

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РФ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
**СТРОИТЕЛЬСТВО**

Научно-теоретический журнал  
Издается с марта 1958 г.  
Выходит один раз в месяц

№ 6 (678)  
Июнь 2015 г.

Главный редактор В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.

В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.

В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.

В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)

Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)

Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.

Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.

Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.

Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Тел./факс +7 (383) 266 28 59

[www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 26.06.15. Формат 70×108  $\frac{1}{16}$   
Усл. печ. л. 9,63+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 8333

ООО «Партнеры Сибири»,  
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2015

**СОДЕРЖАНИЕ**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

Тихомиров В.М., Астахов Ю.В., Самошкин А.С. Исследование стадии обжигания элемента бетонной конструкции, армированной канатом ..... 5

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

Абдрахимов В.З., Рошупкина И.Ю., Колпаков А.В., Кайракбаев А.К. Структурированный высокопористый материал на основе жидкого стекла для теплоизоляции трубопроводов .... 14

Безбородов В.Г. Структурирование глинистой керамики стеклом, синтезированным из растворов солей и кремнеэтилового эфира 23

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Герасимов В.В., Коробова О.А., Исаков А.К., Сафарян Г.Б. Управление безопасностью эксплуатационного периода строительных объектов ..... 27

Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Никифорова Е.Н., Гусев Б.Н. Разработка методики формирования конкурентоспособного ассортимента предприятия по производству строительных материалов ..... 37

<b>ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО</b>	
<b>Гахова Л.Н., Кузнецова Ю.А.</b> Математическое моделирование напряженного состояния сталежелезобетонных турбинных водоводов в трехмерной постановке ...	43
<b>САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА</b>	
<b>Сальва А.М.</b> Магистральное и групповое водоснабжение населенных пунктов в за-речных районах Центральной Якутии .....	50
<b>НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ</b>	
<b>Акимова М.И., Чечулина А.С.</b> Уплотненная застройка крупных городов: зару-бежный и отечественный опыт .....	55
<b>Панчуков Н.А.</b> Об одном виде пространственной конструкции и особенностях ее использования через информационное моделирование .....	63
<b>НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ</b>	
<b>Букреев В.И., Дегтярев В.В., Чеботников А.В.</b> Гравитационные волны в про-дольно колеблющемся контейнере .....	74
<b>Высоцкий Л.И.</b> О константе Кармана. Часть I .....	81
<b>Кузавов В.Т.</b> Кавитационное разрушение материалов в спиральных структурах в постановке вибрационной эрозии .....	90
<b>Плевков В.С., Уткин Д.Г.</b> Работа сталефиброжелезобетонных элементов при кратковременном динамическом нагружении .....	95
<b>Романенко В.С., Богданов В.С.</b> Методика расчетов конструктивно-технологиче-ских параметров горизонтальной валковой мельницы .....	104

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF CONSTRUCTION

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**NEWS OF HIGHER  
EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

# **CONSTRUCTION**

**Scientific-theoretical journal**

**Published since March 1958**

**Monthly**

**N 6 (678)**

June 2015

*Editor-in-Chief* V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,  
Honour. Mem. RAACS

*Editorial Board:*

A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS

V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS

V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.

V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)

G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor- in-Chief)

L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.

Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS

Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.

V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS

Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.

Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

*The editorial office's address:*

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008

Phone number/fax +7 (383) 266 28 59

 [www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) E-mail: [izvuz\\_str@sibstrin.ru](mailto:izvuz_str@sibstrin.ru)

## **CONTENTS**

### **BUILDING CONSTRUCTIONS**

**Tikhomirov V.M., Astakhov Yu.V., Samoshkin A.S.**

Analysis compressing stage of the stressed concrete construction by cord-reinforced

5

### **BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS**

**Abdrakhimov V.Z., Roshchupkina I.Yu., Kolpakov A.V., Kayrakbaev A.K.**

Structured highly porous material based on liquid glass for thermal insulation of pipelines .....

14

**Bezborodov V.G.** Structuring clay glass ceramics synthesized from solutions of

salts and ether cremeatehnologi .....

23

### **ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION, AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY**

**Gerasimov V.V., Korobova O.A., Isakov A.K., Safaryan G.B.** Security management operational period

of construction sites .....

27

**Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Nikiforova E.N., Gusev B.N.** Methods of

formation of competitive goods range at a building materials enterprise .....

37

### **HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION**

**Gakhova L.N., Kuznetsova Yu.A.** Mathematical mod-

elling of the stressed state

of steel reinforced concrete turbine conduits in three-dimensional statement .....	43
<b>SANITARY ENGINEERING</b>	
<b>Salva A.M.</b> Trunk group and the water supply of populated points in zarechny areas of Central Yakutia .....	50
<b>SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY</b>	
<b>Akimova M.I., Chechulina A.S.</b> Infill development of large cities: internal and external experience .....	55
<b>Panchukov N.A.</b> One form of spatial structures and characteristics of use through information modelling .....	63
<b>SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION</b>	
<b>Bukreev V.I., Degtyarev V.V., Chebotnikov A.V.</b> The gravitational waves in container at lateral excitation .....	74
<b>Vysotskiy L.I.</b> About constant Karman. Part I .....	81
<b>Kuzavov V.T.</b> Cavitational destruction of materials in spiral structures in vibrational erosion approach .....	90
<b>Plevkov V.S., Utkin D.G.</b> The work of steel fibre reinforced concrete constructions in the short-term dynamic loading .....	95
<b>Romanenko V.S., Bogdanov V.S.</b> Method of computation of constructive-technological parameters of the horizontal roller mill .....	104

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 691:620.17:624.012.44

В.М. ТИХОМИРОВ, Ю.В. АСТАХОВ, А.С. САМОШКИН

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАДИИ ОБЖАТИЯ ЭЛЕМЕНТА БЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ, АРМИРОВАННОЙ КАНАТОМ

Важным направлением совершенствования строительной отрасли железобетонных конструкций является расширение применения предварительно напряженных элементов с использованием эффективных видов металлической арматуры.

Работоспособность предварительно напряженных железобетонных конструкций в значительной мере определяется сцеплением арматуры с бетоном и работой концевых участков изгибаляемых конструкций.

В работе проведены экспериментальные исследования стадии обжатия преднапряженных бетонных образцов, армированных канатом Ø15K7. Получены характеристики сцепления каната с бетоном и измерены продольные деформации на поверхности бетона в процессе отпуска канатной арматуры. На основе экспериментальных данных построена численная модель обжатия бетонной конструкции, где были использованы соотношения технической теории сцепления и идеальной текучести бетона в контактной зоне. Сравнение расчетных результатов с опытными данными показало их хорошее соответствие.

**Ключевые слова:** преднапряженная бетонная конструкция, канатная арматура, численное моделирование, идеальная текучесть.

Многочисленные экспериментально-теоретические исследования сцепления арматуры с бетоном выявили сложный характер работы участков передачи усилия с арматуры на бетон — нелинейность деформирования и во многом неопределенный характер распределения касательных напряжений по длине зоны передачи усилия.

Между тем в современных нормах в России и за рубежом распределение эпюор касательных напряжений сцепления рассматривается равномерным. В основе оценки сцепления лежит длина зоны передачи напряжений или величина втягивания арматуры на свободном торце элемента при обжатии, так называемый феноменологический подход, основанный на традиционно рассматриваемом оценочном факторе сцепления — величине смещения арматуры относительно бетона.

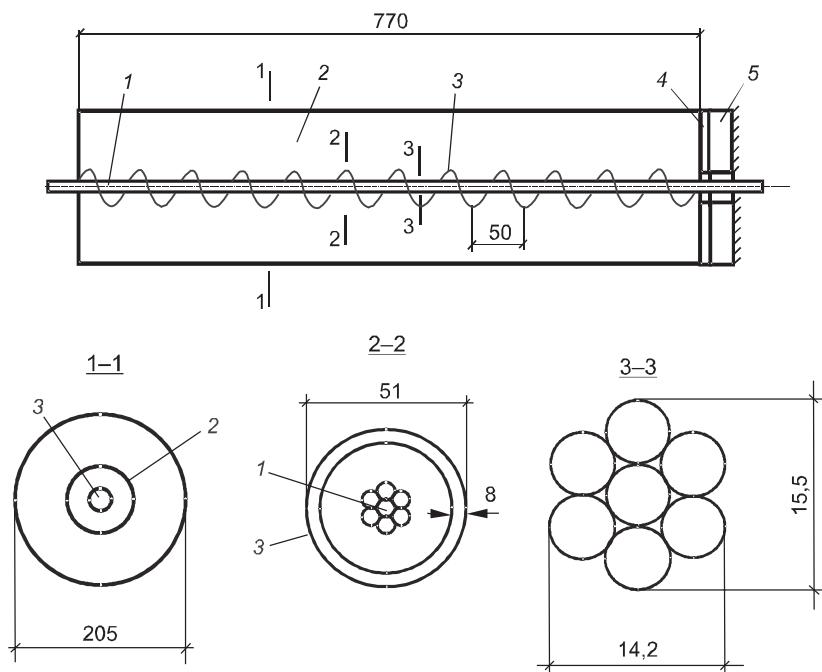
Современный уровень развития теории железобетона требует более точных методов, с помощью которых можно учитывать проявления нелинейности в зоне сцепления. Современный путь решения проблемы сцепления состоит в рациональном использовании экспериментальных данных для создания численных алгоритмов расчета напряженно-деформированного состояния контактной зоны. При этом используются следующие направления моделирования контактной задачи сцепления:

— модель с введением фиктивного контактного слоя [1];

- упругопластическая модель с учетом разрушений [2, 3];
- упругопластическая модель с учетом повреждаемости бетона [4].

Данная работа объединяет экспериментальные исследования бетонной конструкции, армированной канатом Ø15K7, на стадии ее обжатия с численным моделированием и развивает новое направление моделирования контактной задачи, предложенное авторами в работах [5, 6].

**1. Экспериментальное исследование бетонной конструкции, армированной канатом.** Для экспериментальных исследований были выбраны цилиндрические центрально-армированные образцы с упором в торец со следующими размерами: диаметр — 205 мм, длина — 770 мм (рис. 1). Основной вид арматуры — это канат Ø15K7. Косвенная арматура выполнялась из стержня Ø8 AIII в виде спирали диаметром 43 мм и шагом 50 мм. Семипроволочный канат (прядь) Ø15K7, изготовленный на Белорецком металлургическом комбинате, был подвергнут низкотемпературному отпуску. Он имел следующие конструктивные характеристики: диаметр пряди — 15,5 мм; диаметр проволок наружного повива — 5,0 мм; диаметр сердечника — 5,5 мм; площадь поперечного сечения —  $A_k = 141,5 \text{ mm}^2$ ; кратность шага свивки — 12.



*Рис. 1. Конструкция опытного образца*

1 — канат Ø15K7; 2 — бетонная обойма; 3 — спиральная косвенная арматура Ø8 AIII;  
4 — фторопластовая прокладка; 5 — промежуточный упор силовой рамы

По испытаниям на растяжение были получены следующие механические характеристики каната: модуль упругости —  $E_k = 1,78 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ; условный предел текучести — 1400 МПа; разрывное усилие — 240,6 кН; временное сопротивление  $\sigma_{uk} = 1700 \text{ МПа}$ ; относительное удлинение при разрыве — 4,5 %.

На первой стадии испытаний в образцах создавалось предварительное натяжение каната с уровнем напряжений  $\sigma_t = 1201,4$  МПа, соответственно контролируемое усилие натяжения  $P_t = 170$  кН. Натяжение каната осуществлялось гидродомкратом ДГС-63-315 с контролем усилия по образцовому манометру. В процессе предварительного натяжения канат натягивали с 30-минутной страховочной и 10%-й перетяжкой по сравнению с контролируемым усилием предварительного натяжения.

Для обеспечения повышенной прочности бетона и, как следствие, повышенной прочности и жесткости сцепления обжатие и испытание внешней нагрузкой проводилось после максимально длительной выдержки — 156 сут. Отпуск усилия предварительного натяжения каната осуществляли при горизонтальном положении силовой рамы (рис. 2).

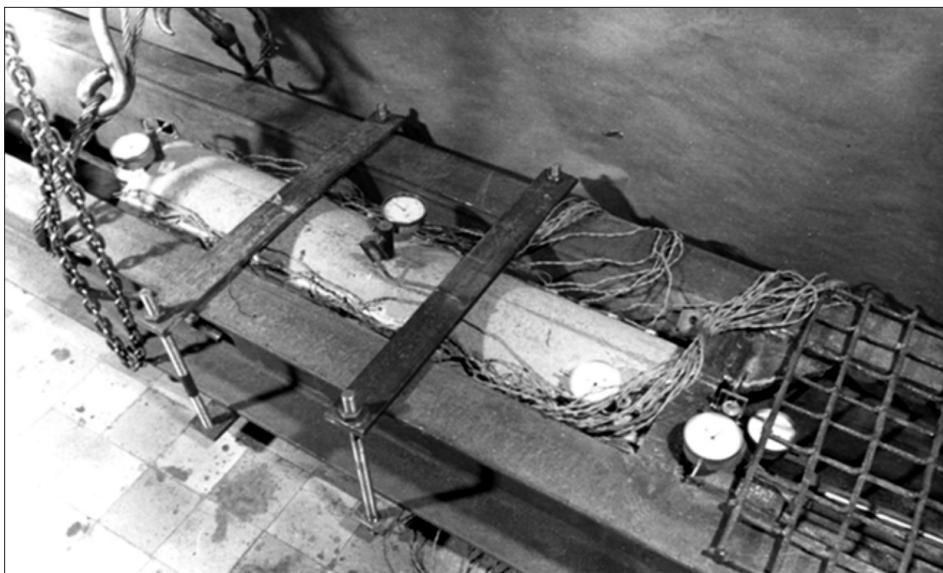


Рис. 2. Вид образца на испытательном стенде

На всех этапах испытания измерялись продольные и поперечные деформации на поверхности образца и смещения каната относительно бетонной обоймы на торцах образца. Измерение деформаций производилось тензорезисторами с базой 50 мм, наклеенными равномерно по четырем образующим на поверхности бетона с шагом 50 мм. Перемещения фиксировались индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Для бетона определялись осредненные зависимости  $\sigma_b - \varepsilon_b$  при сжатии контрольных призм  $10 \times 10 \times 40$  см (рис. 3), а также связь между продольными и поперечными деформациями по мере роста напряжений. Начальный модуль упругости на стадии обжатия составил  $E_b = 3,7 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент поперечной деформации  $v_b$  с увеличением напряжения сжатия от 4 до 40 МПа изменялся в диапазоне от 0,205 до 0,257.

Прочность бетона определялась по испытаниям контрольных кубов на сжатие. К началу обжатия образцов кубиковая прочность бетона в возрасте 156 сут составила 55 МПа, соответственно призменная прочность — 37,3 МПа.

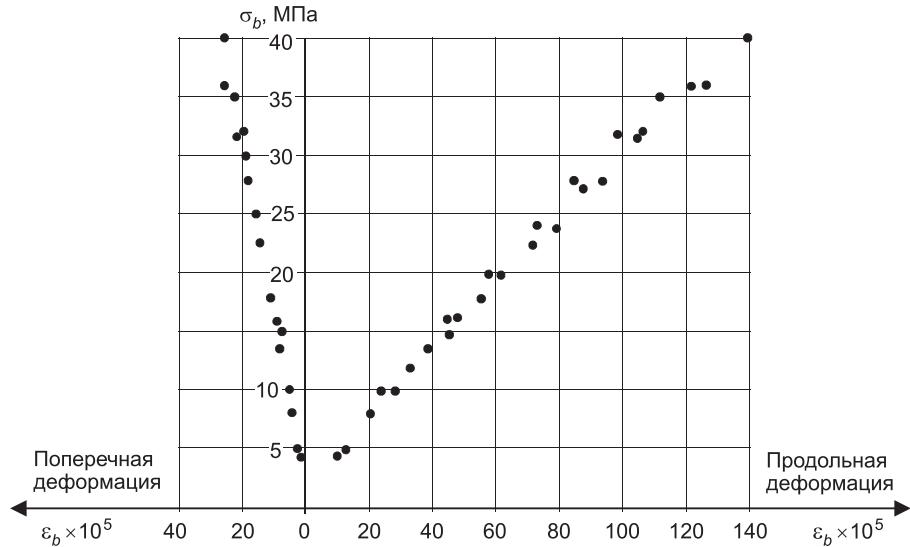


Рис. 3. Диаграмма сжатия бетона

Перед началом испытаний усилие натяжения каната составляло 170 кН. При дальнейшем обжатии образцов усилие отпуска  $P_{ot}$  передавалось с упора на бетон (рис. 4, а) последовательно в четыре этапа: 20, 70, 120 и 170 кН.



Рис. 4. Эквивалентная расчетная схема отпуска натяжения каната (а), эпюра условных напряжений отпуска в канате (б)

Результаты измерений деформаций и перемещений пяти образцов-близнецов на каждом этапе обжатия усредняли. При этом в выборку для каждого образца включались деформации бетона по всем четырем образующим с отбраковкой явно недостоверных результатов.

Таким образом, для каждого окончательного значения деформации бетона исходными были 20 измерений. Отбраковку результатов первичных данных проводили за пределами интервала  $\pm 2S$ , где  $S$  — среднеквадратичное отклонение. При этом в достаточно загруженных сечениях коэффициент вариации составил 0,25...0,3; в малонагруженных сечениях у свободного торца цилиндра изменчивость результатов была больше и коэффициент вариации достигал 0,8. На рис. 5 сплошными линиями показаны осредненные продольные деформации поверхности бетонной обоймы при трех этапах обжатия.

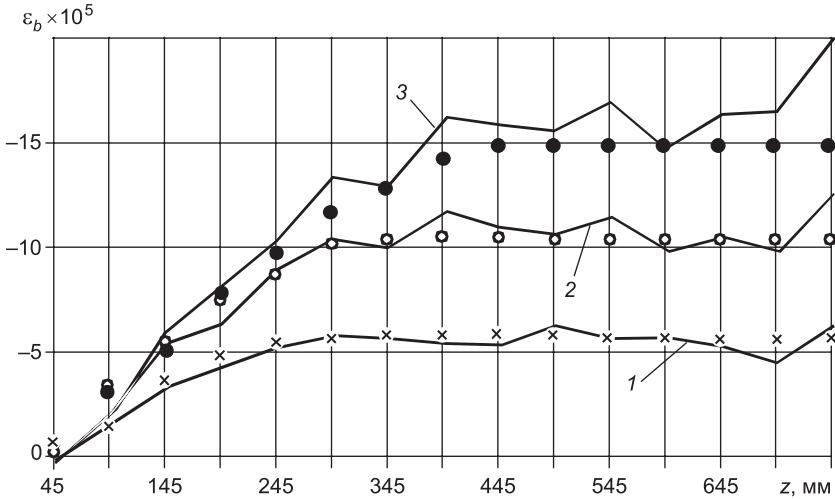


Рис. 5. Результаты измерений и расчета продольных деформаций поверхности образца при передаче на упор усилия

1 — 70 кН; 2 — 120 кН; 3 — 170 кН

Осредненные результаты измерений перемещения каната  $g_0$  относительно ненагруженного торца бетонной призмы представлены на рис. 6 светлыми точками. Здесь  $\sigma_0 = \frac{P_{ot}}{A_k}$  — начальные напряжения отпуска в сечении  $z = 0$  (см. рис. 4, б).

**2. Численное моделирование обжатия бетонного образца.** При численном моделировании была использована аналогия контактных задач и задач теории пластичности сплошной среды [1]. При таком подходе детальное распределение напряжений в зоне контакта каната с бетоном не учитывается, а напряженное деформированное состояние (НДС) в точках контактной зоны моделируется как НДС сплошной упругопластической среды. Однако при определении механических характеристик контактной зоны подходы принципиально различаются. В работе [1] выделяется контактный слой определенного размера, параметры которого рассчитывают индивидуально на каждой стадии деформирования.

В [7] упругопластические характеристики бетона определяются на основании данных испытаний на выдергивание арматуры из длинных бе-

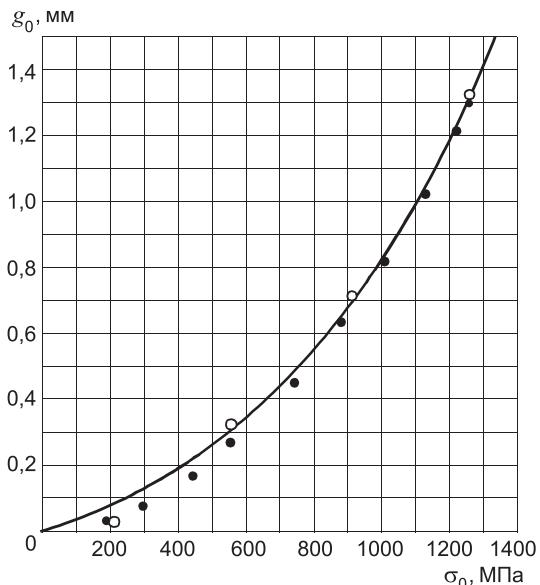


Рис. 6. Экспериментальные  $\circ$  и расчетные  $\bullet$  результаты перемещения каната относительно ненагруженного торца бетонного образца в процессе отпуска

тонных образцов. В [5, 6] бетон моделируют идеально пластическим телом, в результате чего формируется тонкая зона пластичности, которая описывает нелинейное взаимодействие арматуры с бетоном.

Последний подход был использован для решения задачи обжатия бетонного образца, армированного канатом Ø15К7. В этом случае спиральную контактную поверхность можно заменить цилиндрической, а канат — модельной арматурой, гладким сплошным стержнем, диаметр которого определяется из условия равенства площадей поперечного сечения каната и арматуры. В нашем случае диаметр модельного стержня составил 13,4 мм.

Экспериментальные данные о напряжениях в канате  $\sigma_0$  и перемещениях его нагруженного конца относительно бетонной оболочки  $g_0$  аппроксимируем зависимостью [8]

$$g_0 = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp\left(\frac{\sigma_0}{k}\right) - 1 \right], \quad k = \sqrt{\frac{Bp}{A_k \alpha} \cdot \frac{E_k}{(1+n\mu)}}, \quad (1)$$

где  $n = E_k / E_b$ ,  $\mu = A_k / A_b$ ,  $E_k$  и  $E_b$  — модули упругости каната и бетона;  $A_k$  и  $A_b$  — площади сечения каната и бетона;

$p$  — периметр сечения эквивалентного арматурного стержня;

$B$  и  $\alpha$  — постоянные.

После обработки опытных значений напряжений  $\sigma_0$  и смещений  $g_0$  (см. рис. 6) были получены экспериментальные параметры сцепления  $B = 36,4$  МПа и  $\alpha = 4,1$  мм<sup>-1</sup>. Сплошной линией на рис. 6 показана кривая, соответствующая уравнению (1).

Напряжение  $\sigma_s$ , определяющее начало скольжения при численном моделировании контактной зоны, найдем из эмпирического соотношения, полученного в [5]:

$$\sigma_s = 0,5B = 0,5 \cdot 36,4 = 18,2 \text{ МПа.}$$

Расчеты осесимметричной задачи, соответствующей эквивалентной схеме отпуска (см. рис. 4, a), были проведены методом конечных элементов с учетом физической нелинейности и больших деформаций бетона. Поэтому итерационный процесс решения нелинейной задачи строился с использованием метода приращения начальных деформаций [9].

На рис. 6 темными точками показаны результаты расчетов в диапазоне напряжений отпуска  $\sigma_0$  от 0 до 1250 МПа. Можно отметить, что за исключением начальной стадии нагружения данные расчета соответствуют экспериментальным значениям.

Для сравнения с данными испытаний на рис. 5 представлены результаты расчета продольных деформаций при трех этапах обжатия. Здесь крестики соответствуют усилию отпуска 70 кН, светлые точки — 120 кН, темные точки — 170 кН. Эксперимент и расчет хорошо совпадают на первых двух этапах нагружения. Различия при нагрузке 170 кН вызваны деформациями ползучести, которые проявляются при больших уровнях нагружения, несмотря на большую выдержку образцов перед началом испытаний, и не моделируются при проведении расчетов.

Важной характеристикой, позволяющей прогнозировать прочность сцепления арматуры с бетоном, являются погонные усилия сцепления, распределенные по поверхности контакта

$$t = \tau_{rz} \cdot p, \quad (2)$$

где  $\tau_{rz}$  — касательные напряжения.

На рис. 7 представлены расчетные эпюры погонных усилий сцепления и продольных деформаций поверхности бетонной обоймы при нагрузке 120 и 170 кН.

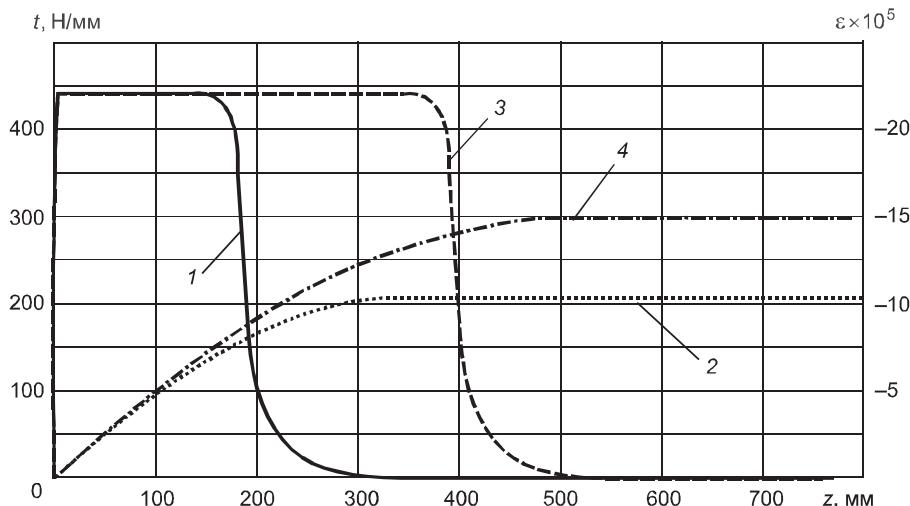


Рис. 7. Распределение погонных усилий сцепления и продольных деформаций при усилии отпуска  $P_{ot} = 120$  кН (кривые 1, 2) и  $P_{ot} = 170$  кН (кривые 3, 4)

Здесь длина горизонтальных площадок на графиках 1 и 3 соответствует размеру пластической зоны, а нелинейные участки на графиках 2 и 4 — зоне перераспределения напряжений в образце. Это показывает, что по таким экспериментальным эпюрам деформаций можно оценить размер зон механического взаимодействия арматуры с бетоном.

**Выходы.** Анализ проведенных исследований показывает:

- адекватность моделирования бетона идеально-пластическим телом за исключением начального участка нагружения;
- удовлетворительное совпадение модельного напряженно-деформированного состояния с экспериментальными данными на удалении от контактной зоны;
- возможность замены реальной арматуры со сложной контактной поверхностью модельным гладким стержнем при численной реализации контактной задачи, учитывая только жесткость арматуры на растяжение без воспроизведения геометрии поверхности;
- необходимость использования при получении экспериментальных данных относительно длинных образцов, т.е. зона нелинейного деформирования по контакту должна быть меньше длины анкеровки;
- возможность оценки размера зоны перераспределения напряжений на концевых участках по эпюре продольных деформаций, измеренных на поверхности бетонной обоймы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаренко, П.П. Контактное взаимодействие арматуры и бетона при кратковременном нагружении [Текст] / П.П. Назаренко. — Самара : Изд-во СамГУПС, 2012. — 171 с.
2. Lundgren, K. A model for the bond between concrete and reinforcement [Текст] / K. Lundgren, K. Gylltoft // Magazine of Concrete Research. — 2000. — N 52 (1). — P. 53–63.
3. Brisotto, D. Simulation bond failure in reinforced concrete by a plasticity model [Текст] / D. Brisotto, E. Bittencourt, V. Bessa // Computers and Structures. — 2012. — Vol. 106–107. — P. 81–90.
4. Soh, C.K. Damage model for concrete-steel interface [Текст] / C.K. Soh, S.P. Chiew, Y.X. Dong // Journal of Eng. Mech. — 1999. — N 125 (8). — P. 979–983.
5. Тихомиров, В.М. Моделирование упругопластического сцепления арматуры с бетоном [Текст] / В.М. Тихомиров, Ю.В. Астахов, А.С. Самошкін // Изв. вузов. Строительство. — 2015. — № 2. — С. 103–109.
6. Тихомиров, В.М. Моделирование взаимодействия арматуры с бетоном с учетом нелинейного деформирования контактного слоя [Текст] / В.М. Тихомиров, Ю.В. Астахов, О.В. Левина // Вестник СГУПСа. — 2014. — № 30. — С. 147–151.
7. Тихомиров, В.М. Экспериментально-расчетное исследование взаимодействия стальной и базальтопластиковой арматуры с бетоном [Текст] / В.М. Тихомиров, Ю.В. Астахов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 11. — С. 128–137.
8. Холмянский, М.М. Бетон и железобетон. Деформативность и прочность [Текст] / М.М. Холмянский. — М. : Стройиздат, 1997. — 569 с.
9. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред [Текст] / О. Зенкевич, И. Чанг. — М. : Недра, 1974. — 239 с.

