котлована.

При правильной организации строительства этот метод позволяет возводить здания в условиях плотной городской застройки и вести строительные работы одновременно «вверх» и «вниз», т.е. строительство надземной и подземной частей здания ведется одновременно. На рисунке 2 приведены фотографии разработки грунта мини-экскаваторами при строительстве многофункционального центра «Стокманн Невский Центр».

Применение технологии «Top-Down» требует от всех участников строительного процесса более тщательного подхода к организации строительного производства, к техническому надзору за строительством и охране труда на площадке, так как реализуется большое количество сложных технологических решений. Метод «Top-Down» успешно применяется в зарубежной практике строительства в течение многих лет, однако в России он пока применялся только на нескольких объектах в г. Москва и г. Санкт-Петербург.



*Рисунок 2 – Разработка грунта по методу «Top-Down» при строительстве многофункционального центра «Стокманн Невский Центр» в г. С.-Петербург*

Современные строительные технологии должны обеспечивать быстрое и качественное строительство зданий, а также их соответствие повышенным требованиям многофункциональности, безопасности и комфорта. Благодаря технологии пост-напряжения железобетонных конструкций в условиях строительства (натяжению арматурных прядей в железобетонных конструкциях после бетонирования и набора бетоном достаточной прочности), появилась возможность строить здания с меньшим количеством несущих конструкций, с балками и перекрытиями меньшего сечения, и, как результат, с более просторными помещениями и большими проемами. Применение этой технологии позволяет существенно сократить количество применяемого бетона и арматуры, за счет чего существенно снижается общий объем капиталовложений.

Необходимо отметить, что технология пост-напряжения имеет многолетнюю практику применения в Российской Федерации при строительстве мостов и резервуаров. В настоящее время в РФ все чаще начинают применять технологию пост-напряжения монолитных железобетонных конструкций в жилищном и гражданском строительстве. В частности, данная строительная технология была успешно применена финской компанией «СРВ-Девелопмент» при строительстве торгового комплекса «Жемчужная Плаза», а, в настоящее время, применяется этой компанией при строительстве многофункционального комплекса «Охта Молл», расположенного в г. Санкт-Петербург (начало строительства – 2013 г., общая площадь – 144000 м<sup>2</sup>, размеры в плане – 226×126 м, комплекс состоит из 4-х надземных и 2-х подземных этажей). На рисунке 3 приведены примеры укладки труб для канатов пост-напряжения в фундаментной плите, в балках и плитах перекрытия объекта «Охта Молл».





*Рисунок 3 – Укладка гофрированных труб для канатов постнапряжения на объекте «Охта Молл» в г. С.-Петербург*

Технология пост-напряжения железобетонных конструкций имеет следующие преимущества по сравнению со стандартным армированием:

- ✓ позволяет проектировать и возводить здания с большими пролетами и размерами помещений в плане (при этом, существенно уменьшается собственный вес конструкций);
- ✓ дает возможность при проектировании значительно уменьшить сечения несущих конструкций (балок, колонн, плит перекрытий и др.), – что существенно сокращает расход бетона и арматурной стали;
- ✓ прогибы пост-напряженных конструкций по сравнению с традиционными железобетонными конструкциями существенно меньше; значительно меньшее раскрытие трещин, что существенно повышает антикоррозийные свойства железобетонных конструкций;
- ✓ более высокие степени прочности и сейсмостойчивости;
- ✓ сокращаются сроки возведения конструкций и зданий в целом, в которых применяются данные конструктивно-технологические решения.

При проектировании объекта «Охта Молл» заказчик-застройщик рассматривал два варианта проектирования монолитных железобетонных конструкций – с применением пост-напряжения и без. При сетке колонн здания  $8,4 \times 16,8$  м с применением традиционного армирования сечения колонн получалось  $800 \times 800$  мм, толщина плит перекрытия – 260 мм, сечение балок –  $1600 \times 800$  мм. С использованием пост-напряжения сечение колонн уменьшалось до  $600 \times 600$  мм, толщина плит перекрытия – до 200 мм, сечение балок – до  $1200 \times 600$  мм. Сравнив результаты расчетов, заказчик-застройщик пришел к выводу, что вариант пост-напряжения является более эффективным и применил его при строительстве здания «Охта Молл».

Как показывает практика, реализация крупных строительных проектов проходит в высокодинамичных условиях, которые в значительной мере характеризуются негативными факторами влияния, вызывающими увеличение сроков и стоимости строительства, снижение качества, увеличение затрат во время эксплуатации объекта. В Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете на кафедре технологии строительного производства проводятся исследования положительного воздействия внедренных инновационных технологий при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов [1-6]. В процессе выполнения исследований аспирантом, приехавшим для обучения в СПбГАСУ из Евросоюза, были выявлены негативные факторы влияния на различных стадиях строительного проекта МФК «Стокманн Невский Центр», а также систематизированы инновационные методы, использованные при реализации этого проекта, которые позволили решить проблемы, вызванные отрицательным влиянием негативных факторов (табл. 1).

Таблица 1 – Инновационные методы, примененные при реализации проекта МФК «Стокманн Невский Центр» в г. С.-Петербург

<b>Стадии строительного проекта</b>	<b>Негативные факторы влияния</b>	<b>Инновационные методы решения</b>
Проектирование	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкое качество проектной документации.</li> <li>• Отставания в разработке проектной документации.</li> <li>• Нестыковки различных разделов проектной документации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применение современных расчетных программ и методов проектирования.</li> <li>• Применение трехмерного моделирования всех разделов проектной документации.</li> <li>• Применение международных файлообменных систем и баз данных.</li> </ul>
Строительство	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Значительные сроки строительства, отставания от графика СМР.</li> <li>• Низкий уровень организации строительства.</li> <li>• Недостаточная квалификация персонала.</li> <li>• Отсталость технической базы, невозможность реализации технически сложных решений, низкий уровень профессионализма участников строительства.</li> <li>• Низкое качество строительных работ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применение инновационных технологий строительства «Top-Down», «Barrette Piles», «Стена в грунте», струйная цементация «Jet Grouting», пост-напряжение ж/б конструкций и др.).</li> <li>• Применение передовых методов управления проектами, в т.ч. управления строительством на основе оптимизационного экономико-математического моделирования.</li> <li>• Применение современных строительных материалов и конструкций (фибробетон, сухие смеси, конструкции из композиционных материалов и др.).</li> </ul>
Эксплуатация	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокий уровень расходов в процессе эксплуатации здания.</li> <li>• Высокий уровень энергопотребления.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применение современных энергосберегающих систем, материалов, требований (трехкамерные оконные системы, повышенные требования к теплоизоляции ограждающих конструкций).</li> <li>• Применение возобновляемых источников энергии (ветрогенераторы, солнечные батареи, геотермальная энергия).</li> <li>• Применение систем рекуперации тепла и фрикулинга.</li> </ul>

Целесообразно отметить, что наибольшее распространение на территории России инновационные технологии получили в инвестиционно-строительных проектах, в которых участвуют компании из развитых стран мира. Поэтому очевидно, что следует постоянно анализировать положительный и отрицательный опыт передачи инновационных технологий национальным компаниям.

В этой связи представляет интерес опыт Ирана – страны, строительный комплекс которой решает, во многом, схожие с российским задачи – в кратчайшие сроки в условиях ограниченности ресурсов осуществить крупномасштабное жилищное строительство, а также обеспе-

чить развитие обрабатывающих отраслей экономики основными фондами путем строительства новых зданий заводов, цехов и др. Широкое применение западных ресурсосберегающих инновационных технологий будет в значительной мере способствовать решению этих важнейших задач. Выполненный обучающимся в СПбГАСУ аспирантом из Ирана анализ показывает, что при трансфере инновационных технологий, должны соблюдаться следующие основные шаги [7-8]:

- 1) изучение технических аспектов технологий;
- 2) применение на практике полученных навыков;
- 3) обучение технологиям с целью широкого их внедрения;
- 4) промышленное производство необходимой продукции (материалов, изделий и др.).

Одним из важнейших фактором в процессе трансфера инноваций является выбор технологий, соответствующих географическому и экономическому положению, социально-политическим стратегиям государства и потенциалу страны. При этом, выбор технологии должен носить комплексный, системный характер, включать в себе выбор строительного процесса, подборку машин, оборудования, материалов, метода управления и организации, квалификационного состава рабочих, ИТР и др.

Анализ показывает, что в Иране в процессе трансфера технологий обычно существуют следующие препятствия:

- отсутствие определенных стратегий и планов со стороны государства;
- политика государства, направленная на снижение импорта;
- оказание сопротивления со стороны отечественных производителей строительных материалов;
- использование неквалифицированной рабочей силы;
- ИТР, участвующие во внедрении инновационных технологий, получили образование задолго до появления современных технологических решений и, в лучшем случае, лишь в общих чертах понимают сущности инновационных методов строительства, которые они осваивают;
- дешевизна традиционных технологий, с одной стороны, и, с другой стороны, новые технологии требуют существенные первоначальные капиталовложения.

Вместе с тем, практика строительства в Иране показала неэффективность применения традиционных технологий. Альтернативы переходу на инновационный путь развития нет. Внедрение новейших технологий является важным и необходимым шагом для предотвращения наступления критичного положения на строительном рынке Ирана.

Однако, в российском строительном комплексе, как было сказано выше, инициирован процесс крупномасштабных инновационных преобразований, который неизбежно выведет его на качественно более высокий уровень. Это позволит решить комплекс старых проблем, как технологического, так и экономического характера – например, проблему высокой стоимости строительства жилья: применение инновационных технологий значительно снизит затраты при реализации жилищных проектов, что в свою очередь будет важнейшим фактором стимулирования рыночной цены на жилую недвижимость к снижению. В заключении следует подчеркнуть – применение инновационных технологий в инвестиционно-строительных проектах является одним из важнейших факторов обеспечения их эффективной реализации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров, А.Н. Организация и управление экстренным строительством [Текст] / А.Н. Егоров. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 96 с.
2. Шприц, М.Л. Моделирование организации строительства многофункциональных комплексов [Текст] / М.Л. Шприц // Промышленное и гражданское строительство, 2013.
3. Егоров, А.Н. Совершенствование оценки инновационности в строительстве [Текст] / А.Н. Егоров, А.Н. Нагманова, В.Д. Соколов // Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения: материалы Международной научно-практической конференции. 10-12 октября 2012 г. – СПбГАСУ. – Ч. II. – СПб., 2012. – С. 84-87.

4. Егоров, А.Н. Инновационность в строительной сфере экономики как инструмент снижения стоимости, сокращения сроков и повышения качества строительства [Текст] / А.Н. Егоров, М.Л. Шприц, А.Н. Нагманова // Проблемы современной экономики. – 2011. – №3 (39). – С. 251-253.

5. Егоров, А.Н. Инновации в строительной сфере экономики как фактор снижения рыночной стоимости жилья [Текст] / А.Н. Егоров, А.Н. Нагманова // Инновационная экономика: опыт развитых стран и уроки для России: материалы науч.-практ. конф. 26 марта 2010 г. – СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – С. 152-155.

6. Шприц, М.Л. Влияние иностранных инвестиций на уровень строительного производства в России [Текст] / М.Л. Шприц // По пути к возрождению: теория и практика управления в условиях перехода России на инновационный путь развития: Сб. научных трудов российской научно-практической конференции. – СПб.: ГОУ Инжэкон, 2010. – С. 134-141.

7. Гадимиян, Н. Анализ объемов строительства жилых зданий в Иране и их конструктивно-технологических решений [Текст] / Н. Гадимиян // III Международный конгресс «Актуальные проблемы современного строительства». Сб. материалов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и архитектуры». – СПб.: СПбГАСУ, 2014.

8. Сафаи, М.М. Процесс отбора и передачи производственных технологий [Текст]. – Исламский Университет Азад Тегерана, 2005.

### **А.Н. Егоров**

Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург  
Доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор

### **М.Л. Шприц**

Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург  
Аспирант

### **Н.Г. Гадимиян**

Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург  
Аспирант

---

A. EGOROV, M. SHPRIC, N. GDIMIYAN

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

*In article innovative technologies in construction are considered, their systematization on the basis of the analysis of large construction projects with participation of foreign firms to St. Petersburg is executed, the role of innovative methods in neutralization of negative factorial influence at various stages of realization of construction projects is shown. Foreign experience of a transfer of innovations in construction is given.*

**Keywords:** *innovations, construction, technologies, methods, «Top-Down».*

## BIBLIOGRAPHY

1. Egorov, A.N. Organizacija i upravlenie jekstrennym stroitel'stvom [Tekst] / A.N. Egorov. – SPb.: SPbGASU, 2012. – 96 s.

2. Shpric, M.L. Modelirovanie organizacii stroitel'stva mnogofunkcional'nyh kompleksov [Tekst] / M.L. Shpric // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2013.

3. Egorov, A.N. Sovershenstvovanie ocenki innovacionnosti v stroitel'stve [Tekst] / A.N. Egorov, A.N. Nagmanova, V.D. Sokolov // Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva i puti ih jeffektivnogo reshenija: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 10-12 oktjabrja 2012 g. – SPbGASU. – Ch. II. – SPb., 2012. – S. 84-87.

4. Egorov, A.N. Innovacionnost' v stroitel'noj sfere jekonomiki kak instrument snizhenija stoimosti, sokrashhenija srokov i povyshenija kachestva stroitel'stva [Tekst] / A.N. Egorov, M.L. Shpric, A.N. Nagmanova // Problemy sovremennoj jekonomiki. – 2011. – №3 (39). – S. 251-253.

5. Egorov, A.N. Innovacii v stroitel'noj sfere jekonomiki kak faktor snizhenija rynochnoj stoimosti zhil'ja [Tekst] / A.N. Egorov, A.N. Nagmanova // Innovacionnaja jekonomika: opyt razvityh stran i uroki dlja Rossii: materialy nauch.-prakt. konf. 26 marta 2010 g. – SPb.: SPbGIJeU, 2010. – S. 152-155.

6. Shpric, M.L. Vlijanie inostrannyh investicij na uroven' stroitel'nogo proizvodstva v Rossii [Tekst] / M.L. Shpric // Po puti k vozrozhdeniju: teorija i praktika upravlenija v uslovijah perehoda Rossii na innovacionnyj put' razvitiya: Cb. nauchnyh trudov rossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – SPb.: GOU Inzhjekon, 2010. – S. 134-141.

7. Gadimijan, N. Analiz ob#emov stroitel'stva zhilyh zdaniy v Irane i ih konstruktivno-tehnologicheskikh reshenij [Tekst] / N. Gadimijan // III Mezhdunarodnyj kongress «Aktual'nye problemy sovre-mennogo stroitel'stva». Sb. materialov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskije konferencii «Aktual'nye pro-blemy stroitel'stva i arhitektury». – SPb.: SPbGASU, 2014.

8. Safai, M.M. Process otbora i peredachi proizvodstvennyh tehnologij [Tekst]. – Islamskij Univer-sitet Azad Tegerana, 2005.

**A. Egorov**

St. Petersburg university of architecture and construction, St. Petersburg  
Doctor of economic sciences, candidate of technical sciences, professor

**M. Shpric**

St. Petersburg university of architecture and construction, St. Petersburg  
Graduate student

**N. Gdimijan**

St. Petersburg university of architecture and construction, St. Petersburg  
Graduate student

КАЛУГИН Ю.Б.

## РАСЧЕТ ДОСТОВЕРНЫХ СРОКОВ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСОВ РАБОТ

*Изложена сущность планирования технологических процессов и работ с вероятностными временными параметрами. Выявлено влияние дестабилизирующих факторов на достоверность сроков выполнения, как отдельных технологических процессов, так и общих сроков реализации комплексов работ. Для различных уровней организации и иерархии установлены закономерности определения вероятных сроков выполнения работ. Реализация предлагаемых методов и моделей позволит еще на стадии планирования определить наиболее вероятные сроки выполнения комплексов работ, повысить надежность и достоверность календарных планов.*

**Ключевые слова:** дестабилизирующие факторы, календарное планирование работ, вероятностные временные параметры, математическое ожидание, прогнозирование сроков.

Недостаточная точность и достоверность существующих методов и моделей календарного планирования очень часто приводит к отказу от планирования в целом. В современных условиях, характеризующихся ростом неопределенности, задача строительной науки предложить к практическому использованию методы, позволяющие существенно повысить надежность и достоверность планов и графиков с учетом воздействия случайных факторов.

Основным структурообразующим элементом любого календарного плана служит технологический процесс (простой или сложный), результатом которого является законченный вид работ или готовый конструктивный элемент здания, или сооружения. Технологические процессы реализуются в ходе функционирования частных или специализированных потоков (работы звеньев или специализированных команд).

Очевидно, что точность и достоверность календарного планирования при решении различных задач зависит в первую очередь от точности определения параметров соответствующих технологических процессов (производительности, продолжительности и др.). Ряд выполненных исследований показал, что воздействие дестабилизирующих факторов (технических, технологических, организационных, природно-климатических и других) может существенно увеличивать фактическую продолжительность различных технологических процессов в сравнении с плановой.

Так, для технологического процесса укладки железнодорожного пути для различных уровней организации и управления, характеризующих в значительной мере влияние случайных факторов, получены следующие равновероятные значения продолжительности работ участке 500 м (табл. 1) [1].

Таблица 1 – Равновероятные значения продолжительности работ на захватке для различных уровней организации и управления

Уровни организации и управления	12 равновероятных значений продолжительности (час)												$t_{cp}$
	62,02	39,21	29,31	23,4	19,33	16,36	14,04	12,23	10,62	9,32	7,82	6,12	
Низкий	15,15	9,49	7,17	6,05	5,36	4,83	4,41	4,09	3,84	3,61	3,37	3,08	5,87
Средний	10,93	6,84	5,14	4,28	3,92	3,42	3,13	2,94	2,75	2,6	2,45	2,35	4,23
Высокий													

Анализ представленных данных показывает, что вероятная продолжительность выполнения технологического процесса укладки пути существенно зависит от уровня организации и управления и изменяется в очень широком диапазоне:

- при низком уровне организации и управления (низкая квалификация рабочих, изношенная техника, неустоявшийся график поставки материалов и др.) – 6,12-62,02 час, при среднем значении 20,82;



- при среднем уровне организации и управления – 3,08-15,15 час;
- при высоком уровне организации и управления – 2,35-10,93 час.

Помимо влияния производительности основных технологических процессов на общие сроки реализации комплекса работ существенно влияет, и структура работ комплекса, которая должна быть адекватно отражена в процессе составления и расчета календарного графика.

Разработанный универсальный метод расчета вероятностных временных параметров совместных событий независимых случайных процессов [2] заключается в следующем.

Технологические процессы, или работы (в данном случае  $i$ - $j$  и  $k$ - $l$ ) выполняются параллельно по времени и определяют после совместного завершения срок раннего начала работы  $m$ - $n$  (рис. 1).

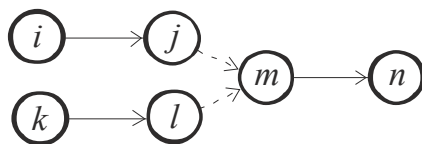


Рисунок 1 – Расчетная схема к определению  $t_{mn}^{PH}$

Очевидно, что этот срок определится максимальным из ранних сроков окончания:

$$t_{mn}^{PH} = \max(t_{ij}^{PO}, t_{kl}^{PO}) . \quad (1)$$

Продолжительности выполнения каждой работы являются независимыми случайными величинами ( $X$  и  $Y$ ), подчиненными соответствующим законам распределения  $f_1(x)$  и  $f_2(y)$ .

В этих условиях требуется найти закон распределения величины:

$$Z = \max(X, Y) . \quad (2)$$

В отсутствии функциональной связи между параллельными процессами решение поставленной задачи реализовано с помощью универсального метода расчета вероятностных параметров на основе вычислительных процедур в среде MS Excel [3].

Расчеты, выполненные для исполнителей высокого уровня, показывают, что если математическое ожидание продолжительности выполнения одной работы составляет 4,23 часа, то математическое ожидание сроков свершения события  $m$  уже составит 5,358 часа. Смещение математического ожидания составило 27% от сроков свершения событий  $j$  ( $l$ ).

Аналогичные расчеты, выполненные для исполнителей с низким и средним уровнями организации и управления, также подтвердили изложенный выше вывод о значительном смещении поздних сроков окончания двух параллельных задач.

Так, для исполнителей с низким уровнем организации и управления смещение математического ожидания сроков свершения события  $m$  составило уже 36% от сроков свершения событий  $j$  ( $l$ ).

Полученные результаты отчетливо показывают влияние вероятностных временных параметров параллельных работ на поздние сроки свершения совместных событий и во многом объясняют смещение этих сроков в реальных условиях.

Изложенные выше результаты относятся к отдельным технологическим процессам (отдельным работам), которые реализуются в ходе функционирования частного потока. Вместе с тем, особый интерес представляют исследования вероятностных параметров работ более высокого уровня иерархии. Результаты выполненных расчетов частного, специализированного объектного и комплексного потоков для высокого, среднего, низкого и неустановленного уровней организации и управления [4] представлены в таблице 2 (значения вероятностных параметров потоков всех уровней иерархии относительно соответствующих детерминированных оценок). Так, для комплексного потока со средним уровнем организации математическое ожидание сроков его окончания увеличится в сравнении с детерминированными оценками в 2,446 раза.

Результаты показывают, что с увеличением уровня иерархии уменьшаются относительные (относительно соответствующей продолжительности потока) дисперсия и диапазон значимых равновероятных сроков свершения событий, то есть потоки становятся более устойчивыми (рис. 2).

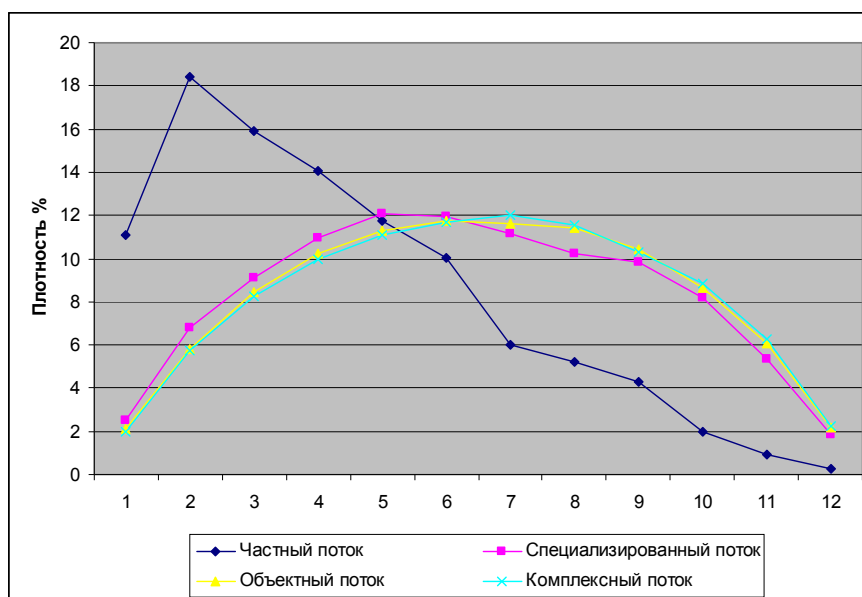


Рисунок 2 – Графики плотности распределения 12 равновероятных значений продолжительности работы потоков различной иерархии

Кроме того, представленные данные позволяют оценить влияние на смещение итоговых сроков выполнения работ как увеличение продолжительности отдельных технологических процессов, вызванных воздействием дестабилизирующих факторов, так и структуры работ с различными взаимосвязями (структуры и иерархического уровня календарного графика).

Так, для высокого уровня организации работ смещение средник сроков окончания отдельных технологических процессов (продолжительности работы частного потока) составило 0,307.

Для специализированного потока (продукцией которого является отдельный конструктивный элемент сооружения) такого же уровня организации смещение средних сроков составило уже 0,737 от детерминированной оценки.

Таблица 2 – Относительные расчетные параметры потоков для n исполнителей различного уровня

Уровень		Равновероятные сроки окончания работ												P(t)= 0,5 (t <sub>мо</sub> )	P(t) = 0,75
Иерархии	Исполнителя														
Частный поток	Высокий	0,729	0,760	0,807	0,847	0,910	0,965	1,056	1,209	1,325	1,587	2,104	3,390	1,307	1,456
	Средний	0,908	0,996	1,062	1,126	1,201	1,290	1,415	1,578	1,781	2,110	2,778	4,464	1,726	1,946
	Низкий	1,132	1,362	1,563	1,777	2,008	2,277	2,621	3,098	3,720	4,789	6,127	10,040	3,376	4,255
Специализированный поток	Высокий	1,434	1,527	1,582	1,630	1,669	1,708	1,747	1,792	1,838	1,887	1,955	2,079	1,737	1,863
	Средний	1,893	2,016	2,088	2,152	2,203	2,255	2,306	2,365	2,426	2,492	2,580	2,744	2,293	2,459
	Низкий	3,787	4,105	4,290	4,448	4,574	4,709	4,837	4,984	5,134	5,303	5,519	5,928	4,801	5,219
Объектный поток	Высокий	1,762	1,786	1,800	1,811	1,820	1,829	1,838	1,847	1,855	1,866	1,879	1,903	1,833	1,861
	Средний	2,325	2,358	2,377	2,391	2,403	2,414	2,425	2,438	2,448	2,464	2,481	2,511	2,420	2,456
	Низкий	4,882	4,964	5,009	5,045	5,076	5,105	5,133	5,163	5,192	5,228	5,271	5,349	5,118	5,210
Комплексный поток	Высокий	1,838	1,844	1,846	1,849	1,851	1,853	1,855	1,856	1,858	1,861	1,863	1,868	1,854	1,860
	Средний	2,426	2,433	2,437	2,440	2,443	2,446	2,448	2,450	2,453	2,456	2,460	2,466	2,446	2,454
	Низкий	5,135	5,153	5,163	5,171	5,177	5,183	5,189	5,195	5,202	5,209	5,218	5,234	5,186	5,206

Для объектного потока, продукцией которого являются отдельные объекты (здания и сооружения), смещение составило 0,833, и, наконец, для комплексного – 0,854. Аналогичные тенденции характерны и для исполнителей других уровней организации и управления.

В целом можно считать, что увеличение сроков реализации комплексов работ сверх плановых сроков, установленных на основании детерминированных оценок, происходит в большей степени за счет влияния дестабилизирующих факторов, воздействующих на отдельные технологические процессы (60-70% от величины увеличения сроков).



Остальное несовпадение (30-40%) вызвано тем, что при расчете календарных графиков обычными способами совершенно не учитывается влияние вероятностных временных параметров параллельных работ на поздние сроки свершения совместных событий работ комплекса на различных уровнях иерархии.

Реализация изложенных выше методов и моделей показала, что сроки выполнения строительно-восстановительных работ в условиях воздействия случайных факторов, установленные данной методикой, отличались от фактических сроков в среднем на 5-8%, что показывает ее эффективность, надежность и достоверность расчетных сроков реализации комплексов работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калугин. Ю.Б. Моделирование воздействия дестабилизирующих факторов на технологический комплекс [Текст] / Ю.Б. Калугин // Известия вузов. Строительство. – 2013. – №7. – С. 93-102.
2. Калугин. Ю.Б. Расчет календарных планов работ с вероятностными временными параметрами [Текст] / Ю.Б. Калугин // Известия вузов. Строительство. – 2011. – №10. – С. 51-59.
3. Калугин. Ю.Б. Расчет вероятностных параметров календарного плана. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014610668, 15 января 2014 г.
4. Калугин, Ю.Б. Сущность календарного планирования работ с вероятностными временными параметрами [Текст] / Ю.Б. Калугин // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск. – 2013. – №9. – С. 92-106.

### Ю.Б. Калугин

Военный институт железнодорожных войск и военных сообщений, г. Санкт-Петербург  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Восстановление, проектирование и строительство железных дорог»  
E-mail: Yuri\_Kalugin@inbox.ru

---

Yu. KALUGIN

## METHOD OF COMPUTING FINISH TIME FOR WORKS WITH IMPRECISE DURATIONS

*The essence of planning of technological processes and works with probabilistic temporary parameters is stated. Influence of the destabilizing factors on reliability of terms of performance, is revealed. Are revealed influence of structure of the planned schedule, parallel works on reliability of terms of its performance. Are established increases in mathematical expectations of works for various levels of the organization and hierarchy. Realization of the offered methods and models will allow to determine the most probable terms of performance of complexes of works at a stage of planning, to increase reliability of planned schedules.*

**Keywords:** project management and scheduling, fuzzy critical path method (CPM) network with imprecise durations, fuzzy finish time, probability distribution functions, predicting the timing, computing algorithm.

## BIBLIOGRAPHY

1. Kalugin. Ju.B. Modelirovanie vozdejstvija destabilizirujushhijh faktorov na tehnologicheskij kompleks [Tekst] / Ju.B. Kalugin // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2013. – №7. – С. 93-102.
2. Kalugin. Ju.B. Raschet kalendarnyh planov rabot s verojatnostnymi vremennymi parametrami [Tekst] / Ju.B. Kalugin // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2011. – №10. – С. 51-59.
3. Kalugin. Ju.B. Raschet verojatnostnyh parametrov kalendarnogo plana. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM. № 2014610668, 15 janvarja 2014 g.
4. Kalugin, Ju.B. Sushhnost' kalendarnogo planirovanija rabot s verojatnostnymi vremennymi parametrami [Tekst] / Ju.B. Kalugin // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – Novosibirsk. – 2013. – №9. – S. 92-106.

### Yu. Kalugin

Military Institute of rail transport troops and military communications, St. Petersburg  
Doctor of technical sciences, professor of the department «Rehabilitation, design and construction of railways»  
E-mail: Yuri\_Kalugin@inbox.ru

КРЫЛОВ Б.А, КИРИЧЕНКО В.В.

## СПОСОБ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОРИЗАЦИИ ПЕНОБЕТОНА

*Предложен новый метод получения легкого бетона высокого качества путем его поризации и интенсификации твердения с помощью пропускания через него электрического тока. Предлагается отказаться от предварительной выдержки и воздействовать электрическим током переменной частоты, в закрытой форме на сразу уложенную смесь, чтоб можно было сформировать структуры с улучшенными параметрами. Термообработка пенобетона электрическим током в закрытой форме сразу после его укладки позволяет получить структуру с улучшенными параметрами, значительно увеличивает скорость химических реакций, в том числе, адгезию цементного теста к частицам песка.*

**Ключевые слова:** легкий бетон, электрический ток, ускорение твердения, поризация.

В последние годы, в связи с возросшими требованиями по теплоизоляции зданий. В целях реализации положений Указа Президента РФ от 4 июня 2008 г. №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» был принят №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», включающий СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003), принятый согласно постановлению Правительства РФ №18 от 25 января 2011 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». По этим нормативным актам требования энергетической эффективности должны предусматривать уменьшение показателей удельного расхода энергоресурсов на здание по сравнению с базовым, нормируемым в 2003-2010 гг., уровнем: на 25% с 2016 г и на 35% с 2020 г. По новым нормативам приведённое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, и покрытий, увеличено в 1,2-1,5 раза относительно предыдущего этапа повышения, и в 2,5-3 раза по сравнению с нормами 2000г.

В настоящее время речь идет о значительном расширении масштабов производства и применения теплоизоляционных и конструкционных изделий, как автоклавного и неавтоклавного твердения, газо- и пенобетона с плотность от 200-900 кг/м<sup>3</sup>. Принятые законопроекты служат толчком к развитию новых технологий.

Существующим технологиям пенобетона присущи и серьезные недостатки. Одним из них является осадка после заливки смеси в формы в течение промежутка времени на посту выдержки или созревания, который в зависимости от плотности бетона и исходного состава компонентов колеблется от 10-15 минут до 2-3 часов. В наибольшей степени осадка проявляется в результате нарушения структуры особенно пенобетона низкой плотности менее 500 кг/м<sup>3</sup> [1].

Основной проблемой является расслоение (оседание) пенобетонной смеси, которое связано с коалесценцией пузырьков пены. Существует несколько скрытых и явных причин и методов минимизирования этого явления.

Первая заключается в низкой стабильности пены, которую можно увеличить с помощью загустителей и снижением В/Ц с применением С-3. Вторая причина заключается в скорости твердения цементного теста и связана с его не способностью в достаточно короткие сроки от 15 до 50 минут, образовывать прочный каркас. Третья более сложная и скрытая проявляется при взаимодействии цементного теста и пузырьков пены с последующим частичным слиянием. Четвертая происходит за счет истечения жидкости из пены по каналам Плато-Гиббса, в результате чего происходит уплотнение пленок и их разрушение. Если в момент интенсивного разрушения пены прочность растворной составляющей недостаточна, то каркас пенобетона претерпевает изменения, происходит нарушение структуры и как следствие значительная осадка и в последующем усадка во времени. Применение пены требует специального оборуд-

дования и большой точности работы всего технологического цикла, из-за слабой устойчивости пены во времени [2].

Чтобы получить материал высокого качества, следует обратить внимание на возможности компонентов, входящих в его состав, а также условия формирования макро и микроструктуры.

Улучшить физико-технические свойства пенобетона можно применением термообработки. Предлагается отказаться от предварительной выдержки и воздействовать электрическим током переменной частоты, в закрытой форме на сразу уложенную смесь, чтоб можно было сформировать структуры с улучшенными параметрами. Составы для этой технологии разрабатывались с использованием суперпластификатора С-3, что позволяло улучшить воздухоувлечение в смесь, повысить дисперсность пены, а также снизить водоцементное отношение, уменьшить сроки схватывания поризованной смеси и снизить расход пенообразователя. Также рекомендуется быстротвердеющие цементы, чтобы повысить эффективность воздействия тока во времени.

Отказ от применения традиционного паропрогрева позволит легко автоматизировать процесс, упростить паровое хозяйство, повысить точность получения заданных свойств бетона, так как управление процессом термообработки током переменной частоты гораздо точнее термообработки паром.

При пропускании тока переменной частоты бетонная смесь ведет себя как проводник с определенным сопротивлением, что приводит к нагреву смеси и к различным физическим эффектам. Поскольку переменный ток, проходящий через тело бетона, зависит от сопротивления бетона и прикладываемого напряжения, мы оперируем с 3-мя этими показателями во времени и назначаем режимы форсированного электропрогрева в зависимости от прикладываемого напряжения в конкретный момент времени. Поэтому, напряжение - это регулятор первого порядка. Регулятором второго порядка будет сопротивление бетонной смеси, которое меняется во времени. Сопротивление смеси зависит от числа свободных электропроводящих ионов. А ионы в свою очередь зависят от нескольких факторов:

- химического состава смеси;
- температуры состава;
- времени термообработки.

Так при повышенных, температурах ускоряется процесс переноса зарядов, и вместе с этим ускоряется процесс получения твердых частиц цементного камня, которые в свою очередь выходят из состава электропроводящих составляющих бетонной смеси. Таким образом, возникает сложная система взаимосвязанных частиц и элементов, влияющих на ускорение твердения бетона. В результате вышеуказанных процессов, в заданном объеме происходит уменьшение количества реагирующих частиц, накопление объема твердой фазы, увеличение показателя сил сцепления частиц цемента, который является одним из главных показателей конечного результата, то есть прочности бетона. В то же время присутствуют дестабилизирующие факторы:

- увеличение расстояния между новыми образованиями в результате появления поробразующих каналов всех известных нам типов;
- потеря сил связи между новообразованиями.

В результате мы будем иметь 4 главных фактора, влияющих на прочность бетона:

- силы сцепления частиц цементного теста между собою;
- количество пустот в теле бетона;
- форма пустотных образований;
- вид мелкого заполнителя.

В ячеистых бетонах, к каким относится пенобетон, вспученный полистирол, являясь крупным заполнителем, является формообразующим элементом бетонной смеси. Так при нагреве, пена увеличивает свой объем до определенного значения, ограниченного плотностью цементного теста и объема занимаемого песком. В поставленных опытах прогрев бетонной смеси мы проводили в замкнутом объеме жесткой формы. За счет увеличения внутрискатурного давления пенобетонной смеси происходит сближение частиц мелкого заполнителя,

заполнение пустот, полученных в результате недоуплотнения смеси и увеличение адгезионных свойств цементного теста [3].

В результате взаимодействия трех положительных факторов:

- увеличенного давления внутри бетонной смеси;
- повышенной температуры химической реакции новообразований;
- увеличении адгезии цементного теста к частицам песка,

Повышенная температура значительно увеличивает скорость химических реакций вяжущего, а внутрискруктурное давление сближает реагирующие частицы цемента и удерживает газообразующую часть внутри пузырька. Таким образом, мы получаем дополнительную поризацию цементного камня при минимальном количестве пены. Показатели пористости бетона определяли в соответствии с ГОСТ 12730.4-78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости». Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубы из разных серий со средним размером 4×4×4 см, для образцов средней плотности D400, D600, D900, а также навески из измельченного бетона. Испытания образцов средней плотности D400 показали увеличение объема закрытых пор на 3,7%, что улучшило показатель теплопроводности данных образцов на 0,013 Вт/(м°С). Для образцов средней плотности D600 данный показатель увеличился на 2,6%, что привело к улучшению теплопроводности данных образцов на 0,027 Вт/(м°С). В образцах средней плотности D 900 произошло увеличение количества замкнутых пор на 3,1%, что улучшило показатель теплопроводности на 0,046 Вт/(м°С). Эти данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Показатели пористости

Маркировка образцов	Полный объем пор бетона, П <sub>п</sub> , %	Объем открытых капиллярных пор П <sub>о</sub> , %	Объем открытых некапиллярных пор П <sub>мз</sub> , %	Объем условно закрытых пор П <sub>з</sub> , %
D 900 после ТВО	72,6	28,6	9,6	34,4
D 600 после ТВО	84,4	41,5	15,4	27,5
D 400 после ТВО	75,0	40,9	8,6	25,5
D 400 без ТВО	72,1	40,2	10,1	21,8
D 900 без ТВО	64,3	22,3	10,7	31,3
D 600 без ТВО	72,0	39,2	7,9	24,9

Как видно из таблицы 1, увеличение общей пористости для всех исследуемых плотностей образцов, которые прошли электропрогрев пенобетона, происходит за счёт увеличения объема условно закрытых пор. Это положительно повлияло на теплопроводность, улучшая показатели пенобетона для трёх плотностей: D 400, D 600, D 900.

Таблица 2 – Значение теплопроводности ячеистого бетона в сухом состоянии

Марка ячеистого бетона по средней плотности, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности Вт/( м°С)	
	Электропрогретые образцы	ГОСТ 25489-89
D 400	0,087	0,10
D 600	0,113	0,14
D 900	0,174	0,22

Полученные экспериментальные данные подтверждают рациональность использования данной технологии при создании изделий и конструкций из пенобетона для трёх видов плотностей D 400, D 600, D 900.

### Выводы

1. Термообработка пенобетона электрическим током в закрытой форме сразу после его укладки позволяет получить структуру с улучшенными параметрами.

2. Термообработка сразу после укладки значительно увеличивает скорость химических реакций, в том числе, адгезию цементного теста к частицам песка

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных, В.Ф. Повышение качества теплоизоляционного пенобетона за счет химических добавок [Текст] / В.Ф. Черных, А.Ф. Маштаков // Строительные материалы. – 2000. – №6. – С. 46-48.
2. Кондратьев, В.В. Структурно-технологические основы получения свехрлегкого пенобетона [Текст] / В.В. Кондратьев: дис. канд.техн.наук. – Казань, 2003.
3. Кириченко, В.А. Оценка влияния режимов электропрогрева на физико-механические свойства полистиролбетонов [Текст] / В.А. Кириченко // Бетон и железобетон. – 1995. – №3.

#### **Б.А. Крылов**

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва  
Доктор технических наук, профессор

#### **В.В. Кириченко**

Московский государственный строительный университет, г. Москва  
Аспирант

---

B. KRYLOV, V. KIRICHENKO

### THE METHOD FURTHER PORIZATION OF FOAM

*A new method of producing of high-quality lightweight concrete is proposed. The proposed method lies in porization and intensification of hardening by passing an electric current therethrough. It is proposed to abandon the long aging and uses electricity of variable frequency in a closed form on the just laid mixture, to create a structure with improved parameters. Heating by electricity in a closed formwork immediately gives a structure with improved characteristics, greatly increases the rate of chemical reactions, including, cement paste adhesion to the particles of sand.*

**Keywords:** *lightweight concrete, electrical current, the acceleration of hardening, paritala.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Chernyh, V.F. Povyshenie kachestva teploizoljacionnogo penobetona za schet himicheskikh dobavok [Tekst] / V.F. Chernyh, A.F. Mashtakov // Stroitel'nye materialy. – 2000. – №6. – S. 46-48.
2. Kondrat'ev, V.V. Strukturno-tehnologicheskie osnovy poluchenija svehrlegkogo penobetona [Tekst] / V.V. Kondrat'ev: dis. kand.tehn.nauk. – Kazan', 2003.
3. Kirichenko, V.A. Ocenka vlijaniya rezhimov jelektroprogreva na fiziko-mehanicheskie svojstva poli-stirolbetonov [Tekst] / V.A. Kirichenko // Beton i zhelezobeton. – 1995. – №3.

#### **B. Krylov**

Research, design and technological Institute of concrete and reinforced concrete, Moscow  
Doctor of technical sciences, professor

#### **V. Kirichenko**

Moscow state construction university, Moscow  
Graduate student

ЛЕСОВИК В.С., ПУЧКА О.В., ВАЙСЕРА С.С., ЕЛИСТРАТКИН М.Ю.

## НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПЕНОСТЕКЛА

*В настоящее время разработка высокоэффективных строительных материалов невозможна без учета требований строителей, архитекторов, заказчиков и будущих жильцов. Возрастающие потребности современного общества в сфере архитектуры и градостроительства диктуют новые, более высокие требования к строительным материалам. Это требует нового комплексного подхода к разработке общих принципов управления развитием объектов неорганического мира. Одним из перспективных направлений является разработка стеновых материалов, способных эффективно выполнять свои функции по сбережению энергетических ресурсов, затрачиваемых на создание и поддержание необходимого температурного режима внутри помещения.*

**Ключевые слова:** пеностекло, теплоизоляция, коэффициент теплопроводности, геоника, пористость, вспенивание, теплоизоляционный материал, защитно-декоративное покрытие, стеклокомпозит.

Человечество с древних времен использует природные материалы и старается постичь технологию их получения, пытаясь воспроизвести геологические процессы формирования горных пород и минералов для разработки технологии производства строительных материалов [1, 2].

В связи с дефицитом энергоносителей и изменениями природно-климатических условий важным аспектом для строящихся и реконструируемых объектов является их тепловая изоляция, которая определяет микроклимат в помещении. Среди эффективных природных неорганических теплоизоляционных материалов можно выделить пемзу и туф.

Пемза – высокопористое (пузырчатое, пенистое) природное вулканическое стекло, образовавшееся в результате вспучивания и застывания магмы, выброшенной при извержении вулканов. Образуется в результате столь быстрого затвердевания лавы, что минералы не успевают выкристаллизоваться из расплава.

Средняя плотность пемзы 150-800 кг/м<sup>3</sup>, химически инертна, огнестойка. Температурный интервал размягчения 1300-1400°C.