*ТИХОМИРОВ Виктор Михайлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: twm@stu.ru  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск  
АСТАХОВ Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доц.  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск  
САМОШКІН Антон Сергеевич, асп.; E-mail: anton.stu.nsk@gmail.com  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск*

Получено после доработки 13.05.15

**Tikhomirov Victor Mikhaylovich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: twm@stu.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia  
**Astakhov Yuriy Vladimirovich**, candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia  
**Samoshkin Anton Sergeevich**, post-graduate student; E-mail: anton.stu.nsk@gmail.com, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

## **ANALYSIS COMPRESSING STAGE OF THE STRESSED CONCRETE CONSTRUCTION BY CORD-REINFORCED**

The principal aspect of building sector development of up-to-date reinforced concrete constructions has by escalation of the prestressed structure with use of efficient type reinforced.

The prestressed structure availability determine interaction fiber reinforcement with concrete and the functioning of end section beam.

In paper the experimental research compressing stage of the stressed concrete construction by cord-reinforced has been considered. The characteristics bonding of the cord with concrete and the longitudinal strain distribution on surface concrete in cord tension reduction has been received. The numerical model of concrete construction compression has been designed, in which the perfect yielding mechanism has been used. The comparison of calculating result with experimental data wire theirs good equivalence has been indicated.

**Key words:** prestressed concrete structures, cord-reinforced, numerical modelling, perfect yielding.

REFERENCES

1. Nazarenko, P.P. The contact interaction of fiber reinforcement and concrete under short-loading [Text] / P.P. Nazarenko. — Samara, 2012. — 171 p.
2. Lundgren, K. A model for the bond between concrete and reinforcement [Text] / K. Lundgren, K. Gylltoft // Magazine of Concrete Research. — 2000. — N 52 (1). — P. 53–63.
3. Brisotto, D. Simulation bond failure in reinforced concrete by a plasticity model [Text] / D. Brisotto, E. Bittencourt, V. Bessa // Computers and Structures. — 2012. — Vol. 106-107. — P. 81–90.
4. Soh, C.K. Damage model for concrete-steel interface [Text] / C.K. Soh, S.P. Chiew, Y.X. Dong // Journal of Eng. Mech. — 1999. — N 125 (8). — P. 979–983.
5. Tikhomirov, V.M. The modeling of elastic-plastic interaction fiber reinforcement with concrete [Text] / V.M. Tikhomirov, Yu.V. Astakhov, A.S. Samoshkin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2015. — N 2. — P. 103–109.
6. Tikhomirov, V.M. The modeling of interaction fiber reinforcement with concrete under accounting nonlinear straining of bond layers [Text] / V.M. Tikhomirov, Yu.V. Astakhov, O.V. Levina // Herald of the Siberian Transport University. — 2014. — N 30. — P. 147–151.
7. Tikhomirov, V.M. The experimental-numerical modeling of interaction steel and basaltic fiber reinforcement with concrete [Text] / V.M. Tikhomirov, Yu.V. Astakhov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 11. — P. 128–137.
8. Kholmyanskiy, M.M. Concrete and reinforced concrete. The deformability and strength [Text] / M.M. Kholmyanskiy. — M. : Stroyizdat, 1997. — 569 p.
9. Zenkevich, O. A finite element method in the theory of construction and in the continuum mechanics [Text] / O. Zenkevich, I. Chang. — M. : «Interior», 1974. — 239 p.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.619.8:699.86

В.З. АБДРАХИМОВ, И.Ю. РОЩУПКИНА, А.В. КОЛПАКОВ,  
А.К. КАЙРАКБАЕВ

### СТРУКТУРИРОВАННЫЙ ВЫСОКОПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Впервые предложены методы получения высокопористых материалов при низкотемпературном вспучивании жидкого стекла и наполнителя с однородной мелкопористой структурой. Предложенные методы способствуют равномерному вспучиванию по всему объему и однородности теплоизоляционного материала.

**Ключевые слова:** жидкостекольные композиции, пористые теплоизоляционные материалы, растворимое стекло, хлорид натрия, температура обжига, вспучивание, насыпная плотность.

В работе [1] было показано, что эффективность применения высокопористых материалов в качестве теплоизоляционных зависит от распределения в них пор, причем наибольшей пористостью обладают изделия на основе жидкостекольных композиций. Теплоизоляционные изделия на основе вспученного жидкого стекла включают широкую гамму материалов, основным структурообразующим элементом которых являются продукты термического или химического вспучивания гидратированных щелочных силикатов [2, 3]. Пористость материала на основе жидкого стекла в среднем 90–95 %, макроструктура ячеистая [4]. Большое количество в жидкоком стекле химически связанной воды и быстрый нагрев способствуют получению крупнопористой структуры и низкой средней плотности<sup>1–4</sup>.

Наши исследования показали, что жидкое стекло, благодаря высокой адсорбционной способности и низкой температуре вспучиваемости, может быть использовано для получения теплоизоляционных материалов, а сырьевая база жидкостекольных композиций позволяет использовать не только природные традиционные сырьевые материалы, но и в зна-

<sup>1</sup> Пат. РФ 2455246. С2 C04B 14/00. Композиция для производства пористого заполнителя / В.А. Куликов, Л.В. Журавель, И.В. Ковков, В.З. Абдрахимов; заявл. 22.03.2010; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.

<sup>2</sup> Пат. РФ 2362749. С1 C04B 14/24. Композиция для производства пористого заполнителя / Д.Ю. Денисов, И.В. Ковков, В.З. Абдрахимов, Л.В. Журавель; заявл. 03.12.2007; опубл. 27.07.2009, Бюл. № 21.

<sup>3</sup> Пат. РФ 2433972. С1 C04B 14/24. Композиция для производства пористого заполнителя / В.З. Абдрахимов, В.К. Семенычев, В.А. Куликов, Е.С. Абдрахимова; заявл. 27.04.2010; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32.

<sup>4</sup> Пат. РФ 2361831. С1 C04B 14/24. Композиция для производства пористого заполнителя / Д.Ю. Денисов, В.З. Абдрахимов, И.В. Ковков, А.В. Абдрахимова; заявл. 13.11.2007; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20.

© Абдрахимов В.З., Рощупкина И.Ю., Колпаков А.В., Кайракбаев А.К., 2015

чительных количествах (до 50 % и более в составах по массе) техногенные отложения: отходы горно-обогатительной фабрики при добыче угля и межсланцевую глину<sup>5</sup>; золошлаковый материал от сгорания горючих сланцев<sup>6</sup>; горелые породы<sup>7</sup>; предложен способ получения огнеупорного высокопористого заполнителя с применением отработанного катализатора ИМ-2201 в количестве 80–85 %<sup>8</sup>.

Нами предложены способы получения водостойких пористых заполнителей с использованием жидкого стекла 45–70, хлорида натрия 1–15 и отхода от углеобогащения методом флотации 15–49.

Композиции для производства пористых заполнителей готовили следующим способом<sup>9, 10</sup>: компоненты тщательно перемешиваются, гранулируются и первоначально термообрабатываются при температурах 300–400 °С. После первоначального обжига теплоизоляционные материалы вытаскивают из печи и помещают в другую предварительно нагретую до 800–1000 °С печь. Полученные теплоизоляционные материалы имели плотность 160–400 кг/м<sup>3</sup>.

Для получения высокопористого материала в качестве связующего использовалось товарное натриевое жидкое стекло, физико-химические показатели которого представлены в табл. 1.

В качестве добавки-коагулятора использовался хлористый натрий (ГОСТ 13830–97, производства ОАО «Бассоль»), размолотый до размера менее 0,3 мм.

При производстве теплоизоляционных материалов на основе жидкого стекла при структурировании необходимых реологических параметров, как правило, возникают проблемы:

- на этапе перемешивания (приданье сырьевой смеси гомогенности);
- на этапе формования и способности сохранить приданную форму;
- на этапе получения готового теплоизоляционного материала, в котором целесообразно получить равномерную мелкопористую структуру.

Таблица 1. Физико-химические показатели жидкого стекла

№ п/п	Показатели	Ед. измерения	Величина
1	Содержание кремнезема	%	38,9
2	Содержание оксида натрия	%	10,63
3	Кремнеземистый модуль	—	3,0
4	Силикатный модуль	—	2,9
5	Плотность	г/см <sup>3</sup>	1,45

<sup>5</sup> Пат. РФ 2440312. С1 C04B 14/24. Композиция для производства пористого заполнителя / Е.С. Абдрахимова, И.Ю. Роцупкина, В.З. Абдрахимов, В.А. Куликов; заявл. 31.05.2010; опубл. 20.01.2012, Бюл. № 2.

<sup>6</sup> Пат. РФ 2478084. С2 C04B 14/24. Композиция для производства водостойкого пористого заполнителя / В.З. Абдрахимов; заявл. 01.07.2011; опубл. 27.03.2013, Бюл. № 9.

<sup>7</sup> Пат. РФ 2481286. С2 C04B 14/24. Композиция для производства водостойкого пористого заполнителя / В.З. Абдрахимов, В.К. Семенычев, Е.С. Абдрахимова, Е.В. Вдовина; заявл. 29.06.2011; опубл. 10.05.2013, Бюл. № 13.

<sup>8</sup> Пат. РФ 2470885. С1 C04B 14/24. Способ получения огнеупорного пористого заполнителя / В.З. Абдрахимов; заявл. 13.05.2011; опубл. 27.12.2012, Бюл. № 36.

<sup>9</sup> Пат. РФ 2426710. С1 C04B 38/06. Способ получения пористого заполнителя / В.З. Абдрахимов, В.К. Семенычев, В.А. Куликов, Е.С. Абдрахимова; заявл. 27.04.2010; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23.

<sup>10</sup> Пат. РФ 2476394. С1 C04B 314/24. Способ получения водостойкого пористого заполнителя / В.З. Абдрахимов, В.К. Семенычев, Е.С. Абдрахимова, Е.С. Вдовина; заявл. 29.06.2011; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6.

Являясь гидратированным силикатом натрия и имея высокую адсорбционную способность, жидкое стекло делает процесс перемешивания весьма затруднительным.

В свою очередь, реологические параметры определяются молекулярными силами сцепления между элементами структуры, взаимодействием элементов между собой и с молекулами дисперсионной среды, особенностями их теплового движения [2–4]. Изменяя эти факторы путем подбора композиции жидкого стекла с добавками в системе, можно управлять реологическими свойствами дисперсионных структур и тем самым уменьшать процессы разрушения, протекающие при формировании теплоизоляционного материала.

Реологические свойства непосредственно связаны с кристаллическим строением и физико-химическими свойствами исходных компонентов. Они учитывают изменение толщины гидратных прослоек между частицами дисперсной фазы и количество последних в единице объема, т.е. определяют прочность и реологические особенности поведения подобного рода систем. Это показано в работах [2–4] на полных реологических кривых силикатных дисперсий различного минералогического состава.

Изменение реологических свойств жидкого стекла можно осуществить как за счет химической коагуляции, так и за счет введения инертных порошков<sup>11</sup>. Введение повышенного количества порошкообразных инертных материалов в жидкое стекло переводит его из вязкотекучего сразу в рыхлое состояние. Поэтому в жидкостекольные композиции необходимо вводить добавки-коагуляторы.

Жидкое стекло вступает во взаимодействие практически со всеми химическими соединениями, образуя в основном неформуемые массы, но обладающие пластичностью [2]. Однозначно охарактеризовать характер взаимодействия жидкого стекла с реагентами очень сложно, а иногда это сделать практически невозможно.

Во-первых, это обусловлено сложным и большей частью малоизвестным составом жидкого стекла, которое формально характеризуется силикатным модулем, но характер полимерных превращений его в ходе взаимодействия с реагентами слабо изучен.

Во-вторых, дополнительное затруднение заключается в аморфном состоянии полученных продуктов реакции. Полученные продукты реакции, как правило, имеют нестехиометрический состав и развитую поверхность, при этом большую роль играют в этом случае явления адсорбционного характера, а отличить от химической реакции адсорбцию весьма затруднительно<sup>11–14</sup>.

---

<sup>11</sup> Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. М.: Стройиздат, 1956. 443 с.

<sup>12</sup> Абдрахимов В.З. Исследование фазового состава теплоизоляционного материала на основе твердых солевых шлаков и жидкого стекла // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 11-12. С. 33–39.

<sup>13</sup> Конев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. Л.: Стройиздат, 1991. 177 с.

<sup>14</sup> Денисов Д.Ю., Куликов В.А., Абдрахимов В.З., Ковков И.В., Вдовина Е.В., Михеев В.А., Журавель Л.В., Рощупкина И.Ю. К вопросу о получении теплоизоляционного материала из жидкого стекла, модифицированного хлоридом натрия // Новые огнеупоры. 2011. № 9. С. 27–30.

При определении эффективной добавки основным критерием должна являться ее способность вызывать равномерную коагуляцию по объему, которая позволит получить массу, способную формоваться в сырьевые гранулы заданного размера и сохранять приданную форму<sup>11–14</sup>.

В экспериментах в качестве добавок-коагуляторов использовались наиболее дешевые и доступные кислоты и соли щелочных металлов: соляная и ортофосфорная кислоты, хлориды натрия, кальция и аммония, нитрат натрия, сульфаты натрия и калия. Результаты исследования показали, что при использовании таких добавок-коагуляторов происходит быстрая коагуляция или выпадение белых осадков, но всщучивания не происходит. Использование хлорида натрия от 0,5 до 1 % приводит к медленной коагуляции. Увеличение хлорида натрия до 10 % приводит к быстрой коагуляции с образованием формируемой массы. Оптимальное количество вводимого хлорида натрия влияет на свойства композиции 8–10 % [2–4]. Использование хлорида натрия в качестве добавки-коагулятора приводит:

во-первых, к коагуляции жидкого стекла вследствие растворения его в жидком стекле;

во-вторых, ионы натрия понижают силикатный модуль смеси, а ионы хлора, действуя в качестве сильного окислителя, способствуют коагуляции смеси. Снижение силикатного модуля композиции приводит к ослаблению силоксановых связей (Si—O), что значительно облегчает переходы ионов щелочного металла в раствор и молекул воды в стекло. Гидратированные растворимые стекла могут содержать довольно значительное количество воды. Твердость этих стекол приблизительно такая же, как и у негидратированных, но в отличие от последних они обладают некоторой эластичностью.

Оказавшись в кислой среде (выделяющийся HCl), гидроксисилоксаны легко конденсируются с образованием силоксановой связи Si—O—Si. При этом достаточно длинными силоксановые цепочки не вырастают, поскольку силоксановая связь исключительно гибкая — они замыкаются в циклы. Проблема силоксановой связи в целом весьма многогранна и в настоящее время полностью далеко еще не охвачена.

Растворимость щелочного силиката в каждом отдельном случае зависит, прежде всего, от содержания SiO<sub>2</sub> и весьма заметно уменьшается от присутствия примесей.

Полученное таким образом коагулированное хлоридом натрия жидкое стекло обладает пластичными свойствами, что позволяет формовать из нее гранулы.

При всщучивании больших объемов жидкого стекла, например, при производстве плит, получаемая структура очень неравномерна, т.е. всщучивание не происходит одновременно по всему объему<sup>11, 13</sup>. Кроме того, образующиеся пористые участки структуры усиливают такую неравномерность, а удаляемая при термообработке влага приводит к «разжижению» массы и, как следствие, к слиянию пор и увеличению объема пустот [1–4].

Введение в составы жидкостекольных композиций наполнителей приводит к структурированию системы, что позволяет получать более однородные структуры [1–4]. Но применяемые наполнители, как известно, либо имеют значительную плотность, что приводит к увеличению плотности получаемого теплоизоляционного материала, либо

имеют различный химический и минералогический составы. Это отрицательно влияет на долговечность теплоизоляционных материалов, т.е. на термостойкость вследствие разности значений ТКЛР (температурный коэффициент линейного расширения) между матрицей и армирующим материалом.

Исследуемый материал можно отнести к дисперсно-упрочненным композиционным материалам, представляющим собой материал, в матрице которого равномерно распределены пористые гранулы. Но эффект упрочнения в композиционных материалах связан с размерами частиц и их сближением, т.е. концентрацией [1–4].

В дисперсно-упрочненных композиционных материалах частицы начинают оказывать упрочняющее действие тогда, когда они ограничивают деформацию матрицы посредством механического стеснения. Это есть функция отношения расстояния между частицами к их диаметру<sup>15</sup>.

Физико-механические и химические свойства керамических композиционных материалов определяются тремя основными параметрами: высокой прочностью упрочняющих компонентов, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица—упрочнитель<sup>16</sup>.

Нами предложен способ по использованию в качестве армирующего материала предварительно термообработанного жидкого стекла<sup>17</sup>.

Эффективность предложенного способа объясняется следующим. Хорошо известна способность натриевого жидкого стекла, представляющего собою гидратированный силикат натрия, интенсивно всучиваться при термообработке и твердеть после этого<sup>11–13</sup>. Полученный таким образом всученный материал измельчается и используется в качестве наполнителя (армирующего материала) для получения теплоизоляционных изделий. Данный наполнитель, идентичный по составу дегидратированному жидкому стеклу, имеет одинаковый с ним химический и минералогический состав и поэтому способствует равномерному всучиванию по всему объему и однородности теплоизоляционного материала. Химический состав полученного такого теплоизоляционного материала идентичен по всему объему, что и обеспечивает ему равномерность теплотехнических (ТКЛР) и физико-механических свойств.

Для получения пористого наполнителя (армирующего материала) жидкое стекло термообрабатывалось в интервале температур 250–300 °C, затем полученная поризованная масса измельчалась до размера 2–8 мм с насыпной плотностью 50–80 кг / м<sup>3</sup>.

Композиции для производства теплоизоляционных материалов различных составов, представленных в табл. 2, готовили следующим способом: все компоненты тщательно перемешиваются, что приводит к растворению хлористого натрия.

<sup>15</sup> Абдрахимов В.З. Вопросы экологии и утилизации техногенных отложений в производстве керамических композиционных материалов. Самара: Самар. гос. архит.-строит. ун-т, 2010. 160 с.

<sup>16</sup> Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З., Журавель Л.В., Рощупкина И.Ю. Кислотостойкие керамические композиционные материалы на основе жидкого стекла и отходов производств // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. № 7-8. С. 57–61.

<sup>17</sup> Пат. РФ № 2504525 RU. МПК C2 C04B 28/26 111/20. Способ получения теплоизоляционного материала / Е.С. Абдрахимова, И.Ю. Рощупкина, В.З. Абдрахимов; заявл. 15.07.2013; опубл. 20.01.2014, Бюл. № 2.

Таблица 2. Составы жидкостекольных композиций

Компонент	Содержание компонентов, мас. %			
	1	2	3	4
Жидкое стекло	80	70	80	70
Хлорид натрия	10	10	10	10
Жидкое стекло, термообработанное при температуре 250 °C, плотностью 50 кг / м <sup>3</sup>	10	20	—	—
Жидкое стекло, термообработанное при температуре 300 °C, плотностью 80 кг / м <sup>3</sup>	—	—	10	20

Ионы натрия понижают силикатный модуль смеси, а ионы хлора, действуя в качестве сильного окислителя, способствуют коагуляции смеси. Понижение силикатного модуля, приводящее к снижению числа силоксановых связей, облегчает переход ионов щелочного металла в раствор. Коагуляция смеси приводит к повышению вязкости, что дает возможность формовать изделия практически любого размера. Затем из модифицированной жидкостекольной композиции готовили изделия, которые термообрабатывали при 350 °C. Изотермическая выдержка при конечной температуре 10–20 мин.

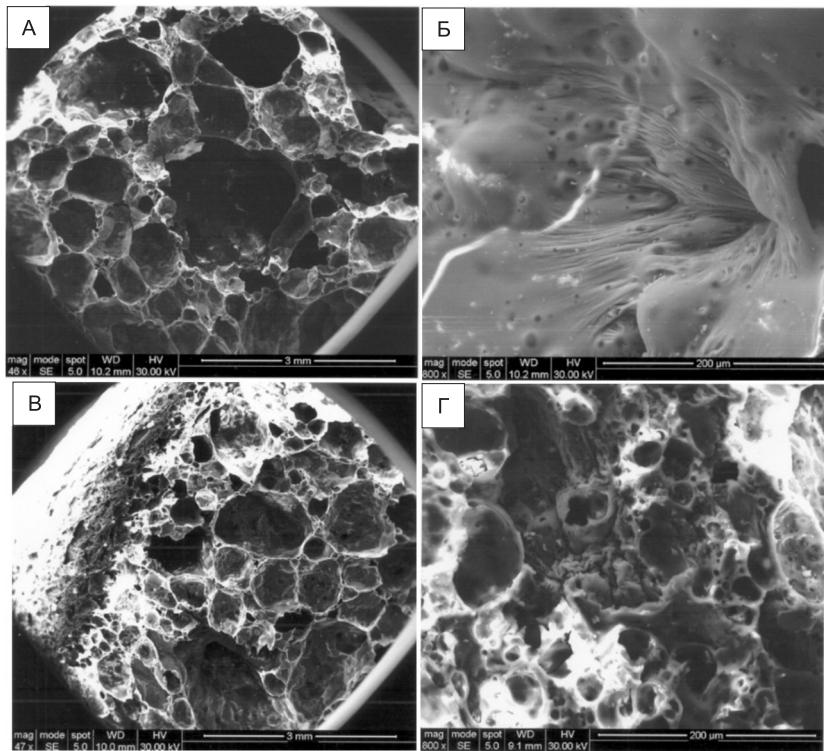
При нагревании содержащегося в изделиях гидратированного силиката до температуры 300 °C он разжижается, и гидратная вода быстро превращается в пар. Вследствие большой вязкости расплавленного силиката водяные пары не могут свободно выделяться и задерживаются в густой массе, образуя пузыри с тонкими стенками. Из гидратированного растворимого стекла получаются пористые твердые стекловидные массы. Остатки выделяющейся воды при температуре 350 °C начинают всучивать коагулированную массу. Начиная с 250 °C, в результате разложения органических веществ наблюдается выделение H<sub>2</sub>, CO, SO<sub>3</sub> и CO<sub>2</sub>, которые также всучивают керамический материал.

В табл. 3 представлены физико-механические показатели теплоизоляционных материалов, полученных предложенным способом и имеющих высокие параметры.

Таблица 3. Физико-механические показатели теплоизоляционных материалов

Показатели	Составы			
	1	2	3	4
Прочность при раскалывании, МПа	0,95	1,2	1,1	1,3
Плотность в куске, г / см <sup>3</sup>	0,18	0,21	0,22	0,24
Огнеупорность, °C	1000	1050	1050	1100
Изотермическая выдержка при конечной температуре, мин	10	20	10	20

Для исследования структуры исследуемых образцов был использован метод растровой микроскопии. Электронный растровый сканирующий микроскоп PHILLIPS 525M с детектором EDAX 900 применяется для наблюдения и фотографирования микрорельефа поверхности в режиме вторичных электронов. На рисунке А, Б соответственно представлены фотографии поверхности скола и стеклофазы внутренней части исследуемого



А — поверхность скола наполнителя; Б — стеклофаза внутренней части исследуемого наполнителя; В — поверхность скола теплоизоляционного материала; Г — стеклофаза внутренней части теплоизоляционного материала. Температура обжига наполнителя 300 °C, теплоизоляционного материала 350 °C. Увеличение: А ×46; Б, Г ×800; В ×47

наполнителя (армирующего материала), а на рисунке В, Г — поверхности скола теплоизоляционного материала и стеклофазы внутренней части.

Предварительное травление поверхности свежего скола 3 % HF показало, что стекло претерпело интенсивную ликвацию и разделилось на капельную фазу и матрицу (рисунок А, В, Г).

Капли имеют сложную, но преимущественно округлую форму и размеры от долей до 3–4 мкм, которые сильно зависят от температуры термообработки.

Некоторые крупные капли принимают форму шара и располагаются на значительных расстояниях друг от друга. Такие капли встречаются сравнительно редко [1–4]. Чаще при электронно-микроскопическом изучении стеклофазы фиксируется ликвационная структура с весьма малыми размерами капель (0,02–0,06 мкм) и их более тесным расположением. На рисунке Б видно, что в правой части стеклофаза сопровождается расплыванием, т.е. уменьшением концентрации капель и потерей ими четких контуров. Подобную ликвационную структуру можно условно назвать остаточной.

В области низких температур стеклообразное состояние метастабильно. При нагревании стекло стремится перейти в термодинамически устойчивое состояние, что может быть достигнуто в результате фазового разделения. Фазовое разделение осуществляется путем кристаллизации или ликвации стекла [1–4]. Вследствие высокой вязкости стекломассы

процессы фазового разделения не достигают полного завершения и в материале обычно после фазового разделения существуют по меньшей мере две фазы при кристаллизации — кристаллическая и стекловидная, а при ликвации — чисто стекловидная [1–4]. Неоднородность структуры и химического состава вещества приводит к расслоению и вспучиванию расплава.

Как правило, в стеклах чаще всего встречаются три вида ликвации: остаточная, дендритная и зональная (бывают обратная, осевая и др.). Дендритная ликвация проявляется в микрообъемах сплава, близких к размеру зерен, а зональная наблюдается во всем объеме вещества. При дегидратной ликвации расплав склонен к интенсивному газопоглощению и окислению, в результате чего происходит вспучивание.

На рисунке Б видно, что в правой части стеклофаза сопровождается расплыванием, т.е. уменьшением концентрации капель и потерей ими четких контуров. Подобную ликвационную структуру можно условно назвать остаточной [1, 2].

Основным условием, обеспечивающим вспучивание жидкостекольных систем при их нагревании, является совмещение во времени пиропластического состояния с интенсивным паровыделением внутри термообрабатываемого материала. Важно усвоить, что каждый из этих факторов в отдельности еще не обеспечивает возникновения процесса вспучивания. Необходимо, чтобы они действовали одновременно. По-видимому, в нашем случае это правило частично соблюдается.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куликов, В.А. Исследование пористой структуры керамзита на основе отходов флотации углеобогащения [Текст] / В.А. Куликов, В.З. Абдрахимов, И.В. Ковков // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 1. — С. 31–37.
2. Абдрахимов, В.З. Использование жидкого стекла и техногенного сырья в производстве огнеупорных водостойких теплоизоляционных материалов [Текст] / В.З. Абдрахимов, В.К. Семенычев, И.В. Ковков, Д.Ю. Денисов, В.А. Куликов, Е.В. Вдовина // Огнеупоры и техническая керамика. — 2011. — № 3. — С. 30–35.
3. Абдрахимов, В.З. Исследование фазового состава теплоизоляционных материалов на основе твердых солевых шлаков и жидкого стекла [Текст] / В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 11-12. — С. 33–39.
4. Денисов, Д.Ю. К вопросу использования жидкостекольных композиций в производстве теплоизоляционных материалов [Текст] / Д.Ю. Денисов, В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 11. — С. 32–37.

АБДРАХИМОВ Владимир Закирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru  
Самарский государственный экономический университет  
РОЩУПКИНА Ирина Юрьевна, канд. хим. наук, доц.  
Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (Национальный исследовательский университет)  
КОЛЛАКОВ Александр Викторович, асп.; E-mail: roland.alex@mail.ru  
Самарская академия государственного и муниципального управления  
КАЙРАКБАЕВ Аят Крымович, канд. физ.-мат. наук, доц.; E-mail: kairak@mail.ru  
Казахско-русский международный университет, Казахстан

**Abdrakhimov Vladimir Zakirovich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: 3375892@mail.ru, Samara State University of Economics, Russia

**Roshchupkina Irina Yurjevna**, candidate of chemical sciences, assistant professor; Samara State Aerospace University, Russia

**Kolpakov Alexander Viktorovich**, post-graduate student; E-mail: roland.alex@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

**Kayrakbaev Ajat Krymovich**, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor; E-mail: kairak@mail.ru, Kazakh-Russian International University, Kazakhstan

## **STRUCTURED HIGHLY POROUS MATERIAL BASED ON LIQUID GLASS FOR THERMAL INSULATION OF PIPELINES**

First proposed methods for producing highly porous materials with low-temperature swelling of liquid glass and a filler with a uniform fine pore structure. Proposed methods facilitate uniform swelling throughout and uniformity of insulating material.

**Key words:** liquid glass compositions, porous insulation materials, water glass, sodium chloride, burning temperature, swelling, bulk density.

### **REFERENCES**

1. Kulikov, V.A. Exploration of the porosity of the expanded clay on basis of coal washing flotation tailings [Text] / V.A. Kulikov, V.Z. Abdrakhimov, I.V. Kovkov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 1. — P. 31–37.
2. Abdrakhimov, V.Z. The use of liquid glass and man-triggered raw materials in the manufacture of refractory waterproof thermal insulation materials [Text] / V.Z. Abdrakhimov, V.K. Semenychev, I.V. Kovkov, D.Yu. Denisov, V.A. Kulikov, E.V. Vdovina // Refractories and technical ceramics. — 2011. — N 3. — P. 30–35.
3. Abdrakhimov, V.Z. Research of the phase composition of heat-insulating materials based on solid salt slags and liquid glass [Text] / V.Z. Abdrakhimov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 11-12. — P. 33–39.
4. Denisov, D.Yu. To the problem of use fluidglass of compositions in manufacture of heat insulators [Text] / D.Yu. Denisov, V.Z. Abdrakhimov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 11. — P. 32–37.

УДК 691.4: 666.31

В.Г. БЕЗБОРОДОВ

## СТРУКТУРИРОВАНИЕ ГЛИНИСТОЙ КЕРАМИКИ СТЕКЛОМ, СИНТЕЗИРОВАННЫМ ИЗ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ И КРЕМНЕЭТИЛОВОГО ЭФИРА

Экспериментально доказана эффективность введения в глинистую керамику в качестве плавня силикатного стекла, синтезированного из растворов солей азотной кислоты и раствора тетраэтилового эфира ортокремниевой кислоты. Получены высокие показатели прочности керамического черепка за счет увеличения площади взаимодействия твердой и жидкой фаз. Увеличение контактной поверхности обусловлено высокой дисперсностью продуктов распада солей и ортокремниевой кислоты при температурах обжига.

**Ключевые слова:** суглинок, структура керамики, спекаемость, флюсующий компонент, силикатное стекло, синтез стекла, дисперсность порошка, раствор солей, коллоидный раствор, термическая диссоциация, смесь оксидов, пределы прочности образцов при сжатии.

Улучшение спекаемости глинистой керамики из некондиционного сырья достигается введением в материал флюсующего компонента, образующего при обжиге жидкую фазу. В качестве интенсификаторов спекания применяют полевой шпат, пегманит, нефелиновые сиениты, промышленные отходы, молотое силикатное стекло. Как в чистом виде, так и в составе комплексных добавок стекло оказывается более предпочтительным компонентом, поскольку имеет определенный химический состав и, следовательно, постоянные физико-химические свойства. Роль стекла как плавня проявляется в развитии вязкого течения, обусловливающего в материале массоперенос в процессе обжига и формирование структуры керамического черепка цементирующим действием застывшего расплава. Эффективность стекловидного компонента, связывающего частицы твердой фазы в жесткий каркас, зависит от степени дисперсности стеклопорошка и равномерности распределения его в сырьевой массе [1].

Получить ультрадисперсные порошки и предельную однородность формовочной смеси можно, используя метод «растворной керамики» [2].

Сущность метода состоит в следующем. Силикатное стекло синтезируется из смеси оксидов определенных химических элементов (см. таблицу), осажденных в виде тонкодисперсного порошка из полу коллойдно-

### Химический состав компонентов сырьевой смеси (мас. %)

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	П.п.п.
Суглинок	64,7	14,2	4,78	4,0	2,11	—	1,7	1,84	90 0,82	6,37
Стекло листовое М4 ГОСТ 111–2001	71,4	1,2	0,1	7,9	3,0	—	16,2	—	0,2	—
Стекло эксперимен- тальное	69,5	—	—	5,5	3,5	5,0	12,5	4,0	—	—

го раствора солей азотной кислоты и тетраэтоксисилана при нагревании до температуры стеклообразования. В результате термической диссоциации нитратов и продукта гидролиза тетраэтилового эфира — ортокремниевой кислоты образуется стекловидное покрытие заданного химического состава. При реализации метода особое внимание должно уделяться приготовлению устойчивого полуколлоидного раствора. Процедура его готовки включает два этапа:

— составление насыщенных водных растворов солей азотной кислоты для выделения оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов, являющихся модификаторами в составе стекла;

— составление коллоидного раствора тетраэтоксисилана для выделения стеклообразующего оксида —  $\text{SiO}_2$ . В целях придания раствору устойчивости, реакцию гидролиза проводят в водно-спиртовой среде с добавлением двух капель концентрированной азотной кислоты. Таким образом, поддерживается в растворе равновесное состояние между тетраэтоксисиланом и ортокремниевой кислотой.

Расчет составов и порядок сливания растворов в общий полуколлоидный раствор приведен в работе [2].

Целью настоящей работы являлась экспериментальная оценка возможности применения в технологии строительной керамики метода получения стекловидных микрообразований из смеси высокодисперсных оксидов, выделившихся из полуколлоидного раствора в результате термической диссоциации.

Исследование проводилось на образцах — цилиндрах диаметром 13 мм и высотой 8 мм. Критерием спекаемости была принята величина предельного напряжения сжатия образца —  $R_{\text{сж}}$ . Для сравнительной оценки спекаемости керамики было изготовлено три партии образцов из сырьевых масс: 1-я — чистый суглинок Каменского месторождения Новосибирской области; 2-я — смесь суглинка и листового стекла марки М4, взятых в соотношении 5 : 1 по весу; 3-я — смесь суглинка с полуколлоидным раствором солей азотной кислоты и тетраэтилового эфира ортокремниевой кислоты. Количество исходных материалов для получения экспериментального стекла рассчитывалось из соотношения суглинок — стекло, равное 5 : 1 по весу. Химические составы суглинка и стекла, вводимых в сырьевые смеси 2-й и 3-й партий, приведены в таблице.

Для всех партий образцов использовался порошок суглинка, высушенный при 110 °C и просеянный через сито с размером ячейки 0,14 мм. В сырьевую смесь 2-й партии вводился стеклопорошок фракции от 1 до 10 мкм, полученный отмучиванием. Масса для формирования образцов 3-й партии готовилась из суспензии, полученной смешиванием порошка суглинка с полуколлоидным раствором нитратов и кремнеорганического эфира. Из полученной смеси излишки жидкости удалялись выпариванием на водяной бане до влажности 10 %.

Образцы формировались методом полусухого прессования под давлением 30 МПа. Высушенные образцы трех партий одновременно обжигались в муфельной печи SNOL 67 / 1300 при предельных температурах 1000, 1050 и 1100 °C. Нагрев до температур обжига проводился со скоростью подъема 5 °C / мин с 20-минутными выдержками при температурах 350, 550 и 750 °C для свободного удаления летучих компонентов, выделяющихся при разложении нитратов и ортокремниевой кислоты. После

достижения предельных температур ( $T_{обж}$ ) следовала выдержка в течение одного часа. Затем образцы охлаждались до комнатной температуры вместе с печью.

Величина прочности образцов на сжатие ( $R_{сж}$ ) определялась на гидравлическом прессе П-10 при скорости роста нагрузки — 1,35 кН/с. Результаты исследования спекаемости образцов всех партий представлены на диаграмме.

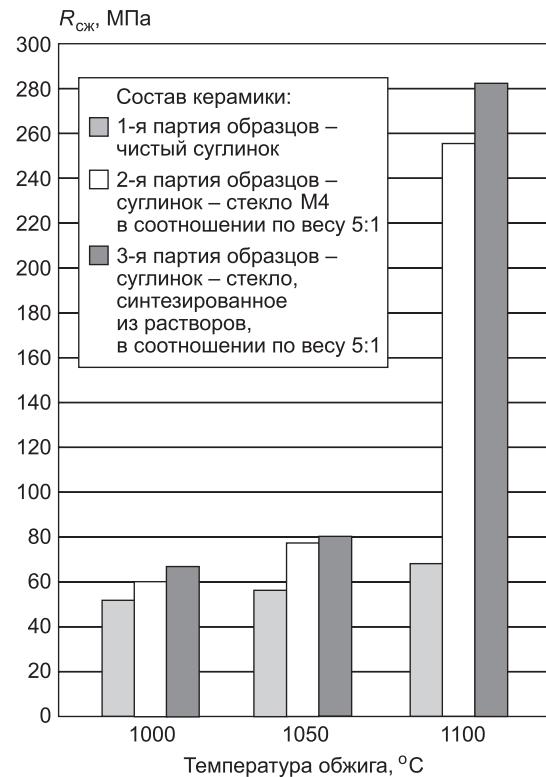
Их анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Относительно слабый и равномерный рост прочности у образцов из чистого суглинка обусловлен отсутствием в массе необходимого количества стекловидного расплава, обеспечивающего вязкое течение в материале. Спекание суглинка носит смешанный характер. Значительный вклад в уплотнение образца вносит диффузионный процесс.

2. Введение в состав сырьевой смеси образцов 2-й партии — высокодисперсного порошка молотого листового стекла и 3-й партии — ультрадисперсного синтезированного силикатного стекла резко меняет зависимость показателя спекания от температуры. При повышении температуры обжига с 1050 до 1100 °C предел прочности при сжатии образцов 2-й партии увеличивается в 2,9 раза, а для образцов 3-й партии — в 3,3 раза. Рост интенсивности спекания при обжиге выше 1050 °C объясняется преодолением температуры «порога смачивания» для силикатного стекла марки М4 и, следовательно, резким повышением физико-химического взаимодействия между твердыми частицами суглинка и стекловидным расплавом.

3. Превышение предельной прочности образцов 3-й партии над уровнем этого показателя у 2-й партии объясняется большей площадью межфазового взаимодействия в материале, обусловленной большей удельной поверхностью частиц стекла, синтезированного из полуколлоидного раствора.

**Выходы.** Введение в глинистую керамику флюсующего компонента — силикатного стекла, синтезированного сплавлением высокодисперсных осадков оксидов, полученных при термической диссоциации нитратов и ортокремниевой кислоты, позволило получить керамику из суглинка с высокой прочностью. Результаты эксперимента и достоинства метода «растворной керамики» дают основания считать его перспективным в деле совершенствования структуры керамики на основе глинистого сырья.



Влияние температуры обжига на предел прочности керамики при сжатии

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисенко, А.И. Тонкослойные стеклоомелевые и стеклокерамические покрытия [Текст] / А.И. Борисенко, Л.В. Николаева. — Л. : Изд-во «Наука», 1970. — 70 с.
2. Безбородов, В.Г. Влияние механоактивации сырьевой смеси и степени дисперсности флюсующего компонента на структуру и свойства пенокерамики на основе суглинка [Текст] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Меденцов, Н.Л. Меденцова // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 2. — С. 26–30.

*БЕЗБОРОДОВ Владилен Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 15.05.15

**Bezborodov Vladilen Gennadievich**, doctor of technical sciences, professor,  
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **STRUCTURING CLAY GLASS CERAMICS SYNTHESIZED FROM SOLUTIONS OF SALTS AND ETHER CRIMEATEHNOLOGI**

In our experiments, we proved the effectiveness of the introduction of clay ceramics as smoothly silica glass synthesized from solutions of salts of nitric acid and a solution of tetraethylene ether acid Sol. Obtained high strength ceramic crock by increasing the area of interaction between the solid and liquid phases. The increase of the contact surface due to the high dispersion of the decay products of salts and acid Sol at temperatures of firing.

**Key words:** clay loam, structure of ceramics, sintering behavior, a fluxing component, silicate glass, synthesis of glass, the fineness of the powder, the solution of salts, colloidal solution, thermal dissociation, a mixture of oxides, the ultimate strength of specimens under compression.

## REFERENCES

1. Борисенко, А.И. Thin-layer steklodeliya and ceramic coatings [Text] / А.И. Борисенко, Л.В. Николаева. — Л. : Publishing house «Science», 1970. — 70 p.
  2. Безбородов, В.Г. Effect of mechanical activation of the raw material mixture and the degree of dispersion of flux component on the structure and properties of foam ceramics on the basis of foam [Text] / В.Г. Безбородов, Л.Ф. Медентsov, Н.Л. Медентsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 2. — P. 26–30.
-

# **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**УДК 69.003:658.012.22**

**В.В. ГЕРАСИМОВ, О.А. КОРОБОВА, А.К. ИСАКОВ, Г.Б. САФАРЯН**

## **УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ПЕРИОДА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Проблема эффективности фазы эксплуатации строительных объектов обусловлена необходимостью получения максимальной выгоды от их эксплуатации и неопределенностью параметров прогнозирования результатов ожидаемой выгоды по долгосрочному горизонту периода эксплуатации объектов.

В настоящее время еще не разработаны нормативная и методическая база для определения долгосрочных оценок надежности и риска, что затрудняет процессы управления эффективностью эксплуатационного периода строительных объектов.

Рассмотрены вопросы интеграции долгосрочных оценок эффективности, что позволяет повысить уровень достоверности прогнозов опасности управляемых решений и разработать на этой основе мероприятия безопасности реализации прогноза эксплуатационного периода строительных объектов.

Предложен методический подход к управлению надежностью прогноза эксплуатационного периода строительных объектов на основе метода интегрирования локальных надежностей ремонтных строительных комплексов как инструментов регулирования эффективностью эксплуатационного потенциала объекта.

**Ключевые слова:** управление, интегрированная надежность, эффективность, эксплуатационный период.

Строительные объекты реализуются в формате проектов, включающих такие стадии жизненного цикла, как исследования, проектирование, строительство объекта и стадию эксплуатации, в которой реализуются различные технологии поддержания качества потенциальных возможностей объекта в процессе содержания объекта. К последним относятся технологии с использованием ремонтно-строительных комплексов и технологий работ, на основании которых осуществляется продажа услуг построенного объекта. Первой технологией реализуется инженерная задача управления потенциалом, а второй — экономическая задача управления стоимостью объекта.

Эксплуатационный этап жизненного цикла характеризуется значительным периодом времени, необходимостью максимизации экономического результата для покрытия затрат этапа строительства, необходимостью учета и минимизации рисков долгосрочного периода. Практика показывает, что в системе управления в рамках эксплуатационного периода могут решаться следующие задачи: реализации окупаемости затрат по

строительному этапу проекта объекта; выбора вариантов ремонтной стратегии поддержки потенциала объекта для решения первой задачи; определения надежности варианта ремонтной стратегии поддержки объекта; определения уровней безопасности стратегии реализации объекта; оценки эффективности реализации эксплуатации объекта. Эти задачи определили область исследований, результаты приведены ниже [1].

Практика показывает, что наиболее сложной задачей планирования доходности объекта является разработка методической базы формирования стохастических нормативов и опасностей в трех областях: инженерных — которыми отражается уровень поддержания эксплуатационных параметров объектов; экономических — затрат ресурсов на поддержание эксплуатационных параметров объектов; финансовых — денежных потоков на финансирование поддержания объектов и получения доходов от эксплуатации объектов [2]. В настоящее время использование существующих подходов основано на экспертном оценивании ожидаемой доходности объектов, что из-за субъективности снижает достоверность расчетных нормативов.

Проведенным анализом выявлено влияние факторов на надежность, эффективность и доходность эксплуатации объектов, которые сводятся к следующему:

- эксплуатируемый комплекс объекта зависит от уровня поддержания инженерного потенциала объекта и стратегии его поддержания на принимаемом уровне, который поддерживается работами ремонтно-строительного комплекса;
- надежность эксплуатации объекта может быть характеризована тремя формами оценки — работоспособностью, надежностью, риском;
- эффективность эксплуатации объекта определяется уровнем покрытия затрат результатами по поддержанию потенциала объекта, который отображается создаваемой стратегиями стоимостью объекта;
- безопасность эксплуатации объекта отображается уровнем поддержания потенциала объекта на допустимом уровне доходности за счет различных технологий и схем снижения рисков.

Многофакторное влияние на потенциал объекта создает проблемы в практическом использовании имеющихся методик и рекомендаций, поскольку работоспособность оценивается в технических оценках, эффективность — в экономических, риск — в финансовых оценках [3].

В соответствии с этими положениями сформулированы следующие задачи для решения проблемы:

- использование методологии системного подхода, обеспечивающей возможности формирования ремонтно-строительных комплексов в качестве инвестиционных технологий в процессе управления потенциалом объекта;
- использование методологии непрерывного планирования, обеспечивающей последовательное формирование достоверных плановых параметров в долгосрочном периоде развития потенциала системы за счет использования ремонтных комплексов;
- использование методологии проектного подхода, обеспечивающей дискретное формирование проектов организации ремонтно-строительных работ;

— использование методологии имитационного моделирования случайных отклонений параметров в качестве инструментария исследования надежности для оценки работоспособности системы, включающих структуры, процессы, функции; надежности — учитывающих оценки вероятности работоспособности и опасности — включающих области состояния экономической эффективности эксплуатации объектов.

Задачи обуславливают следующие решения: 1) возможность формирования системы объекта в форме потенциала недвижимости и субъекта — в форме стратегий с инвестициями в потенциал объекта; 2) формирование денежных потоков для решения инвестиционных задач; 3) возможность назначения интервалов тренда эксплуатационного процесса использования потенциала объекта; 4) использование сценариев реализации трендов с позиции максимизации доходности эксплуатации потенциала объекта.

Модельный комплекс потенциала ремонтно-строительного комплекса имеет вид:

$$\text{ПТ(РК)} = \{\text{Мщ(Рк), ИВ(Рк), С(ОБ)}\}, \quad (1)$$

$$\text{ПТ(РК)нм} = \text{ПТ(Рк)нм} \times \text{Нд(Рк)}, \quad (2)$$

$$\text{ПТ(РК)вс} > \text{ПТ(Рк)нм} \times \text{Нд(Рк)}, \quad (3)$$

$$\text{ПТ(РК)нз} < \text{ПТ(Рк)нм} \times \text{Нд(Рк)}, \quad (4)$$

$$С(ОБ) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где ПТ(РК) — потенциал ремонтно-строительного комплекса;  
 Мщ(Рк), ИВ(Рк), С(ОБ) — соответственно мощность, инвестиции, стратегии комплекса;  
 нм, вс, нз — соответственно индекс нормативного, высокого, низкого уровня инвестирования комплекса;  
 Нд(Рк)нм — надежность нормативного уровня инвестирования комплекса;  
 С(ОБ) — стоимость объекта.

Из уравнений (1–5) следует, что решение проблемы может быть сведено к двум задачам: инженерной — по определению параметров стратегий использования схем ремонтов и экономической — получения экономических результатов по максимизации доходности объекта с учетом фактора надежности эксплуатации объекта.

Положения надежности моделируются в специальном методическом алгоритме стохастического имитационного моделирования, который включает диаграммы: затраты материалов, затраты труда, затраты основных фондов, затраты инвестиций, затраты налогов, затраты продолжительности капитального ремонта, текущих ремонтов, восстановительных работ [4]. Модель формирования надежностей объекта имеет вид:

$$\mathcal{D}_z = (Z_m, Z_t, Z_f, Z_i, Z_n) \rightarrow N_{D_z}, \quad (6)$$

$$\mathcal{D}_v = (t_{kp}, t_{tp}, t_{vc}) \rightarrow N_{D_v}, \quad (7)$$

$$N_{Di} = (N_{D_z} \times N_{D_v}), \quad (8)$$

где  $\mathcal{D}_z$  — диаграмма затрат;

Зм, Зт, Зф, Зи, Зн — параметры диаграммы затрат;  
НДз — надежность по параметрам затрат;  
Дв — диаграмма по параметру времени;  
 $t_{kp}$ ,  $t_{tp}$ ,  $t_{bc}$  — продолжительность потоков ресурсов по капитальным ремонтом, текущим ремонтам, восстановлению;  
НДи — интегрированная надежность объекта.

Из уравнений (6–8) следует, что решение задачи формирования надежности может быть сведено к использованию количественных методов имитационного моделирования, что позволяет получить достоверные оценки надежности системы эксплуатации объекта. Это может быть использовано для формирования производных управлеченческих документов — проектов, программ, планов реализации эксплуатационного цикла объекта с учетом надежности инженерных систем и риска потери экономического результата.

Полученные численные значения обобщены в модели формальной логики соотношений относительных показателей использования потенциала ремонтно-строительного комплекса (табл. 1).

**Таблица 1. Матрица управления «Объект — Оценка» в системе безопасности потенциала эксплуатации объекта**

ОБ	ОЦ				Интегратор	
	Параметры безопасности объекта					
	ОБ	РК	СР	ИВ		
НД	НД/ОБ	НД/РК	НД/СР	НД/ИВ	НДоб = $f(\text{РК}, \text{СР}, \text{ИВ})$	
ЭФ	ЭФ/ОБ	ЭФ/РК	ЭФ/СР	ЭФ/ИВ	ЭФоб = $f(\text{РК}, \text{СР}, \text{ИВ})$	
БЗ	БЗ/ОБ	БЗ/РК	БЗ/СР	БЗ/ИВ	БЗоб = $f(\text{РК}, \text{СР}, \text{ИВ})$	
И	Ил/ОБ	Ил/РК	Ил/СР	Ил/ИВ	Ис = $f(\text{ОБ}, \text{ОЦ})$	

**П р и м е ч а н и я:** ОБ — объект; РК — ремонтно-строительный комплекс; СР — стратегия; ИВ — инвестиции; НД — надежность; ЭФ — эффективность; БЗ — безопасность; Ил, Ис — локальная и системная интегрированная оценка; ОЦ — оценка.

Из табл. 1 следуют положения:

— отношения «объект / оценки» характеризуют оценки уровня достижения параметров объекта и представляют собой модули системы «потенциал, ориентированный на результат»;

— множество оценок параметров безопасности определяет конечную оценку объекта;

— локальная оценка безопасности определяется множеством оценок параметров безопасности;

— системная оценка безопасности определяется множеством локальных оценок.

В соответствии с этим принятые понятия имеют следующую интерпретацию:

— надежность — уровень работоспособности объекта в параметрах: структура, процесс, функции;

— эффективность — уровень результативности затрат на поддержание потенциала объекта;

— безопасность — позиционирование объекта в зонах положительного и отрицательного уровня доходности объекта.

В соответствии с этими положениями основные концептуальные модели системы надежности и эффективности использования эксплуатационного комплекса объектов представлены в четырех блоках, которые имеют следующий вид:

*Первый блок* — динамическая модель стоимости объекта (ОБ):

$$CO_t = (C_p - Z_a + C_i + D_x) \rightarrow 0, \quad (9)$$

$$H_d(CO) = f(P_c(C, \Pi, \Phi)), \quad (10)$$

$$\varphi(CO) = (Z_{CO} + D_{CO}) / Z_{CO}, \quad (11)$$

$$UBZ(CO) = D^{\Phi}_{CO} / D^{n}_{CO}, \quad (12)$$

где  $CO_t$  — стоимость объекта в  $t$ -периоде;

$C_p$  — стоимость первого периода жизненного цикла;

$Z_a$  — затраты амортизации;

$C_i$  — стоимость после инвестирования;

$D_x$  — доход;

$H_d$  — надежность;

$P_c$  — работоспособность;

$C, \Pi, \Phi$  — соответственно структура, процесс, функции;

$\varphi$  — эффективность;

$Z_{CO}$  — затраты строительного объекта;

$D_{CO}$  — доходы строительного объекта;

$UBZ$  — уровень безопасности;

$D^{\Phi}_{CO}, D^{n}_{CO}$  — соответственно доход фактический и нормативный.

*Второй блок* — структура ремонтно-строительного комплекса (РК):

$$PK = \sum PK_{ti} (KP, TP, BC), \quad (13)$$

$$H_d(PK) = f(P_c(C, \Pi, \Phi))_{PK}, \quad (14)$$

$$\varphi(PK) = (Z_{PK} + D_{PK}) / Z_{PK}, \quad (15)$$

$$UBZ(PK) = D^{\Phi}_{PK} / D^{n}_{PK}, \quad (16)$$

где  $PK$  — ремонтно-строительный комплекс;

$PK_{ti}$  —  $i$ -й локальный ремонтно-строительный комплекс в жизненном цикле объекта;

$KP, TP, BC$  — соответственно капитальный ремонт, текущий ремонт, восстановление.

*Третий блок* — стратегия управления стоимостью объекта (СР):

$$CP_1 = \{(PK_{ob}^1 < PK_{ob}^n), (t^1 < t^n)\}, \quad (17)$$

$$CP_2 = \{(PK_{ob}^2 = PK_{ob}^n), (t^2 < t^n)\}, \quad (18)$$

$$CP_3 = \{(PK_{ob}^3 > PK_{ob}^n), (t^3 < t^n)\}, \quad (19)$$

$$H_d(CP) = f(P_c(\Pi, M)), \quad (20)$$

$$\mathcal{E}\Phi(\text{CP}) = (\mathcal{Z}_{\text{CP}} + \mathcal{D}_{\text{CP}}) / \mathcal{Z}_{\text{CP}}, \quad (21)$$

$$\mathcal{Y}\mathcal{B}\mathcal{Z}(\text{CP}) = \mathcal{D}^{\Phi_{\text{CP}}} / \mathcal{D}^{n_{\text{CP}}}, \quad (22)$$

где  $\text{CP}_t1$ ,  $\text{CP}_t2$ ,  $\text{CP}_t3$  — соответственно 1-я стратегия снижения потенциала объекта, 2-я стратегия поддержания потенциала объекта, 3-я стратегия повышения потенциала объекта;

$\text{PKob}^1$ ,  $\text{PKob}^n$  — соответственно ремонтный комплекс объекта первого варианта стратегии и комплекс фактический по нормативу;

$t^1 t^n$  — соответственно расчетный период времени объекта первого варианта стратегии и период фактический по нормативу;

$\mathbb{C}$ ,  $M$  — соответственно цель и методы.

*Четвертый блок* — управления инвестициями в потенциал объекта (ИВ):

$$\text{ИВ}_t = f(\mathcal{C}_{\text{и}}(\text{PK})), \quad (23)$$

$$\mathcal{N}_{\text{д}}(\text{ИВ}) = f(\mathcal{P}_{\text{с}}(\text{ИВ}, \mathcal{N}_{\text{i}}, \mathcal{Z}_{\text{i}})), \quad (24)$$

$$\mathcal{E}\Phi(\text{ИВ}) = (\mathcal{Z}_{\text{i}} + \mathcal{D}_{\text{i}}) / \mathcal{Z}_{\text{i}}, \quad (25)$$

$$\mathcal{Y}\mathcal{B}\mathcal{Z}(\text{ИВ}) = \mathcal{D}^{\Phi_{\text{ИВ}}} / \mathcal{D}^{n_{\text{ИВ}}}, \quad (26)$$

где  $\text{ИВ}_t$  — инвестиции;

$\mathcal{C}_{\text{и}}(\text{PK})$  — стоимость инвестиций в ремонтный комплекс инвестиции;  $\text{ИВ}$ ,  $\mathcal{N}_{\text{i}}$ ,  $\mathcal{Z}_{\text{i}}$  — соответственно инвестиции, нормативная ставка, затраты на инвестиции.