В большинстве случаев пемза по химическому составу относится к кислым породам и состоит в основном из стекла (содержание кристаллических минералов обычно менее 1%).

Размеры пор в пемзе от долей миллиметра до 3 мм, форма пор округлая или вытянутая. Пористость породы достигает 85-90%. Предел прочности пемзы при сжатии составляет 2,5...40 МПа [3].

Туф – камень природного происхождения, который был выброшен в период вулканического извержения. Часто в его состав входят примеси невулканических пород. Имеет пористую структуру и считается прекрасным материалом для декоративной отделки.

Порода обладает характеристиками, благодаря которым широко используется в строительстве и архитектуре, имеет приятную текстуру и широкую цветовую палитру, обладает тепло- и звукоизоляционными качествами, прочностью, долговечностью. Туф используют для изготовления художественных поделок и предметов домашнего обихода.

Плотность туфа 500-800 кг/м<sup>3</sup>, пористость – от 21,3 до 46,6%, предел прочности при сжатии – от 13,3 до 56,4 МПа, теплопроводность – от 0,21 до 0,33 Вт/°C [3].

Пеностекло является наиболее близким техногенным аналогом пемзе и туфу. Ячеистым или пеностеклом называют стекло, имеющее пористую (ячеистую) структуру. Пористость различных видов ячеистого стекла составляет 80-95%. Столь большая пористость придает материалу высокие теплоизоляционные качества: в зависимости от объемной массы теплопроводность колеблется в пределах 0,058-0,128 Вт/(м·°C).

Ячеистое стекло обладает рядом других ценных для строительства свойств – сравнительно высокой прочностью, водостойкостью, полной несгораемостью, морозостойкостью и

легкостью механической обработки; оно легко пилится, режется, сверлится; в него можно вбивать гвозди, которые крепко держатся.

Благодаря незаменимым и уникальным качествам пеностекло применяют для тепло- и гидроизоляции фундамента, подвалов, кровли и стен. Применение пеностекла и пеноматериалов в строительстве позволяет уменьшить толщину ограждающих конструкций, снизить расход основных строительных материалов, облегчить строительные конструкции, индустриализировать строительные издержки, удешевить строительство, снизить эксплуатационные работы, в частности, затраты на отопление зданий.

Важным преимуществом пеностекла по сравнению с некоторыми изоляционными материалами является его неорганический состав. Благодаря этому оно устойчиво против гнили, микроорганизмов, действия высоких температур, кислот, щелочей, поддается утилизации [4].

Сравнительная характеристика свойств пеностекла и других теплоизоляционных материалов представлена в таблице 1.

Высокая экологическая и санитарная безопасность пеностекла привела к тому, что данный материал без каких бы то ни было ограничений применяется для теплоизоляции промышленных пищевых холодильников и теплоизоляционной футеровки чанов и емкостей, применяемых при изготовлении пива, вин и молочных продуктов. Тепловая изоляция широко применяется в строительстве и многих других отраслях промышленности. Особенности структуры пеностекла и пеноматериалов, показатели химических и физико-механических свойств, ставят их в ряд наиболее современных искусственных материалов (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика теплоизоляционных материалов

Характеристика	Пенополистирол	Плиты из минеральной ваты	Газобетон автоклавный	Пеностекло (СНиП II-3-79)		
				200	300	400
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	40-150	50-350	350-700	200	300	400
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,038-0,05	0,036-0,091	0,077-0,175	0,07	0,09	0,11
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,05	0,38-0,60	0,25-0,23	0,03	0,02	0,02
Водопоглощение	2-15%	Не определено	5-20%	Не более 5%		
Расчетное массовое содержание влаги в материале, %	1-10	2-5	8-14	1-2	1-2	1-2
Сопротивление воздухопроницанию, м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг	79	2	1960	Обладает воздухо непроницаемостью		
Стабильность размеров	Дает усадку	Удовлетворительная	Отличная	Отличная		
Прочность при сжатии, МПа	0,8-5,0	2,0	3,6	5,7		
Сопротивление непродолжительному воздействию тепла, °С	100	250	450	750		
Верхний температурный интервал эксплуатации, °С	80	200	400	600		
Стабильность при эксплуатации (разрушение от времени)	Через 5-10 лет наблюдается охрупчивание и разрушение материала	В сухом состоянии время эксплуатации не ограничено	Время эксплуатации не ограничено	Время эксплуатации не ограничено		
Экологическая безопасность материала	При эксплуатации идет выделение опасных пылевых и газовых компонентов	Экологически безопасен	Экологически безопасен	Экологически безопасен		
Технологичность применения	Крепится гвоздями, требует жесткого каркаса	Крепится гвоздями, требует жесткого каркаса	Пилится, клеится полимерными и неорганическими мастиками, плохо штукатурится	Сочетается с любыми цементными растворами, пилится, клеится полимерными и неорганическими мастиками, отлично штукатурится		

Несмотря на все преимущества использования пеностекла, его применение ограничено. Это связано с экономическими особенностями его производства – относительно высокая цена единицы материала.

Прослеживается тенденция последних лет – сделать материал более дешевым за счет подшихтовки пенообразующих смесей техногенными отходами (шлаки металлургических производств, зола ТЭЦ и т.д.), местными сырьевыми материалами (диатомиты, перлиты, цеолиты и т.д.) [5, 6, 7].

Сравнительная характеристика наиболее распространенных теплоизоляционных материалов свидетельствует о том, что по комплексу свойств наиболее перспективно применение композиционных теплоизоляционных материалов на основе пеностекла.

Поэтому пеностеклу необходимо придать такие свойства, которые бы характеризовали его не только как тепло- или звукоизоляционный материал, который требует нанесения защитных и декоративных слоев для использования в строительстве, но как стеклокомпозит, обладающий высокой прочностью и декоративными свойствами глазурованных изделий (например, керамическая плитка) и не требующий дополнительных защитных слоёв для защиты от атмосферного воздействия [8].

С этой целью был проведен анализ ранее выбранных природных материалов, который показал следующее. Пемза состоит в основном из аморфного вулканического стекла (кристаллической фазы в пределах 1,0-1,5%), а туф наоборот содержит в основном кристаллические фазы, а аморфной фазы незначительное количество. Поэтому введение в состав пеностекла мелкодисперсного техногенного кристаллического сырья позволит создать более прочный конструкционный материал (за счет армирования), подобно туфу, и в тоже время, необходимо сохранить высокие теплофизические характеристики и низкую объёмную массу, как у пемзы.

Для получения стеклокомпозита в качестве подложки был использован пеностеклокристаллический материал, а для нанесения неорганических покрытий были использованы специально разработанные схемы декорирования. Пеностекло-кристаллический материал получали по традиционной порошковой технологии, в качестве центров кристаллизации, армирующих каркас пеностекла, использовали отходы мокрой магнитной сепарации. Аморфно-кристаллический каркас и определяет высокие прочностные показатели при хороших теплофизических характеристиках. Модель структуры теплоизоляционного стеклокомпозита, представленная на рисунке 1. Для повышения прочности стенового материала (стеклокомпозита) в стеклянную матрицу вводится мелкодисперсный армирующий кристаллический компонент, а для повышения долговечности и снижения затрат при монтаже на ограждающую конструкцию стеклокомпозит будет иметь плазмохимическое покрытие по лицевой поверхности.

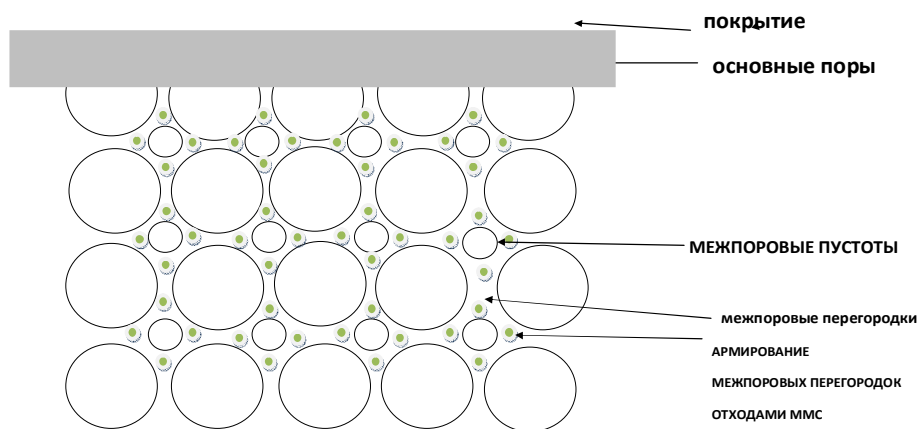


Рисунок 1 – Структура теплоизоляционно-конструкционного стеклокомпозита (ТКС)

Эта модель подтверждается исследованиями, проведенными с помощью электронной растровой микроскопии. На микрофотографии образца теплоизоляционно-конструкционного



стеклокомпозита, которая представлена рисунке 2, в межпоровой перегородке наблюдаются кристаллические включения, армирующие матрицу.

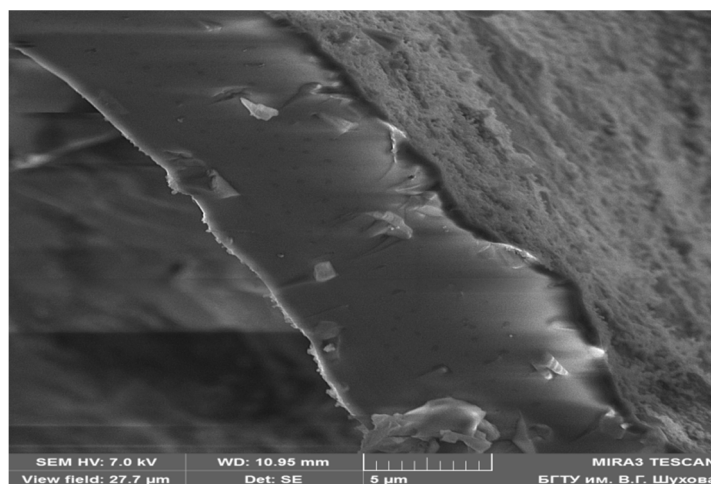


Рисунок 2 – Микрофотография образца теплоизоляционно-конструкционного стеклокомпозита (межпоровая перегородка, армированная отходами ММС)

Основные эстетико-потребительские и технико-эксплуатационные свойства полученного материала (ТКС) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Эксплуатационные характеристики ТКС

№ п/п	Свойство	Значение показателя
1	Кислотостойкость	класс АА
2	Водостойкость покрытия	III гидrolитический класс
3	Прочность при сжатии, МПа	6,03-6,5
4	Прочность при изгибе, МПа	2,16 – 2,24
5	Морозостойкость, циклы	> 50
6	Теплопроводность, Вт/м·К	0,07-0,09
7	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	240-260
8	Водопоглощение, %	5-8

Использование теплоизоляционно-конструкционного стеклокомпозита (ТКС) с защитно-декоративным покрытием по лицевой поверхности в строительстве позволит создавать энергосберегающие строения значительно легче обычных и, таким образом, застраивать площади, расположенные на слабых и заболоченных грунтах в регионах с холодным и жарким климатом, проводить реконструкцию существующих зданий. При этом все конструкции, здания и сооружения, построенные с использованием ТКС, будут обеспечивать значительное снижение катастрофических последствий при техногенных и природных воздействиях. В стеклокомпозите сохранены основные уникальные свойства пеностекла. В сравнении с традиционными строительными теплоизоляционными материалами стеклокомпозит обладает низкой теплопроводностью при высокой прочности и удобстве обработки, а также в простоте монтажа при экологической безопасности и долговечности. Подобного сочетания свойств нет ни у одного из известных теплоизоляционных и конструкционных материалов [9].

Совокупность свойств стеклокомпозита низкая теплопроводность, высокая прочность, стойкость и технологичность применения – делают этот теплоизоляционный материал практически незаменимым как в строительстве, так и во многих других областях.

Благодаря своей ячеистой структуре и свойствам стекла, теплоизоляционный стеклокомпозит является достаточно жестким и упругим материалом. Предел прочности при сжатии

находится в пределах от 2 до 6 МПа. Наряду с этим материал легко механически обрабатывается, что позволяет создавать изделия любой формы.

Блоки из ТКС имеют преимущество перед газобетонными блоками и отвечают требованиям по теплоизоляционным характеристикам СНиП 23-02-2003 «ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ». С учетом требований нормативных документов нами были определены допустимые габаритные размеры блоков стеклокомпозита и проведен их сравнительный анализ с блоками из пенобетона (рис. 3).

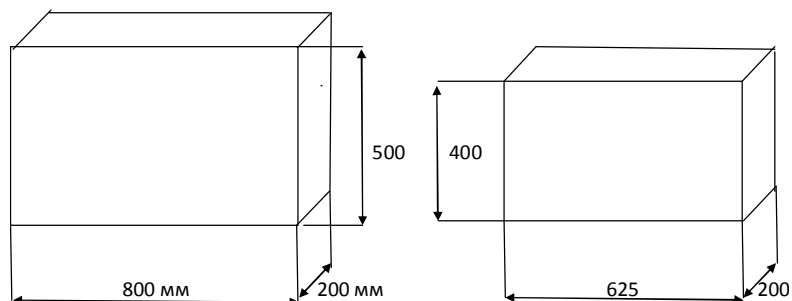


Рисунок 3 – Габаритные размеры блоков ТКС и газобетонных блоков

В таблице 3 представлены сравнительные характеристики блоков.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики блоков ТКС и газобетонных блоков

№ п/п	Материал	Геометрические параметры, мм	Средняя плотность, кг/см <sup>3</sup>	Масса образца, кг	Нормативный показатель по массе, кг (СНиП 23-02-2003)
1	Газобетонные блоки АЭРОБЕЛ	600×400×200	500	25	не более 32
2	Блоки ТКС	800×500×200	300	24	

Сравнительный анализ блока стеклокомпозита и газобетонного блока (рис. 3 и табл. 3) показал, что блок стеклокомпозита обладает массой 24 кг, примерно такой же, как и газобетонный блок (нормативный показатель не более 32 кг), но за счёт меньшей плотности геометрические параметры при одинаковой толщине изолятора увеличиваются. Это позволит снизить количество температурных швов кладки и уменьшить нагрузку на фундамент.

Нами была проведена оценка фрагмента ограждающей конструкции (рис.4) с использованием газобетонных блоков и блоков теплоизоляционно-композиционного стеклокомпозита при сравнительно одинаковых размерах (длина 3200/3125 мм, высота 3000/3000 мм, толщина 200/200 мм).

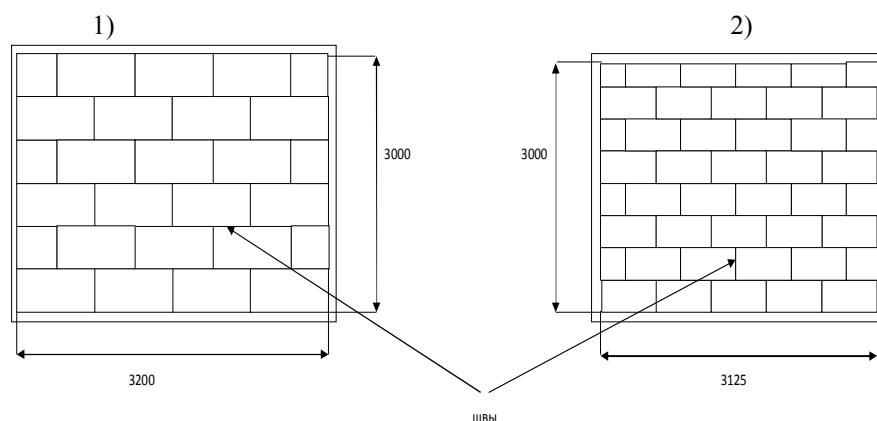


Рисунок 4 – Сравнительная оценка фрагмента ограждающей конструкции  
1 – фрагмент стены из блоков ТКС; 2 – фрагмент стены из газобетонных блоков

Таблица 4 – Основные показатели стены

№ п/п	Материал	Нагрузка на фундамент, кг	Общая длина швов, м	Теплопроводность блока, Вт/м <sup>0</sup> С
1	Газобетонные блоки АЭРОБЕЛ	937,5	34	0,14
2	Блоки ТКС	720	25	0,08

Из рисунка 4 и таблицы 4 видно, что для рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции используется меньшее количество блоков стеклокомпозита. Это позволит снизить количество расходуемого раствора на 29%, общую длину швов (мостиков холода) на 26%, снизить нагрузку на фундамент на 23%, а прогнозируемое снижение теплопотерь составит 18-20%.

С учётом того, что теплофизические характеристики теплоизоляционно-конструкционного стеклокомпозита выше, чем у газобетонного блока на 42% (теплопроводность 0,08/0,14), толщины 200 мм достаточно, чтобы обеспечить необходимое сопротивление теплопередачи.

Для снижения потерь через кладочные швы можно использовать перлитовый и вермикулитовый песок, близкие по теплопроводности к теплоизоляционно-конструкционному стеклокомпозиту (табл. 5).

Таблица 5 – Свойства перлитовых и вермикулитовых композиций

№ п/п	Материал	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м <sup>0</sup> С	Предел прочности, МПа	
				при сжатии	при изгибе
1	Перлитцемент	250-350	0,07-0,081	-	0,22-0,26
2	Стеклоперлит теплоизоляционный	180-300	0,064-0,093	0,3-1,2	0,2-0,7
3	Цементно-вермикулит	400-500	0,08-0,1	0,5-1,0	-
4	Вермикулит на жидком стекле	250-300	0,07-0,09	0,4-0,6	0,2

Нами были проведены испытания по адгезии стеновых материалов.

Таблица 6 – Результаты испытания адгезии на сдвиг через 24 часа после нанесения раствора

№ п/п	Основание	Усилие отрыва, F, кг	Масса нанесённого раствора М, кг	Площадь нанесения раствора, м <sup>2</sup>	Фактический показатель адгезии, МПа	Установленный показатель адгезии, МПа
1	Силикатный кирпич	17,8	0,590	0,30×0,30	2,36	2,0
2	Керамический кирпич	13,7	0,580	0,30×0,30	3,01	2,0
3	Пенобетон	13,3	0,570	0,30×0,30	2,33	2,0
4	Теплоизоляционно-конструкционный стеклокомпозит (ТКС)	13,6	0,570	0,30×0,30	2,35	2,0

Как видно из таблицы 6 при испытании на сдвиг после нанесения раствора у теплоизоляционно-конструкционного стеклокомпозита фактический показатель адгезии составил 2,35 МПа.

Для моделирования условий эксплуатации проводились испытания модели стеклокомпозита на морозостойкость контактной зоны. Как видно из результатов теплоизоляционно-конструкционный стеклокомпозит по усилию отрыва близок к пенобетону и керамическому кирпичу. Испытание модели по морозостойкости (по 25 циклов замораживания-оттаивания)

показали, что снижение прочности сцепления с основанием теплоизоляционно-конструкционного стеклокомпозита составило 10,6%, что не превышает нормативный показатель (не более 20%) по ГОСТ 31356-2007 (табл. 7).

Таблица 7 – Результаты испытания морозостойкости контактной зоны

№ п/п	Основание	Средняя прочность сцепления с основанием контрольных образцов, МПа	Средняя прочность сцепления с основанием контрольных образцов, МПа	Снижение прочности сцепления с основанием, %	Нормативный показатель снижения прочности сцепления (адгезии) по ГОСТ 31356-2007, %
1	Силикатный кирпич	0,65	0,24	14,3	Не более 20
2	Керамический кирпич	0,60	0,22	15,4	Не более 20
3	Пенобетон	0,50	0,21	16,0	Не более 20
4	Теплоизоляционно-конструкционный стеклокомпозит (ТКС)	0,52	0,22	15,5	Не более 20

Само производство теплоизоляционного композита на основе пеностекла с защитно-декоративным покрытием по лицевой поверхности имеет экологическую направленность, так как дает возможность использовать любой стеклобой и отходы стекольного производства, а применение пеностекла позволит отказаться от экологически опасных теплоизоляционных материалов, например, экологически вредного и пожароопасного пенопласта и др.

Предлагаемый материал целесообразно использовать для индивидуального жилищного строительства в соответствии с программами «Улучшения качества жизни населения Белгородской области» и «Развития индивидуального жилищного строительства».

Таким образом, разработан новый неорганический высокоэффективный теплоизоляционно-конструкционный материал для изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений, который за счет высоких прочностных и теплоизоляционных характеристик может быть конкурентоспособным на рынке строительных материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи [Текст] / В.С. Лесовик. – Белгород: БГТУ, 2012. – 213 с.
2. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород [Текст] / В.С. Лесовик: – М.: АСВ, 2006. – 526 с.
3. Логвиненко, Н.В. Петрография осадочных пород [Текст] / Н.В. Логвиненко. – М.: Высшая школа, 1984. – 414 с.
4. Минько, Н.И. Пеностекло. Научные основы и технология [Текст] / Н.И. Минько, О.В. Пучка, В.С. Бессмертный, Р.Г. Мелконян. – Воронеж: Научная книга, 2008. – 167 с.
5. Пучка, О.В. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы на основе техногенного сырья [Текст] / О.В. Пучка, С.С. Вайсера, С.В. Сергеев, Н.В. Калашников // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – №2. – С. 117-121.
6. Kazmina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N, 2012. Expansion of Raw Materials Base for Production of Foam-Glass-Crystal Materials. Construction materials, 1: 44-46.
7. Ventrella Andrea, Smeacetto Federico, Salvo Milena, Ferraris Monica, 2011. A new glass coating for foam glass. Int. J. Appl. Ceram. Technol., 1: 187-193.
8. Пучка, О.В. Плазмохимические методы получения покрытий на поверхности пеностекла [Текст] / О.В. Пучка, В.С. Бессмертный, С.В. Сергеев, С.С. Вайсера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – №3. – С. 148-152.
9. Пучка, О.В. Высокоэффективные теплоизоляционные стеклокомпозиты на основе техногенного сырья. Плазмохимические методы нанесения покрытий на поверхность пеностекла [Текст] / О.В. Пучка, С.В. Сергеев, Н.В. Калашников. – Белгород: БГТУ, 2013. – 187 с.