*Интегрированный блок*: динамическая индикативная оценка недвижимости

$$\text{Ис} = \{\text{Ил}(\text{ОБ}, \text{РК}, \text{СР}, \text{ИВ}), (\mathcal{N}_{\text{д}} * \mathcal{E}\Phi * \mathcal{B}\mathcal{Z})\} \rightarrow N^*, \quad (27)$$

где  $N^*$  — норматив индикатора безопасности,

\* — важность параметров системы безопасности объекта.

Уравнениями (9–26) устанавливаются основные характеристики управления надежностью в условиях эксплуатации объектов в четырех блоках системы надежности, (27) представляет собой интегрированную модель оценки системы. Безопасность системы объекта на трех этапах включает:

- 1) расчет опасностей, определяемых факторами надежности потенциала;
- 2) формирование мероприятий снижения рисков от вычисленной надежности;
- 3) оценка расчетного индекса безопасности в сравнении с нормативом.

Безопасность потенциала объекта может формироваться по трем направлениям: безопасность объекта, задачей которого является максимизация доходности от эксплуатации объекта; безопасность ремонтно-строительного комплекса, задачей которого является максимизация использования структуры работ комплекса; безопасность стратегии, задачей которой является управление уровнем качества работ комплекса. Интегрированная оценка безопасности имеет научный и прикладной смысл. Научная составляющая основана на знаниях о системе взаимодействия «объект — параметры» и через аналитические зависимости позволяет управлять стратегиями и инвестициями потенциала объекта

в режимах максимизации доходности, оптимизации затрат, сбалансированности ресурсов. Прикладное значение исследования основано на возможности формирования нового класса проектов — проектов безопасности объектов различного назначения. В рамках методологии целесообразным становится использование аналитических моделей и методов вида:

$$ОБ = \{M_d(Ст), M_t(КЛ), Ур(ПТо)\}, \quad (28)$$

$$РК = \{M_d(ПЦ), M_t(СТ), Ур(ПТк)\}, \quad (29)$$

$$СР = \{M_d(МТ), M_t(ПГ), Ур(ПТ)с\}, \quad (30)$$

$$ИВ = \{M_d(КМ), M_t(ПК), Ур(ПТ)и\}, \quad (31)$$

где  $M_d$  — модель;  $Ст$  — структуризация;  $M_t$  — метод;  $КЛ$  — классификация;  $Ур$  — управление;  $ПТо$  — потенциал объекта;  $ПЦ$  — процесс;  $ПТк$  — потенциал комплекса;  $МТ$  — матрица;  $ПГ$  — программирование;  $ПТс$  — потенциал стратегии;  $КМ$  — коммуникации;  $ПК$  — потоки;  $ПТи$  — потенциал инвестирования.

Уравнениями (28–31) устанавливаются основные параметры управления надежностью в условиях эксплуатации объектов в характеристиках объекта, которые могут быть использованы при программировании системы управления безопасностью эксплуатационного периода строительных объектов.

Проведенными исследованиями определены численные значения надежности эксплуатационного периода строительных объектов. В качестве объектов исследований принимались жилые объекты застройки г. Новосибирска.

На основании принятой методологии и проведенных исследований определены оптимальные параметры безопасности по классам определятелей: параметров безопасности, включающих эксплуатационный объект, ремонтно-строительный комплекс, стратегия, инвестиции и типы оценок, включающих надежность, эффективность, безопасность.

Исследования параметров надежности включали проведение следующих работ:

- разработку методологии безопасности эксплуатации строительного объекта;
- разработку модельного комплекса ремонтно-строительных комплексов в рамках жизненного цикла объекта;
- исследование работоспособности параметров ремонтно-строительных комплексов объекта в рамках технологии имитационного моделирования вероятностных событий отклонений параметров комплекса;
- формирование аналитических зависимостей надежности стратегий управления этапом эксплуатации объекта;
- формирование нормативной базы надежности объектов;
- разработки методологических основ использования нормативов в проектах и программах управления эксплуатацией объектов;
- разработки методологических основ использования нормативов в практике ситуационного планирования и управления эксплуатацией объектов.

Результаты проведенных исследований приведены в табл. 2, из которой следует, что

— количественные показатели надежности и эффективности имеют различные значения и определяются группами факторов в блоках системы объекта;

— системная надежность включает локальные оценки и определяет интегрированную оценку состояния безопасности системы объекта;

— области безопасности объекта могут изменяться в зависимости от установленной величины надежности и установленной нормативами ставки доходности объектов системы.

**Таблица 2. Оценки безопасности эксплуатации объектов «Объект(ОБ) — Оценки(ОЦ)» по вариантам «Стратегия — комплекс» (фрагмент)**

ОБ	ОЦ					
	В1: СРнз(Кнз)		В2: СРнм(Кнм)		В3: СРвс(Квс)	
	Тнч	Ткн	Тнч	Ткн	Тнч	Ткн
НД	НДнч < НДнм	0	НДнм = 1	0	НДвс > НДнм	0
ЭФ	ЭФнз < ЭФнм	0	ЭФнм > 1	0	ЭФвс > ЭФнм	0
БЗ	Б3нз < ЭФнм	0	Б3нм = 1	0	Б3вс > ЭФнм	0
T	$t_{нз} = t_{нм}$	$t_{нз} < t_{нм}$	$t_{нм} = 0$	$t_{нм} = T$	$t_{вс} = t_{нм}$	$t_{вс} = t_{нм}$

П р и м е ч а н и я: В1 — вариант стратегии с низким уровнем использования ремонтно-строительного комплекса; В2 — вариант стратегии с нормативным уровнем использования ремонтно-строительного комплекса; В3 — вариант стратегии с высоким уровнем использования ремонтно-строительного комплекса; Тнч — срок начала ремонтно-строительного цикла; Ткн — срок окончания ремонтно-строительного цикла;  $t_{нм}$  — нормативный срок цикла;  $t_{кн}$  — конечный срок цикла.

**Выводы.** 1. Проведенными исследованиями эксплуатационного потенциала объекта установлено, что управление потенциалом объекта может быть осуществлено тремя стратегиями — поддержание на уровне нормального функционирования, повышение уровня потенциала и низкий уровень поддержания потенциала. Средством реализации стратегии управления потенциалом является ремонтно-строительный комплекс, который реализуется в рамках специальных инвестиционных проектов безопасности объектов.

2. Предложенный методический подход может быть использован для определения нормативов безопасности реализации эксплуатационного периода объектов на основе определения надежности потенциала объекта и эффективности мер по повышению надежности в области нормативной безопасности эксплуатации объектов. Для этого может быть использован приведенный выше модельный комплекс.

3. Предложенный подход может быть использован при разработке проектов безопасности эксплуатации объектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов, В.В. Управление безопасностью социально-экономических систем [Текст] / В.В. Герасимов, Е.С. Лабутин, Н.В. Пятых // Новые технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск : НГАСУ, 2012. — С. 161–166.

2. Герасимов, В.В. Управление программными рисками территориальных систем [Текст] / В.В. Герасимов, Е.А. Саломатин, Н.В. Пятых // Новые технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск : НГАСУ, 2012. — С. 156–161.
3. Герасимов, В.В. Инжиниринг управления экономической безопасностью экономических объектов [Текст] / В.В. Герасимов, Н.В. Пятых, Е.С. Лабутин // Социально-экономические проблемы совершенствования управленческой деятельности: теория и практика. — Новосибирск : НГАСУ, 2013. — С. 14–18.
4. Герасимов, В.В. Оценка эффективности стратегии развития кластеров региона [Текст] / В.В. Герасимов, А.К. Исаков // Экономика и организационно-управленческие проблемы развития строительного комплекса России: сб. науч. тр. Всесоюз. конф. — Новосибирск : НГАСУ, 2014. — С. 124–128.

ГЕРАСИМОВ Виталий Владимирович, д-р техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)  
КОРОБОВА Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)  
ИСАКОВ Алексей Константинович, канд. экон. наук, доц.  
Сургутский государственный университет  
САФАРЯН Геворг Борисович, асп.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)

Получено 18.05.15

**Gerasimov Vitaliy Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Korobova Olga Alexandrovna**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Isakov Alexey Konstantinovich**, candidate of economical sciences, assistant professor, Surgut State University, Russia

**Safaryan Gevorg Borisovich**, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **SECURITY MANAGEMENT OPERATIONAL PERIOD OF CONSTRUCTION SITES**

The problem of efficiency of the exploitation phase of the construction projects obtaining maximum benefit from the operation of the facilities and the uncertainty of the parameters predict the outcomes expected benefits for the long-term horizon period of operation of objects.

Currently not yet developed regulations and guidelines to determine the long-term ratings of reliability and risk, making it difficult to control the efficiency of the maintenance period for construction projects.

The article discusses the issues of integration of long-term effectiveness evaluations that will improve the level of reliability of forecasts of risk management decisions and develop on this basis the event the security implementation of forecast operational period of construction sites.

A methodical approach to managing the reliability of forecast operational period of construction objects based on the method of integrating local reliable repair and construction industries.

**Key words:** management, integrated reliability, efficiency, operational period.

REFERENCES

1. Gerasimov, V.V. Security management of socio-economic systems [Text] / V.V. Gerasimov, E.S. Labutin, N.V. Pyatykh // New technologies in building materials science. — Novosibirsk : NSUACE, 2012. — P. 161–166.
  2. Gerasimov, V.V. Control of software risks of territorial systems [Text] / V.V. Gerasimov, E.A. Salomatin, N.V. Pyatykh // New technologies in building materials science. — Novosibirsk : NSUACE, 2012. — P. 156–161.
  3. Gerasimov, V.V. Engineering economic security management of economic objects [Text] / V.V. Gerasimov, N.V. Pyatykh, E.S. Labutin // Socio-economic problems of managerial improvement: theory and practice. — Novosibirsk : NSUACE, 2013. — C. 14–18.
  4. Gerasimov, V.V. Estimation of efficiency of strategy of development of clusters of the region [Text] / V.V. Gerasimov, A.K. Isakov // Economy and organizational, administrative problems of development of a construction Rossia complex: collection of scientific works of all-Union conference. — Novosibirsk : NSUACE, 2014. — P. 124–128.
-

**УДК 338.45:691.002**

**Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, М.А. ЛЫСОВА, Е.Н. НИКИФОРОВА, Б.Н. ГУСЕВ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО АССОРТИМЕНТА  
ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\***

Введено новое понятие «конкурентоспособный ассортимент», а также определены его основные и известные в товароведении составляющие: развернутый, оптимальный и рациональный ассортимент. Предложена методика комплексной оценки конкурентоспособного ассортимента, результаты которой выявляются с помощью установленных уровней градации. Для автоматизации процесса расчета комплексного показателя конкурентоспособного ассортимента разработана компьютерная программа.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность, ассортимент, геотекстильный материал, дорожное строительство, комплексный показатель, оценка, градация.

Для обеспечения необходимого уровня конкурентоспособности предприятия необходимо проводить работу в следующих направлениях [1]: выпускать высококачественную продукцию; иметь современные технологии производства продукции; постоянно снижать внепроизводственные издержки производства; иметь высококвалифицированный персонал и т.д.

Наряду с перечисленными направлениями существенную роль играет и формирование конкурентоспособного ассортимента выпускаемой продукции, понятие и наполнение которого не отражено в учебной и научной литературе. Поэтому цель работы состояла в разработке методики формирования и количественной оценке конкурентоспособного ассортимента.

Первоначально, уточняя понятие «конкурентоспособный ассортимент» как отдельную его разновидность, аккумулировали его известными в товароведении [2] разновидностями, а именно развернутый, рациональный и оптимальный ассортимент. Согласно [2] понятие разновидности «развернутый ассортимент» характеризуется различным количеством видовых отличий, как правило, однородной продукции, разновидность «рациональный ассортимент» отождествляется с наполнением ассортимента качественной продукции, разновидность «оптимальный ассортимент» наряду с качественными показателями отражает оптимальные ценовые характеристики продукции. Таким образом, в формализованном виде конкурентоспособный ассортимент (КСА) можно представить в следующей конструкции:

$$KCA \subset (A_{\text{раз}}, A_{\text{рац}}, A_{\text{опт}}), \quad (1)$$

---

\* Работа выполнена в рамках инициативного исследовательского проекта, поддержанного региональным конкурсом РФФИ на 2015–2016 гг. (проект 15-48-03188-р\_центр\_a).

где  $A_{раз}$ ,  $A_{рац}$ ,  $A_{опт}$  — соответственно развернутый, рациональный и оптимальный ассортимент.

Производственной базой для формирования и оценки КСА была выбрана продукция промышленного предприятия, которое производит геотекстильные материалы, используемые в дорожном строительстве.

На этапе декомпозиции разновидности «конкурентоспособный ассортимент» от частных разновидностей осуществляем переход к соответствующим свойствам, а именно разновидность «развернутый ассортимент» трансформируем в свойство «наполняемость ассортимента», аналогично «рациональный ассортимент» переводим в свойство «качество ассортимента», а «оптимальный ассортимент» преобразуем в свойство — «стоимость на обеспечение соответствующего уровня качества». В свою очередь, сложное свойство «наполняемость ассортимента» в соответствии с [2] включает такие простые свойства ассортимента, как широта, полнота и глубина, которые отражаются соответствующими количественными показателями.

Для сложного свойства «качество ассортимента» можно выделить по шкале порядка соответствующие уровни градации: «высокое качество», «приемлемое качество» и «низкое качество», которые по методике [3] можно сформировать из шкалы отношений в виде: 1,00...0,81 — «высокое»; 0,80...0,61 — «приемлемое»; 0,60...0,41 — «низкое» и 0,40...0,00 — отсутствие самого понятия качественной продукции.

Для свойства «стоимость на обеспечение соответствующего уровня качества ассортимента» определяем на основании установленных уровней градации качества ассортимента.

В результате сформировали «дерево разновидностей и свойств» для декомпозиции понятия «конкурентоспособный ассортимент», которое показано на рис. 1.

На следующем этапе исследования формировали оценочную шкалу конкурентоспособного ассортимента. Для этого первоначально выделяли качественные характеристики (свойства) разновидностей ассортимента, далее для каждого выделенного свойства определяли необходимые количественные показатели.

Количественную оценку развернутого ассортимента по свойству широта (ш), полнота (п) и глубина (г) можно осуществлять следующими показателями в абсолютной и относительной форме выражения. Приведем только пример для свойства «широта ассортимента»:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{ш} &= (X_{ш})_б - (X_{ш})_ф; \\ 8X_{ш} &= 1 - (X_{ш})_ф / (X_{ш})_б; \\ K_{ш} &= (X_{ш})_ф / (X_{ш})_б, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $(X_{ш})_ф$ ,  $(X_{ш})_б$  — фактическое и базовое значения группы товаров;  $K_{ш}$  — коэффициент широты.

Количественную оценку рационального ассортимента по свойствам высокое качество (вк), приемлемое качество (пк) и низкое качество (нк) также можно осуществлять по показателям в абсолютной и относитель-

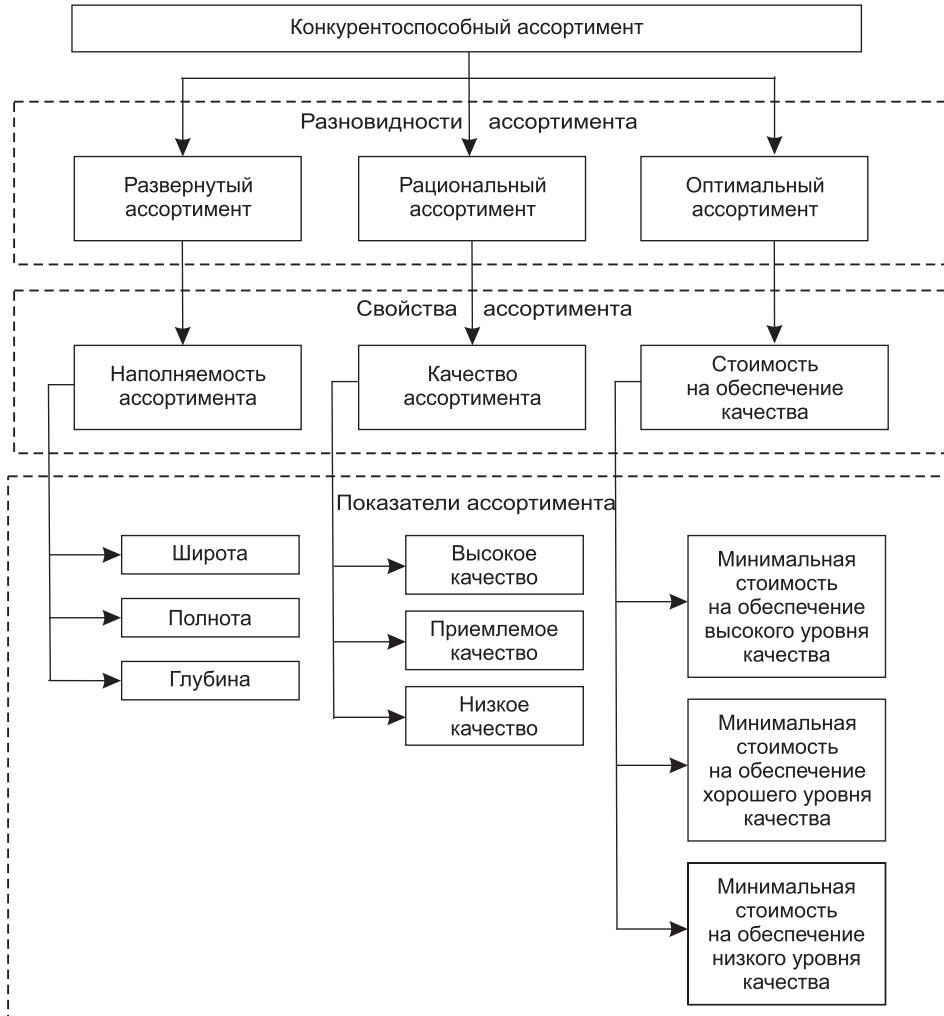


Рис. 1. Дерево разновидностей и свойств для наполнения понятия «конкурентоспособный ассортимент» для продукции промышленного предприятия

ной форме выражения. Например, для свойства «высокое качество» имеем следующие показатели:

$$\begin{aligned} Y &= Y_{\text{вк}} + Y_{\text{пк}} + Y_{\text{нк}} ; \\ (\delta Y)_{\text{вк}} &= (\Delta Y_{\text{вк}} / Y), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Y$  — оценка качества;

$Y_{\text{вк}}$ ,  $Y_{\text{пк}}$ ,  $Y_{\text{нк}}$  — число изделий, оцениваемых высшим, приемлемым и низким качеством.

Соответственно количественную оценку оптимального ассортимента по свойствам минимальная стоимость на обеспечение высокого, приемлемого и низкого уровня качества также осуществляли по показателям в абсолютной и относительной форме выражения. Для свойства «минимальная стоимость на обеспечение высокого уровня качества» показатели могут быть следующие:

$$\begin{aligned} Z &= Z_{\text{вк}} + Z_{\text{пк}} + Z_{\text{нк}} ; \\ (\delta Z)_{\text{вк}} &= (\Delta Z_{\text{вк}} / Z), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $Z$  — суммарная стоимость качественных изделий;  $Z_{\text{вк}}$ ,  $Z_{\text{пк}}$ ,  $Z_{\text{нк}}$  — минимальная стоимость на обеспечение соответственно высокого, приемлемого и низкого качества.

Количественную оценку развернутого ассортимента определим по формуле

$$A_{\text{раз}} = \{[(K_{\text{ш}})_{\phi} / (K_{\text{ш}})_6] \cdot \alpha_{\text{ш}} + [(K_{\text{п}})_{\phi} / (K_{\text{п}})_6] \cdot \alpha_{\text{п}} + [(K_{\text{р}})_{\phi} / (K_{\text{р}})_6] \cdot \alpha_{\text{р}}\} \leq 1. \quad (5)$$

Количественную оценку рационального ассортимента вычислим согласно выражения

$$A_{\text{рац}} = \{[(\delta Y_{\text{вк}})_{\phi} / (\delta Y_{\text{вк}})_6] \cdot \alpha_{\text{вк}} + [(\delta Y_{\text{пк}})_{\phi} / (\delta Y_{\text{пк}})_6] \cdot \alpha_{\text{пк}} + [(\delta Y_{\text{нк}})_{\phi} / (\delta Y_{\text{нк}})_6] \cdot \alpha_{\text{нк}}\} \leq 1. \quad (6)$$

Оценку стоимости ассортимента товаров на обеспечение выделенных качественных градаций найдем по формуле

$$A_{\text{опт}} = \{[(\delta Z_{\text{вк}})_{\phi} / (\delta Z_{\text{вк}})_6] \cdot \alpha_{\text{вк}} + [(\delta Z_{\text{пк}})_{\phi} / (\delta Z_{\text{пк}})_6] \cdot \alpha_{\text{пк}} + [(\delta Z_{\text{нк}})_{\phi} / (\delta Z_{\text{нк}})_6] \cdot \alpha_{\text{нк}}\} \leq 1. \quad (7)$$

Таким образом, для оценки конкурентоспособного ассортимента при его формировании в шкале отношений необходимо развернуть выражение (1) с учетом весомостей их составляющих в виде

$$\text{KCA} = A_{\text{раз}} \cdot \beta_{\text{раз}} + A_{\text{рац}} \cdot \beta_{\text{рац}} + A_{\text{опт}} \cdot \beta_{\text{опт}} \leq 1. \quad (8)$$

Осуществим расчет КСА для геотекстильного материала (табл.). При этом принимаем, что коэффициенты весомости  $\alpha$  по отдельным показателям, а также по разновидностям ассортимента  $\beta$  являются равнозначными и при этом сохраняется условие  $\sum_i^3 \alpha_i = 1$  и  $\sum_j^3 \beta_j = 1$ .

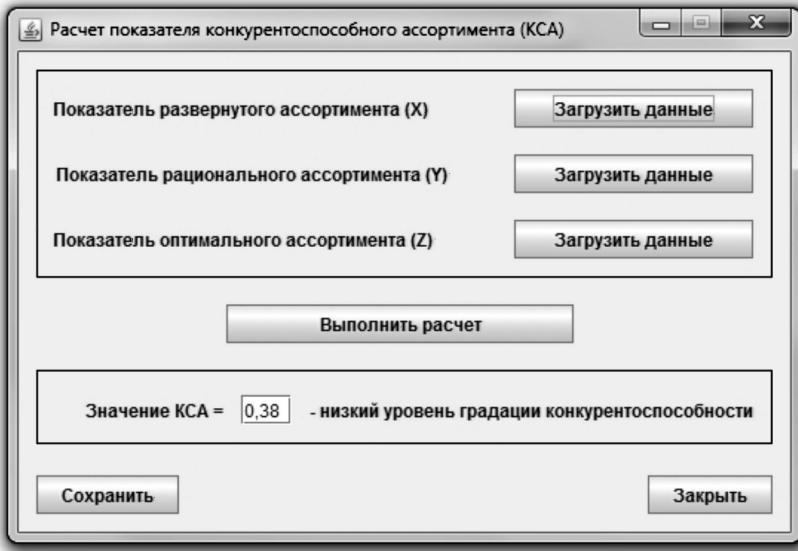
#### **Значения единичных показателей конкурентоспособного ассортимента геотекстильного материала**

Свойство	Количественный показатель	Значение	
		фактическое	базовое
Наполняемость ассортимента	$K_{\text{ш}}$	13	25
	$K_{\text{п}}$	8	25
	$K_{\text{р}}$	8	13
Качество продукции	$(\delta Y)_{\text{вк}}$	6	13
	$(\delta Y)_{\text{пк}}$	5	13
	$(\delta Y)_{\text{нк}}$	2	13
Стоимость на обеспечение соответствующего уровня качества	$(\delta Z)_{\text{вк}}$	17,2	88,6
	$(\delta Z)_{\text{пк}}$	28,4	88,6
	$(\delta Z)_{\text{нк}}$	43,0	88,6

В результате имеем  $\text{KCA} = 0,38$ , что показывает на недостаточный (низкий) уровень сформированного ассортимента, так как по шкале порядка [4]:  $\text{KCA} = 1,00...0,71$  имеет достаточный уровень конкурентоспособности.

собности; КСА = 0,70...0,41 — приемлемый уровень конкурентоспособности; КСА = 0,40...0,00 — недостаточный уровень конкурентоспособности.

Для автоматизации процесса расчета КСА использовали компьютерную программу [5], составленную в оболочке Java 8 (рис. 2).



*Рис. 2. Окно программы для расчета показателя конкурентоспособного ассортимента промышленного предприятия*

**Выводы.** 1. Разработана методика формирования и количественной оценки КСА продукции промышленного предприятия для обеспечения требуемого уровня его конкурентоспособности.

2. Для автоматизации процесса расчета КСА предложена компьютерная программа, составленная в оболочке Java 8.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Резник, С.Д. Персональный менеджмент [Текст]: учебник / С.Д. Резник, Ф.Е. Удалов и др. — Пенза : ПГАСА, 2000. — 546 с.
2. Николаева, М.А. Теоретические основы товароведения [Текст] / М.А. Николаева. — М. : Норма, 2006.
3. Грузинцева, Н.А. Совершенствование номенклатуры показателей и оценки качества геотекстильных материалов [Текст] / Н.А. Грузинцева, А.А. Овчинников, М.А. Лысова, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 2014. — № 3. — С. 28–32.
4. Гусев, Б.Н. Проектирование конкурентоспособности тканых полотен [Текст] / Б.Н. Гусев, Н.А. Грузинцева, М.А. Сташева. — Иваново : ИГТА, 2007. — 172 с.
5. Грузинцева, Н.А. Компьютерная программа количественной оценки конкурентоспособного ассортимента [Текст] / Н.А. Грузинцева, Д.А. Панов, Б.Н. Гусев // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 20865 в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование». — Опубл. 05.05.2015.

*ГРУЗИНЦЕВА Наталья Александровна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: gruzincevan@mail.ru*

*Ивановский государственный политехнический университет  
ЛЫСОВА Марина Александровна, канд. техн. наук; E-mail: lysova7@yandex.ru  
Ивановский государственный политехнический университет*

**НИКИФОРОВА Елена Николаевна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: nen07@rambler.ru**  
*Ивановский государственный политехнический университет*  
**ГУСЕВ Борис Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: mtsm@ivgpu.com**  
*Ивановский государственный политехнический университет*

Получено после доработки 29.05.15

**Gruzintseva Natalia Alexandrovna**, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: gruzincevan@mail.ru, Ivanovo State Polytechnic University, Russia

**Lysova Marina Alexandrovna**, candidate of technical sciences; E-mail: lysova7@yandex.ru, Ivanovo State Polytechnic University, Russia

**Nikiforova Elena Nikolaevna**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: nen07@rambler.ru, Ivanovo State Polytechnic University, Russia

**Gusev Boris Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: mtsm@ivgpu.com, Ivanovo State Polytechnic University, Russia

## **METHODS OF FORMATION OF COMPETITIVE GOODS RANGE AT A BUILDING MATERIALS ENTERPRISE**

A new concept of «competitive goods range» is introduced in the paper. The identification of its main components is defined as well, namely: detailed range, optimal range, rational (efficient) range. The technique of integrated evaluation of competitive goods range is suggested. The results of the suggested technique are revealed by (using) established levels of gradation. The computer program for automation of calculating the complex index of competitive goods range has been developed.

**Key words:** competitiveness, range, geotextile material, road construction, a comprehensive index, assessment, grading.

### **REFERENCES**

1. Reznik, S.D. Personal management [Text]: textbook / S.D. Reznik, F.E. Udalov and others. — Penza : PSUAC, 2000. — 546 p.
2. Nikolaeva, M.A. Theoretical bases of commodity science [Text] / M.A. Nikolaeva. — M. : Norma, 2006.
3. Gruzintseva, N.A. Improving range of indicators and quality assessment of geotextile materials [Text] / N.A. Gruzintseva, A.A. Ovchinnikov, M.A. Lysova, B.N. Gusev // Izv. universities. Technology of textile industry. — 2014. — N 3. — P. 28–32.
4. Gusev, B.N. Design competitiveness woven cloths [Text] / B.N. Gusev, N.A. Gruzintseva, M.A. Stasheva. — Ivanovo : ISTA, 2007. — 172 p.
5. Gruzintseva, N.A. A computer program for the quantitative assessment of the competitive range [Text] / N.A. Gruzintseva, D.A. Panov, B.N. Gusev // Registration Certificate electronic resource N 20865 on the consolidated Fund of electronic resources «Science and education». — Publ. 05.05.2015.

## ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.84.001.24

Л.Н. ГАХОВА, Ю.А. КУЗНЕЦОВА

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТУРБИННЫХ ВОДОВОДОВ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Разработана и методом граничных интегральных уравнений реализована математическая модель напряженного состояния двух параллельных турбинных водоводов в трехмерной постановке. Выполнен сравнительный анализ напряженного состояния конструктивных элементов водоводов при различном сочетании нагрузок.

Ключевые слова: турбинные водоводы, температурные воздействия, напряженно-деформированное состояние, метод граничных интегральных уравнений.

Составной частью высоконапорных гидротехнических сооружений являются сталежелезобетонные турбинные водоводы, рассчитанные на продолжительный период эксплуатации и требующие обеспечения надежности и безопасности, регламентируемые рядом документов, в том числе Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений», СП 58.13330.2012. Важнейшим элементом определения уровня безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) при проектировании, прогнозировании и контроле их состояния в эксплуатационный период является математическое моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) сооружения в целом и отдельных его конструктивных элементов, позволяющее учитывать многие факторы, влияющие на состояние ГТС.

В настоящее время для моделирования НДС массивных железобетонных конструкций наряду с методом конечных элементов используется метод граничных интегральных уравнений [1, 2], позволяющий при оценке НДС конструкций формулировать задачу непосредственно для границ расчетных блоков, что не требует использования специальных приемов для отражения контактных условий, определяющих характер деформирования расчетного блока. В расчетах НДС многослойного сталежелезобетонного турбинного водовода под блоками понимаются его слои [1].

Исследовалось взаимовлияние в эксплуатационный период двух параллельных турбинных сталежелезобетонных водоводов Саяно-Шушенской ГЭС, расположенных в центральной части плотины (9-й, 10-й водоводы) и вынесенных на ее низовую грань. Предполагалось, что плотина возведена и нагружена мгновенно. Расчеты выполнялись с учетом сезонного колебания температур воды на пороге водоприемника

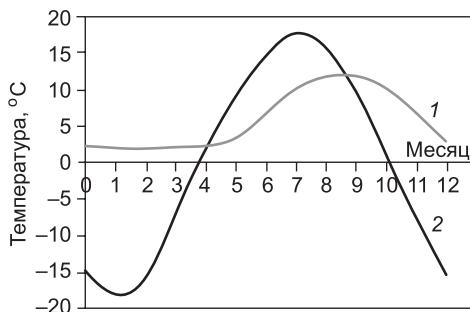


Рис. 1. Температура воды (1) на пороге водоприемника и сезонное колебание температуры воздуха (2) в районе СШ ГЭС

состоящего из внутренней стальной оболочки с двумя слоями арматурной стали (эквивалентными двум рядам кольцевой арматуры). При этом толщина каждого из арматурных колец принималась из условия равенства площади сечения кольца площади сечения арматурных стержней в соответствующем ряду армирования [3]. Предполагалось, что металл оболочки, бетон и арматурные кольца — линейно деформируемые материалы. При численном решении

Таблица 1. Физико-механические свойства конструктивных элементов сталежелезобетонных водоводов

Физические параметры массива	Стальная оболочка	Бетон	Материал арматурных колец
Модуль упругости $E$ , МПа	$2,1 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^5$
Плотность $\rho$ , кг / м <sup>3</sup>	7794	2400	7784
Коэффициенты:			
Пуассона $\nu$	0,28	0,17	0,25
линейного теплового расширения $\alpha$ , 1 / град	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,95 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
теплопроводности $k$ , Вт / (м · град)	35	1	30
температуропроводности $\alpha$ , м <sup>2</sup> / с	$7,32 \cdot 10^{-6}$	$0,54 \cdot 10^{-6}$	$0,84 \cdot 10^{-6}$
теплоотдачи $\alpha_1$ , Вт / (м <sup>2</sup> · град)	3,51	0,87	2,1

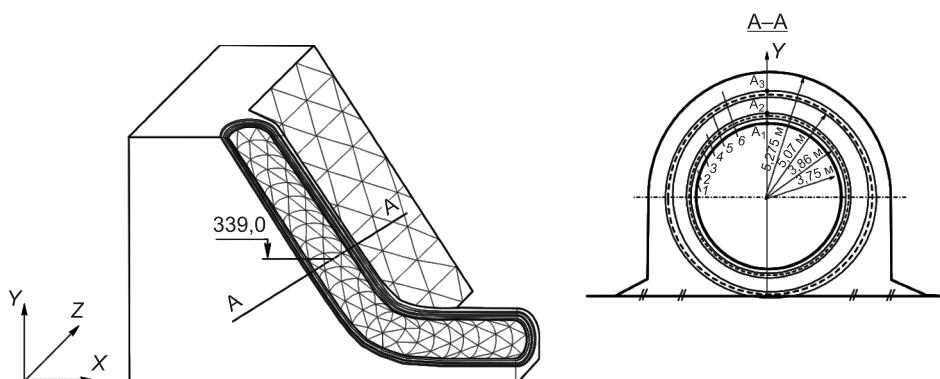


Рис. 2. Аппроксимация поверхности элементов конструкций водовода криволинейными листами вблизи анкерных опор

и наружного воздуха (рис. 1). Исходные данные для расчета напряженного состояния сталежелезобетонного турбинного водовода приведены в табл. 1. Расчеты выполнены с учетом трещиноватости бетона [2, 3]. При этом учитывался опыт моделирования трещинообразования в железобетоне напорных водоводов [4].

Сталежелезобетонный водовод круглого сечения моделировался в виде многослойного кольца (рис. 2), оболочки и внешней железобетонной

граничной поверхность блоков (колец) покрывается криволинейными листами, которые аппроксимируются плоскими элементами — треугольниками (рис. 2) [2]. Геометрия поперечного сечения водоводов приведена на рис. 2.

Результаты расчетов представлены главными напряжениями  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) конструктивных элементов жестко связанного с низовой гранью водовода в плоскости, перпендикулярной направляющей водовода (сечение A-A, рис. 2), на отм. 339 м.

Взаимовлияние двух параллельных водоводов в сечении A-A ограничивается действием растягивающих напряжений  $\sigma_1$  на низовую грань плотины (рис. 3, a): глубина действия  $\sigma_1$  вблизи поверхности низовой грани между водоводами  $L_2 \approx 1,6L_1$ , где  $L_1$  — глубина действия  $\sigma_1$  на

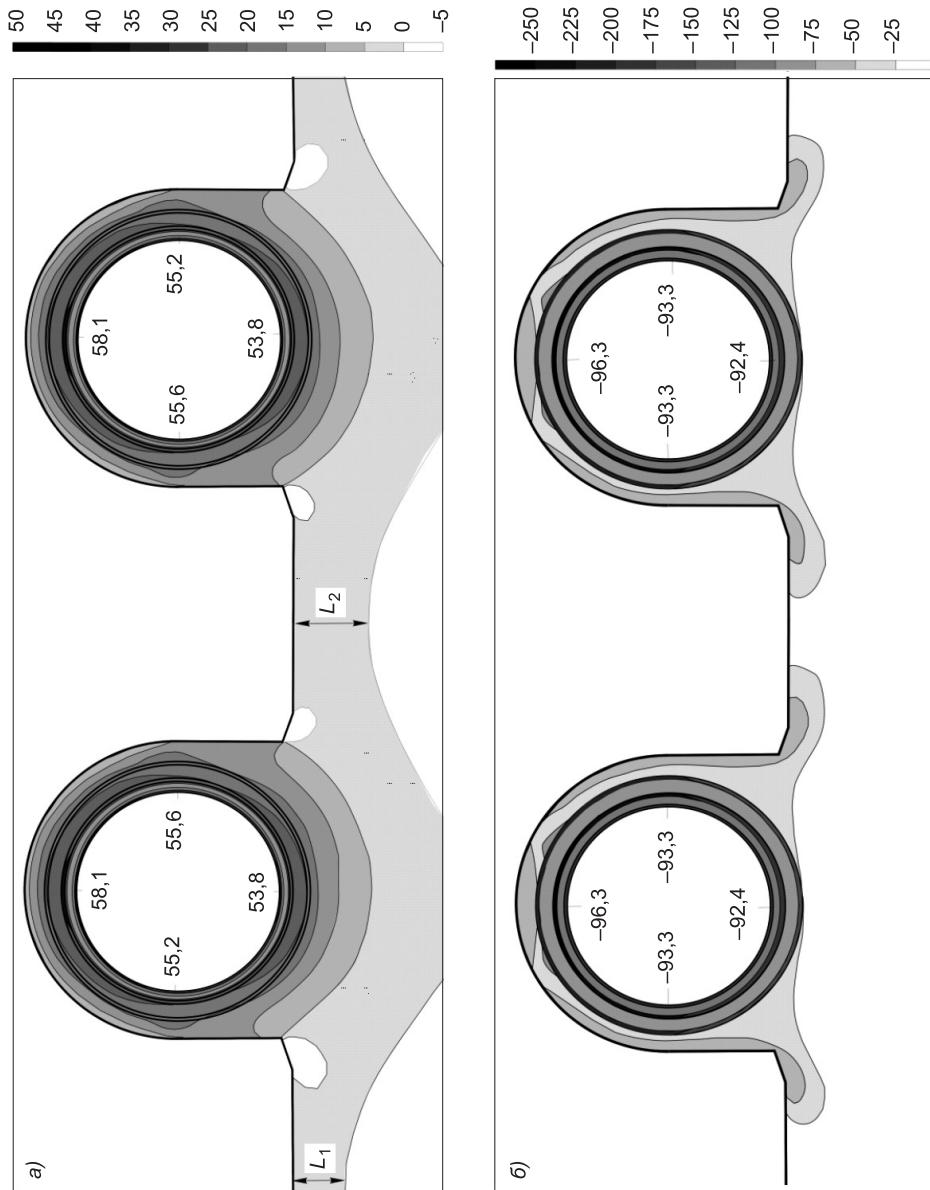


Рис. 3. Главные напряжения (МПа)  $\sigma_1$  (a) и  $\sigma_3$  (b) в конструктивных элементах осущенных водоволов

удалении  $0,5m$  от одиночного водовода ( $m$  — расстояние между водоводами). При этом в области сопряжения низовой грани с водоводами графики изолиний  $\sigma_1$  у каждого из водоводов асимметричны. Значения  $\sigma_1$  в верхних и нижних точках металлической оболочки в параллельных водоводах совпадают, а в боковых точках различаются не более чем на 1 % (см. рис. 3, а). Значения сжимающих напряжений, направленных вдоль оси водоводов, в соответствующих точках совпадают.

На рис. 4 приведены эпюры максимальных значений главных напряжений стальной оболочки и кольцевой арматуры в период работы агрегата (сечение А–А). В табл. 2, 3 для верхних точек конструктивных элементов водовода ( $A_1$ – $A_3$ , см. рис. 2) приведены результаты расчетов главных напряжений, вызванных опорожнением водовода и его наполнением, с гидростатическим давлением в водоводе, соответствующим НПУ = 539 м при максимальных и минимальных значениях температур наружного воздуха (см. рис. 1).

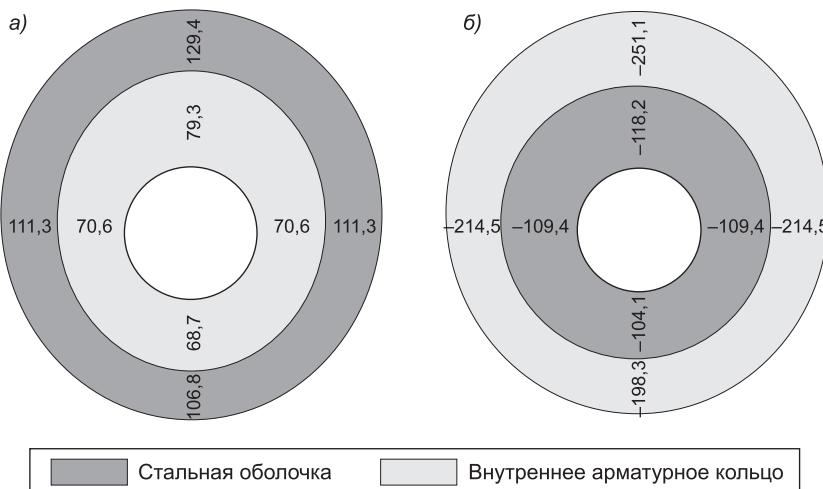


Рис. 4. Эпюры максимальных значений главных напряжений (МПа)  $\sigma_1$  (а) и  $\sigma_3$  (б) в стальной оболочке и внутреннем арматурном кольце водовода в период работы агрегата

Растягивающие напряжения  $\sigma_1$  в металлической оболочке по сечению распределены неравномерно (см. рис. 3, а; 4, а): наибольшие напряжения  $\sigma_1$  наблюдаются в верхней части, наиболее удаленной от низовой грани, меньшие значения — в точке сопряжения низовой грани с водоводом. В боковых частях оболочки растягивающие напряжения не превосходят 86 % от максимальных значений.

Аналогичный характер распределения  $\sigma_1$  наблюдается во внутреннем арматурном кольце: в боковых частях растягивающие напряжения не превосходят 89 % от максимальных значений (в верхней части арматурного кольца  $\sigma_1$  достигает 79,3 МПа, см. рис. 4, а), наименьшие значения в месте заделки водовода в низовую грань плотины. Такой характер распределения  $\sigma_1$  свидетельствует о возможных растягивающих деформациях контура металлической оболочки и арматуры в направлении, параллельном низовой грани.

Таблица 2. Главные напряжения конструктивных элементов водовода при его опорожнении во время перерывов в работе агрегата

Конструктивные элементы водовода	Главные напряжения, МПа			
	$\sigma_1$		$\sigma_3$	
	$T_{\min}^{\text{возд}} = -17,3^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}^{\text{возд}} = +17,9^{\circ}\text{C}$	$T_{\min}^{\text{возд}} = -17,3^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}^{\text{возд}} = +17,9^{\circ}\text{C}$
Металлическая оболочка	58,1	40,2	-96,3	-81,4
Внутреннее арматурное кольцо	32,2	24,1	-261,4	-182,5
Внешнее арматурное кольцо	27,4	16,4	-196,3	-136,8

Таблица 3. Главные напряжения конструктивных элементов водовода при гидростатическом давлении в водоводе в период работы гидроагрегата

Конструктивные элементы водовода	Главные напряжения, МПа			
	$\sigma_1$		$\sigma_3$	
	$T_{\min}^{\text{возд}} = -17,3^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}^{\text{возд}} = +17,9^{\circ}\text{C}$	$T_{\min}^{\text{возд}} = -17,3^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}^{\text{возд}} = +17,9^{\circ}\text{C}$
Металлическая оболочка	129,4	114,6	-118,2	-79,6
Внутреннее арматурное кольцо	79,3	52,2	-251,1	-194,3
Внешнее арматурное кольцо	96,8	67,4	-206,7	-142,8

Для сжимающих напряжений  $\sigma_3$  (продольных напряжений), направленных параллельно низовой грани плотины, характерна их концентрация в районе верхней части стальной оболочки: максимальных значений ( $-118,4$  МПа)  $\sigma_3$  достигает при минимальных температурах наружного воздуха в период работы агрегата. В аналогичных условиях при осушенному водоводу  $\sigma_3$  снижается до  $-96,3$  МПа (см. табл. 2, 3). Во внутреннем арматурном кольце максимальные значения  $\sigma_3$  ( $-261,4$  МПа) наблюдаются при минимальных температурах наружного воздуха в период опорожнения водовода (в период работы агрегата  $\sigma_3 = -251,1$  МПа). В продольном направлении внутреннее арматурное кольцо водовода — наиболее нагруженный его элемент. В нижних точках конструктивных элементов (вблизи низовой грани плотины) сжимающие продольные напряжения меньше, чем в верхних, что не противоречит характеру изменения напряженного состояния низовой грани плотины по данным натурных наблюдений [4, 5].

В качестве особенности распределения напряжений в элементах водовода можно отметить тот факт, что растягивающие напряжения при осушенному водоводу меняются равномерно от наибольших  $\sigma_1$  в металлической оболочке к наименьшим значениям во внешнем арматурном кольце (см. табл. 2); при работающем гидроагрегате растяжения во внешнем арматурном кольце больше, чем во внутреннем (см. табл. 3). Характер распределения сжимающих (продольных) напряжений иной: в обоих случаях наиболее нагруженным является внутреннее арматурное кольцо (см. табл. 2, 3).

Таким образом, установлено:

— взаимовлияние параллельных водоводов, размещенных на низовой грани плотины СШ ГЭС, минимально;

— характер изменения как растягивающих, так и сжимающих (продольных) напряжений в период работы агрегатов и в осушенном водоводе различен, что может объясняться не только изменением параметров гидростатического давления в водоводе, но и изменением температурного режима внутренней стороны трубопровода.

МГИУ позволяет учесть конструктивные особенности многослойных сталежелезобетонных водоводов, гидростатические нагрузки, носящие циклический характер. Результаты апробации предлагаемого метода (МГИУ) свидетельствуют о возможности его использования в качестве расчетного аппарата для исследования пространственного напряженного состояния сталежелезобетонных турбинных водоводов высоконапорных гидротехнических сооружений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гахова, Л.Н. Расчет напряжений в сталежелезобетонных турбинных водоводах методом граничных интегральных уравнений [Текст] / Л.Н. Гахова, Ю.А. Кузнецова // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 8. — С. 59–65.
2. Гахова, Л.Н. Оценка напряженного состояния турбинных водоводов методом граничных интегральных уравнений [Текст] / Л.Н. Гахова, Ю.А. Кузнецова // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 8-9. — С. 32–37.
3. Лисичкин, С.Е. Особенности расчета и проектирования сталежелезобетонных напорных водоводов [Текст] / С.Е. Лисичкин, О.Д. Рубин, Б.А. Николаев, Н.М. Камнев // Гидротехническое строительство. — 1999. — № 1. — С. 37–44.
4. Александров, Ю.Н. Об измерениях напряжений в арматуре массивных железобетонных конструкций [Текст] / Ю.Н. Александров // Гидротехническое строительство. — 2011. — № 2. — С. 19–23.
5. Пермякова, Л.С. Напряженно-деформированное состояние элементов напорного тракта турбин Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / Л.С. Пермякова, В.А. Рассказчиков, В.А. Уляшинский, А.П. Епифанов, Ю.А. Кузнецова // Гидротехническое строительство. — 2008. — № 11. — С. 11–18.

*ГАХОВА Лидия Николаевна, канд. физ.-мат. наук*

*Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск*

*КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна, канд. техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)*

Получено 22.05.15

**Gakhova Lidiya Nikolaevna**, candidate of physical and mathematical sciences, Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Kuznetsova Yuliya Anatolevna**, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

#### **MATHEMATICAL MODELLING OF THE STRESSED STATE OF STEEL REINFORCED CONCRETE TURBINE CONDUITS IN THREE-DIMENSIONAL STATEMENT**

The author developed mathematical modelling of stress state of two parallel composite turbine conduits in three-dimensional statement and realized it by boundary integral equations

method. The comparative analysis of the tension of constructive elements of conduits at various combinations of loadings is made.

**Key words:** turbine conduits, temperature action, the stress-strain state, boundary integral equations method.

#### REFERENCES

1. Gakhova, L.N. Boundary integral approach to stress calculation in steel and concrete power conduits [Text] / L.N. Gakhova, Yu.A. Kuznetsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 8. — P. 59–65.
  2. Gakhova, L.N. Evaluation of the stress state of turbine conduits by the boundary integrated equations method [Text] / L.N. Gakhova, Yu.A. Kuznetsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 8-9. — P. 32–37.
  3. Lisichkin, S.E. Features of calculating and designing the composite pressure conduit [Text] / S.E. Lisichkin, O.D. Rubin, B.A. Nikolaev, N.M. Kamnev // Hydroengineering Construction. — 1999. — N 1. — P. 37–44.
  4. Alexandrov, Yu.N. About measurements of tension in of stresses in the reinforcement of massive concrete structures [Text] / Yu.N. Alexandrov // Hydroengineering Construction. — 2011. — N 2. — P. 19–23.
  5. Permyakova, L.S. Stress-strain state of power conduit elements in turbines of the Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Station [Text] / L.S. Permyakova, V.A. Rasskazchikov, V.A. Ulyashinskiy, A.P. Epifanov, Yu.A. Kuznetsova // Hydroengineering Construction. — 2008. — N 11. — P. 11–18.
-

## **САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА**

**УДК 628.14(571.56)**

**А.М. САЛЬВА**

### **МАГИСТРАЛЬНОЕ И ГРУППОВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В ЗАРЕЧНЫХ РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Рассматриваются краткое описание инженерно-геокриологических условий района эксплуатации магистрального и группового водоводов, а также схема магистрального водовода «р. Лена — пос. Туора Кюель — р. Татта», схема магистрального водовода «р. Лена — оз.-вдхр. Мюрю» и группового водовода «вдхр. Бедеме — оз.-вдхр. Тюнгюлю». Кроме этого на схеме показаны водохранилища, головная плавучая насосная станция, насосные станции, трубопровод и бесструбные участки — каналы, которые входят в систему водоснабжения населенных пунктов заречных районов Центральной Якутии. В работе даются перспективы водоснабжения районов в ближайшем будущем.

**Ключевые слова:** магистральный и групповой водоводы, головная плавучая насосная станция (ГПНС), насосные станции (НС), бесструбный участок (канал), водохранилища, Центральная Якутия.

Специфика климатологических и геологических условий северных территорий России существенно усложняет задачу водоснабжения этих регионов. Поэтому представляет интерес опыт, накопленный в Якутии, где в начале 90-х гг. прошлого столетия в заречной группе сельских районов Центральной части республики с целью обеспечения населения питьевой и технической водой началось строительство системы магистрального водоснабжения, которая состояла из насосных станций, трубопроводов, водохранилищ и каналов. Было предусмотрено строительство трех ветвей водоводов [1].

Цель работы — рассмотреть краткие инженерно-геокриологические условия района эксплуатации водоводов и изучить схему магистрального и группового водоснабжения заречных сельских районов Центральной Якутии и перспективу его развития.

Система магистрального водоснабжения в заречных районах Центральной Якутии состоит из трех ветвей водоводов (рис. 1): 1) 1 — р. Лена — пос. Туора Кюель и 4 — канал пос. Туора Кюель — р. Татта, 2) 2 — вдхр. пос. Бедеме — озеро пос. Тюнгюлю, 3) 3 — р. Лена — оз. Мюрю (пос. Борогонцы). Самый протяженный из всех водоводов — магистральный водовод «Лена — Туора Кюель — Татта» расположен на территории сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород (ММП), на всем своем протяжении (150 км) встречающий участки более или менее интенсивного развития мерзлотных (криогенных) геоло-

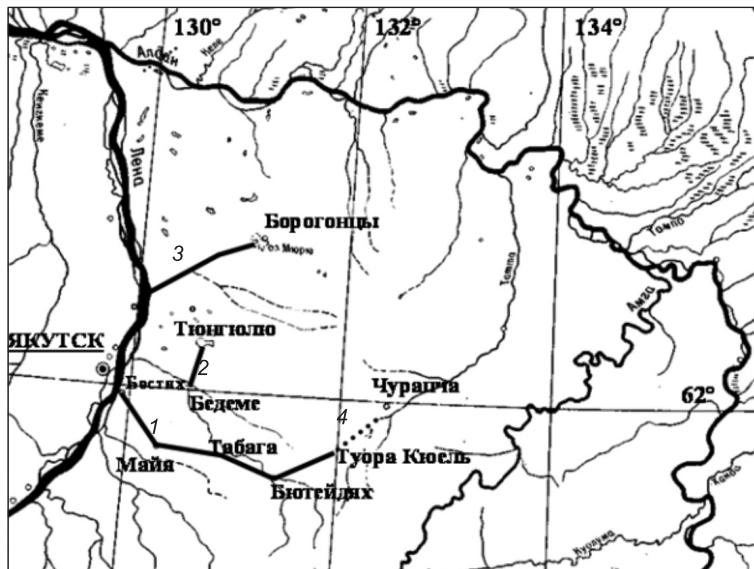


Рис. 1. Обзорная карта территории

гических процессов и явлений. Он включает (рис. 2) головную плавучую насосную станцию, четыре промежуточных водоема с насосными станциями, пять плотин, трубопровод из стальных труб и каналы (беструбный участок) общей протяженностью более 20 км. Все насосные станции электрифицированы. Плановое положение трассы магистрального водовода выбрано с учетом удобства эксплуатации, минимальной протяженности, а также обеспечения сохранности окружающей среды [1].

Инженерно-геокриологические условия данной территории характеризуются сложностью распространения многолетнемерзлых пород, вовлекаемых в сферу инженерного воздействия. В разрезе принимают участие: суглинистые грунты, супесчаные пучинистые, песчаные грунты от мелких до средних фракций плотного сложения и песчаные, рыхлые грунты в отложениях Бестяхской террасы. Четвертичные аллювиальные отложения Тунгюлюнской и Абалахской террасы (равнины) отличаются повышенной просадочностью и сжимаемостью. Трасса водовода расположена в зоне распространения многолетней мерзлоты сливающегося типа. Сплошность ее нарушается под руслом Лены и под крупными озерами. Многолетнемерзлые тонкодисперсные отложения Тунгюлюнской и Абалахской равнин характеризуются очень высокой льдистостью. Общая льдистость их местами превышает 0,6 доли ед. Вскрытая мощность льдов достигает 13,0 м и более. В многолетнемерзлых тонкодисперсионных суглинисто-супесчаных грунтах широко развиты повторно-жильные льды. Кровля залегания их в большинстве случаев сливается с нижней границей сезонно-талого слоя. С этим связаны проявления негативных процессов на поверхности этих равнин. Особенно быстрые и нерегулируемые процессы термокарста [2–5] наблюдаются на вновь раскорчеванных участках и на участках с нарушенным почвенно-растительным слоем. Многолетнемерзлые грунты при оттаивании переходят в текучую консистенцию, просадочное, сильнопросадочное и сжимаемое состояние. Сезонное

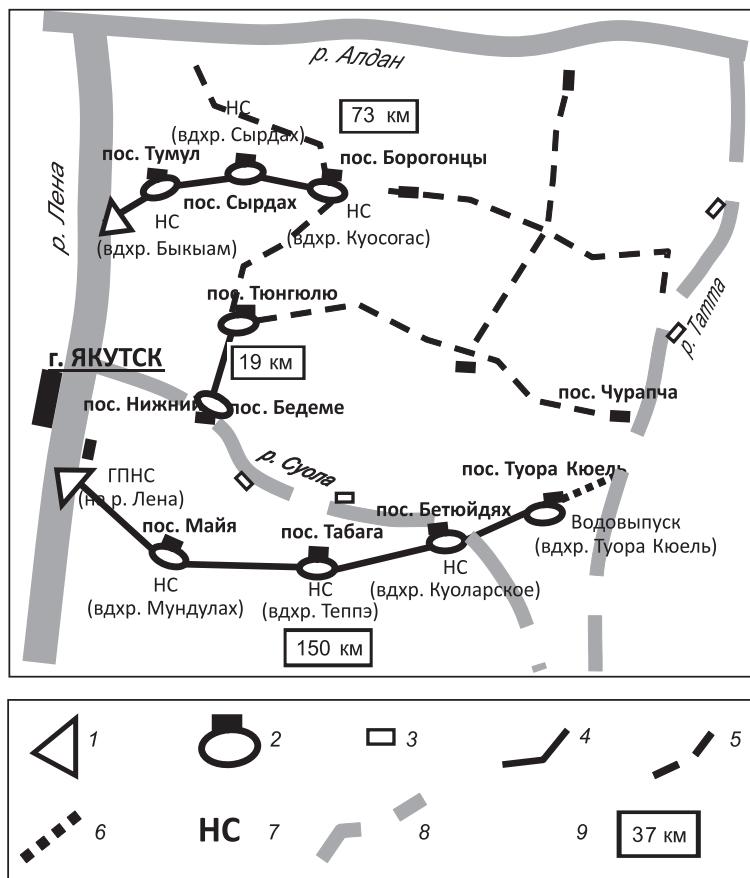


Рис. 2. Схема магистрального и группового водоснабжения заречных районов Центральной Якутии

1 — водозаборный узел головной плавучей насосной станции; 2 — населенные пункты с действующими водохранилищами; 3 — населенные пункты с водоснабжением по малым рекам; 4 — действующие магистральные и групповые водоводы; 5 — проектируемые магистральные и групповые водоводы; 6 — магистральный самотечный канал Туора Кюель — Татта; 7 — насосная станция; 8 — пересыхающие в верховьях р. Суола и р. Татта; 9 — протяженность водопровода от водозабора до водосброса, км

оттаивание обусловлено характером растительного покрова, заторфованности, литологического состава грунтов, заболоченности участка и экспозиции склонов. Обычно степень оттаивания понижается на залесенных, заболоченных и заторфованных участках (до 1,0 м) и увеличивается на открытых возвышенных участках, сложенных песчаными отложениями до 3,0–3,5 м, в эоловых песках даже до 4–5 м. Оттаивание грунтов начинается в середине мая и достигает максимума в начале ноября. Температурный режим грунтов по трассе водовода варьируется в очень широком интервале. Наиболее низкие значения температур (от –0,5 до –6,2 °C) на глубине 10 м наблюдаются в отложениях Бестяхской террасы и аласного комплекса, наименьшие — на межаласьях Тюнгюлюнской и Абалахской террас [6].