**В.С. Лесовик**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Доктор технических наук, зав. кафедрой «Строительное материаловедение, изделия и конструкции»  
E-mail: naukavs@mail.ru

**О.В. Пучка**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Кандидат технических наук, профессор кафедры «Стандартизация и управление качеством»  
E-mail: oleg8a@mail.ru

**С.С. Вайсера**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Аспирант, ассистент кафедры «Стандартизация и управление качеством»  
E-mail: vaisera\_sergeri@mail.ru

**М.Ю. Елистраткин**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное материаловедение, изделия и конструкции»  
E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru

---

V. LESOVIK, O. PUCHKA,  
S. VAJSERA, M. ELISTRATKIN

**BUILDING A NEW GENERATION OF COMPOSITES  
ON THE BASIS OF FOAMED GLASS**

*Currently, the development of high-performance construction materials is impossible without taking into account the requirements of builders, architects, clients and future residents. The growing needs of modern society in the field of architecture and urban planning dictate new, higher requirements for construction materials. This requires a new integrated approach to the development of General principles for managing development objects of the inorganic world. One of the promising directions is the development of wall materials, capable to effectively perform its functions for the conservation of energy resources required to establish and maintain a desired temperature inside the building.*

**Keywords:** *foam glass, insulation, thermal conductivity, geonics, porosity, expansion, thermal insulation material, protective and decorative coating, steklonit.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Lesovik, V.S. Geonika. Predmet i zadachi [Tekst] / V.S. Lesovik. – Belgorod: BGTU, 2012. – 213 s.
2. Lesovik, V.S. Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva stroitel'nyh materialov s uchetom genezisa gornyh porod [Tekst] / V.S. Lesovik: – M.: ASV, 2006. – 526 s.
3. Logvinenko, N.V. Petrografija osadochnyh porod [Tekst] / N.V. Logvinenko. – M.: Vysshaja shkola, 1984. – 414 s.
4. Min'ko, N.I. Penosteklo. Nauchnye osnovy i tehnologija [Tekst] / N.I. Min'ko, O.V. Puchka, V.S. Bessmertnyj, R.G. Melkonjan. – Voronezh: Nauchnaja kniga, 2008. – 167 s.
5. Puchka, O.V. Vysokojeffektivnye teploizoljacionnye materialy na osnove tehnogennogo syr'ja [Tekst] / O.V. Puchka, S.S. Vajsera, S.V. Sergeev, N.V. Kalashnikov // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. – 2013. – №2. – S. 117-121.
6. Kazmina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N, 2012. Expansion of Raw Materials Base for Production of Foam-Glass-Crystal Materials. Construction materials, 1: 44-46.
7. Ventrella Andrea, Smeacetto Federico, Salvo Milena, Ferraris Monica, 2011. A new glass coating for foam glass. Int. J. Appl. Ceram. Technol., 1: 187-193.
8. Puchka, O.V. Plazmohimicheskie metody poluchenija pokrytij na poverhnosti penostekla [Tekst] / O.V. Puchka, V.S. Bessmertnyj, S.V. Sergeev, S.S. Vajsera // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. – 2013. – №3. – S. 148-152.
9. Puchka, O.V. Vysokojeffektivnye teploizoljacionnye steklokompozity na osnove tehnogennogo syr'ja. Plazmohimicheskie metody nanesenija pokrytij na poverhnost' penostekla [Tekst] / O.V. Puchka, S.V. Sergeev, N.V. Kalashnikov. – Belgorod: BGTU, 2013. – 187 s.

**V. Lesovik**

Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Doctor of technical sciences, professor of the department «Building materials, products and structures»  
E-mail: naukavs@mail.ru

**O. Puchka**

Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Candidate of technical sciences, professor of the department «Standardization and quality management»  
E-mail: oleg8a@mail.ru

**S. Vajsera**

Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Graduate student, assistant of the department «Standardization and quality management»  
E-mail: vaisera\_serger@mail.ru

**M. Elistratkin**

Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod  
Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Building materials, products and structures»  
E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru

РЕМНЁВ В.В., РЕМНЁВ А.В.

## ПОВЫШЕНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ НЕСУЩЕЙ СТЕНЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНА «ОТКРЫТЫМ» СПОСОБОМ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

*Строительство указанных сборно-монолитных конструкций осуществляется методом возведения несъемной опалубки, в качестве которой применяются сталефибробетонные плиты, с последующей установкой в опалубку арматурного каркаса и бетонированием. Несмотря на сравнительно малую толщину (15-20 мм), водонепроницаемость сталефибробетонных плит обеспечивается использованием качественного гидротехнического бетона. Предлагаемая технология дает возможность значительно повысить качество гидроизоляции в несущих конструкциях подземных сооружений метрополитена.*

**Ключевые слова:** несущая стена, сборно-монолитный способ, несъемная опалубка, сталефибробетон, гидротехнический бетон, стальная фибра.

Ограждение котлованов способом «стена в грунте» является одним из наиболее прогрессивных и универсальных для устройства подземных сооружений, возводимых в открытых котлованах.

По назначению различают три типа стен: несущие, ограждающие и противодиффузионные; по материалам – монолитные, сборные и сборно-монолитные стены.

Способ «стена в грунте» позволяет осуществлять строительство:

- в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений;
- при значительной глубине сооружения (до 30 м);
- при больших размерах в плане и сложной форме сооружения;
- при высоком уровне подземных вод.

Современные технологии позволяют устраивать конструкции подземных сооружений разных конфигураций (криволинейные, круглые и т.д.), но традиционными и наиболее часто встречающимися являются конструкции из прямолинейных стенок, возводимых траншейным способом. Кроме этого, существует свайный способ, применяемый в условиях особо плотной городской застройки.

Свайный способ характеризуется наличием сплошного ряда буронабивных вертикальных свай образующих ограждающую конструкцию при устройстве котлована. Для разработки грунтового ядра внутри подземного сооружения, возводимого способом «стена в грунте», рекомендуется применять технологию, которая предусматривает разработку вначале центральной части грунтового массива внутри сооружения на глубину одного яруса с сохранением по периферии неразработанных участков. Такой прием облегчает работу ограждающей конструкции. Затем монтируются распорные конструкции и разрабатывается оставшаяся часть грунта. На следующей заходке цикл повторяется.

Для строительства метрополитена открытым способом (перегонных и станционных тоннелей) предлагается применять водонепроницаемые, капитальные несущие сборно-монолитные конструкции. Такие конструкции могут быть надежной несущей наружной стеной, которая обеспечивает работу конструкции на всех стадиях строительства и эксплуатации. В перегонных тоннелях такая конструкция вообще не требует отделки. Строительство указанных сборно-монолитных конструкций осуществляется методом возведения несъемной опалубки, в качестве которой применяются сталефибробетонные плиты, с последующей установкой в опалубку арматурного каркаса и бетонированием. Водонепроницаемость сталефибробетонных плит, невзирая на сравнительно малую толщину (15-20 мм), обеспечивается качественным, гидротехническим бетоном, приготовленным в заводских условиях. Особенность изготовления сталефибробетонных плит заключается в том, что по их периметру устанавлива-

ется металлическая рамка из уголка с последующей заливкой мелкозернистым фибробетоном. Это дает возможность, при формировании несъемной опалубки, сваривать их между собой в прочную конструкцию.

Сталефибробетоны относятся к конструируемым цементным композитам (ЕСС) [1], основные прочностные свойства которых определяются типом используемой стальной фибры и объемом ее введения в цементно-песчаную матрицу.

В настоящее время на рынке строительных материалов имеется много видов стальной фибры, которая различается: по способу изготовления (рубленая из проволоки, резаная из листа, фрезерованная), прочности стали, геометрии (диаметр, длина), наличию антикоррозионного покрытия, а также по форме волокон.

Нами была рассмотрена стальная фибра, выпускаемая отечественной промышленностью, т.к. ее цена в 2 и более раз ниже, чем у аналогичной стальной фибры, закупаемой за рубежом или по зарубежной технологии.

Учитывая небольшую толщину фибробетонных плит применяемых для несъемной опалубки (15-20 мм) и то, что в качестве матрицы был принят мелкозернистый бетон, то при выборе фибры нами были введены ограничения по длине волокон и диаметру.

Различные типы стальной фибры в конструктивном отношении, в основном, различаются по способу обеспечения ее сцепления с матрицей.

Исходя из этих предпосылок, были рассмотрены следующие виды фибры

-рубленая из проволоки (ФСР 30×0,8), по ТУ 1211-205-46854090-2005 с волнистым волокном длиной 30 мм, диаметром 0,8 мм;

- фрезерованная из слябов (Нарех 32×1,2) по ТУ 0882-193-46854090-2005 с волокном длиной 32 мм и толщиной 1,2 мм и имеющая по концам анкера в виде отгибов;

- нарезанная из стального листа (ФСЛ 40×0,8) по ТУ 0991-123-53832025 – 2005 с волокном длиной 40 мм и толщиной 0,8 мм переменного профиля образующимся при ее резке;

- рубленая из волнистого латунированного профиля (ФСР-Люкс 15×0,3) по ТУ 1221-001-71968828-2005 с волокном длиной, соответственно, 15 и 30 мм и толщиной 0,3 мм.

Результаты исследований показали, что введение стальной фибры в цементно-песчаную матрицу повышает прочностные характеристики фибробетона.

Увеличение процента армирования цементно-песчаной матрицы до 6 % приводит в зависимости от вида фибры к росту:

- кубиковой прочности на 20-30%;
- прочности на осевое растяжение на 20-80%;
- прочности на растяжение при изгибе до 280%.

Разрушение сталефибробетонов с цементно-песчаной матрицей при осевом растяжении и растяжении при изгибе не носит хрупкого характера.

Таким образом, для повышения индустриальности ведения работ и гидроизоляции несущей конструкции рекомендуется применять сборно-монолитный вариант, с применением сталефибробетонных плит. Это позволяет получить:

- гарантированную марку бетона стен по прочности и водонепроницаемости;
- гарантированную геометрию и чистую поверхность стен;
- возможность установки в заводских условиях закладных деталей и сальников для подводки коммуникаций;
- защиту металлической арматуры от коррозии;
- снижение трудоемкости работ;
- высокую конструктивную надежность (стены можно использовать в качестве несущих конструкций тяжело нагруженных сооружений);
- простоту крепления и соединения с другими конструктивными элементами подземного сооружения;
- полную водонепроницаемость даже в наиболее неблагоприятных гидроэкологических условиях;



- увеличенную скорость возведения конструкции (применение в сложных грунтовых условиях центра Москвы снижает стоимость конструкции и срока возведения на 20-30% в сравнении с монолитной стеной в грунте);

- возможность передачи на стену нагрузки после возведения;

- уменьшение расхода бетона в неблагоприятных условиях.

Предлагаемая технология дает возможность значительно повысить качество гидроизоляции в несущих конструкциях подземных сооружений метрополитена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю.М. Пути развития строительного материаловедения: новые бетоны [Текст] / Ю.М. Баженов // Технология бетонов. – 2012. – №3-4. – С. 39-42.

2. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции [Текст] / Ф.Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2004. – С. 560.

3. Ремнев, В.В. Влияние характеристик стальной фибры на технологические и физико-механические свойства фибробетонов [Текст] / В.В. Ремнев, Р.О. Красновский, Н.С. Шкутов // Вестник отделения строительных наук РААСН. – М., 2012. – Вып. 16. – Т. 2. – С. 103.

---

V. REMNJOV, A. REMNJOV

## IMPROVING THE WATERPROOFING BEARING WALL DURING THE CONSTRUCTION OF THE UNDERGROUND BY «OPEN»METHOD IN DENSE URBAN AREAS

*Bearing walls of subway tunnels can be erected by precast-monolithic way. The construction of walls is carried out by the erection of a leave casing with the subsequent installation of the formwork reinforcing cage and concreting. Steel fibre concrete slabs are used as leave for work. Despite the small thickness of the plates (15-20 mm), they have high strength and water resistance. These values are achieved by using of metal fibre around the all area of the plate and special hydraulic concrete. The proposed technology gives a possibility to improve the quality of waterproofing in the bearing structures of subways significantly.*

**Keywords:** bearing wall, precast-monolithic way, leave formwork, steel fibre concrete, hydraulic concrete, steel fibre.

## BIBLIOGRAPHY

1. Bazhenov, Ju.M. Puti razvitija stroitel'nogo materialovedenija: novye betony [Tekst] / Ju.M. Bazhenov // Tehnologija betonov. – 2012. – №3-4. – S. 39-42.

2. Rabinovich, F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannyh betonov. Voprosy teorii i proektirovanija, tehnologija, konstrukcii [Tekst] / F.N. Rabinovich. – M.: ASV, 2004. – S. 560.

3. Remnev, V.V. Vlijanie harakteristik stal'noj fibry na tehnologicheskie i fiziko-mehanicheskie svojstva fibrobetonov [Tekst] / V.V. Remnev, R.O. Krasnovskij, N.S. Shkutov // Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk RAASN. – M., 2012. – Vyp. 16. – T. 2. – S. 103.

СЕЛЯЕВ В.П., НИЗИНА Т.А., АРТАМОНОВ Д.А.,  
НИЗИН Д.Р., КОРОВКИН Д.И., АНДРОНЫЧЕВ Д.О.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ СОСТАВОВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ, ЭКСПОНИРОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ\*

*Приведены результаты натурных испытаний составов мелкозернистых бетонов. Определено действие климатических факторов на изменение температуры и влажности поверхности образцов. Изучено влияние длительности экспонирования в натуральных условиях на изменение упруго-прочностных характеристик мелкозернистых бетонов.*

**Ключевые слова:** климатические факторы, температура, влажность, мелкозернистый бетон, кривые деформирования, предел прочности при сжатии и на растяжение при изгибе.

Вопрос о прогнозировании сроков службы железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях климатических воздействий, весьма сложен и достаточно часто не может быть решен однозначно для разнообразных условий взаимодействия среды и бетона. В настоящее время при проектировании железобетонных конструкций их долговечность определяется путем оценки степени агрессивности внешней среды по характеристикам климата и химического состава в соответствии с показателями, принятыми в СНиП. Морозостойкость бетона назначается в проекте с учетом особенностей увлажнения конструкций и в зависимости от температуры, характеризующей суровость климата по СНиП 52-01-2003 или в соответствии с требованиями ГОСТ на отдельные виды конструкций. Химические воздействия оцениваются по СП 28.13330.2012 в зависимости от состава и условий контакта агрессивной среды и бетона, вида цемента и проницаемости бетона.

На основании оценки степени агрессивности назначаются способы первичной защиты или указывается необходимость вторичной защиты конструкций (изоляция материала или изделия от соприкосновения с окружающей средой). При этом принимается во внимание расчетный срок службы конструкций, в течение которого сооружение должно сохранять свою эксплуатационную пригодность без значительных экономических затрат на ремонт. Для правильного проведения второй стадии расчета срока службы (прогнозирования долговечности) при проектировании назначаются определенные требования к конструированию с учетом вида и марки арматурной стали (толщины защитного слоя, ширины допустимого раскрытия трещин) и т.д.

На основе этой методологии разработаны упрощенные инженерные методы расчета сроков службы бетона в различных условиях и даны некоторые предложения по назначению требований к бетону по морозостойкости для заданного срока службы. Однако до настоящего времени общепринятого и нормированного метода расчета железобетонных конструкций на долговечность не существует; конструкция рассчитывается на различные виды воздействий по отдельности. Кроме того, расчет срока службы проектируемой конструкции является также экономической задачей, поскольку его основная цель – сокращение расходов при эксплуатации и текущем ремонте запроектированного здания или сооружения.

Для определения изменения свойств строительных композитов в условиях действия агрессивных факторов, как правило, проводят экспонирование образцов в лабораторных условиях путем создания модельных сред и т.д. В реальных климатических условиях на строительные изделия и конструкции оказывается непрерывное воздействие множества агрессивных факторов (перепада температур, солнечного света, проникающей радиации, влаги, кислорода) и их комбинаций. Именно поэтому проведение исследований изменения свойств строи-

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-08-97172.

тельных материалов, изделий и конструкций в условиях действия природных климатических факторов имеет особое значение.

При построении теории сопротивления композиционных материалов действию агрессивных факторов исходят из следующих предположений [1-5]: в процессе эксплуатации возникает комплекс явлений и реакций физико-химического взаимодействия материала с окружающими факторами; под действием среды свойства композитов ухудшаются, процесс деградации завершается разрушением структуры материала; длительность развития процессов деградации и разрушения зависит от интенсивности агрессивных факторов, напряженно-деформированного состояния конструкции, а также структурной неоднородности композита, природы структурообразующих компонентов материала и т.д.

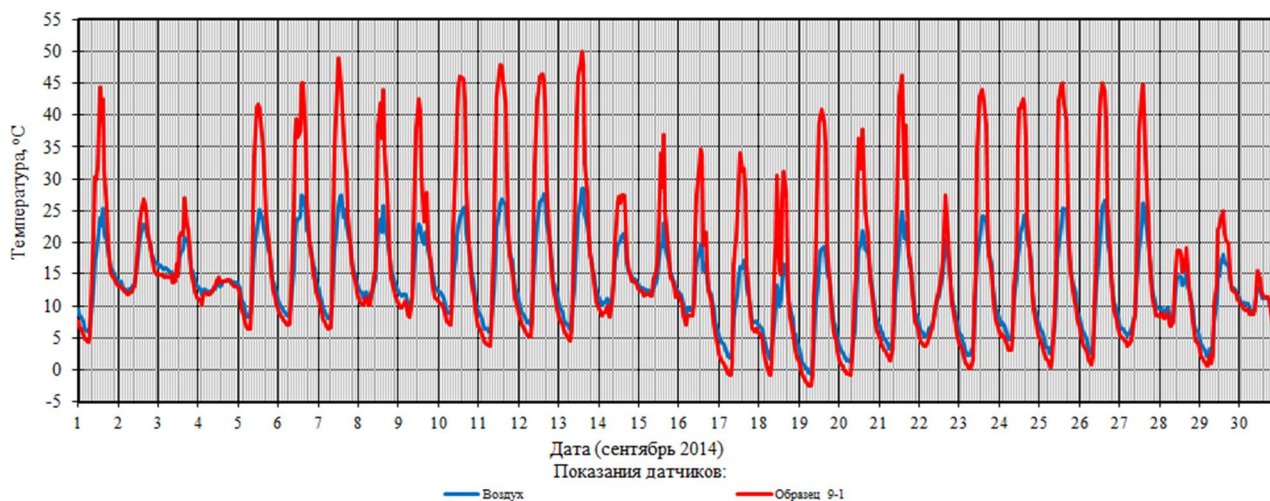
При проведении экспериментальных исследований необходимо фиксировать изменение многочисленных климатических факторов, что возможно только при использовании специализированного оборудования. Приобретенная в рамках Программы развития Национального Исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва (НИУ) автоматическая станция контроля загрязнения атмосферного воздуха с актинометрическим комплексом в составе позволяет проводить мониторинг метеорологических параметров и загрязняющих веществ в окружающем воздухе в круглосуточном режиме (рис. 1).



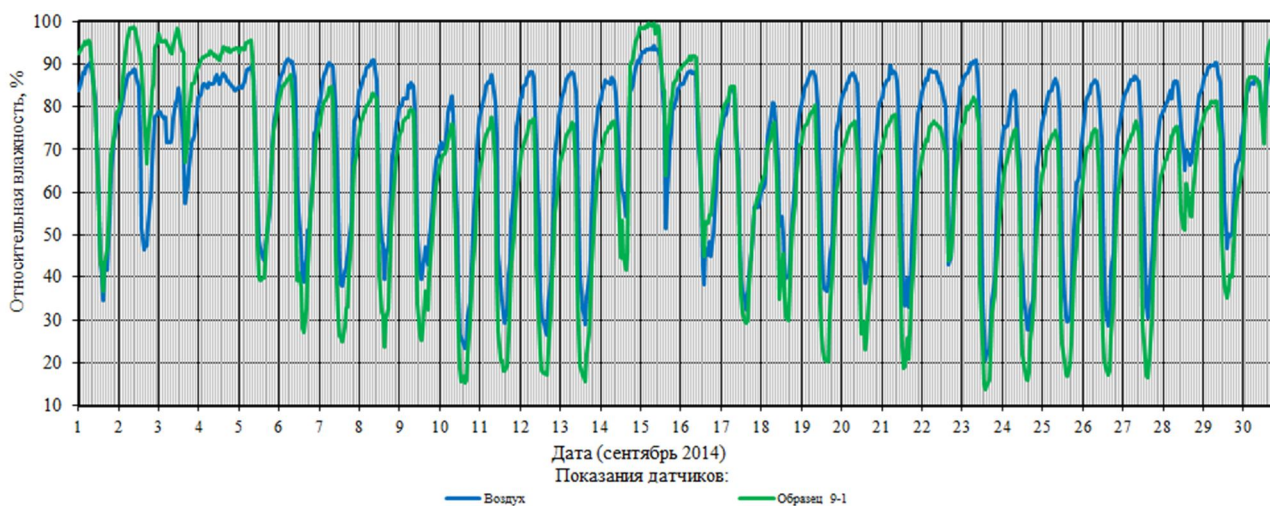
*Рисунок 1 – Автоматическая станция контроля загрязнения атмосферного воздуха, определения актинометрических и метеорологических параметров (левое фото); сектор натуральных испытаний эколого-метеорологической лаборатории (правое фото)*

Для экспонирования образцов в климатических условиях были изготовлены испытательные стенды, размещенные на базе эколого-метеорологической лаборатории НИУ. Фиксирование метеорологических (температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, осадки), экологических (концентрации загрязняющих веществ) и актинометрических (суммарная солнечная радиация и ультрафиолетовое излучение – жесткий ультрафиолет 280-320 нм, мягкий ультрафиолет 320-400 нм) параметров осуществлялось с частотой, соответственно, 20 и 10 минут в круглосуточном режиме.