Общая схема водоснабжения районов Центральной Якутии (см. рис. 2). Магистральный водовод «Лена — Туора Кюель — Татта» работа-

ет следующим образом: водозабор из р. Лена осуществляется головной плавучей насосной станцией. По трассе водовода у населенных пунктов Нижний Бестях, Майя, Табага созданы водохранилища — соответственно Диринг, Мундулах, Теппэ, куда поступает вода. Около пос. Бютейдях создается Куоларское регулирующее водохранилище. Из него вода подается по р. Суола в расположенные ниже по течению населенные пункты. С этой целью около каждого из них создаются накопительные водоемы. Из них вода насосными станциями подается в очистные сооружения. Водоснабжение населенных пунктов, расположенных по р. Татта, рассчитано по такой же схеме. Для водоснабжения Тюнгюлюнской группы населенных пунктов у пос. Бедеме на р. Суола созданы Бедеминское водохранилище с объемом 6,5 млн м<sup>3</sup>, групповой водовод Бедеме — Тюнгюлю протяженностью 29 км и головная насосная станция берегового типа. 13 июня 2004 г. сооружение вошло в эксплуатацию. Другой действующий водовод Лена — оз. Миорю (пос. Борогонцы) позволяет обеспечить водой более 15 тыс. жителей улуса, а также обводнить и оросить сельскохозяйственные угодья. На сегодня по трассе все водохранилища — Тумульское, Сырдахское, Куосогас (пос. Борогонцы) — заполнены до проектных отметок водой питьевого качества. Для хозяйствственно-бытовых нужд водовод подает воду в нужном количестве [6].

Система магистрального и группового водоснабжения Центральной Якутии обеспечивает питьевой и технической водой более 25 населенных пунктов четырех районов (Мегино-Кангаласский, Чурапчинский, Таттинский и Усть-Алданский) с общей численностью населения около 30 тыс. человек. Основные водопотребители — население, животноводческие комплексы, сельскохозяйственные предприятия и местная промышленность. Кроме того, в ближайшей перспективе будет осуществлено водоснабжение населенных пунктов, которые на рис. 2 обозначены пунктирной линией (5 — проектируемые магистральные и групповые водоводы).

В России очень мало сезонных систем магистрального и группового водоснабжения, их практически не существует. В условиях вечной мерзлоты система водоснабжения замерзает и работает 3–4 мес в году только в теплый период. Это малые водохранилища, насосные станции, водоводы, которые зимой находятся на открытом воздухе на 50-градусном морозе, в результате физический износ данной системы очень высокий. Поэтому надежное функционирование системы магистрального водоснабжения зависит от четкого и правильного технологического процесса эксплуатации всех его участков, а также от административного управления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сальва, А.М. Техноприродные криогенные процессы в зоне влияния магистрального водоснабжения в Центральной Якутии (на примере участка самотечного канала) [Текст]: автореф. дис. ... геол.-мин. наук / А.М. Сальва. — Дубна, 2012. — 20 с.
2. Втюрин, Б.И. «Прячуды» термокарста [Текст] / Б.И. Втюрин, С.М. Говорушки // Криосфера Земли. — 2012. — Т. XVI, № 4. — С. 42–44.

3. Гарагуля, Л.С. Термокарст [Текст] / Л.С. Гарагуля // Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология. — М. : Изд-во МГУ, 2001. — С. 549–563.
4. Романовский, Н.Н. Термокарст и его роль в формировании прибрежной зоны шельфа моря Лаптевых [Текст] / Н.Н. Романовский, А.В. Гаврилов, В.Е. Тумской, М.Н. Григорьев, Г.В. Хуббертен, К. Зигерт // Криосфера Земли. — 1999. — Т. III, № 3. — С. 80–91.
5. Шур, Ю.Л. / Термокарст (к теплофизическим основам учения о закономерностях развития процесса) [Текст] / Ю.Л. Шур. — М. : Недра, 1977. — 80 с.
6. Сальва, А.М. Система магистрального водоснабжения в Центральной Якутии [Текст] / А.М. Сальва // Мелиорация и водное хозяйство. — 2006. — № 1. — С. 35–40.

*САЛЬВА Андрей Михайлович, канд. геол.-минерал. наук, доц.; E-mail:salvaam@mail.ru  
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск*

Получено 12.05.15

**Salva Andrey Mikhaylovich**, candidate geological and mineralogical sciences, assistant professor; E-mail: salvaam@mail.ru, North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

## **TRUNK GROUP AND THE WATER SUPPLY OF POPULATED POINTS IN ZARECHNY AREAS OF CENTRAL YAKUTIA**

Discusses a brief description of the engineering-geocryological conditions of the area of operation of the main group and conduits, as well as the scheme of the water main «Lena — Tuora Kuel — Tatta», diagram of the water main «Lena — Muru» and group water conduit «Bedeme — Tungulu». In addition, the diagram illustrates the reservoir, the head floating pumping station, pumping stations, pipe and pipeless stations — channels, which are included in the water supply system of settlements beyond the rivers areas of Central Yakutia. In the work are given the prospects of water supply areas in the near future.

**Key words:** trunk group water conduit, the head floating pumping station (GPNS), pumping stations (NS), pipeless plot (channel), reservoirs, Central Yakutia.

## REFERENCES

1. Salva, A.M. Technogenic cryogenic processes in the zone of influence of main water supply in Central Yakutia (for example, the plot of gravity channel) [Text]: author. diss. ... geol.-mineral. of sciences / A.M. Salva. — Dubna, 2012. — 20 p.
2. Vtyurin, B.I. «Quirks» of thermokarst [Text] / B.I. Vtyurin, S.M. Govorushko // Cryosphere of the Earth. — 2012. — Vol. XVI, N 4. — P. 42–44.
3. Garagulya, L.S. Thermokarst [Text] / L.S. Garagulya // Fundamentals of geocryology. P. 4. Dynamic geocryology. — M. : Publishing house MSU, 2001. — P. 549–563.
4. Romanovskiy, N.N. Thermokarst and its role in shaping the coastal zone of the Laptev sea shelf [Text] / N.N. Romanovskiy, A.V. Gavrilov, V.E. Tumskoy, M.N. Grigoriev, G.V. Hubberten, K. Siegert // Cryosphere of the Earth. — 1999. — Vol. III, N 3. — P. 80–91.
5. Shur, Yu.L. Karst (thermophysical to the basics of the teachings of the laws of development process) [Text] / Yu.L. Shur. — M. : Nedra, 1977. — 80 p.
6. Salva, A.M. System of main water supply in Central Yakutia [Text] / A.M. Salva // Irrigation and water management. — 2006. — N 1. — P. 35–40.

## НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4-112

М.И. АКИМОВА, А.С. ЧЕЧУЛИНА

### УПЛОТНЕННАЯ ЗАСТРОЙКА КРУПНЫХ ГОРОДОВ: ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

На основе анализа нормативной градостроительной базы, подходов к регулированию вопросов точечной застройки в России, США, Канаде и Великобритании и зарубежных концепций развития городов, таких как «Умный рост» и «Компактный город», выявляются проблемы уплотненной застройки и рассматриваются перспективы их решения в РФ.

Ключевые слова: уплотненная (точечная) застройка, умный рост, компактный город, инсоляция, видовые точки, увеличение дорожного трафика.

За последние 200 лет городское население планеты стало преобладать в населении мира. По официальной статистике 2014 г. более половины населения земного шара составляют горожане (в Сингапуре — 100 %, Кувейте — 98,3, Бельгии — 97,8, Исландии — 94,0, Израиле — 92,1, России — 73,9 %) [1].

Одно из ключевых понятий в городском планировании — понятие «границы городского роста», в пределах которых может происходить развитие незастроенных территорий (greenfield development), повторная застройка и уплотненная (или точечная) застройка (infill development) [2].

Развитие незастроенной территории, как и повторная застройка, является экономически затратным, поэтому в условиях современной России наиболее часто реализуется именно уплотненная застройка, которая за рубежом (в частности, в США) рассматривается как составляющая концепций «Умного роста» (Smart Growth) городов и «Компактного города» (Compact City). Под точечной (уплотненной) застройкой (infill development) при этом подразумевается заполнение города, эффективное потребление земли и инфраструктурного капитала, освоение свободных земель в городских районах, использование рассеянных вакантных мест в застроенной территории и т.п.

В России этот термин появился сравнительно недавно, в начале 2000-х гг. Однако в отличие от зарубежной практики, определение понятия уплотненной застройки и его нормативное регулирование отсутствуют в Градостроительном кодексе РФ (N 190-ФЗ), что во многом способствует формированию у россиян отрицательного отношения к ней.

Среди проблем, связанных с уплотненной застройкой в городах России, чаще всего упоминаются следующие: нарушение норм инсоляции, ущерб, наносимый облику города и исторической застройке, увеличение дорожного трафика и уровня шума, угроза разрушения соседних строе-

ний, сокращение открытого городского пространства и «зеленых зон» города и обострение экологических проблем.

Можно ли сказать, что уплотненная застройка в отечественных реалиях не актуальна? Напротив, ее реализация позволяет решить многие современные социально-экономические проблемы крупных городов, такие как обеспечение россиян доступным жильем, расселение ветхого жилья, экономия бюджетов муниципалитетов, занятость населения пригородных зон.

Имеется также опыт некоторых стран, где уплотненная застройка не вызывает такой сильной негативной реакции. Применяемые в этих странах принципы «Умного роста» и «Компактного города» предлагают такую застройку как разумный способ планирования территорий.

Все это заставляет внимательно изучить положительные стороны уплотненной застройки, установленные в зарубежных и отечественных исследованиях: повышение мобильности населения, сохранение земель сельскохозяйственного, природного и рекреационного назначения, сокращение расходов на строительство, повышение налоговой базы местных бюджетов, увеличение доступности жилья для различных социальных групп населения и возможностей для социального взаимодействия между людьми.

Для выявления эффективного зарубежного опыта реализации уплотненной застройки и сопоставления его с опытом российским мы предлагаем рассмотреть примеры Соединенных Штатов Америки, Канады, Великобритании.

Предметом сравнительного анализа станут нормативное регулирование инсоляции и естественного освещения; подходы к сохранению исторического облика городов; решение проблем увеличения дорожного трафика и уровня шума; сокращение открытого городского пространства и «зеленых зон» города.

Одним из недостатков реализации уплотненной застройки является нарушение нормативных показателей инсоляции помещений. Данные приведены в табл. 1.

В России нормативно регулируются все основные показатели инсоляции.

В США помимо национальных стандартов действуют нормы, отдельные для каждого штата. Например, мэрией Нью-Йорка постановлено, что если стоящееся здание выше рядом стоящих минимум на 15 м, то для этого здания рассчитывается траектория падения тени в течение года. Во многих городах Америки действуют строгие ограничения на высоту здания. Так, в Вашингтоне запрещено строить жилые дома выше 27 м и бизнес-центры выше 49 м (Height of Buildings Act of 1910).

В Канаде для многоэтажных зданий существуют следующие рекомендации (Daylighting guide for Buildings) [3]:

- устанавливаются соотношения высот и расстояний между зданиями, при которых перекрывается свет (с. 7);
- проектируются фасады, выходящие на юг и север (с. 8);
- выбираются светлые цвета для окраски фасадов (с. 16);
- окна проектируются ниже 1 м над поверхностью пола ввиду перегрева (с. 12).

Решение проблем инсоляции здесь относится к компетенции муниципалитетов и необходимость ужесточения требований к соблюдению пра-

Таблица 1

Нормы	Страны			
	Россия	США	Канада	Великобритания
Продолжительность инсоляции	1,5–2,5 ч СанПиН 2.1.2.2645–10 (п. 5.8)	—	—	25 % от долготы дня во все дни, кроме зимнего периода BS8206-2:2008 [3, п. 5.3]
Ориентация зданий по сторонам света	Не рекомендуется ориентация на север (для жилых комнат) (п. 5)	—	Не рекомендуется проектировать фасады, выходящие на запад и восток [5, с. 15]	Рекомендуется ориентировать окна на юг BS8206-2:2008 [3, п. 5.2]
Соотношение оконных проемов к площади помещений	1:8 СП 54.13330.2011 (п. 9.13)	8 % от площади пола International Building Code [7, п. 1205.2]	1:10 Building Code of Canada [6, п. 3.7.2.1]	50 % поверхности пола должно быть освещено дневным светом BS8206-2:2008 [3, п. 5.6]
Защита от перегрева	Есть СанПиН 2.1.2.2645–10 (п. 5.7)	Есть International Building Code [7, п. 2405.3]	Есть Daylighting guide for Buildings [5, с. 13]	Есть BS8206-2:2008 [3, п. 8]

вил зонирования стала очевидной в последние годы, когда на фоне роста популярности в стране солнечных батарей участились иски к строительным компаниям, возводящим высотные дома без учета освещенности соседних строений.

В Великобритании действуют Британские стандарты. В разделе British Standards 8206-2:2008 [4], посвященном дневному свету:

- 1) установлены нормы фактора дневного света (daylight factor) для жилых помещений с учетом их назначения (п. 5.6);
- 2) определены максимальные глубины комнат, которые может полностью осветить солнце (п. 4.3);
- 3) обозначена необходимая продолжительность инсоляции, которая составляет 25 % от долготы дня во все дни, кроме зимнего периода (п. 5.3);
- 4) рекомендована ориентация окон на юг в случае, если комната должна быть освещена солнечным светом (п. 5.2);
- 5) установлено правило: «если окно является главным источником освещения, то здания, стоящие напротив него, не должны быть выше 25° над горизонтом» (п. 8.2.1).

Кроме градостроительных норм на протяжении десятилетий действует «Право на солнечный свет» (Right to light), по которому владелец здания, чьи окна не менее 20 лет освещались дневным светом, имеет право запретить строительство любого объекта, который лишит его этого света. Это привело к асимметричному расположению домов во многих исторических районах Лондона (к примеру, в Чайнатауне, где на отдельных окнах домов можно даже увидеть надписи «Право на свет» (Ancient lights)).

В настоящее время крупные города рассматриваются не как уникальный градостроительный ансамбль, а как территория, эксплуатация которой должна принести максимум средств. Поэтому часто наносится ущерб облику города и исторической застройке.

В исследуемых странах охрана исторического облика городов обеспечивается законами и осуществляется регуляторами (табл. 2).

Таблица 2

Регулирование	Страны			
	Россия	США	Канада	Великобритания
Нормативно-правовые акты	Федеральный закон от 8 марта 2015 г. N 50-ФЗ	National Historic Preservation Act of 1966 National Environmental Policy Act	Standards and Guidelines for the Conservation of Historic Places in Canada	National Heritage Acts
Регулятор	Министерство культуры РФ	Advisory Council on Historic Preservation	Heritage Canada The National Trust	English Heritage
Реестр объектов культурного наследия	Есть	Есть	Есть	Есть
Защищенные законом видовые точки	Есть	Есть	Есть	Есть

Во всех перечисленных странах законами охраняются видовые точки (*protected view*). К примеру, в России — это Садовое кольцо в Москве, где в последние 5 лет действует мораторий на строительство любых новых зданий, разрешена только реконструкция.

В Великобритании к Собору Святого Павла зрительный доступ не должен быть ограничен с 10 различных мест, а в США в г. Сан-Франциско действуют одни из самых строгих ограничений, которые касаются расположения дорог, высоты зданий и высот города.

В Канаде же существуют целые видовые коридоры, такие как мост на остров Гренвилль в Ванкувере. Также стоит отметить, что в Канаде муниципалитеты имеют право использовать зонирование для сохранения исторической застройки и поощрять тех застройщиков, которые стараются это делать.

Одним из названных нами выше следствий уплотненной застройки является увеличение дорожного трафика. Это приводит к возникновению проблем: повышение уровня шума, чрезмерные выбросы вредных веществ в атмосферу, образование смога и ухудшение экологической ситуации, затруднение движения, нехватка парковок, резкое увеличение затрат времени на перевозки, повышение расхода топлива, рост числа дорожно-транспортных происшествий.

Согласно существующим рекомендациям, для ослабления шума необходимо обеспечить комплекс строительно-акустических мероприятий [7]:

1. Разработка рациональных архитектурно-планировочных решений — удаление источников шума на надлежащее расстояние от объектов, расположение между источниками шума и жилой застройкой зданий-экранов и т.д.

2. Использование природных условий — рельефа местности и зеленых насаждений.
3. Создание специальных сооружений — экранов вблизи транспортных магистралей.
4. Реализация рациональных приемов зонирования территории — по условиям шумового режима для тех или иных видов зданий, участков и т.п.

При этом мероприятия по ослаблению шума должны предусматриваться уже на стадии проектирования генпланов городов, промышленных предприятий и планировки помещений в отдельных зданиях. Могут быть использованы также различные административные меры, из которых в условиях уплотненной застройки возможно лишь перераспределение транспортных потоков, ограничение движения, расширение дорог и междворовых проездов.

Проблемы в сфере дорожного движения крупных и крупнейших городов Российской Федерации имеют комплексную природу и требуют системного подхода к их решению. Одним из документов, регламентирующих это, является Генеральный план. Так, Генпланом г. Новосибирска, утвержденным решением Совета депутатов от 26.12.2007 № 824, для обеспечения доступа из любой точки города к деловым и торговым центрам, зонам отдыха и т.д. была предусмотрена сеть скоростных магистральных дорог общей протяженностью 472 км, а также 150 двухуровневых развязок, из которых на данный момент сдали только две.

В Соединенных Штатах Америки политика ориентирования застройки на пригороды привела к так называемому «расползанию» города, появлению многокилометровых пробок на въездах и выездах из городов. В стремлении справиться с этой проблемой в 1997 г. Американская градостроительная ассоциация (American Planning Association) предложила концепцию «Умный (или разумный) рост».

Концепция «Умный рост» (*Smart growth*) — модель компактного города, в котором все важные объекты инфраструктуры находятся в зоне пешеходной доступности.

Особенностями этой концепции являются: тесное сотрудничество застройщиков с городскими властями и местными жителями; «зеленое» строительство с использованием экологичных материалов; сохранение стиля и образа города; поощрение велосипедного передвижения.

Эта концепция применяется во многих штатах Америки. Так, город Майами в 2009 г. стал первым крупным городом США, в котором решением городских властей были полностью изменены градостроительные кодексы и правила зонирования, благодаря чему многие улицы города стали непроеzzими для автотранспорта, а парковочные места возле зданий были перенесены на задворки.

Как и в США, в Канаде применяется концепция «Умный рост», но достижений здесь значительно меньше. За последние 10 лет наблюдается не уменьшение, а увеличение дорожного трафика. В целом можно сказать, что Канада смогла только подготовиться к применению концепции.

В Великобритании, как и во всей Европе, действует концепция «Компактного города» (*Compact city*), которая предусматривает планирование «городов коротких дистанций» путем разумного уплотнения и оптимизации городской транспортной системы.

Особенностями такого подхода стали: эффективное использование общественного транспорта; застройка свободных территорий зданиями смешанного назначения; увеличение плотности населения.

Для Великобритании при реализации данной концепции характерно стремление использовать для строительства земли в черте города, загрязненные промышленными отходами.

Последствия уплотненной застройки — сокращение зеленых зон и открытых пространств города. Все меньше остается мест для комфортного отдыха человека. Возможными решениями этой проблемы являются: организация придомовой территории с четким функциональным зонированием; преимущественный землеотвод в пользу парковых зон; применение вертикального озеленения фасадов; строительство экопарковок; мобильные системы озеленения; озеленение крыш зданий.

В конце XIX в. возникли концепции «Красивый город» (City Beautiful) и «Город-сад» (Garden city), оказавшие влияние на облик городов в России и зарубежных странах.

«Красивый город» — направление в градостроительстве, уделяющее большое внимание эстетичности общественных сооружений, проектированию широких улиц и продуманных ландшафтов. «Город-сад» — независимый, самодостаточный небольшой город, окруженный «зелеными поясами», в котором сбалансированно распределены жилые, промышленные и сельскохозяйственные районы.

В России известен опыт реализации концепции «Город-сад» в первой четверти XX в. Так, в 20–30-е гг. в Подмосковье был основан поселок Сокол, в котором все дома построены по индивидуальным проектам. Особое значение придавалось восприятию окружающей среды, поэтому улицы поселка были проложены таким образом, чтобы зрительно расширить пространство. Опыт «Сокола» использовался при строительстве новосибирского Академгородка [8].

Сегодня в России согласно СанПиН 2.1.2.2645–10 (п. 2.3) отводимый под строительство жилого здания земельный участок должен предусматривать возможность организации придомовой территории с четким функциональным зонированием и размещением площадок отдыха, игровых, спортивных, хозяйственных площадок и т.д.

Кроме того, Россия как страна-член Совета Европы должна следовать рекомендациям по открытому городскому пространству, принятым в 1986 г. Комитетом министров Совета Европы. Согласно этим рекомендациям, государствам следует поощрять обеспечение открытого пространства и стремиться к тому, чтобы оно отвечало реальным нуждам жителей.

Движение «Красивый город» в Америке привело к созданию множества парковых зон в самых крупных городах. Однако в связи с увеличением плотности застройки к концу прошлого века многие созданные ранее открытые городские пространства оказались раздроблены. В настоящее время в связи с угрозой глобального потепления многие «зеленые» сообщества в сотрудничестве с городскими властями занимаются воссозданием парковых зон городов.

Ввиду низкой плотности населения и большого числа парковых незастроенных зон Канаду называют «страной-коттеджем». «Зеленые» зоны составляют значимую долю городского пространства. Так, к примеру, в Ванкувере городские парки и зоны отдыха составляют 11 % от площади города. В столице Канады Оттаве на каждую 1000 жителей приходится 11 гектаров парковых зон и открытых пространств.

В Великобритании одновременно с американским движением «Красивый город» появилась концепция «Город-сад». Несмотря на ее идеалистичность, она оказала огромное влияние на планирование городов Англии в последующем веке. В XIX в. на подъеме движения «Город-сад» были национализированы и открыты публике приватизированные ранее сады и скверы. На данный момент Лондон считается одной из самых «зеленых» столиц мира.

**Выводы.** Сравнительный анализ ситуации, связанной с уплотненной застройкой, в России, США, Канаде и Великобритании позволяет сделать вывод, что все страны предпринимают схожие шаги в области нормирования инсоляции, сохранения исторической застройки, решения проблемы усиления дорожного трафика, сокращения открытого городского пространства и «зеленых зон» города. И тем не менее при достаточной нормативной базе в России уплотненная застройка стала настолько неконтролируемой, что остановить ее может лишь мораторий на строительство. Так произошло в Новосибирске, когда в 2012 г. власти были вынуждены частично запретить уплотненную застройку.

В чем же причина такого парадокса? Ответ как прост, так и сложен — право собственности.

На данный момент в России собственники многоквартирных домов имеют право собственности только на земельный участок и выделенную придомовую территорию и не могут повлиять на застройку близлежащих участков. В то время как в исследуемых странах государству принадлежит лишь часть многоквартирных домов, а все остальное — частная собственность и кооперативы (30 % в Великобритании и Канаде, 2 % — в США).

Учитывая, как последовательно эти страны защищают право собственности своих граждан, точечная застройка в этих странах становится просто невыгодной, особенно в сравнении со строительством на незастроенной территории.

В России подобной проблемы нет, но и применение концепций «Умного роста» и «Компактного города» без подготовки соответствующих нормативно-правовых условий будет невозможным.

Альтернативой может стать комплексное развитие и модернизация жилых кварталов на средства как частных инвесторов, так и государства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The World Factbook // Официальный сайт Central Intelligence Agency (CIA), 2015. — URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> (дата обращения: 10.02.2015).
2. Пешина, Э.В. Разумный рост городов: greenfield (гринфилд), brownfield (барун-филд), greyfield (грейфилд) [Текст] / Э.В. Пешина // Управленец. — 2013. — № 5.
3. Robertson, K. // Daylighting guide for Buildings. 2008. — URL: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar//upload/Daylighting-Guide-for-Buildings.pdf> (дата обращения: 11.02.2015).
4. BS 8206-2:2008. Lighting for buildings. Code of practice for daylighting. 2008. — URL: <http://docsslide.us/documents/bs-8206-part-2-2008-code-of-practice-for-day-lighting.html> (дата обращения: 09.02.2015).
5. Building Code of Ontario // Official cite of Ontario's Ministry of Municipal Affairs and Housing. 1992. URL: [http://www.ontario.ca/laws/regulation/120332#\\_ga=1.62631916.1125881265.1434377099](http://www.ontario.ca/laws/regulation/120332#_ga=1.62631916.1125881265.1434377099) (дата обращения: 10.02.2015).
6. International Building Code // International Code Council Online Library. 2012. URL: <http://publicecodes.cyberregs.com/icode/ibc/2012/index.htm> (дата обращения: 12.02.2015).

7. ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам [Текст]. — М. : ФГУП «Информавтодор», 2013.
8. Жукова, Е. О «Соколе», его архитектуре и обитателях [Текст] / Е. Жукова // Наука и жизнь. — 1983. — Вып. 10. — С. 118–122.

*АКИМОВА Мария Игоревна, канд. искусствоведения, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ЧЕЧУЛИНА Александра Сергеевна, студ.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 06.05.15

**Akimova Mariya Igorevna**, candidate of art research, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Chechulina Alexandra Sergeevna**, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **INFILL DEVELOPMENT OF LARGE CITIES: INTERNAL AND EXTERNAL EXPERIENCE**

On the basis of our analysis of the building codes, methods of infill regulation in Russia, USA, Canada and UK and urban planning theories such as «Smart Growth» and «Compact City» we identified infill development problems and determined the likelihood of solving them in Russian Federation.

**Key words:** infill development, smart growth, compact city, daylighting, protected view, an increase of the traffic flow.

### **REFERENCES**

1. Official website of the Central Intelligence Agency (CIA). Available at: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> (date of an address: 10.02.2015).
2. Peshina, E.V. Smart growth of the cities: greenfield, brownfield, greyfield [Rasymny rost gorodov: greenfield, brownfield, greyfield] [Text] / E.V. Peshina // Upravlenets. — 2013. — N 5.
3. Robertson, K. // Daylighting guide for Buildings. Available at: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload//Daylighting-Guide-for-Buildings.pdf> (date of an address: 11.02.2015).
4. BS 8206-2:2008. Lighting for buildings. Code of practice for daylighting. Available at: <http://docsslide.us/documents/bs-8206-part-2-2008-code-of-practice-for-day-lighting.html> (date of an address: 09.02.2015).
5. Building Code of Ontario // Official cite of Ontario's Ministry of Municipal Affairs and Housing. Available at: [http://www.ontario.ca/laws/regulation/120332#\\_ga=1.62631916.1125881265.1434377099](http://www.ontario.ca/laws/regulation/120332#_ga=1.62631916.1125881265.1434377099) (date of an address: 10.02.2015).
6. International Building Code // International Code Council Online Library. 2012. — URL: <http://publicecodes.cyberregs.com/icode/ibc/2012/index.htm> (date of an address: 12.02.2015).
7. ODM 218.2.013–2011. Guidelines for urban traffic noise protection of nearby territory [Metodichiskie rekomendatsii po zaschite ot transportnogo shuma territory, prilegashchih k avtomobilnym dorogam] [Text]. — M. : FGYP «Informavtodor», 2013.
8. Zhykova, E. About «Sokol», it's architecture and citizens. [O «Sokole», ego arhitekture i obitatelyah] [Text] / E. Zhykova // Nauka i zhizn. — 1983. — Edition 10. — P. 118–122.

УДК 72.01.001.57

Н.А. ПАНЧУКОВ

## ОБ ОДНОМ ВИДЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ И ОСОБЕННОСТЯХ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Изложена общая информация о разработанной автором модели пространственной структурной конструкции. Описаны некоторые варианты возможного применения посредством использования технологии BIM и основные типы форм. Проведен сравнительный анализ основных технико-экономических показателей купольной конструкции с реальным примером. Кратко описаны виды узлов и вариантов покрытия оболочек.

**Ключевые слова:** структурные конструкции, структурная плита, арочная конструкция, купольная конструкция, стержень, оболочка, информационное моделирование, BIM.

**Введение.** Существует множество разновидностей структурных конструкций, их разработка обусловлена поиском современных архитектурных форм большей выразительности и универсальности. Большинство этих систем в своей основе имеют строение, моделирующее кристаллическую решетку некоторых весьма крепких образований органической природы.

В большинстве случаев структуры использовались в качестве покрытия в виде купола больших площадей. Так, например, подобные решения применялись при строительстве купола «Климатрон» (1960 г., США) высотой 21 м и диаметром 53 м, используемый как оранжерея, купол спортзала Палаццето (1960 г., Италия) диаметром 59,2 м, стадион на 95 тыс. зрителей в США высотой 32 м и диаметром 212 м (1975 г., США, Новый Орлеан). Одним из самых больших куполов считается купол тысячелетия «Миллениум» диаметром 320 м и высотой 50 м (1999 г., Англия, Гринвич), а крупнейшим из купольных сооружений является группа куполов «Globen» диаметром 110 м и высотой 85 м (2000 г., Швеция, Стокгольм). Купол с наименьшим показателем металлоемкости был построен в Англии архитектором Николасом Гrimшоу в 2002 г., диаметр самого крупного из гряды куполов ботанического сада «Эдэм» 125 м, а расход стали составляет всего 24 кг / м<sup>2</sup> [1].

Основой для всех этих сооружений стала одна из крупнейших конструктивных новаций XX в. — геодезические купола Бакминстера Фуллера, созданные на основе тетраэдров.

До появления этой технологии несущие конструкции куполов выполнялись из таких тяжелых строительных материалов, как бетон или камень.

Применимые конструктивные решения во всех вышеперечисленных примерах объединяет одно: их в той или иной мере можно назвать сотоными, так как они созданы из большого количества замкнутых объемных элементов.

Традиционное представление о таких конструкциях складывается из возможности использования множества одинаковых, повторяющихся элементов, каждый из которых представляет собой замкнутую, жесткую систему. Ключевыми элементами подобных пространственных конструкций являются треугольники, образующие объемные фигуры вроде пирамид или тетраэдров. Таким образом, получается жесткая форма, образованная структурной решеткой. Для увеличения несущей способности применяют двухъярусные конструкции, работающие по тому же принципу, что и одноярусные.

Стоит отметить ряд преимуществ пространственных конструкций, по сравнению с общепринятой балочной системой: повышенная надежность от внезапных разрушений; снижение строительной высоты покрытия; возможность перекрытия больших пролетов; поточное изготовление; меньшие габариты элементов, что облегчает процесс транспортировки и монтажа [2, 3].

Применение подобных конструкций ограничивается, как правило, структурными плитами. Связано это с тем, что методики их проектирования и расчета были разработаны еще в далекие «советские времена» и не могут отвечать сегодняшним темпам развития данной отрасли.

**Основные принципы работы структурной конструкции автора.** Автором статьи рассмотрен другой вариант структурной конструкции, принцип которой основан не на полной жесткости одного элемента, а на жесткости всей конструкции.

В отличие от ранее упомянутых конструкций, в основе предлагаемой автором структуры нет никакой «кристаллической решетки». Наиболее близким к ней образованием по своему смыслу и механизму работы являются пчелиные соты. Указанный биомиметический принцип и отражает всю суть идеи и ее кардинальное отличие от остальных подобных конструкций — работа всей конструкции как единого организма. Более того, форма пчелиной соты представляет собой, в некотором смысле, идеальную геометрическую фигуру: если за грани принять жесткие элементы, то при минимальном количестве ребер она позволяет замкнуть в себе максимальный объем. Однако эта форма не является жесткой и без добавления дополнительных связей ребер не будет выполнять нужную конструктивную функцию. Добавление связей значительно увеличивает общую длину стержней. Для решения этой проблемы возникает необходимость разработать механизм передачи усилий, наиболее близкий по своей работе к пчелиным сотам с минимальной длиной стержней.

Такой механизм представляет собой структурную конструкцию, образованную двумя поясами, или в данном случае оболочками, каждая из которых образована шестиугольными элементами. Эти элементы сдвинуты относительно друг друга так, что точка геометрического центра элемента одной оболочки приходит в точку пересечения трех элементов другой. В эту же точку приходят раскосы, соединяющие две оболочки (рис. 1).

Разреженность раскосов делает конструкцию легче и уменьшает количество соединений в узле. Хотя подобная система выглядит нежестко, при группировке таких элементов образуется единая, целостная структура, обеспечивающая необходимую прочность. Усилия, возникаю-

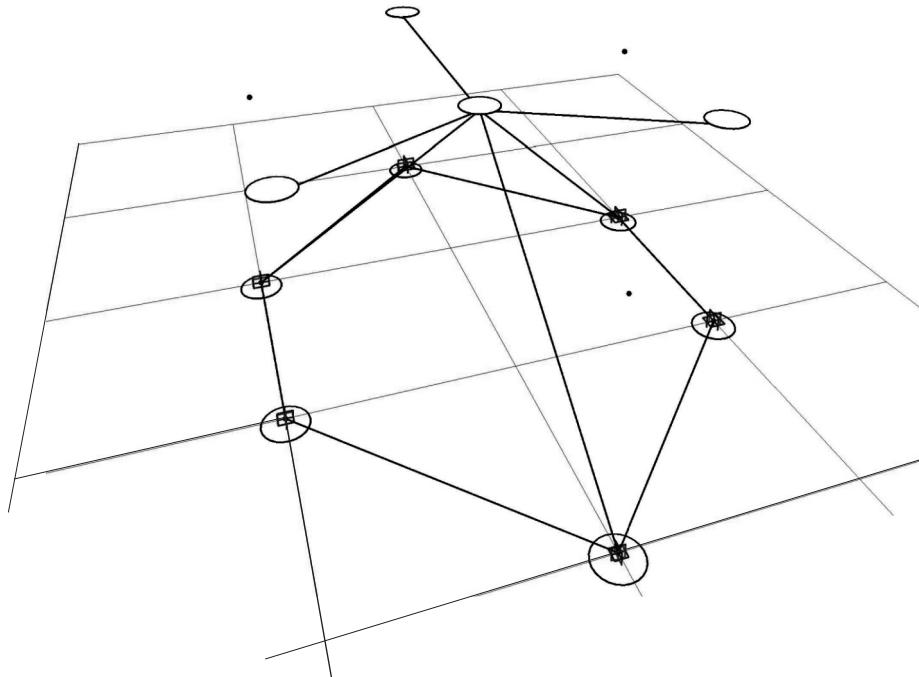


Рис. 1. Модель элемента предлагаемой конструкции

щие в одной точке конструкции, распределяются по всем ее элементам. Это позволяет сделать вывод, что жесткость конструкции обеспечивается лишь закреплением ее крайних элементов. Если же говорить о вертикальных нагрузках, то как и в классической ферме при сжатии верхнего пояса растягивается нижний.

Основной отличительной особенностью предлагаемой конструкции является механизм распределения дальнейших усилий. Растягивая нижний пояс, усилия через раскосы действуют на верхний пояс, растягивая и его. Если считать стержни конструкции абсолютно упругими элементами, то структура конструкции стремится к увеличению размеров ячеек элементов и уменьшению разности высоты поясов с силой, пропорциональной действующим на нее нагрузкам. Таким образом, чем больше величина нагрузок, действующих на элементы структуры, тем больше конструкция стремится сохранить свою геометрию.

**Принципы моделирования и расчета конструкции.** Применение стандартных методик строительства и проектирования сводит весь архитектурный замысел, как правило, к прямым линиям в одной из плоскостей. Но современные методики проектирования с помощью технологии BIM информационного моделирования зданий позволяют реализовать практически любую форму. Автору удалось создать информационную модель предлагаемой конструкции, способную принимать любую форму по заданной поверхности. Использование такой модели, выполненной по правилам BIM и поддающейся по этой причине ассоциированным расчетам, специфицированию и документальному оформлению, существенно ускоряет и облегчает применение предлагаемой конструкции в современной проектно-строительной практике (рис. 2).

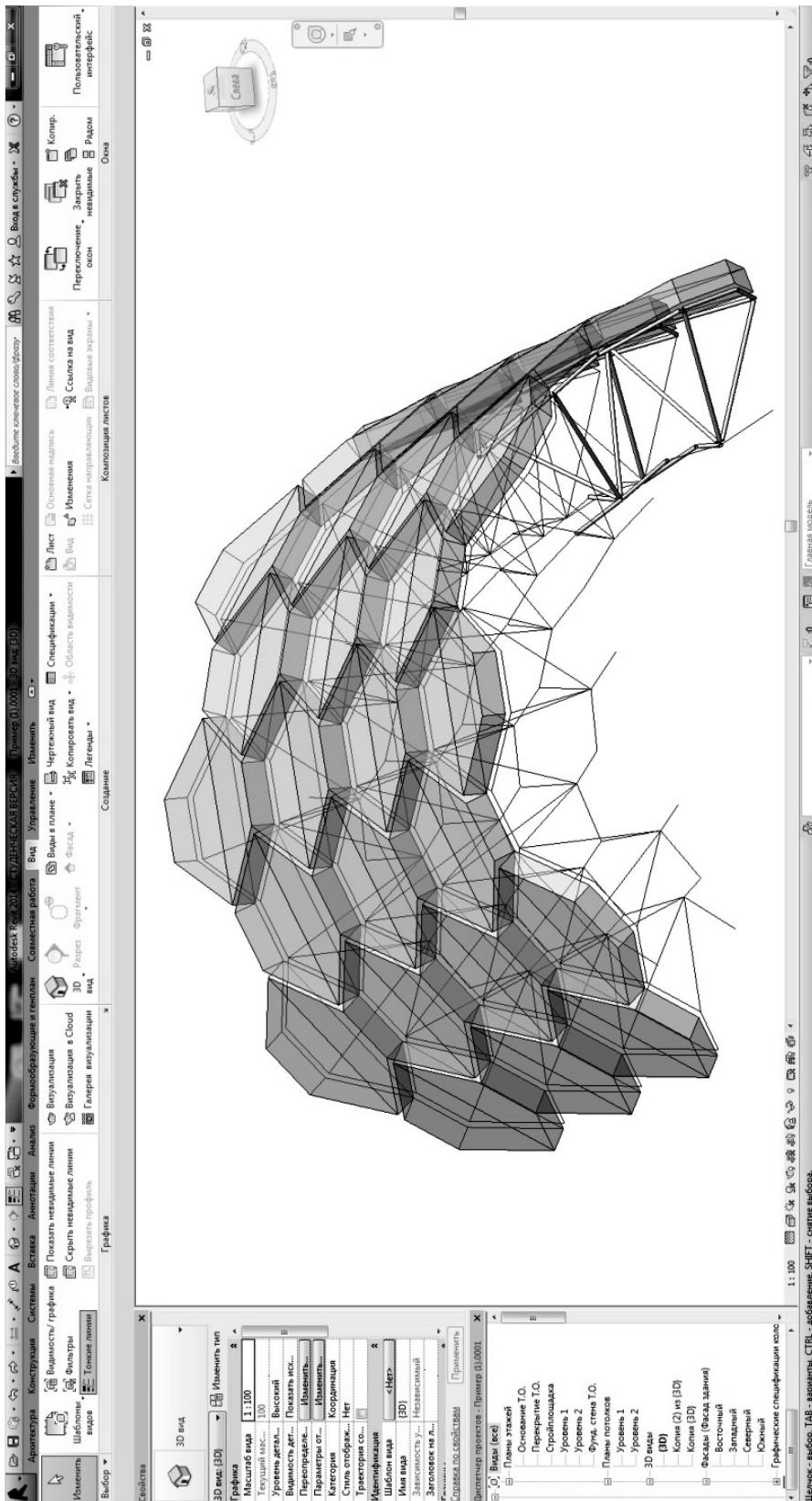
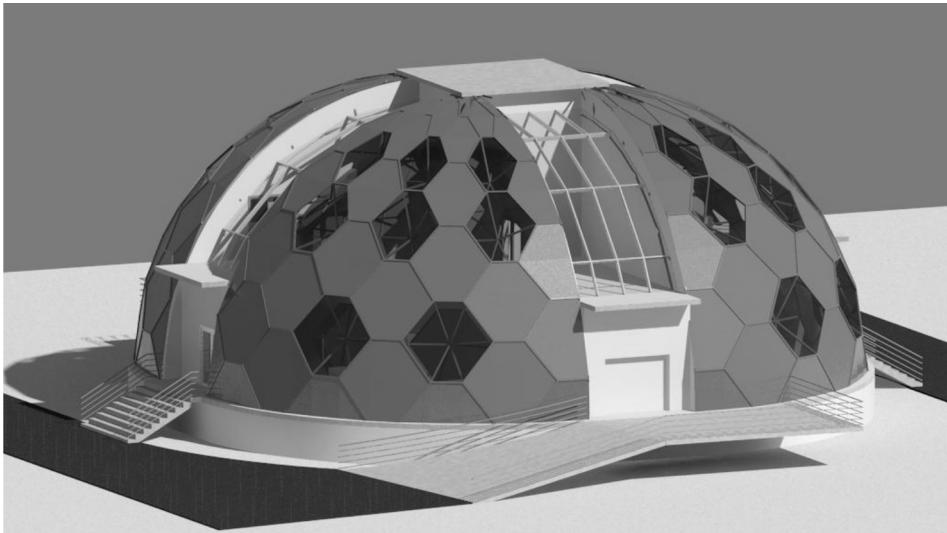


Рис. 2. Пример натяжки элементов конструкции на арочную поверхность, выполненный в программе Autodesk Revit

Благодаря этой модели любая часть конструкции, будь то раскос или часть заполнения элемента, может быть отображена как в графическом, так и в аналитическом виде.

Рассмотрим предлагаемую конструкцию на примере жилого дома, за основу формы которого взят купол, популярный сегодня в энергоэффективном строительстве (рис. 3).



*Рис. 3. Концептуальный проект дома*

Основой ограждающих конструкций такого здания будут структуры. Для экономии времени можно использовать четверть купола высотой и радиусом 10 м: это решение позволяет минимизировать количество типоразмеров элементов и упрощает процесс монтажа конструкции в сборе на посадочные места из-за ее относительно небольших размеров.

Саму конструкцию мы моделировали в Autodesk Revit. Проверку способности конструкции нести необходимую нагрузку в таком случае целесообразно выполнять в программе Autodesk Robot Structural Analysis, поскольку благодаря связи с Revit модель конструкции передается для проведения расчетов в созданном виде без дополнительных операций. Исключением может стать лишь корректировка сечений или материалов [4, 5].

Зададим нагрузки к элементам полученной модели.

Во-первых, учтем собственный вес конструкции. В программе Autodesk Robot Structural Analysis этот тип нагрузки учитывается автоматически для каждого элемента.

Во-вторых, добавим постоянную нагрузку. Пусть, например, ее величина составит 3 кН/м каждого стержня. Тогда, исходя из площади конструкции, получаем ее суммарное значение примерно 600 кг/м<sup>2</sup> (рис. 4) [6].

Теперь ознакомимся с результатами расчета в табл. 1. Уточним, что материалом для элементов выбрана сталь с пределом 345 МПа. Многие из значений в табл. 1 значительно превышают данный показатель. Эта

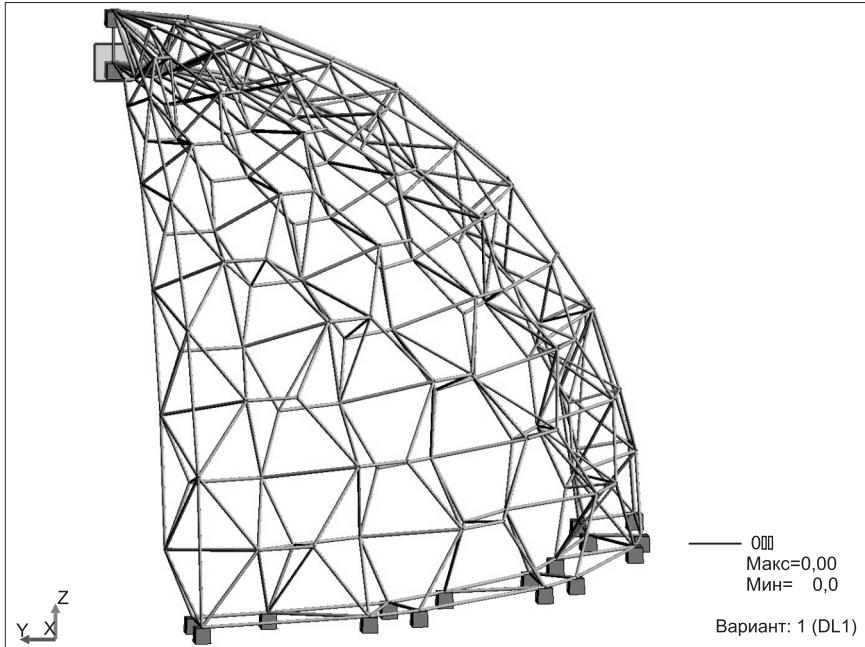


Рис. 4. Модель конструкции в программе Robot Structural Analysis

Таблица 1. Результаты расчета перед корректировкой

	$FX$ (кН)	$FY$ (кН)	$FZ$ (кН)	$MX$ (кНм)	$MY$ (кНм)	$MZ$ (кНм)	Деформация (см)
Max	300,53	11,71	18,02	1,10	8,50	10,02	5,7
Стержень	473	266	228	266	529	218	504
Min	-210,53	<b>-52,91</b>	-24,13	-1,43	-9,06	-8,85	0
Стержень	467	<b>218</b>	442	513	272	256	504
	$S_{\max}$ (МПа)	$S_{\min}$ (МПа)	$S_{\max} MY$ (МПа)	$S_{\max} MZ$ (МПа)	$S_{\min} MY$ (МПа)	$S_{\min} MZ$ (МПа)	
Max	741,3	266,64	601,03	<b>655,96</b>	0,00	0,0	
Стержень	260	474	272	<b>218</b>	508	522	
Min	-745,41	-745,41	0,00	0,0	-601,03	-655,96	
Стержень	266	266	508	522	272	218	

проблема решается путем подбора сечений и добавлением дополнительных раскосов для придания большей жесткости конструкции. Для примера обратим внимание на стержень № 218 и исправим сложившуюся ситуацию (рис. 5).

Проделав указанную операцию, посмотрим результаты расчета.

Из приведенной табл. 2 видно, что благодаря незначительной корректировке схемы элементов конструкции максимальные значения усилий и напряжений снизились минимум в два раза. Методика выполнения корректировки очень похожа на добавления элементов жесткости каркасному зданию, только вместо диафрагм используются металлические связи,

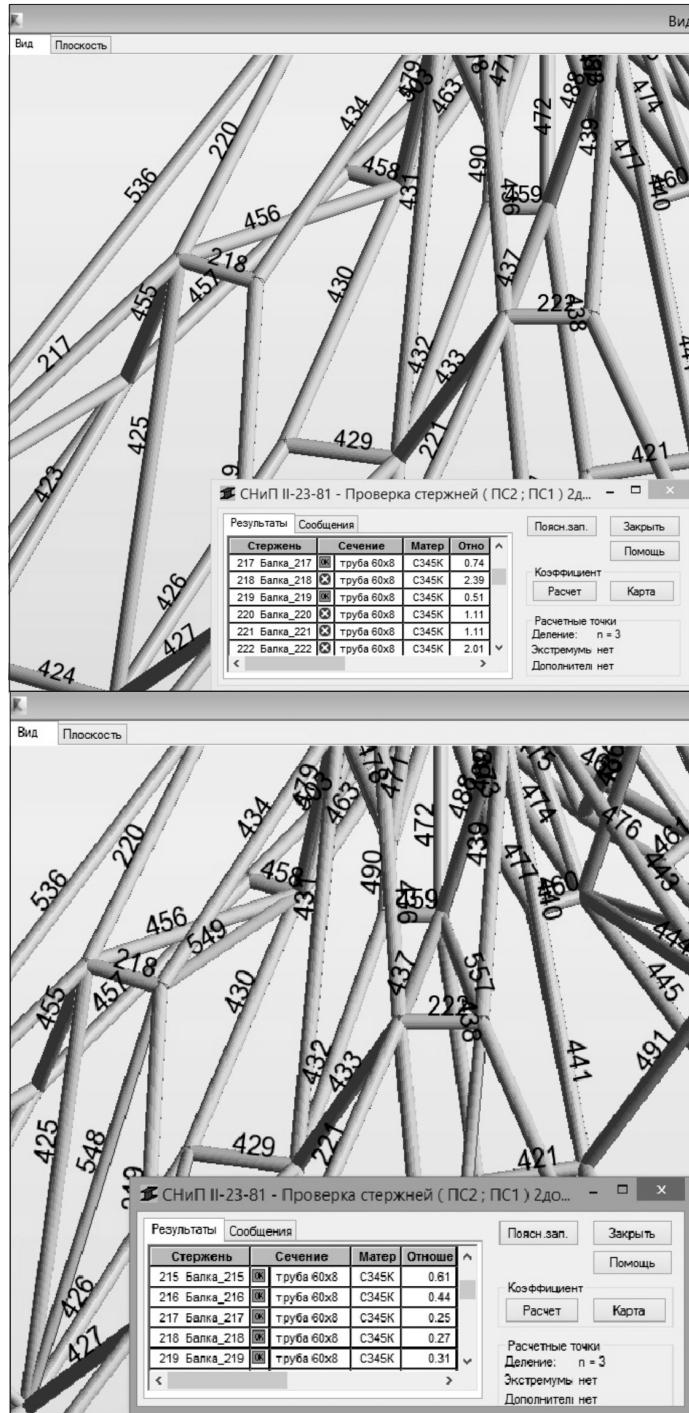


Рис. 5. Вставка дополнительных раскосов в месте концентрации напряжений

разгружающие стержни путем распределения усилий в менее нагруженные узлы.

Таким образом, при максимальном облегчении конструкции получается значительное увеличение несущей способности.

Таблица 2. Результаты расчета после корректировки

	$FX$ (кН)	$FY$ (кН)	$FZ$ (кН)	$MX$ (кНм)	$MY$ (кНм)	$MZ$ (кНм)	Деформация (см)
Max	206,76	4,88	12,00	0,47	2,51	2,59	2,2
Стержень	133	185	429	227	228	310	532
Min	-138,20	-15,06	-12,36	<b>-0,44</b>	-3,66	-3,02	0
Стержень	229	450	450	<b>218</b>	341	239	532
	$S_{\max}$ (МПа)	$S_{\min}$ (МПа)	$S_{\max} MY$ (МПа)	$S_{\max} MZ$ (МПа)	$S_{\min} MY$ (МПа)	$S_{\min} MZ$ (МПа)	
Max	304,28	159,03	242,38	222,30	0,00	0,0	
Стержень	292	544	341	11	508	522	
Min	-116,69	-235,91	0,00	0,0	-242,38	-222,30	
Стержень	16	292	508	522	341	11	

Стоит отметить, что такой вид структуры обладает достаточно низкой металлоемкостью. Так, например, купольная конструкция диаметром 40 и высотой 8 м, рассчитанная для г. Новосибирска, имеет расход стали в 24 кг/м<sup>2</sup>.

**Основные виды узловых соединений и примеры элементов покрытия оболочек.** На сегодняшний день разработано большое количество узлов для подобного рода конструкций, они бывают абсолютно разных видов и типов, основанные на шарах и пластинчатых элементах, сборные и сварные.

Подбор типа узла играет решающую роль и является одним из заключительных этапов проектирования металлической части конструкции. Его расчет выполняется после сбора усилий, возникающих в стержнях, и после построения окончательной схемы конструкции. Наиболее надежный вариант — применение металлических шаров. Такой тип узла считается по упрощенной схеме, в которой рассчитываются лишь резьбовые соединения шара со стержнем при сборном варианте, или фасонные элементы и сварные швы при сварной конструкции [7].

Но наилучшим является вариант со сборной схемой. Это обусловлено:

- облегчением сборки элементов и упрощением приведения в проектное положение;

- возможностью регулировки конструкции путем сжатия или растяжения отдельных элементов;

- более упрощенной заменой элементов в случае ремонта.

Сварной вариант тоже интересен, но там намного труднее проверить качество соединения.

Однако сборный вариант имеет и существенный минус — удорожание производства узлов. Это связано с большим количеством элементов, различающихся по наличию отверстий и расстоянию между ними (рис. 6).

В качестве покрытия структуры могут применяться различные материалы и элементы, например, сэндвич-панели, стальные или композицион-

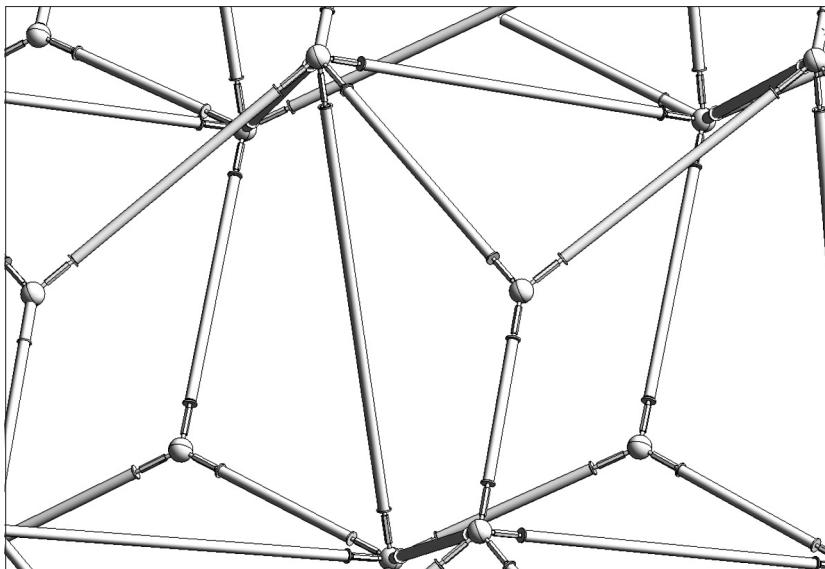


Рис. 6. Вид участка конструкции с шаровыми узлами

онные листы, элементы витражного остекления или стеклопакеты. Основное требование к применяемым материалам: возможность нарезки или изготовления геометрических фигур. Закрепление таких элементов обычно осуществляется с применением стандартных узлов витражных систем, где качество и цена зависят лишь от производителя.