Для контроля температуры и влажности поверхности исследуемых образцов использовалась система мониторинга на основе датчиков DS 1923-F5, состоящая из: комплекса iButton Data Logger Revisor (модель iBDLR-U), адаптера 1w-2/3-iButton\_1923, считывателя данных с регистраторов iB-Flash и портативного транспортера данных iButton Data Logger Transporter (iBDLT). Результаты мониторинга изменения температуры и относительной влажности окружающего воздуха и поверхности образца для составов мелкозернистого бетона приведены на рисунках 2, 3.



**Рисунок 2 – Кривые изменения температуры воздуха и поверхности образца мелкозернистого бетона, экспонированного на натурной испытательной площадке в сентябре 2014 года**



**Рисунок 3 – Кривые изменения относительной влажности воздуха и поверхности образца мелкозернистого бетона, экспонированного на натурной испытательной площадке в сентябре 2014 года**

Анализ корреляционных зависимостей (см. рис. 4) между температурой поверхности бетонных образцов и окружающего воздуха позволяет установить увеличение разброса значений с повышением температуры воздушной среды, что характеризует разогрев поверхности. Для месяцев с низкой среднесуточной температурой (менее 5°C) разность между температурами воздуха и поверхности образца минимальна. По мере повышения среднесуточной температуры разброс показателей возрастает; в летние месяцы данный параметр может достигать 20÷30°C; наибольший разогрев поверхности образцов, как правило, происходит с 10:00 до 16:00. Кроме того, на разогрев поверхности оказывает влияние и интенсивность суммарной солнечной радиации, а также солнечных излучений диапазонов А и В.

Из анализа кривых измерения относительной влажности воздуха и поверхности образцов мелкозернистого бетона установлено (рис. 3), что в отсутствие осадков влажность поверхности образцов, в целом, ниже аналогичного показателя для окружающего воздуха. Наибольшие различия также наблюдаются в дневные часы, что объясняется разогревом поверхности под действием солнечных лучей и повышением температуры окружающего воздуха. Для дней с наличием осадков (1-4, 15 и 30 сентября 2014 согласно рис. 3) влажность поверхности превышает влажность воздуха, что связано с непосредственным воздействием влаги на образцы.



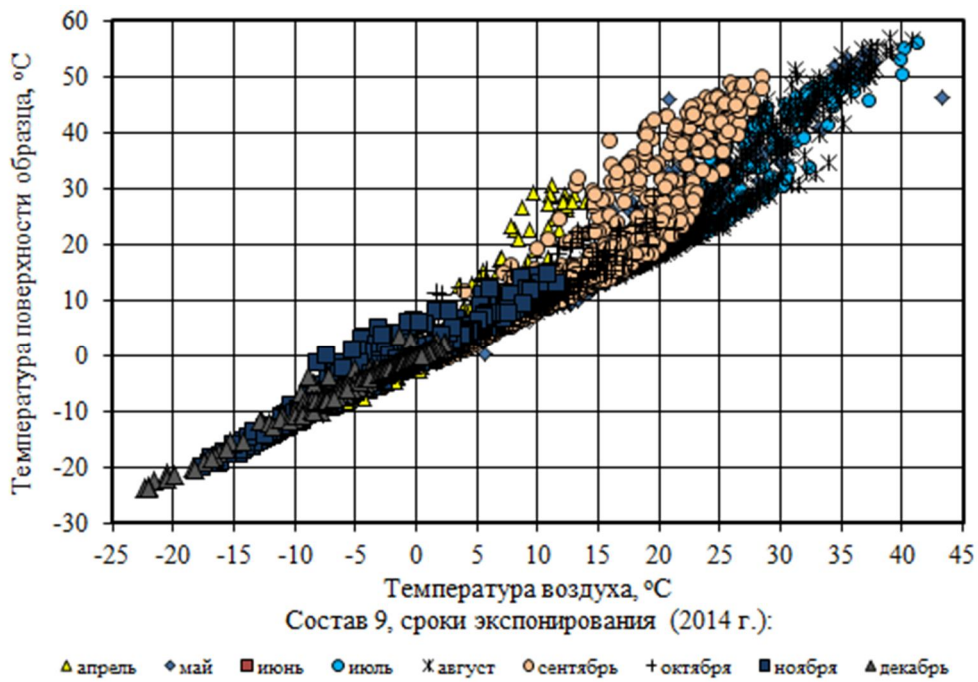


Рисунок 4 – Корреляционная зависимость между температурой окружающего воздуха и температурой поверхности образца мелкозернистого бетона (апрель – декабрь 2014 г.)

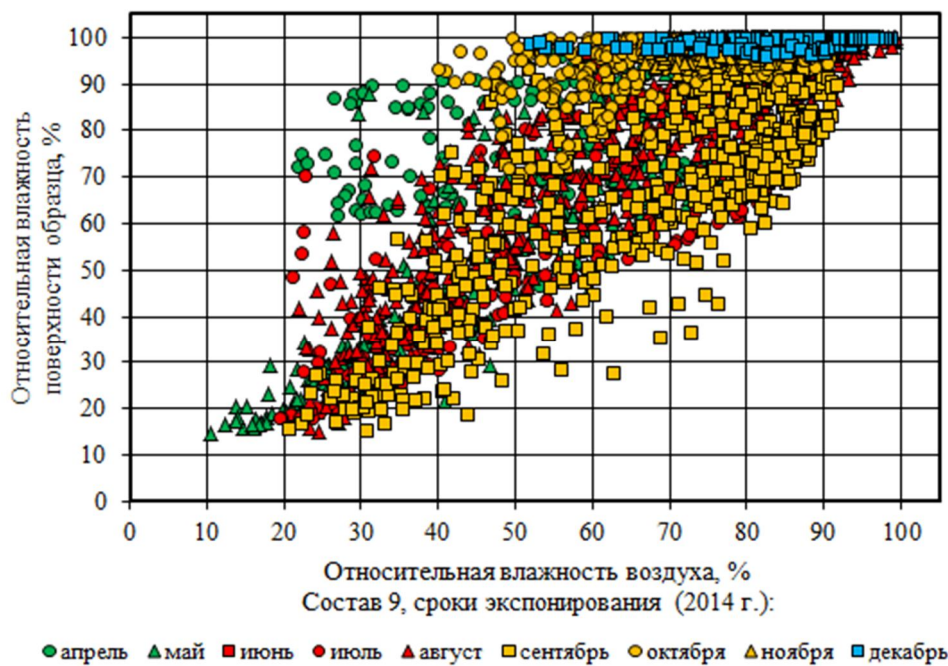


Рисунок 5 – Корреляционная зависимость между относительными влажностями окружающего воздуха и поверхности образца мелкозернистого бетона (апрель – декабрь 2014 г.)

Для установления изменений, происходящих в структуре мелкозернистого бетона в процессе натурального экспонирования, были изготовлены образцы-балочки размером 40×40×160 мм. План экспериментального исследования и уровни варьируемых факторов приведены, соответственно, в таблицах 1 – 2. При проведении экспериментальных исследований использовались следующие материалы:

- портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент»;
- высокоактивный метаксаолин – ВМК;

- речной песок (Республика Мордовия, Ичалковский район, посёлок Смольный);
- поликарбонатный пластификатор Melflux 1641 F (MF 1641).

Для ряда составов (4 – 9) проводилась механоактивация смесей в шаровой барабанной мельнице (скорость вращения составляла 73 об/мин.) по режиму:

- цемент + MF 1641 + ВМК (15 мин.);
- песок (15 мин.).

Таблица 1 – План экспериментального исследования составов мелкозернистого бетона, экспонируемых в условиях природных климатических воздействий

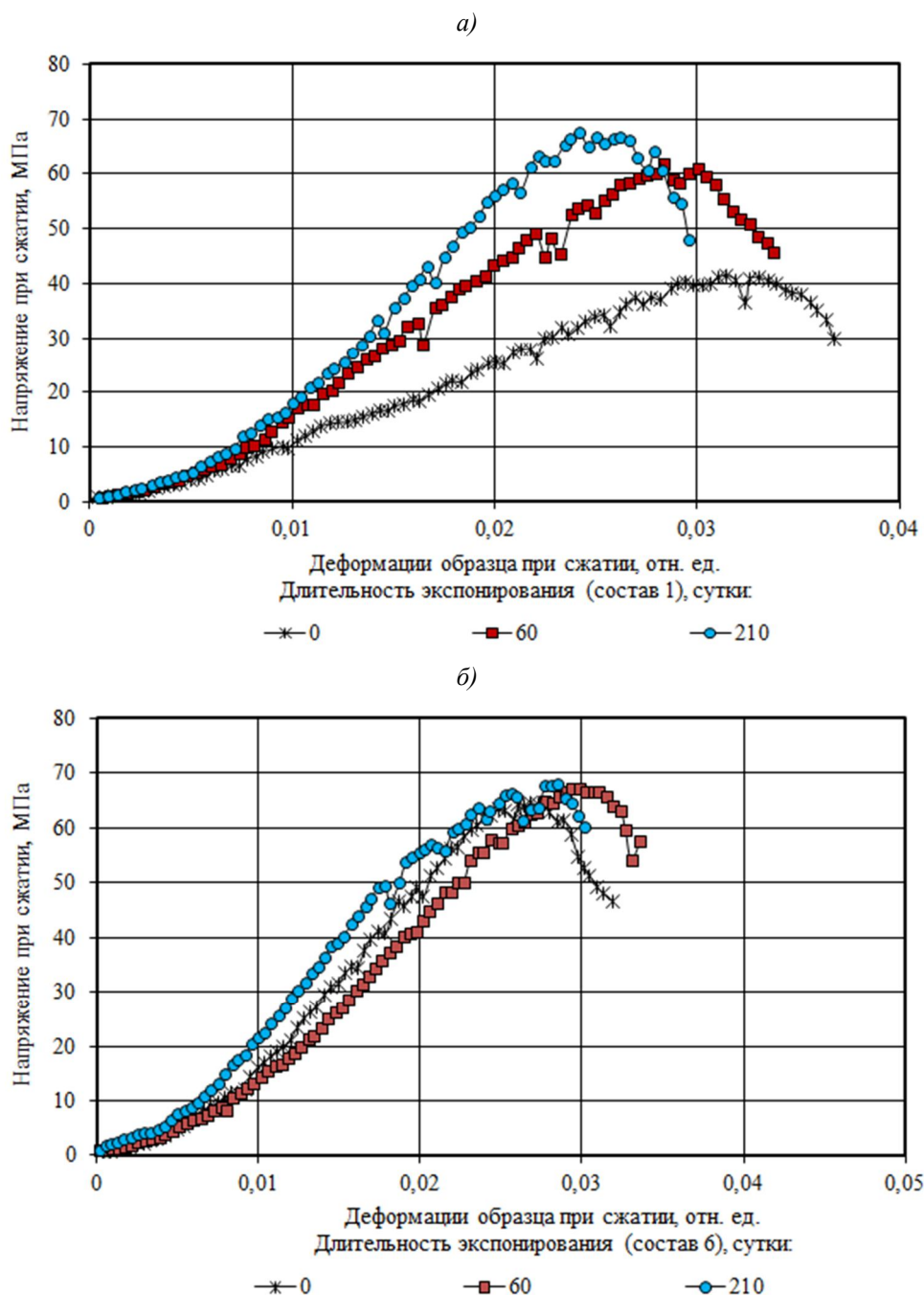
Номер состава	Варьируемые факторы			
	ВМК ( $X_1$ )	песок ( $X_2$ )	MF 1641 ( $X_3$ )	Режим помола ( $X_4$ )
1	-1	0	-1	-1
2	-1	+1	-1	-1
3	-1	-1	-1	-1
4	0	0	0	+1
5	0	+1	0	+1
6	0	-1	0	+1
7	+1	0	+1	+1
8	+1	+1	+1	+1
9	+1	-1	+1	+1

Таблица 2 – Уровни варьирования переменных факторов

Факторы		Уровни варьирования		
		-1	0	+1
$X_1$	Высокоактивный метаксаолин (ВМК), % от массы цемента	0	5	10
$X_2$	Песок (Республика Мордовия, Ичалковский р-н, пос. Смольный), % от массы твердой фазы	55	65	75
$X_3$	Суперпластификатор Melflux 1641 F, % от массы вяжущего	0	0.4	0.8
$X_4$	Режим помола	без помола	-	с помолом

Для контрольных составов, а также через 60 и 210 суток экспонирования бетонных образцов на натурной площадке фиксировались следующие упруго-прочностные показатели: плотность, предел прочности при сжатии и растяжении при изгибе, модуль упругости и максимальная деформативность при сжатии. Наиболее типичные кривые деформирования при сжатии, выбранные по результатам испытания не менее 10 образцов-близнецов, представлены на рис. 6. Экспериментально установлено, что в процессе экспонирования в течение 7 месяцев (с 1 апреля по 30 октября) 2014 года наблюдалось, в целом, повышение предела прочности при сжатии (рис. 7), связанное, прежде всего, с продолжением процессов гидратации. Наибольший прирост характеристики, достигающий, соответственно, 73 и 100% к 210 суткам, наблюдается для составов 2 и 8 с максимальным содержанием песка (75% от твердой фазы смеси). Для контрольных образцов этих же составов зафиксированы наименьшие прочностные показатели при сжатии – всего 30 и 22 МПа.

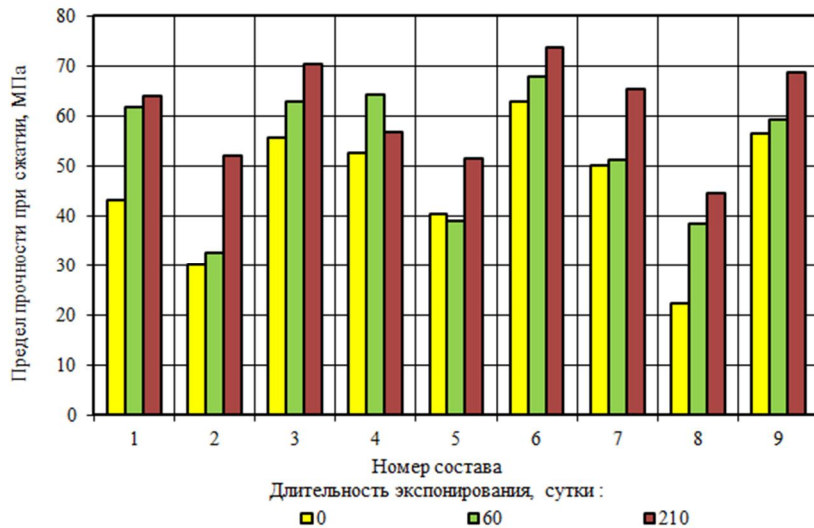
Предел прочности на растяжение при изгибе является количественным критерием, по которому можно судить об изменении характеристик поверхностных слоев исследуемых композиций [3-4]. Из анализа данных, представленных на рисунке 8, установлено, что к 60 суткам для всех исследуемых составов наблюдается повышение от 14 до 54% от первоначальной прочности. Однако последующее экспонирование образцов до 210 суток приводит к снижению предела прочности на растяжение при изгибе от 3 до 23% по сравнению с контрольными составами, что свидетельствует о начале накопления повреждений в поверхностных слоях образцов.



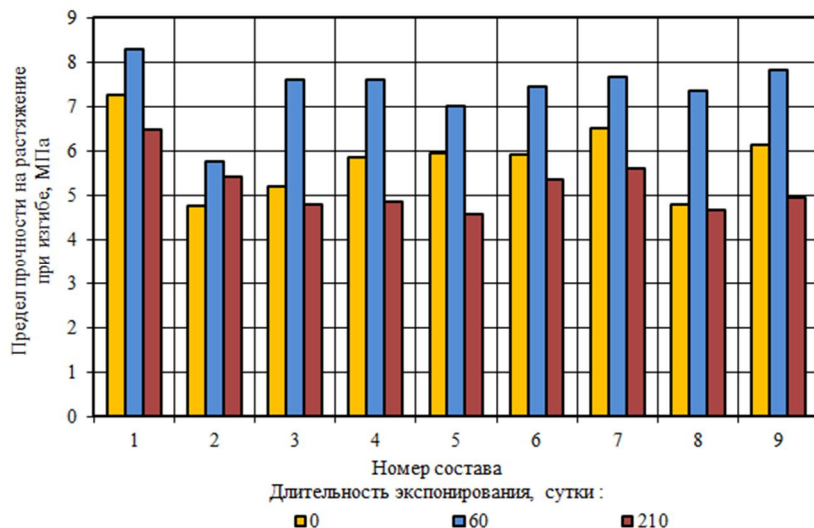
**Рисунок 6 – Кривые деформирования образцов мелкозернистого бетона при сжатии  
(а – состав 1; б – состав 6 (нумерация согласно табл. 1))**

Как показал опыт работы сектора натуральных испытаний эколого-метеорологической лаборатории НИ Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва в 2014 году, использование приобретенного оборудования позволяет получать ценную информацию о поведении строительных материалов и изделий в условиях воздействия натуральных климатических факторов. Перспективность выбранного направления исследований несомненна.

Реализация программы развития Мордовского государственного университета по модернизации материально-технической базы позволила сотрудникам, аспирантам и студентам НИУ не только получить доступ к современному оборудованию, но и существенно переориентировать свои научные интересы в те области фундаментальных и прикладных исследований, практическая реализация которых были недоступна еще несколько лет тому назад.



**Рисунок 7 – Гистограммы изменения предела прочности при сжатии образцов мелкозернистого бетона в процессе экспонирования в натуральных климатических условиях**



**Рисунок 8 – Гистограммы изменения предела прочности на растяжение при изгибе образцов мелкозернистого бетона в процессе экспонирования в натуральных климатических условиях**

Накопление и анализ параметров, характеризующих агрессивное воздействие натуральных климатических факторов, позволит определить степень влияния каждого из них на эксплуатационные характеристики мелкозернистых бетонов. Оптимизация составов с учетом агрессивного воздействия метеорологических, актинометрических параметров и загрязняющих веществ позволит обосновано подойти к выбору композиционных строительных материалов с повышенной стойкостью к воздействию натуральных климатических факторов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломатов, В. И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов [Текст] / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М. Стройиздат, 1987. – 264 с.
2. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов [Текст] / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – М: РААСН, 2001. – 284 с.
3. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций: учеб. пособие [Текст] / В.П. Селяев, Т.А. Низина, В.Н. Уткина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.



4. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих [Текст] / Т.А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2007. – 260 с.

5. Селяев, В.П. Использование метода деградационных функций для оценки и прогнозирования долговечности строительных конструкций [Текст] / В.П. Селяев, Т.А. Низина // Всероссийская научно-техническая конференция «Фундаментальные исследования в области защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и конструкций в различных климатических условиях и природных средах с целью обеспечения безопасной эксплуатации сложных технических систем», ВИАМ. Москва, 2013. – С. 4.

**В.П. Селяев**

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

E-mail: ntorm80@mail.ru

**Т.А. Низина**

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции»

Тел.: +7 917 993 63 89

E-mail: nizinata@yandex.ru

**Д.А. Артамонов**

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Аспирант кафедры «Строительные конструкции»

E-mail: denartam@gmail.com

**Д.Р. Низин**

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Аспирант кафедры строительных конструкций

E-mail: nizindi@yandex.ru

**Д.И. Коровкин**

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Магистр архитектурно-строительного факультета

E-mail: asfkorovkin@yandex.ru

**Д.О. Андронычев**

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

Магистр архитектурно-строительного факультета

E-mail: andronuchevd@mail.ru

---

V. SELYAEV, T. NIZINA, D. ARTAMONOV,  
D. NIZIN, D. KOROVKIN, D. ANDRONYCHEV

**EXPERIMENT RESULTS OF FINE-GRAINED CONCRETE  
COMPOSITIONS, EXPOSED UNDER INFLUENCE  
OF CLIMATIC FACTORS**

*Shown the field tests results of fine-grained concrete compositions. Defined the action of climatic factors on the change in temperature and humidity of the sample surface. Studied the effect of exposure duration of natural conditions on the change in the elastic-strength properties of fine-grained concrete.*

**Keywords:** *climatic factors, temperature, humidity, fine-grained concrete, deforming curves, compressive strength and flexural strength.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Solomatov, V. I. Himicheskoe soprotivlenie kompozicionnyh stroitel'nyh materialov [Tekst] / V.I. Solomatov, V.P. Seljaev. – M. Strojizdat, 1987. – 264 s.
2. Solomatov, V.I. Himicheskoe soprotivlenie materialov [Tekst] / V.I. Solomatov, V.P. Seljaev, Ju.A. Sokolova. – M: RAASN, 2001. – 284 s.

3. Himicheskoe soprotivlenie i dolgovechnost' stroitel'nyh materialov, izdelij, konstrukcij: ucheb. posobie [Tekst] / V.P. Seljaev, T.A. Nizina, V.N. Utkina. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2003. – 48 s.

4. Nizina, T.A. Zashhitno-dekorativnye pokrytija na osnove jepoksidnyh i akrilovyh svjazujushhih [Tekst] / T.A. Nizina. – Saransk: Izd-vo Mordov. Un-ta, 2007. – 260 s.

5. Seljaev, V.P. Ispol'zovanie metoda degradacionnyh funkcij dlja ocenki i prognozirovaniya dolgovechnosti stroitel'nyh konstrukcij [Tekst] / V.P. Seljaev, T.A. Nizina // Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Fundamental'nye issledovaniya v oblasti zashhity ot korrozii, starenija i biopovrezhdenij materialov i konstrukcij v razlichnyh klimaticheskikh uslovijah i prirodnyh sredah s cel'ju obespechenija bezopas-noj jekspluatacii slozhnyh tehniceskikh sistem», VIAM. Moskva, 2013. – S. 4.

**V. Selyaev**

Federal state budgetary institution of higher professional education «Ogarev Mordovia state university»

Doctor of technical sciences, head of the department «Building constructions»

E-mail: ntorm80@mail.ru

**T. Nizina**

Federal state budgetary institution of higher professional education «Ogarev Mordovia state university»

Doctor of technical sciences, professor of the department «Building constructions»

Ph.: +7 917 993 63 89

E-mail: nizinata@yandex.ru

**D. Artamonov**

Federal state budgetary institution of higher professional education «Ogarev Mordovia state university»

Postgraduate student of the department «Building constructions»

E-mail: denartam@gmail.com

**D. Nizin**

Federal state budgetary institution of higher professional education «Ogarev Mordovia state university»

Postgraduate student of the department «Building constructions»

E-mail: nizindi@yandex.ru

**D. Korovkin**

Federal state budgetary institution of higher professional education «Ogarev Mordovia state university»

Master of architecture and civil engineering faculty

E-mail: asfkorovkin@yandex.ru

**D. Andronychev**

Federal state budgetary institution of higher professional education «Ogarev Mordovia state university»

Master of architecture and civil engineering faculty

E-mail: andronuchevd@mail.ru

УРХАНОВА Л.А., ХАРДАЕВ П.К., ЛХАСАРАНОВ С.А.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

*Рассмотрены вопросы получения модифицированного бетона с применением наноразмерного кремнезема. Выявлен характер влияния нанокремнезема на процессы структурообразования портландцемента. Определен эффективный способ введения нанокремнезема в цементную систему. Разработаны составы модифицированных бетонов с применением нанокремнезема.*

**Ключевые слова:** модифицированный бетон, портландцемент, нанокремнезем, прочность при сжатии, гидратация.

С точки зрения современной технологии, производство высокопрочного модифицированного бетона сегодня не представляет принципиальных трудностей. Тем не менее непременное достижение проектных характеристик свежего и затвердевшего бетона, а также выбор технологически и экономически оптимального состава бетона требуют серьезной научной и практической подготовки.

Одним из основных направлений технического прогресса в области строительства является создание бетонов высокого качества и долговечности. Широкие возможности в технологии высокопрочных бетонов открывают добавки-наномодификаторы, которые приводят к значительному изменению структуры композита. Поведение наночастиц и механизм их действия на такие комплексные материалы, как цемент, должны быть подробно изучены, чтобы в полной мере использовать эффект от их введения в состав вяжущих веществ и бетонов.

Различными исследованиями для получения высококачественных модифицированных бетонов применялись зола уноса, метакаолин, микрокремнезем [1-5]. Применение нанокремнезема, имеющего размер частиц до 100 нм, является следующим этапом получения современных модифицированных бетонов, позволяющим регулировать плотность упаковки композита на наноуровне, повышая тем самым прочность и долговечность бетона. Помимо создания высокоплотной упаковки компонентов бетона в непрерывном интервале размерностей от нано- и микро- до макроуровня, необходимо учитывать, что нанокремнезем способен активно взаимодействовать с цементной системой. Учитывая комплексность механизма действия нанокремнезема, вопрос его применения для модификации цемента и бетонов является актуальным.

В проводимых исследованиях для изменения структуры и свойств портландцемента (ПЦ) и бетонов были использованы ПЦ ЦЕМ I 32,5 Н ГОСТ 31108-2003 ООО «Тимлюйский цементный завод», нанодисперсный кремнезем (НК) Таркосил-05<sup>®</sup> и Таркосил-20<sup>®</sup>.

Нанодисперсный кремнезем Таркосил-05<sup>®</sup> и Таркосил-20<sup>®</sup> получен на ускорителе электронов по методу [6, 7] в Институтах ядерной физики СО РАН и теоретической и прикладной механики СО РАН. При воздействии ускоренными электронами на твердое тело энергия выделяется непосредственно в объеме вещества на глубине нескольких миллиметров, вызывая ионизацию вещества и разогрев этого слоя. При достаточной мощности на единицу поверхности пучка электронов температура поверхностного слоя вещества достигает температуры кипения, то есть начинается испарение вещества. Энергия ускоренных электронов расходуется в основном на нагрев и испарение кварцевого песка, излучение с поверхности расплавленной жидкости и нагрев воздуха в реакторе [6]. Нанодисперсные добавки Таркосил-05<sup>®</sup> и Таркосил-20<sup>®</sup> состоят более чем на 99% из аморфного кремнезема, содержание примесей, в мас. %: Al – 0,01, Fe – 0,01, Ti – 0,03.

Таркосил-05<sup>®</sup>, имеющий удельную поверхность  $S_{уд}$  50,6 м<sup>2</sup>/г (по данным прибора «Сорби-М»), получен со средним размером первичных частиц около 53 нм. Таркосил-20<sup>®</sup> имеет средний размер частиц – 20 нм,  $S_{уд} \sim 200$  м<sup>2</sup>/г (рис. 1-2).

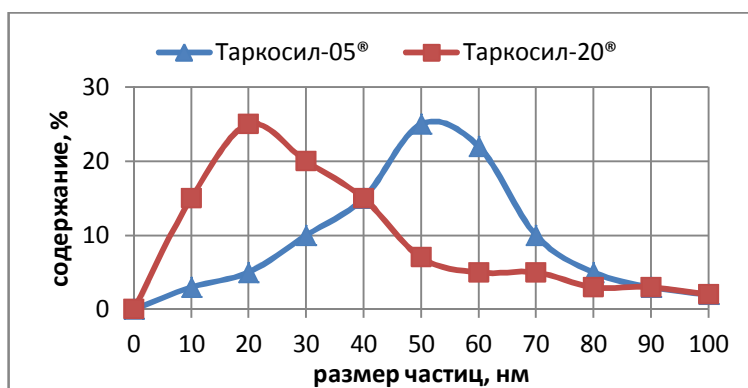


Рисунок 1 – Дифференциальные кривые распределения частиц Таркосил-05 и Таркосил-20 по размеру

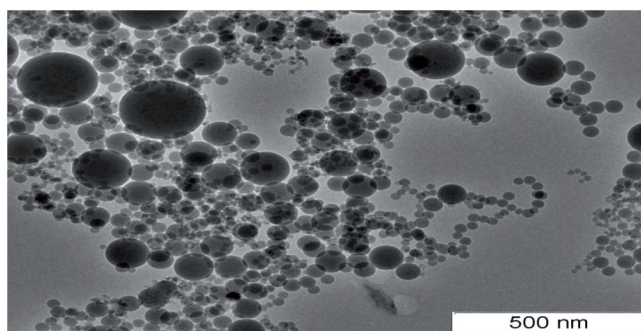


Рисунок 2 – Просвечивающая электронная микроскопия нанокремнезема Таркосил

Таркосил-05 и Таркосил-20 имеют на поверхности различное содержание гидроксильных групп и свободных углеводородных радикалов. Таркосил-20 обладает гидрофильными свойствами, на поверхности частиц концентрация ОН-группы – 2-3 ОН-группы на квадратный нанометр поверхности. Таркосил-05 – условно гидрофобный, концентрация ОН-группы – 0,4-0,5 ОН-группы на квадратный нанометр поверхности (рис. 3).

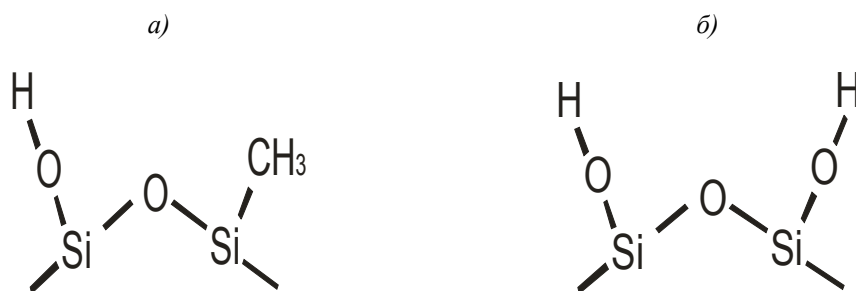


Рисунок 3 – Характер поверхности частиц нанокремнезема: а – Таркосил-05; б – Таркосил-20

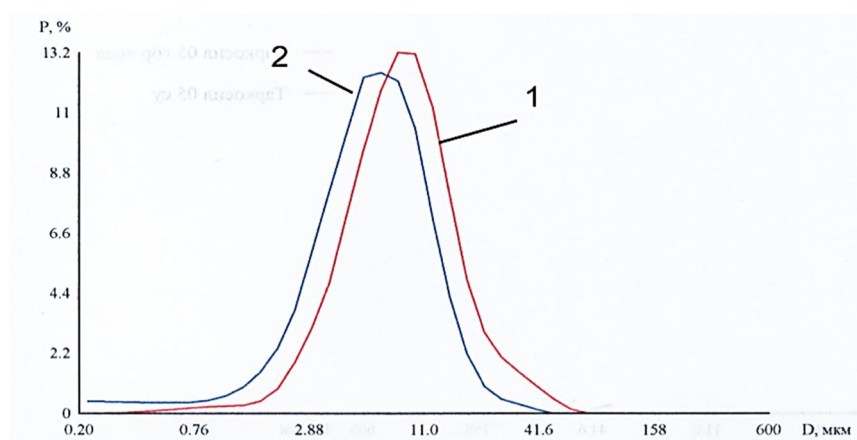
Долгое время развитие технологии бетонов шло по пути изучения свойств и возможностей эффективного использования цемента и заполнителей. Меньше внимания уделялось вопросам, связанным с исследованиями свойств воды затворения. Вместе с тем вода является равноправным участником формирования структуры цементного камня и бетона, а ее состояние и способ подготовки во многом определяют характер процессов гидратации и структурообразования цементных систем [8].

В работах Ю.В. Пухаренко предложена рабочая гипотеза наноструктурного модифицирования цементных композитов путем активации воды затворения углеродными наночастицами. Рассмотрены особенности собственной структуры воды. Показано, что молекулы воды соединены водородными связями, образующими непрерывную трехмерную сетку. Коллективное движение молекул в пространственной сетке стремится сохранить их тетраэдрическую координацию, что характеризует способность молекул воды образовывать бесконечный ветвящийся кластер [8-10].

Учитывая, что равномерное распределение Таркосила в воде затворения определяет эффективность действия модифицирующей добавки и улучшение характеристик цемента и бетона, были проведены исследования по определению способа его введения в цементную систему.

Рассматривались два способа введения НК в воду затворения: ультразвуковая обработка воды с нанодисперсной добавкой и постепенное нагревание воды до температуры 40-80°C. Для диспергирования агломератов НК способом ультразвуковой обработки был использован ультразвуковой диспергатор «СТ-400А СТ-Brand». Сравнение способов распределения частиц оценивали на лазерном анализаторе частиц MicroSizer 201 (рис. 4).

Анализ результатов показывает, что, как в случае ультразвуковой обработки, так и в случае нагревания воды характер распределения частиц НК одинаковый, но диспергация наночастиц посредством нагревания является более эффективной по сравнению с ультразвуковой обработкой. При нагревании воды затворения с нанодобавкой распределение более эффективно, так как в дисперсной системе устанавливается седиментационно-диффузионное равновесие, которое с повышением температуры способствует не только диспергированию агрегатов, но и выравниванию концентрации частиц по всему объему воды [10, 11]. Кроме того, нагревание воды является перспективным, поскольку позволяет снизить расходы при разработке и организации технологического процесса введения нанодисперсных модификаторов в бетонную смесь.



**Рисунок 4 – Распределение частиц по размерам в зависимости от способа распределения: 1 – ультразвуковая обработка, 2 – нагревание до 60°C**

Приведенные исследования по изменению характеристик воды и установлению эффективного способа распределения частиц Таркосил по объему воды затворения подтверждаются результатами определения физико-механических характеристик портландцемента (табл. 1). Из составов вяжущих с НК готовили образцы размером 20×20×20 мм. Образцы хранились в формах при  $t=20-22^{\circ}\text{C}$ ,  $W90-95\%$ , затем без форм над водой в течение 28 сут.

Сравнительные результаты определения прочностных характеристик цементного камня, модифицированного с применением Таркосил-05, Таркосил-20 и промышленного пиро-генного НК «HDK Wacker» (рис. 5), показывают, что с добавкой Таркосил-05 получены более высокие показатели как в ранние, так и в более поздние сроки твердения.

Таблица 1 – Свойства цементных паст и растворов с нанодисперсными добавками

Показатель	Ед. изм.	Без добавок	Таркосил-05	Таркосил-20	HDK Wacker
Нормальная густота	%	25	26	25,5	25,4
Начало схватывания	мин.	145	120	130	120
Конец схватывания	мин.	245	210	225	220
Подвижность раствора по расплыву конуса	см	135	145	125	130
Сохранение подвижности через:					
0,5 ч		135	165	145	150
1 ч		135	150	135	140
2 ч	см	130	145	130	135
3 ч		115	140	115	120
4 ч		110	135	110	115

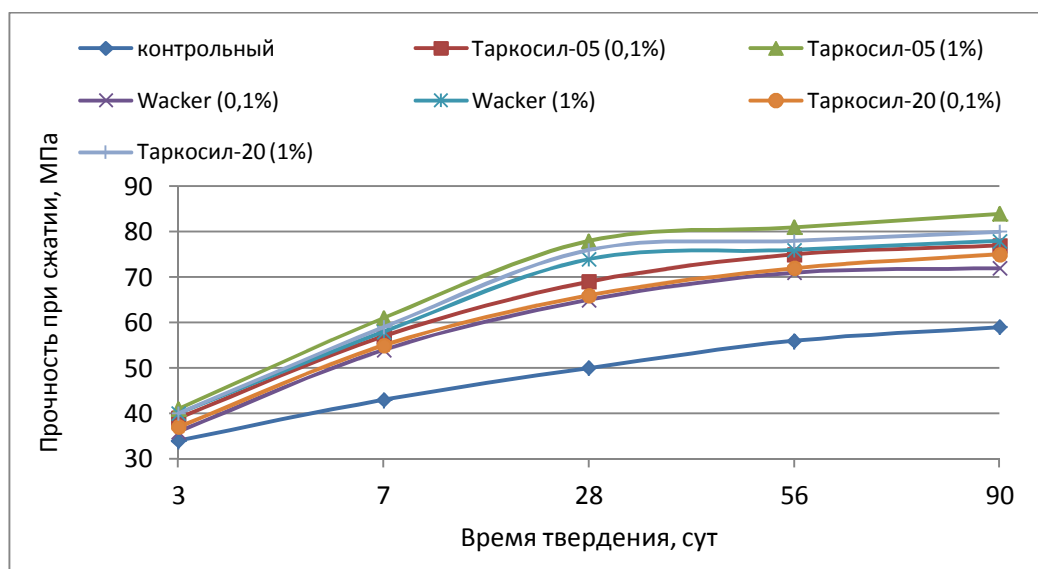


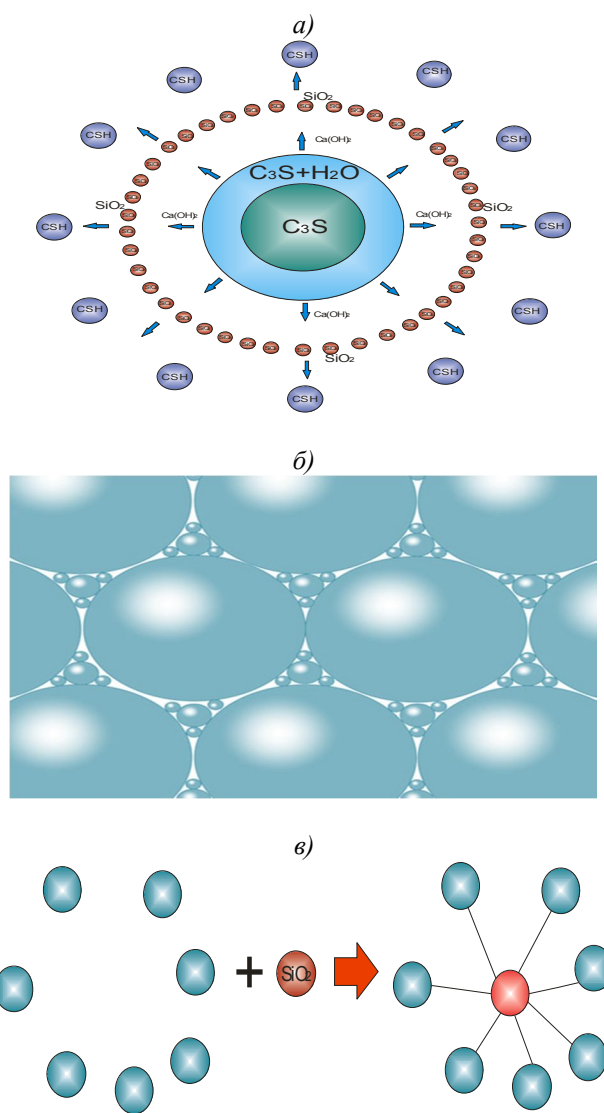
Рисунок 5 – Кинетика набора прочности цементного камня, модифицированного нанодобавками

Введение НК в состав ПЦ активно влияет на процессы гидратации клинкерных минералов, изменяя как свойства свежесформованной смеси, так и свойства затвердевшего камня. Механизм действия НК является комплексным, так как НК может выступать в качестве наполнителя, способствовать связыванию портландита, образовывать дополнительные центры кристаллизации. Авторами предложен механизм действия наноразмерного кремнезема (рис. 6) при введении его в цементную систему, который является результатом комплексного воздействия. Нанокремнезем принимает участие в связывании образующейся извести, повышает плотность упаковки частиц системы и является центром кристаллизации гидратных новообразований.

По сравнению с микрокремнеземом, нанокремнезем заметно активнее влияет на гидратацию ПЦ. Присутствие нанокремнезема влияет на концентрацию ионов  $Ca^{2+}$  и  $OH^-$  в жидкой фазе портландцементных паст уже в первые минуты гидратации таким образом, что это приводит к сокращению длительности индукционного периода, или индукционный период вовсе не наступает. Образование продуктов гидратации в ранний период происходит при участии поверхности нанодисперсных частиц  $SiO_2$ , и поверхность цементных зерен оказывается в меньшей степени блокирована новообразованиями, что интенсифицирует процесс гидролиза цементных фаз.

В таблице 2 приведены составы и технологические показатели мелкозернистого бетона с применением добавок Таркосил-05 и Таркосил-20. Были выбраны две марки по удобоукла-

дываемости – П1 и П3 и оценены их физико-механические и эксплуатационные показатели (рис. 7, 8).

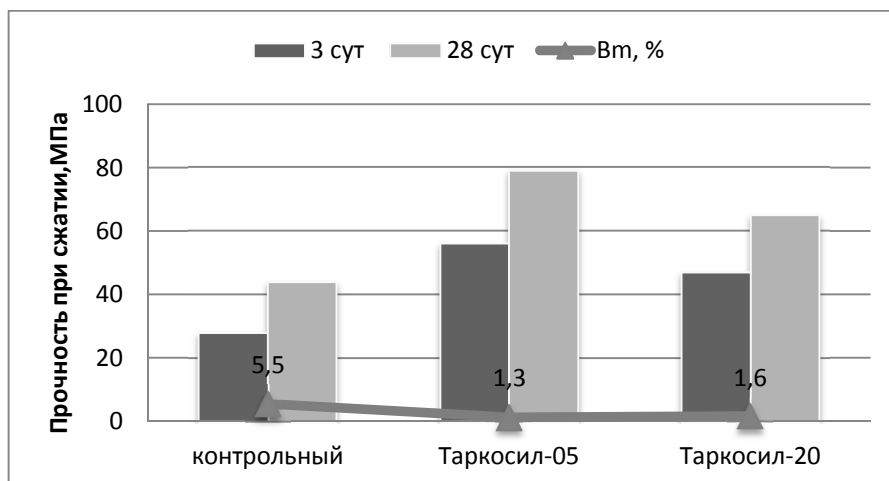


**Рисунок 6 – Механизм взаимодействия нанокремнезема с цементной системой: а – связанный с химической реакцией; б – обеспечивающий повышение плотности упаковки системы сложения дисперсных частиц; в – связанный с каталитической ролью наноразмерного кремнезема как центра кристаллизации**

Таблица 2 – Состав и технологические показатели бетонов

Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг						В/Ц	Показатели технологичности бетонной смеси		Усадка, мм/м
Таркосил-05	Таркосил-20	Портландцемент	Песок	Гранит. отсева, фр.=2,5-5 мм	Щебень фр. 5-20 мм		Марка по удобоукладываемости (ОК, см)	Расслаиваемость по водоотделению, %	
-	-	550	687	687	-	0,38	П1 (3)	0,3	2,7
0,55	-						П1 (4,5)		0,5
-	0,55						П1 (3,5)		1,1
-	-	550	687	687	-	0,44	П3 (11)	0,7	3,7
0,55	-						П3 (14)		1,6
-	0,55						П3 (12)		2,3

а)



б)

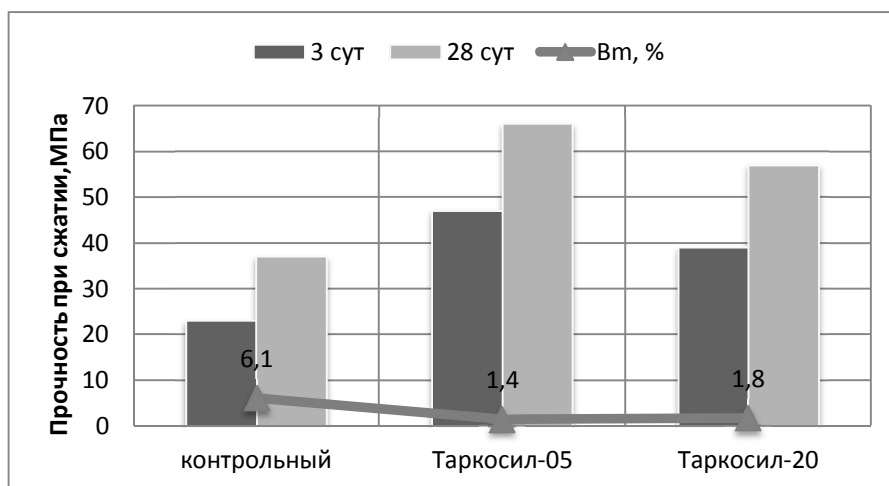


Рисунок 7 – Физико-механические показатели мелкозернистых бетонов при введении добавок Таркосил-05 и Таркосил-20 с подвижностью П1 (а) и П3 (б)

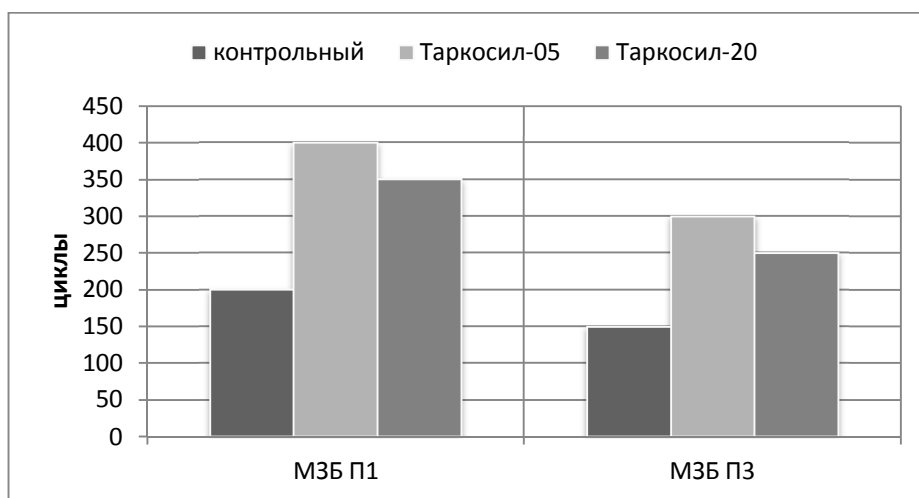


Рисунок 8 – Морозостойкость бетонов с применением нанодобавок

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что введение нанодобавок способствует увеличению прочностных показателей. Прочность высокопрочного бетона с



использованием модифицирующей добавки – нанодисперсного порошка диоксида кремния Таркосил-05 лежит в пределах 53-90 МПа после 28 сут. нормального твердения, что превышает прочность бетона без добавок в среднем на 60-62% и понижает показатели водопоглощения в среднем на 60-65%. Бетоны с применением НК характеризуются высокими гидрофизическими и эксплуатационными показателями, что является подтверждением создания плотной структуры материала при его введении и упрочняющего эффекта действия НК.

Анализ показателей деформаций усадки свидетельствуют, что при введении добавок Таркосил происходит снижение данных показателей. Рациональный подбор составляющих бетонной смеси от заполнителей до микрочастиц вяжущего и наночастиц добавок позволяет создать высокоплотную упаковку материала и снизить показатели усадки. Таким образом, при применении НК и гранитных отсеков решается важная задача по устранению основного недостатка мелкозернистых бетонов, что будет способствовать широкому внедрению данных бетонов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- высокая удельная поверхность НК позволяет его частицам заполнять микропоры цементного камня и создавать за счет этого плотную и прочную микроструктуру. Присутствие НК активно влияет на интенсивность гидратации вяжущих веществ и ведет к получению измененного состава новообразований;

- при нагревании воды с НК равномерное распределение происходит более эффективно по сравнению с ультразвуковой обработкой, что подтверждается результатами определения физико-механических характеристик портландцемента;

- получены составы модифицированных бетонов с нанодисперсными добавками Таркосил-05 и Таркосил-20, характеризующиеся повышенной прочностью по сравнению с контрольным составом и улучшенными гидрофизическими и эксплуатационными характеристиками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каприелов, С.С. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона [Текст] / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. – 1992. – №7. – С. 4-7.
2. Боровских, И.В. Оптимизация гранулометрического состава песка для получения высокопрочного тонкозернистого бетона [Текст] / И.В. Боровских, Н.М. Морозов, В.Г. Хозин // Известия КазГАСУ. – 2008. – №2. – С. 121-125.
3. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2002. – 368 с.
4. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы [Текст] / В.Г. Батраков // Строительные материалы. – 2006. – №10. – С. 4-6.
5. Бабков, В.В. Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов [Текст] / В.В. Бабков, Р.Р. Сахибгареев, Ром.Р. Сахибгареев и др. // Строительные материалы. – 2010. – №6. – С. 44-47.
6. Патент РФ № 2067077, 27.09.1996 Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния [Текст] // Патент России №2067077, 1996. Бюл. № 27.
7. Бардаханов, С.П. Получение нанопорошков испарением исходных веществ на ускорителе электронов при атмосферном давлении [Текст] / С.П. Бардаханов, А.И. Корчагин, Н.К. Куксанов и др. // Докл. Академии наук. – 2006. – Т. 409. – №3. – С. 320-323.
8. Пухаренко, Ю.В. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей [Текст] / Ю.В. Пухаренко, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко // Строительные материалы. – 2006. – №8. – С. 11-13.
9. Пухаренко, Ю.В. Структура и свойства наномодифицированных цементных систем [Текст] / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, В.А. Никитин // Наука и инновации в строительстве. Современные проблемы строительного материаловедения и технологии: сб. тр. междунар. конф. – Воронеж, 2008. – Т. 1. – Кн. 2. – С. 424-429.
10. Староверов, В.Д. Особенности структурирования воды затворения углеродными наночастицами [Текст] / В.Д. Староверов // Доклады 65-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных руководителей, инженеров и аспирантов университета. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – Ч.1. – С. 210-213.
11. Староверов, В.Д. Опыт промышленного применения наномодифицированных бетонных смесей [Текст] / В.Д. Староверов, А.Ю. Ковалева, И.У. Аубакирова // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – №3(16). – С. 74-76.

**Л.А. Урханова**

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ  
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Производство строительных материалов и изделий»  
E-mail: urkhanova@mail.ru

**П.К. Хардаев**

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ  
Доктор технических наук, проректор по учебной работе  
E-mail: office@esstu.ru

**С.А. Лхасаранов**

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ  
Кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Производство строительных материалов и изделий»  
E-mail: solbon230187@mail.ru

---

L. URKHANDOVA, P. KHARDAEV,  
S. LKHASARANOV

**MODIFICATION OF CEMENT-BASED CONCRETES  
WITH NANODISPERSED ADDITIVES**

*Questions of obtaining the modified concrete using nanosilica are considered. The character of influence of nanosilica on the processes of Portland cement structure formation is identified. The effective method of introducing nanosilica in the cement system is determined. Compositions of modified concrete with using nanosilica are received.*

**Keywords:** *modified concrete, portlandcement, nanosilica, compressive strength, hydration.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kaprielov, S.S. Vliyanie struktury cementnogo kamnja s dobavkami mikrokremsnezema i superplastifikatora na svojstva betona [Tekst] / S.S. Kaprielov, A.V. Shejnfel'd, Ju.R. Krivoborodov // Beton i zhelezobeton. – 1992. – №7. – S. 4-7.
2. Borovskih, I.V. Optimizacija granulometricheskogo sostava peska dlja poluchenija vysokoprochnogo tonkozernistogo betona [Tekst] / I.V. Borovskih, N.M. Morozov, V.G. Hozin // Izvestija KazGASU. – 2008. – №2. – S. 121-125.
3. Bazhenov, Ju.M. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Tekst] / Ju.M. Bazhenov, B.C. Dem'janova, V.I. Kalashnikov. – M.: ASV, 2002. – 368 s.
4. Batrakov, V.G. Modifikatory betona: novye vozmozhnosti i perspektivy [Tekst] / V.G. Batrakov // Stroitel'nye materialy. – 2006. – №10. – S. 4-6.
5. Babkov, V.V. Rol' amorfного mikrokremsnezema v processah strukturoobrazovanija i uprochnenija betonov [Tekst] / V.V. Babkov, R.R. Sahibgareev, Rom.R. Sahibgareev i dr. // Stroitel'nye materialy. – 2010. – №6. – S. 44-47.
6. Patent RF № 2067077, 27.09.1996 Lukashov V.P., Bardahanov S.P., Salimov R.A., Korchagin A.I., Fadeev S.N., Lavruhin A.V. Sposob poluchenija ul'tradispersnoj dvoukisi kremnija, ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija i ul'tradispersnaja dvoukis' kremnija [Tekst] // Patent Rossii №2067077, 1996. Bjul. № 27.
7. Bardahanov, S.P. Poluchenie nanoporoshkov isparenijem ishodnyh veshhestv na uskoritele jelektronov pri atmosfernom davlenii [Tekst] / S.P. Bardahanov, A.I. Korchagin, N.K. Kuksanov i dr. // Dokl. Akademii nauk. – 2006. – T. 409. – №3. – S. 320-323.
8. Puharenko, Ju.V. Nanostrukturirovanie vody zatvorenija kak sposob povyshenija jeffektivnosti plastifikatorov betonnyh smesej [Tekst] / Ju.V. Puharenko, V.A. Nikitin, D.G. Letenko // Stroitel'nye materialy. – 2006. – №8. – S. 11-13.
9. Puharenko, Ju.V. Struktura i svojstva nanomodificirovannyh cementnyh sistem [Tekst] / Ju.V. Puharenko, I.U. Aubakirova, V.A. Nikitin // Nauka i innovacii v stroitel'stve. Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedenija i tehnologii: sb. tr. mezhdunar. konf. – Voronezh, 2008. – T. 1. – Kn. 2. – S. 424-429.
10. Staroverov, V.D. Osobennosti strukturirovanija vody zatvorenija uglernodnymi nanochasticami [Tekst] / V.D. Staroverov // Doklady 65-j nauch. konf. professorov, prepodavatelej, nauchnyh rukovoditelej, inzhenerov i aspirantov universiteta. – SPb.: SPbGASU, 2008. – Ch.1. – S. 210-213.

11. Staroverov, V.D. Opyt promyshlennogo primeneniya nanomodificirovannyh betonnyh smesej [Tekst] / V.D. Staroverov, A.Ju. Kovaleva, I.U. Aubakirova // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. – 2008. – №3(16). – S. 74-76.

**L. Urkhanova**

East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Production of construction materials and articles»

E-mail: urkhanova@mail.ru

**P. Khardaev**

East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude

Doctor of technical sciences, professor, vice-rector

E-mail: office@esstu.ru

**S. Lkhasaranov**

East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude

Candidate of technical sciences, lecturer of the department «Production of construction materials and articles»

E-mail: solbon230187@mail.ru

ЧЕРКАСОВ В.Д., БУЗУЛУКОВ В.И., ЕМЕЛЬЯНОВ А.И.

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДИАТОМИТА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

*Изучены процессы химического модифицирования диатомита растворами минеральных кислот и щелочей. Исследовано влияние добавки на основе химически модифицированного диатомита на основные свойства цемента, такие как сроки схватывания, нормальную плотность цементного теста, равномерность изменения объема, прочность, кинетику набора прочности. Приведены результаты рентгеноструктурных исследований, свидетельствующие об активном участии модифицированного диатомита в процессах структурообразования в цементных системах.*

**Ключевые слова:** диатомит, цемент, химическое модифицирование, рентгеноструктурный анализ, свойства.

Природные кремнеземсодержащие минералы широко используются в строительстве в качестве компонентов теплоизоляционных материалов, товарных бетонов и других цементсодержащих композитов. К высококремнеземистым сырьевым материалам относится и диатомит. Средняя плотность диатомита в сухом состоянии колеблется в пределах 150-600 кг/м<sup>3</sup>. Диатомит в природном состоянии обладает способностью к адсорбции, плохой теплопроводностью, тугоплавкостью и кислотостойкостью, а также мелкой, равномерно распределенной, преимущественно замкнутой пористостью, достигающей 80-85%. Благодаря сильно развитой поверхности и большому содержанию кремнезема, в основном аморфного строения, диатомит относительно легко подвергается химическому модифицированию.

Эффективность использования диатомита в качестве активной минеральной добавки в цементосодержащие системы зависит в основном от степени химического связывания продуктов гидратации цемента (главным образом  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) с силанольными и силоксановыми группами с образованием гидрокальциевых силикатов на поверхности частиц кремнезема. Эти новообразования будут служить дополнительными центрами кристаллизации цемента. Поэтому одним из направлений повышения активности диатомита является увеличение количества этих групп на поверхности кремнезема. Последнее можно достичь, например, в результате обработки диатомита растворами минеральных кислот. Основное значение имеют реакционно-способные силанольные группы расположенные на поверхности кремнезема, а не содержащиеся глубоко в его структуре, которые труднодоступны для растворенных продуктов гидратации цемента. С другой стороны, гидрокальциевосиликатные группы на поверхности частиц диатомита можно получить путем обработки диатомита раствором гидроксида кальция. Модифицированный таким образом диатомит можно будет использовать в качестве добавки-затравки [1] процессов кристаллизации гидратов в цементных системах.

На основании вышеизложенного, целью настоящей работы являлось изучение процессов химического модифицирования диатомита растворами минеральных кислот и щелочей, влияния полученных активных минеральных добавок на такие свойства цемента как сроки схватывания, нормальную плотность цементного теста, равномерность изменения объема цемента, прочность, кинетику набора прочности, а также выявлению роли этих добавок в процессах структурообразования в цементных системах.

Для установления изменений в составе диатомита в результате модифицирования минеральными кислотами и щелочами, был проведен химический анализ исходного и модифицированного диатомита. Согласно полученным данным (табл. 1), в модифицированном соляной кислотой диатомите наблюдается значительное увеличение содержания оксида кремния по сравнению с природным диатомитом. Это объясняется тем, что в ходе химического взаи-

модействия кислот с диатомитом образуются соединения, которые удаляются в процессе фильтрования конечного продукта. Поэтому в образцах возрастает относительное содержание оксида кремния за счет уменьшения массовой доли других оксидов. В условиях модифицирования диатомита гидроксидом кальция происходит химическое взаимодействие исходных веществ, что так же подтверждается результатами химического анализа (табл. 1). В исходном диатомите происходит увеличение относительного содержания CaO и уменьшение SiO<sub>2</sub> и других оксидов, входящих в состав диатомита. Такие изменения связаны с тем, что на поверхности кремнезема происходит замена протона силанольной группы на ион кальция, то есть происходит как бы замена части атомов кремния на поверхности на ионы кальция.

Таблица 1 – Химический состав и общая пористость модифицированного диатомита

№ п/п	Модифицирующий компонент	Содержание оксидов, мас. %						Пористость, %
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	п.п.п.	
1	Диатомит немодифицированный*	76,2	11,9	4,7	1,5	1,1	4,6	70
2	Хлористоводородная кислота	87,2	6,1	1,1	0,6	0,5	4,5	66
3	Гидроксид кальция	68,6	6,0	2,3	14,8	1,2	7,1	64

\* – диатомит Инзенского месторождения, Ульяновской области

Как и предполагалось, при модифицировании диатомита кислотой происходит увеличение количества силанольных и силоксановых групп. Качественный анализ методом ИК-спектроскопии показал, что интенсивность полос поглощения при 474 см<sup>-1</sup> и в области 1000...1500 см<sup>-1</sup> относящихся соответственно к деформационным δ (≡Si-OH) и валентным асимметричным ν<sub>as</sub>(≡Si-O-Si≡) колебаниям группы кремний – кислород, значительно возрастает после обработки диатомита кислотами. Небольшое понижение пористости диатомита (таблица 1) может быть связано с процессами массопереноса самого кремнезема, которые возможны в пористых телах при их химическом модифицировании в водных средах [2-4].

Как известно тонкомолотый дисперсный наполнитель, вводимый в состав вяжущего, может существенным образом изменить реологические и структурно-механические свойства вяжущего. С увеличением степени наполнения цемента тонкомолотой минеральной добавкой, как правило, повышается его водопотребность. Проведенные исследования показали, что разработанные добавки мало влияют на водопотребность модифицированного портландцемента. Из таблицы 2 видно, что нормальная густота цементного теста слабо изменяется при введении добавок.

Таблица 2 – Реологические свойства портландцемента с добавками

Наименование показателей	Цемент с диатомитом модифицированным		Цемент без добавки
	Соляной кислотой	Гидроксидом кальция	
Сроки схватывания, час:			
- начало схватывания	1 час 34 мин.	1 час 56 мин.	1 час 20 мин.
- конец схватывания	3 часа 57 мин.	4 часа 27 мин.	4 часа 01 мин.
Нормальная густота, %	27,3	27,4	28

Для составов вяжущих с диатомитом модифицированным соляной кислотой наблюдается небольшое сокращение сроков схватывания цемента по сравнению с контрольным составом (без добавки). Это обусловлено тем, что кремнезем диатомита, выступая в роли активной гидравлической добавки, связывает образующийся в процессе твердения цемента гидроксид кальция в низкоосновные гидросиликаты кальция, что приводит к ускорению процессов структурообразования. Незначительное увеличение сроков схватывания наблюдается у портландцемента с диатомитом модифицированным гидроксидом кальция.

Изучение влияния модифицированного диатомита на равномерность изменения объема цемента показало, что в присутствии указанных добавок объем цемента изменялся равномерно. Так лепешки из цемента в присутствии добавок не имели трещин, в то время как лепешки из цементного теста без добавок имели единичные трещины.

Эффективность кислотного и щелочного модифицирования оценивалась по влиянию диатомита на прочностные свойства затвердевшего цемента различного состава (рис. 1). Проведенные исследования показали, что введение в цементные системы диатомита модифицированного кислотой в количестве 2% от массы цемента способствует повышению прочности цементного камня на сжатие до 37%, а диатомита модифицированного щелочью в том же количестве – на 30%. По-видимому, модифицированный диатомит в данном случае, выступает в качестве регулятора процессов структурообразования в затворенном цементе, благодаря частичному связыванию образующегося гидроксида кальция в низкоосновные гидросиликаты кальция на поверхности частиц кремнезема. Следует отметить, что состав цементного композита (в присутствии модифицированного диатомита) при котором наблюдается максимальная прочность затвердевшего цемента (после 28 суток твердения при н.в.у.) зависит от массового соотношения диатомит:кислота в модифицирующей системе – чем меньше кислоты, тем большее количество модифицированного диатомита необходимо вводить цемент.

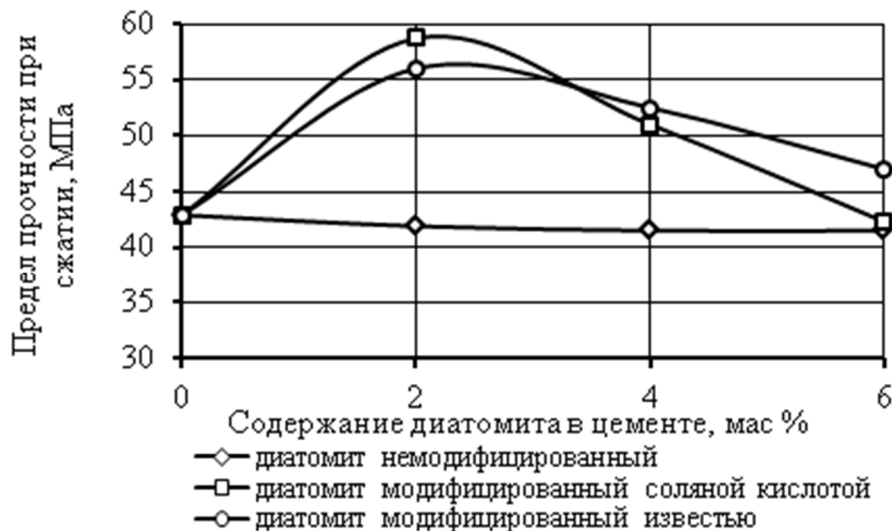


Рисунок 1 – Влияние химически модифицированного диатомита на прочность цемента при сжатии

Важным показателем эксплуатационных свойств бетонов является кинетика твердения их в определенных воздушно-влажностных условиях. Результаты сравнительного исследования влияния модификаторов на основе диатомита на набор прочности портландцемента приведены на рисунке 2. Как следует из представленного рисунка, в интервале 28 суток наблюдений, происходит более быстрый набор прочности у портландцемента с добавками модифицированного диатомита по сравнению с набором прочности у портландцемента бездобавочного, что может свидетельствовать о более интенсивном протекании процессов структурообразования в первом случае.

Для изучения структурных изменений происходящих в цементных композитах, как с добавкой модифицированного диатомита, так и без добавки были проведены рентгеноструктурные исследования на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6 с ионизационной регистрацией интенсивности рентгеновских лучей. Снятие рентгенограмм производилось через 28 суток твердения. Идентификация фаз производилась по наиболее интенсивным линиям (рис. 3).

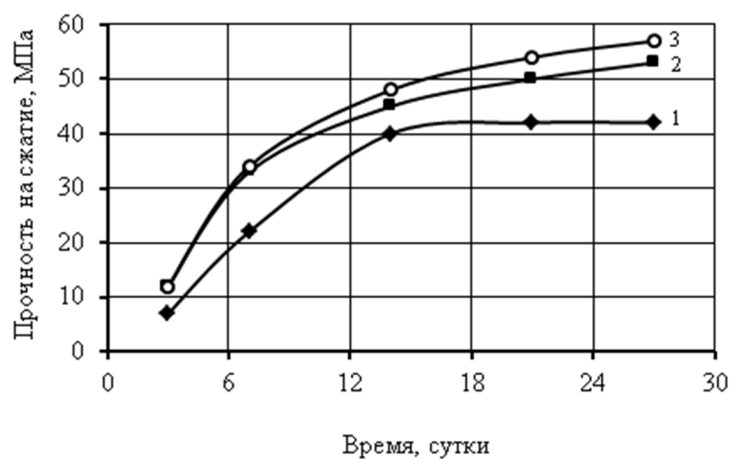


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности смешанного вяжущего  
 1 – портландцемент; 2 – портландцемент с добавкой диатомита модифицированного гидроксидом кальция; 3 – портландцемент с добавкой диатомита модифицированного соляной кислотой

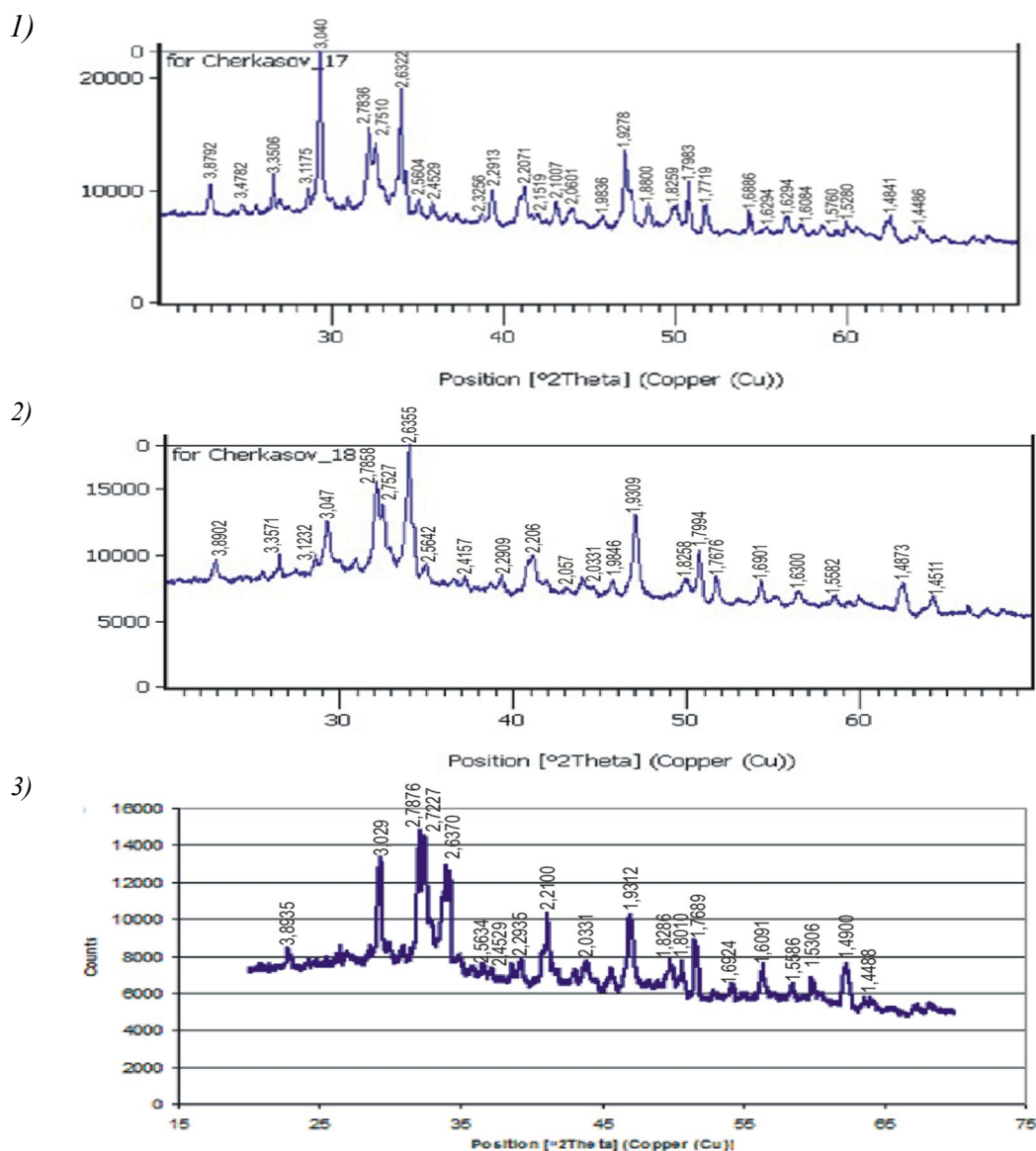


Рисунок 3 – Рентгенограммы цементного камня после 28 суток твердения  
 1 – с диатомитом модифицированным гидроксидом кальция; 2 – с диатомитом модифицированным соляной кислотой; 3 – без добавок

Рентгеноструктурный анализ показал, что в цементном камне с модифицированной добавкой остаточное количество безводных силикатных фаз  $C_3S$  (2,776 и 2,73 Å) и  $C_2S$  (2,785 и 2,748 Å) в возрасте 28 суток понижено, что свидетельствует об активации процессов гидратации в цементах со всеми видами добавок. Установлено, что в цементах с добавкой модифицированного диатомита известь вступает во взаимодействие с аморфным кремнеземом диатомита с образованием на поверхности его частиц гидросиликатных структур, осаждающихся на частицах микронаполнителя (добавки). В цементах с добавкой модифицированного диатомита отражения силикатных структур имеют многоступенчатый вид, что свидетельствует о том, что на поверхности цементных зерен в местах выхода силикатных минералов в присутствии гидратной извести и модифицированного диатомита образуются тонкодисперсные деформировано-напряженные гидросиликатные структуры различного строения, которые способствуют повышению прочности цементного камня с добавками. Таким образом, результаты рентгенофазного анализа свидетельствуют об активном участии частичек модифицированного диатомита в процессах структурообразования в цементных системах.

На основании вышерассмотренного материала, можно заключить, что локальное изменение структуры и природы поверхности частиц диатомита на микроуровне химическими методами позволяет повысить эффективность использования природного диатомита в строительстве, а также расширить ассортимент применяемых дешевых упрочняющих добавок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон [Текст] / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1973. – 207 с.
2. Айлер, Р. Химия кремнезема [Текст] / Р. Айлер. – М.: Мир, 1982, Т. 2. – 706 с.
3. Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе, хроматографии [Текст] / Под ред. Г.В. Лисичкина. – М.: Химия, 1986. – 248 с.
4. Lebeda R., Charnas B. Sidorchuk V.V. // Adsorp. Sci. a. Technol, 1997. – V. 15. – №3. – P. 189-214.

#### **В.Д. Черкасов**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика»  
Тел.: +7 (8342) 47-37-13  
E-mail: cherkasov-vd@yandex.ru

#### **В.И. Бузулуков**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Физическая химия»  
Тел.: +7 (8342) 76-54-74  
E-mail: buzulukov-v@mail.ru

#### **А.И. Емельянов**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика»  
Тел.: +7 (8342) 73-06-97  
E-mail: emeljanovai@list.ru

---

V. CHERKASOV, V. BUZULUKOV, A. YEMELYANOV

## THE INFLUENCE OF THE METHOD OF THE MODIFICATION OF DIATOMITE ON THE PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES

*We studied the processes of chemical modification of diatomite solutions of mineral acids and alkalis. The influence of additives on the basis of chemically modified diatomaceous earth on the basic properties of cement such as setting time, the normal density of the cement paste, the uniformity of volume changes, the strength, the kinetics of curing. The results of x-ray diffraction studies, which demon-*



*strate the active participation of modified diatomite in the processes of structure formation in cement systems.*

**Keywords:** *diatomite, cement, chemical modification, x-ray analysis, properties.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Ratinov, V.B. Dobavki v beton [Tekst] / V.B. Ratinov, T.I. Rozenberg. – M.: Strojizdat, 1973. – 207 s.
2. Ajler, R. Himija kremnezema [Tekst] / R. Ajler. – M.: Mir, 1982, T. 2. – 706 s.
3. Modificirovannye kremnezemy v sorbcii, katalize, hromatografii [Tekst] / Pod red. G.V. Lisichkina. – M.: Himija, 1986. – 248 s.
4. Leboda R., Charmas V. Sidorchuk V.V. //Adsorp. Sci. a. Technol, 1997. – V. 15. – №3. – P. 189-214.

### V. Cherkasov

N.P. Ogarev's Mordovian state university, Saransk

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Applied mechanics»

Ph.: +7 (8342) 47-37-13

E-mail: cherkasov-vd@yandex.ru

### V. Buzulukov

N.P. Ogarev's Mordovian state university, Saransk

Doctor of technical sciences, professor of the department «Physical chemistry»

Ph.: +7 (8342) 76-54-74

E-mail: buzulukov-v@mail.ru

### A. Yemelyanov

N.P. Ogarev's Mordovian state university, Saransk

Candidate of technical sciences, assistant professor of the department «Applied mechanics»

Ph.: +7 (8342) 73-06-97

E-mail: emeljanovai@list.ru

ШАБАНОВ В.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАДЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ЖИДКОСТИ ПЕРЕМЕННОЙ ВЯЗКОСТИ

*В статье рассматривается модель жидкости переменной вязкости. Вязкость жидкости меняется по экспоненциальному закону в зависимости от времени движения. Показатель экспоненты может быть положительным, отрицательным и равным нулю. В последнем случае имеет место падение в жидкости постоянной вязкости. Составлено дифференциальное уравнение движения с учетом сил инерции. Найдено решение для скорости падения. Построены эпюры скоростей для различных показателей экспоненты.*

**Ключевые слова:** жидкость переменной вязкости, падение частицы, скорость падения.

В прикладной строительной науке широко используются математические модели движения жидкости, опирающиеся на понятия идеальной и вязкой жидкости.

Движение идеальной жидкости, как известно, описывается уравнениями Эйлера, а движение вязкой – уравнениям Навье-Стокса.

Они применяются при решении задач фильтрации, проникновения жидкости в пористую среду, задач оседания частиц в потоке и т.п.

В частности, при решении задач с использованием уравнения Навье-Стокса, вязкость жидкости считается постоянной.

Однако, большинство материалов, применяемых в строительной практике, которые рассматриваются как жидкости, обладают переменной вязкостью.

Нами рассматривался процесс проникновения битума в крупнопористый бетон, с целью создания водонепроницаемого элемента в плотине [1]. Битум считался материалом с переменной вязкостью, зависящей от температуры.

Обработка справочных данных и собственных исследований показала, что зависимость вязкости битума от температуры, в интервале 120-200°C хорошо аппроксимируется экспонентой (коэффициент корреляции  $r^2 > 0,98$ ).

Также исследовалась зависимость глубины проникновения битума различной температуры в насыпь из щебня от температуры битума. Битум в процессе проникновения остывал, вязкость его возрастала, и он зависал в порах. Искомая зависимость также описывается экспонентой.

На основании исследований сделан вывод: вязкость битума или битумоподобных материалов при их взаимодействии с пористой средой может быть представлена в виде экспоненты от одного из следующих аргументов – температуры, координаты или времени.

Используем приведенные выше результаты к исследованию процесса оседания частицы в жидкости переменной вязкости, зависящей от времени.

Пусть частица движется в жидкости вдоль оси  $x$ , направленной вверх, как это показано на рисунке 2.

Составим уравнение движения частицы, для чего спроектируем все силы на ось  $x$ :

$$F_2 = F_1 - F_3.$$

Сила сопротивления движению  $F_3$  зависит от скорости оседания частицы и вязкости жидкости.

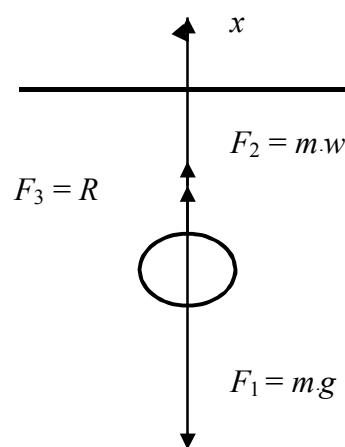
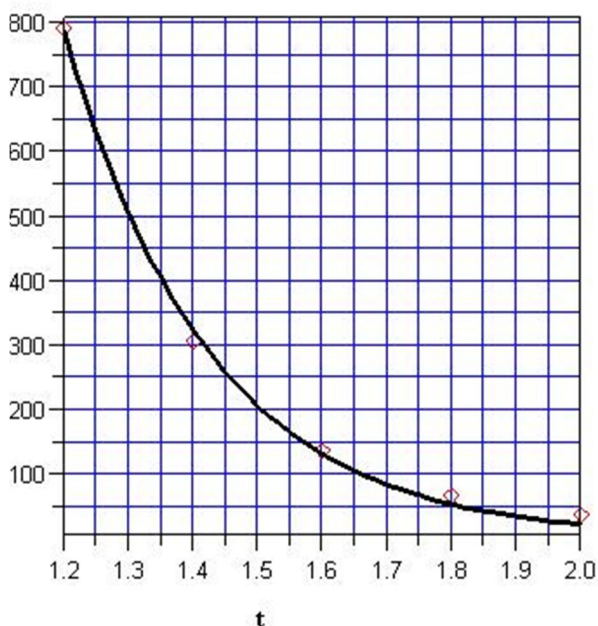
Рассмотрим случай зависимости силы сопротивления от первой степени скорости. Будем также считать, что вязкость меняется по экспоненциальному закону.

Ускорение  $w = \frac{d^2x}{dt^2}$ , скорость движения  $v = \frac{dx}{dt}$ . Тогда  $F_3 = rv \exp(bt)$ .

Разделив все силы, входящие в уравнение движения на массу частицы и обозначив  $a = r/m$ , получим окончательно уравнение движения в таком виде:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g - a \frac{dx}{dt} \exp(b \cdot t), \quad (1)$$

$b$  – постоянная, зависящая от свойств жидкости.



$F_1$  – вес частицы в жидкости;  
 $F_2$  – сила инерции;  
 $F_3$  – сила сопротивления движению.

Рисунок 1 – Зависимость вязкости битума от температуры      Рисунок 2 – Силы, действующие на частицу

В данное уравнение явно не входит время, и оно допускает понижение порядка. Обозначим  $\frac{dx}{dt} = v$ ,  $\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt}$ , получим:

$$\frac{dv}{dt} = g - av \exp(bt). \quad (2)$$

Решение данного уравнения имеет вид:

$$v = \left( -\frac{gEi(1, -\frac{a \exp(bt)}{b})}{b} + \frac{gEi(1, -\frac{a}{b})}{b} \right) \exp(-\frac{a \exp(bt)}{b}). \quad (3)$$

Здесь  $Ei$  – экспоненциальный интеграл.

Рассмотрим эпюры скоростей для различных законов изменения вязкости – изменения параметра  $b$ .

Случай постоянной вязкости, вязкости, не зависящей от времени.

В этом случае  $b = 0$ . Однако, решение становится неопределенным. Поэтому примем  $b$  настолько малым, при котором  $\exp(bt) \cong 1$  во всем диапазоне изменения  $t$ .

График изменения скорости от времени представлен на рисунке 1.

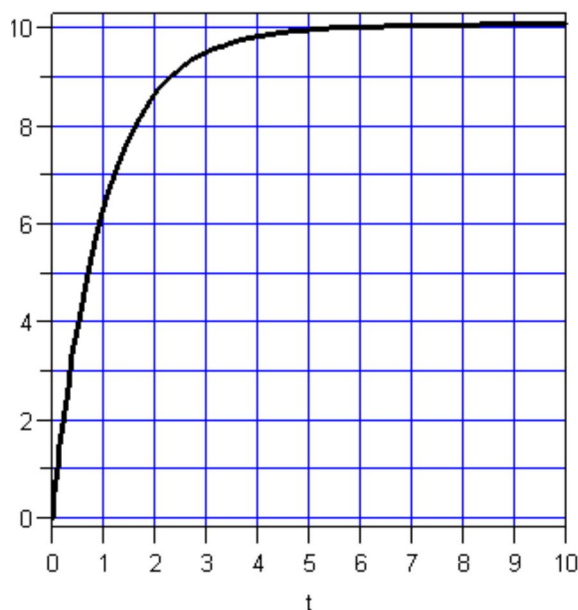
На нем видны два участка:

- участок возрастания скорости от начальной нулевой до некоторой постоянной;
- участок движения частицы с постоянной скоростью, равной гидравлической крупности.

Были также рассчитаны скорости движения частиц в жидкости, вязкость которой со временем возрастает  $b > 0$ . Это нижняя пунктирная кривая на рисунке 1.

Были также рассчитаны скорости движения частиц в жидкости, вязкость которой со временем убывает  $b < 0$ . Это верхняя пунктирная кривая на рисунке 3.

На этом же рисунке сплошной линией, для сравнения, представлен график изменения скорости падения частицы в жидкости с постоянной вязкостью.

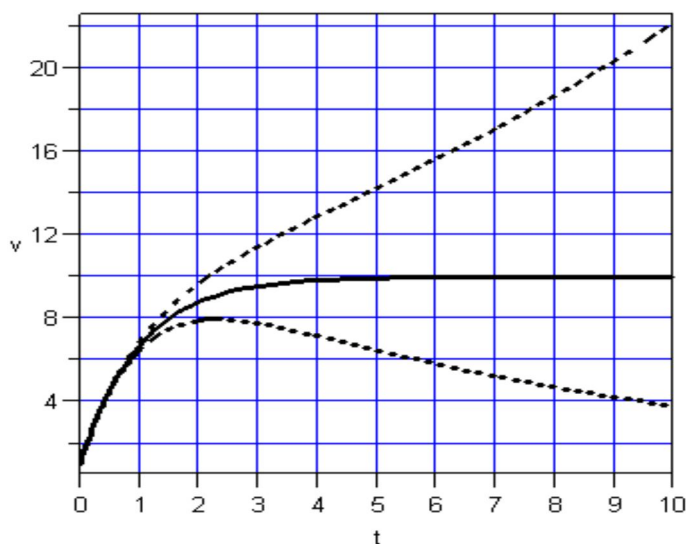


*Рисунок 3 – Изменение скорости падения частицы в жидкости постоянной вязкости*

Проводя сравнительный анализ графиков изменения скоростей падения частицы, можно отметить следующее:

- график скорости падения частицы в жидкости с возрастающей вязкостью имеет восходящую ветвь, соответствующую началу движения, набору скорости. Этот набор происходит в условиях возрастания вязкости. Достигнув максимума, скорость начинает падать, и возможна остановка частицы. Такое движение возможно в битуме, который постепенно остывает.

- скорость падения частицы в жидкости с уменьшающейся вязкостью непрерывно возрастает от начала движения до оседания. Этот тип движения может быть в смолах в период их полимеризации и разогрева.



*Рисунок 4 – Графики изменения скоростей в зависимости от вязкости среды*

Для решения дифференциального уравнения и подготовки иллюстраций была использована система компьютерной математики Maple 10.

Рассмотрены частные случаи движения частицы в жидкости переменной вязкости, которая меняется по экспоненте. Если же вязкость меняется по иному закону, то её можно приближенно выразить через экспоненту.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабанов, В.А. Экспериментальное исследование проникновения вязкой жидкости в пористую среду [Текст] / В.А. Шабанов, А.А. Михасек // Известия вузов. Строительство – 2006. – №11-12. – С. 52-56.

### **В.А. Шабанов**

Самарский государственный архитектурно-строительный университет, г. Самара

Кандидат технических наук, профессор

E-mail: shabanov@samgasu.ru

---

V. SHABANOV

## STUDY OF A PARTICLE FALLING IN A VARIABLE VISCOSITY FLUID

*The article discusses the model of variable viscosity fluid. The fluid viscosity varies exponentially in time-dependent motion. The exponent index can be positive, negative, and zero. In the latter case it is a drop in the fluid of constant viscosity. Differential equation of motion taking into account the inertia forces were proposed. Solution for velocity of falling was found. There were plotted velocities for various cases of exponent index.*

**Keywords:** variable viscosity, fluid particle's falling, velocity of falling.

## BIBLIOGRAPHY

1. Shabanov, V.A. Jeksperimental'noe issledovanie pronikovenija vjazkoj zhidkosti v poristuju sredu [Tekst] / V.A. Shabanov, A.A. Mihasek // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo – 2006. – №11-12. – S. 52-56.

### **V. Shabanov**

Samara state university of architecture and civil engineering, Samara

Candidate of technical sciences, professor

E-mail: shabanov@samgasu.ru

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями**  
**к оформлению научных статей**

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**В тексте статьи** не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

**С полной версией требований к оформлению научных статей**  
**Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-unprk.ru](http://www.gu-unprk.ru)**

*Адрес учредителя журнала*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)  
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29  
+7 (4862) 42-00-24  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: unpk@ostu.ru

*Адрес редакции*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)  
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.  
+7 (4862) 73-43-49  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов  
Компьютерная верстка С.В. Солопов  
Дизайн обложки И.И. Стрельникова

Подписано в печать 27.01.2015 г.  
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 11,69.  
Тираж 400 экз.  
Заказ №85/15П1

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической  
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.