При применении легких навесных элементов типа стальных, акриловых или поликарбонатных листов за основу берется принцип укладки че-решицы. Листы укладываются внахлест от низа к вершине.

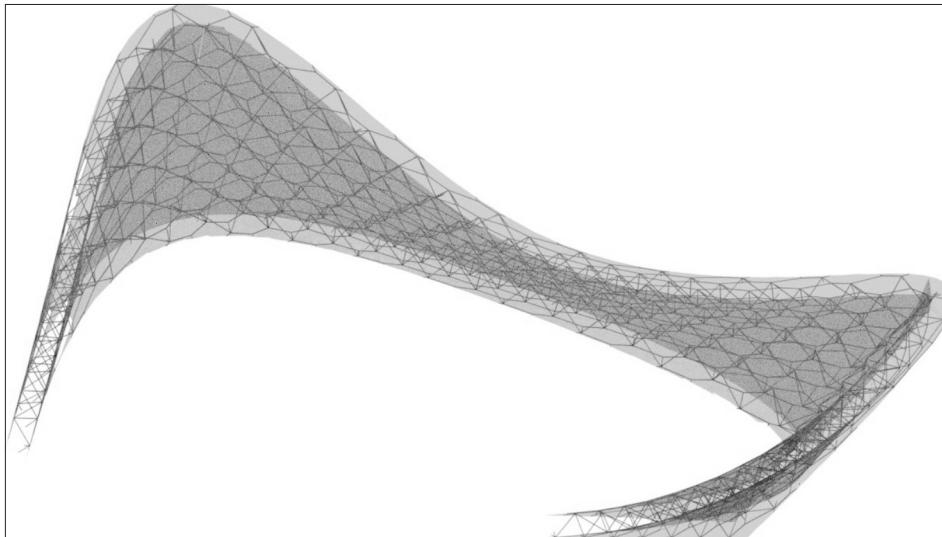
Важно, что благодаря использованию технологии BIM, основные геометрические параметры элементов покрытия определяются в проекте автоматически. Это существенно уменьшает время проектирования и даже на ранних стадиях дает возможность понять стоимость покрытия конструкции.

**Выводы.** Применение разработанной структурной конструкции вместе с моделированием в технологии BIM позволяет немного сдвинуть грань привычных архитектурных форм, методов проектирования и строительства.

Сокращение сроков проектирования при должном внимании к деталям значительно увеличивает качество конструкций, ведь это дает дополнительное время проработать все узлы и элементы, оценить и исправить слабые места [8].

Разработанная автором библиотека модельных элементов позволяет проектировщикам широко использовать предложенную конструкцию при информационном моделировании как при работе в программах на основе Autodesk Revit, так и в совместимом с ними на уровне моделей и библиотечных элементов комплексе Bentley AECOsim Building Designer.

Думается, что это действительно пример «живой архитектуры», где созданная форма является «почти интеллектуальным» образованием,



*Рис. 7. Модель конструкции по произвольной форме*

способным реагировать на внешние воздействия не поэлементно, а всей своей структурой, которой при этом можно придать практически любой вид.

В заключение автор выражает глубокую благодарность В.В. Талапову за руководство работой, а также компании Autodesk за бесплатно предоставленное программное обеспечение.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструктивное решение легкой структурной оболочки большепролетного купола. [Электронный ресурс]:Электрон. Текстовые дан. — 2006. — Режим доступа: <http://ais.by/story/772>, свободный.
2. Рекомендации по проектированию структурных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. — М., 1984. — 416 с.
3. Дыховичный, Ю.А. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы): справочник [Текст] / Ю.А. Дыховичный, Э.З. Жуковский, В.В. Ермолов и др.; под ред. Ю.А. Дыховичного, Э.З. Жуковского. — М. : Высш. шк., 1991. — 543 с.
4. Талапов, В.В. Основы BIM: Введение в информационное моделирование зданий [Текст] / В.В. Талапов. — М. : ДМК Пресс, 2011. — 393 с.
5. Талапов, В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий [Текст] / В.В. Талапов. — М. : ДМК Пресс, 2015. — 410 с.
6. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений: справочник проектировщика [Текст] / под общ. ред. В.В. Кузнецова. — М. : АСВ, 1998. — 512 с.
7. Уманский, А.А. Справочник проектировщика расчетно-теоретический. Т. 1 [Текст] / А.А. Уманский. — М. : Книга по требованию, 1999. — 570 с.
8. Гохарь-Хармандарян, И.Г. Большепролетные купольные здания [Текст] / И.Г. Гохарь-Хармандарян. — М., 1972. — 148 с.

**ПАНЧУКОВ Николай Александрович, аспн.; E-mail: PanchukovN@gmail.com**  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)

Получено 18.05.15

**Panchukov Nikolay Alexandrovich**, post-graduate student; E-mail: PanchukovN@gmail.com, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **ONE FORM OF SPATIAL STRUCTURES AND CHARACTERISTICS OF USE THROUGH INFORMATION MODELLING**

This article provides general information about the invented model of spatial, structural construction. Describes some of the options and the possible application of the main types of forms by using BIM. Carried out a comparative analysis of the basic technical and economic indicators domed structure with a real example. Briefly describes the types of nodes and coverage options shells.

**Key words:** structural construction, structural plate, arched structure, dome construction, the core, the shell, informational modelling, BIM.

### **REFERENCES**

1. The design solution easy-span structural shell of the dome. [Electronic resource]: Electron. Text date. — 2006. — Access: <http://ais.by/story/772>, a free.
  2. Recommendations for the design of structural constructions [Text] / Central Scientific Research Institute of Kucherenko State Building USSR. — M., 1984. — 416 p.
  3. Dykhovichnyy, Yu.A. Modern spatial structure (concrete, metal, wood, plastics): reference [Text] / Yu.A. Dykhovichnyy, E.Z. Zhukovskiy, V.V. Ermolov et al.: ed. Yu.A. Dykhovichnyy, E.Z. Zhukovskiy. — M. : Higher School, 1991. — 543 p.
  4. Talapov, V.V. Fundamentals of BIM: Introduction to building information modeling [Text] / V.V. Talapov. — M. : DMK Press, 2011. — 393 p.
  5. Talapov, V.V. Technology BIM: the essence and peculiarities of the implementation of BIM [Text] / V.V. Talapov. — M. : DMK Press, 2015. — 410 p.
  6. Metal Constructions. The 3 v. Vol. 2. Steel structures of buildings and structures: reference designer [Text] / under total. ed. V.V. Kuznetsov. — M. : ASV, 1998. — 512 p.
  7. Umanskiy, A.A. Directory designer computational and theoretical. Vol. 1 [Text] / A.A. Umanskiy. — M. : Book on demand, 1999. — 570 p.
  8. Gohar-Harmandaryan, I.G. Dome-span of the building [Text] / I.G. Gohar-Harmandaryan. — M., 1972. — 148 p.
-

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 532.592

В.И. БУКРЕЕВ, В.В. ДЕГТЯРЕВ, А.В. ЧЕБОТНИКОВ

### ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В ПРОДОЛЬНО КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ КОНТЕЙНЕРЕ

Приведены результаты экспериментального исследования поверхностных гравитационных волн в прямоугольном горизонтальном контейнере, колеблющемся по гармоническому закону. Показано, что линейная теория правильно предсказывает существование множества резонансных режимов генерации волн при нечетных частотах колебаний контейнера. В опытах это подтверждено вплоть до частоты пятнадцатой собственной моды колебаний жидкости. Установлено, что линейная теория адекватно описывает колебания уровня свободной поверхности только при амплитудах волн меньше 5 % от начальной глубины воды. В резонансных режимах волны в эксперименте обрушивались, и появлялись кумулятивные струи, поднимающиеся на высоту до трех начальных глубин.

**Ключевые слова:** собственная частота, гравитационные волны, продольная качка, резонанс.

При строительстве крупных сооружений перевозится много жидких грузов всеми видами транспорта. Если жидкость ограничена сверху свободной поверхностью, неизбежно ее плескание, чреватое неприятными последствиями. Число научных работ, посвященных изучению процесса плескания, необозримо. В настоящей работе рассматривается одна из задач этого научного направления — задача о плескании воды в частично заполненном прямоугольном контейнере с ровным горизонтальным дном при его продольных гармонических колебаниях. Эта модельная задача содержит в рафинированном виде главную особенность задач рассматриваемого направления, а именно: наличие безграничного счетного множества резонансных режимов генерации волн, на практике, как правило, обрушающихся. Такая особенность задачи интересна с точки зрения общей теории гидродинамической устойчивости. В других задачах по гидродинамической устойчивости имеется небольшое число, а не бесконечное множество критических значений некоторого параметра, например, только одно критическое число Рейнольдса.

Теоретическое решение рассматриваемой задачи получил Л.Н. Сретенский [1]. Эта теория приведена также в монографии [2]. Работы [1, 2] не получили широкой известности. Статья [1] упоминается без комментариев лишь в нескольких публикациях Н.Н. Моисеева, например, в [3] и в монографии [4]. Экспериментальная проверка части содержащихся в ней результатов выполнена в [5].

Здесь приведены результаты опытов, являющихся продолжением опытов [5]. В [5] проверена часть теории [1, 2], относящаяся к условиям

---

© Букреев В.И., Дегтярев В.В., Чеботников А.В., 2015

образования резонансных режимов. В данной работе на основе новой экспериментальной информации выполнено сравнение расчетных и экспериментальных амплитудных характеристик волн.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Прямоугольный горизонтальный контейнер длиной  $L = 2$  м, шириной  $B = 0,08$  м и высотой  $H = 0,2$  м колебался в продольном направлении по гармоническому закону с амплитудой  $a$  и круговой частотой  $\Omega$ . Далее используется подвижная прямоугольная система координат  $xyz$ , колеблющаяся вместе с контейнером. Начало координат расположено в середине линии пересечения левой торцевой стенки и дна контейнера. Ось  $x$  направлена к правой торцевой стенке контейнера, ось  $y$  — к левой боковой стенке, ось  $z$  — вертикально вверх.

Контейнер приводился в возвратно-поступательное движение с помощью двигателя постоянного тока и кривошипно-шатунного механизма с большим отношением длины шатуна (0,97 м) к длине кривошипа (0,0115 м). Такое отношение длин обеспечивало синусоидальный характер колебаний контейнера с погрешностью не более 1,2 %. Образующиеся при колебаниях контейнера поверхностные гравитационные волны измерялись волномерами, закрепленными на контейнере в его продольной плоскости симметрии. Показания волномеров регистрировались компьютером с частотой дискретизации при аналого-цифровом преобразовании, равной 100 Гц.

По теории [1, 2] колебания свободной поверхности жидкости  $\zeta(x, t)$  в подвижной системе координат описываются в рассматриваемой задаче формулой

$$\zeta(x, t) = h - \frac{\Omega c_0}{g} \left\{ \left( \frac{1}{2} L - x \right) + \frac{4L\xi}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{\pi n}{L} x}{n^2(n\pi r - \xi)} \right\} \sin \Omega t,$$

где  $h$  — глубина воды в контейнере в его неподвижном положении;

$c_0$  — скорость движения подвижной системы координат;

$n$  — номер собственной моды колебаний жидкости;

$$\xi = \frac{L\Omega^2}{\pi g}, \quad r = \frac{\pi h}{L}.$$

Штрих после знака суммы означает, что суммирование выполняется только по нечетным значениям  $n$ .

В теории ширина контейнера безгранична и вязкость жидкости не учитывается.

Анализ показывает, что потенциал скорости и отклонения свободной поверхности от положения равновесия стремятся в теории к бес-

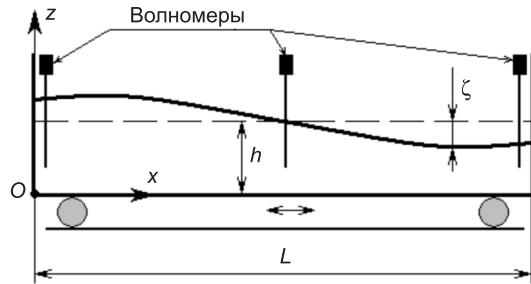


Рис. 1. Схема эксперимента

конечности, когда  $n$  принимает нечетные значения, удовлетворяющие условию:

$$n \sinh rn - \xi \cosh rn = 0,$$

или

$$\frac{L\Omega^2}{n\pi g} = \tanh rn.$$

Собственные частоты колебаний жидкости в контейнере  $\omega_n$  определяются в линейной теории формулой

$$\omega_n^2 = gk_n \tanh(k_n h), \quad k_n = \frac{n\pi}{L}.$$

Если длина контейнера  $L$  намного больше глубины жидкости  $h$ , можно использовать следующую формулу, полученную на основе длинноволнового приближения:

$$\omega'_n = k_n \sqrt{gh}.$$

Если частота колебаний контейнера  $\Omega$  совпадает с какой-нибудь собственной частотой колебаний жидкости  $\omega_n$  при нечетных значениях  $n$  (т.е. в резонансном режиме), амплитуда и скорость жидкости стремятся в теории к бесконечности. Реально дисперсия волн и нелинейные эффекты приводят к отклонению от линейной теории, и высота подъема воды ограничена.

При определенных условиях в эксперименте вместо стоячих волн образуются бегущие волны, многократно отражающиеся от торцевых стенок контейнера. В резонансном режиме происходит наложение встречных бегущих волн, и в определенной фазе колебаний контейнера может образоваться кумулятивная струя [5].

Некоторые результаты сравнения теоретических и экспериментальных зависимостей наибольших безразмерных отклонений свободной поверхности от положения равновесия  $\zeta_{ext}^0$  от безразмерной круговой частоты колебаний контейнера  $\Omega^0$  приведены на рис. 2. Отклонения нормированы на начальную глубину  $h$ , частота — на  $\pi\sqrt{gh}/L$ . Максимальные отклонения свободной поверхности вверх и вниз от положения равновесия имеют в эксперименте разные значения вследствие влияния дна контейнера. В теории [1, 2] эта особенность задачи не находит адекватного отражения, и теоретическая зависимость приведена на рис. 2 только для положительных значений  $\zeta_{ext}^0$ .

Следует отметить, что волномер не может адекватно зарегистрировать высоту подъема воды с большим содержанием в ней воздуха, как это происходит в случае обрушения волны с образованием кумулятивной струи. Поэтому экстремальные отклонения, зарегистрированные волнометром в резонансных режимах генерации волн, значительно ниже высоты подъема кумулятивной струи. Высоту подъема кумулятивной струи можно определить только видеосъемкой.

Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что при частотах колебаний контейнера, соответствующих теоретическим резонансным часто-

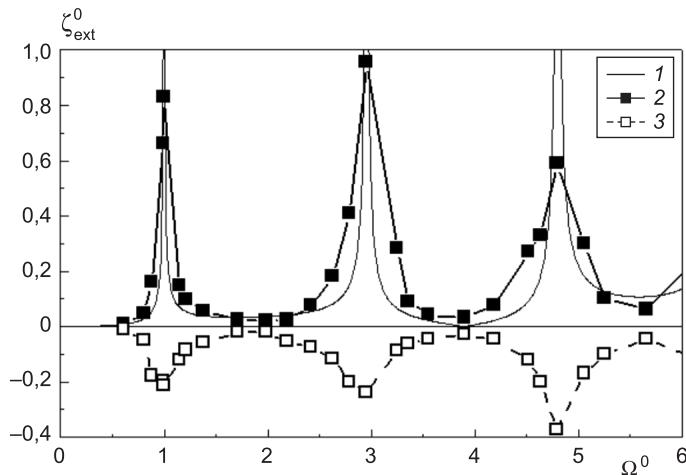


Рис. 2. Экстремальные отклонения свободной поверхности от положения равновесия в зависимости от частоты колебаний контейнера при  $h = 0,065$  м,  $L = 2$  м,  $x^0 = 0,25$

1 — расчет, 2, 3 — экспериментальные отклонения вверх и вниз от начального уровня

там, величина  $\zeta_0^0$  значительно увеличивается. В рассматриваемом примере в резонансном режиме при отклонениях свободной поверхности вверх от положения равновесия волны обрушивались и образовывались кумулятивные струи, поднимающиеся на высоту  $(1,6 - 3)h$  от начального уровня свободной поверхности.

Опыты, выполненные при различных значениях амплитуды колебаний контейнера  $a$  и начальной глубины воды  $h$ , показали, что кумулятивная струя не формируется, если  $a/h < 0,045$ . При отклонениях свободной поверхности вниз от положения равновесия волны в выполненных опытах сохраняли гладкость при всех значениях  $a/h$ . Это результат влияния дна контейнера.

Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что при частотах колебаний контейнера в некоторой окрестности четной собственной частоты колебаний жидкости высота волн хорошо описывается линейной теорией. При дальнейшем увеличении частоты сильно проявляются нелинейные эффекты. Сначала высота волн в эксперименте значительно больше, чем в теории. При приближении к резонансной частоте теоретическая амплитуда волны неограниченно растет, а в эксперименте высота подъема воды остается конечной даже в случае образования кумулятивной струи.

При четных значениях  $n$  эксперимент показывает, что устанавливаются стоячие волны. При этом на торцевой стенке контейнера образуется узел и колебания свободной поверхности очень малы, и в жидкость поступает мало энергии, затрачиваемой в основном на преодоление слабой силы трения.

На рис. 3 *a*, *b* приведены примеры записей колебаний свободной поверхности волномером, закрепленным на контейнере. В примере на рис. 3, *a* волномер располагался вблизи правой торцевой стенки контейнера (на расстоянии 3 мм от нее). Записи, приведенные на рис. 3, *b*, получены волномером, расположенным в пучности стоячей волны третьей

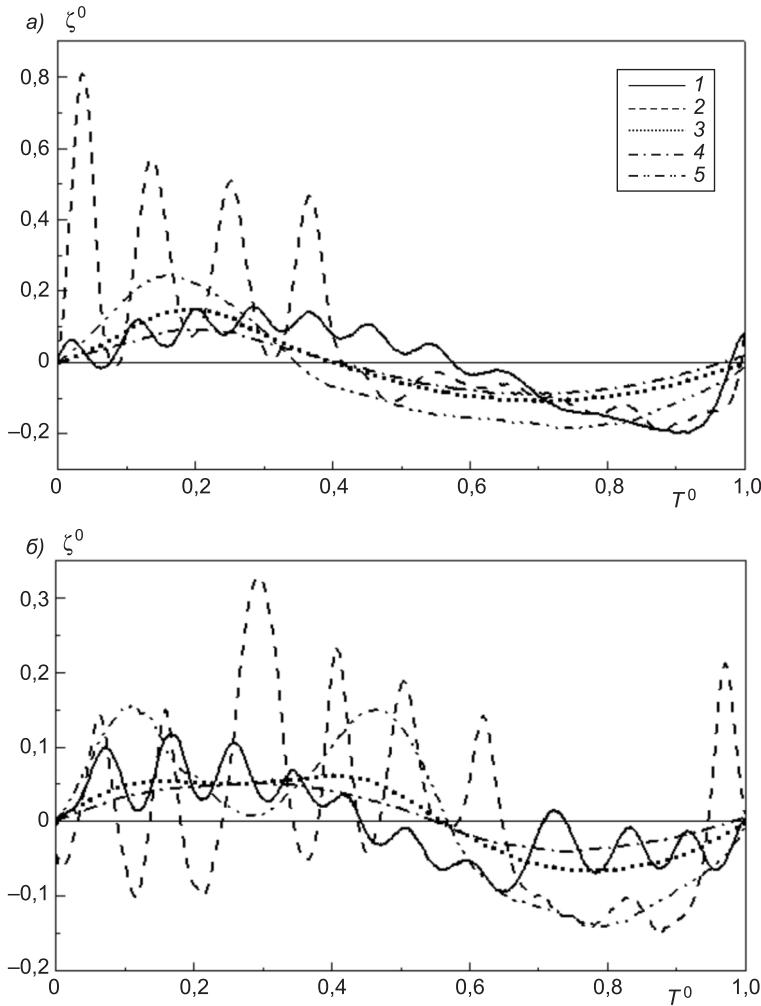


Рис. 3. Примеры записей колебаний свободной поверхности при  
 $h = 0,065$  м,  $L = 2$  м  
 $a — x^0 = 1$ ;  $b — x^0 = 0,33$ ; 1 —  $\Omega^0 = 0,876$ ; 2 —  $\Omega^0 = 0,981$ ; 3 —  $\Omega^0 = 1,140$ ;  
 4 —  $\Omega^0 = 1,218$ ; 5 —  $\Omega^0 = 4,488$

моды ( $x = L/3$ ). Время  $T^0$ , показанное на оси абсцисс, нормированное на период колебания контейнера, отсчитывается от момента прохождения контейнером средней точки его траектории по направлению к правой торцевой стенке. По оси ординат отложено отклонение свободной поверхности от ее положения в состоянии покоя, нормированное на  $h$ . Записи приведены только для одного периода колебаний контейнера, поскольку колебания свободной поверхности периодически повторялись с относительно небольшой случайной вариацией. Примеры записей даны для пяти частот колебаний контейнера, указанных в подрисуночной подписи.

Кривые 1–4 на рис. 3 соответствуют частотам колебаний контейнера, близким по своим значениям к частоте первой собственной моды колебания жидкости. Наиболее близка к условию резонанса кривая 2. В этом случае амплитуда колебаний свободной поверхности сильно возрастает и существенно проявляются нелинейные эффекты. В частности, отклонения свободной поверхности вверх и вниз от положения равновесия значительно отличаются.

чаются друг от друга. В резонансном режиме на торцевой стенке контейнера располагалась пучность и имел место высокий заплеск воды на стенку.

Кривые 5 на рис. 3, а, б получены при частоте колебаний контейнера  $\Omega$ , равной промежуточному значению между частотами четвертой и пятой собственных мод колебаний жидкости. В этом примере отклонения свободной поверхности вверх от положения равновесия в течение одного периода повторяются в два раза чаще, чем отклонения вниз.

На рис. 4 приведен пример кумулятивной струи, образующейся в резонансном режиме при частоте колебания контейнера, соответствующей частоте пятой собственной моды колебания жидкости. В этом примере высота подъема кумулятивной струи относительно уровня свободной поверхности жидкости в состоянии покоя равнялась  $1,8h$ . Пример кумулятивной струи, поднимающейся на высоту  $2,9h$  над уровнем свободной поверхности жидкости в состоянии покоя, приведен в [5].

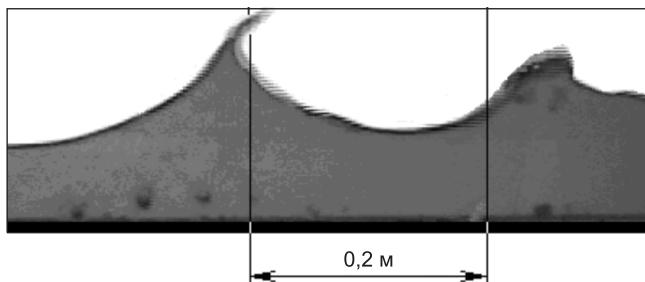


Рис. 4. Пример кумулятивной струи при  $h = 0,065$  м,  $L = 2$  м,  $\Omega = \omega_5 = 6,189$  рад/с

Теория [1, 2] правильно предсказывает существование в рассматриваемом течении упорядоченного счетного множества резонансных режимов генерации волн при нечетных частотах колебаний контейнера. В теории это множество безграничное. В эксперименте данный результат подтвердился вплоть до пятнадцатой собственной моды. И в теории, и в эксперименте интервал между соседними собственными частотами уменьшается с ростом частоты, и надежно проверить теорию при более высоких частотах затруднительно.

Эксперимент показал, что в резонансных режимах рост волн ограничен нелинейными эффектами и дисперсией волн. При приближении частоты колебаний контейнера к резонансной частоте вместо стоячих волн образуются бегущие волны, и при взаимодействии встречных прямых и отраженных волн образуются кумулятивные струи с большим содержанием воздуха. В этих струях рассеивается много энергии. Струи поднимаются над первоначальным уровнем свободной поверхности на высоту до трех глубин воды в неподвижном контейнере.

Показано, в частности, что при частоте колебания контейнера, соответствующей частоте четной собственной моды, амплитуда колебаний уровня свободной поверхности на торцевых стенках контейнера очень мала. Она находилась в пределах небольшой погрешности эксперимента. При этом на колебания воды затрачивалась только энергия, необходимая на преодоление сил трения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сретенский, Л.Н. Колебания жидкости в подвижном сосуде [Текст] / Л.Н. Сретенский // Изв. АН СССР. ОТН. — 1951. — № 10. — С. 1483–1494.
2. Сретенский, Л.Н. Теория волновых движений жидкости [Текст] / Л.Н. Сретенский. — М. : Наука, 1977. — 816 с.
3. Моисеев, Н.Н. Движение твердого тела, имеющего полость, частично заполненную идеальной капельной жидкостью [Текст] / Н.Н. Моисеев // Докл. АН СССР. — 1952. — Т. 85, № 4. — С. 719–722.
4. Моисеев, Н.Н. Динамика тела с полостями, содержащими жидкость [Текст] / Н.Н. Моисеев, В.В. Румянцев. — М. : Наука, 1965. — С. 439.
5. Букреев, В.И. Волны на воде в продольно колеблющемся контейнере [Текст] / В.И. Букреев, А.В. Чеботников // Изв. РАН. МЖГ. — 2015. — № 3. — С. 140–147.

*БУКРЕЕВ Виктор Иванович, д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: bukreev@hydro.nsc.ru  
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН*

*ДЕГТЯРЕВ Владимир Владимирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gts@sibstrin.ru  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ЧЕБОТНИКОВ Алексей Владимирович, канд. техн. наук; E-mail: avchebotnikov@gmail.com  
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН*

Получено 22.05.15

**Bukreev Viktor Ivanovich**, doctor of physical and mathematical sciences, professor; E-mail: bukreev@hydro.nsc.ru, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Russia

**Degtyarev Vladimir Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor, E-mail: gts@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Chebotnikov Alexey Vladimirovich**, candidate of technical sciences; E-mail: avchebotnikov@gmail.com, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Russia

## THE GRAVITATIONAL WAVES IN CONTAINER AT LATERAL EXCITATION

The results are presented of the experimental study of surface gravity waves in a rectangular horizontal container during its oscillations according to the harmonic law. It is shown that the linear theory predicted right the existence of multiplicity resonant regimes of wave generation at the odd frequencies of the container oscillations. In experiments it is confirmed up to the fifteenth natural frequency oscillations of the liquid. It is found that the theory of linear oscillation of the free surface adequately describes only when the amplitude of the waves is less than 5 % of the initial water depth.

**Key word:** natural frequency, gravitational waves, lateral excitation, resonance.

## REFERENCES

1. Sretenskiy, L.N. The oscillations of liquid in a moving container [Text] / L.N. Sretenskiy // Izv. Akad. Nauk. SSSR Otd. Tekh. Nauk. — 1951. — N 10. — P. 1483–1494.
2. Sretenskiy, L.N. Theory of wave motions of fluid [Text] / L.N. Sretenskiy. — M. : Nauka, 1977. — 816 p.
3. Moiseev, N.N. The motion of a rigid body with cavities partially filled with an ideal liquid [Text] / N.N. Moiseev // Dokl. Akad. Nauk. SSSR. — 1952. — Vol. 85, N 4. — P. 719–722.
4. Moiseev, N.N. Dynamics of body with cavities containing liquid [Text] / N.N. Moiseev, V.V. Rumyantsev. — M. : Nauka, 1965. — P. 439.
5. Bukreev, V.I. Water waves in a longitudinally oscillating container [Text] / V.I. Bukreev, A.V. Chebotnikov // Fluid Dynamics. — 2015. — Vol. 50, N 3. — P. 435–441.

УДК 532.542

**Л.И. ВЫСОЦКИЙ****О КОНСТАНТЕ КАРМАНА****Часть I**

Многими исследователями активно обсуждается проблема фундаментальности константы Кармана. Показано, что ее постановка плохо обусловлена и носит характер попыток исправления предлагаемых зависимостей для распределения осредненных скоростей. Рациональнее (по мнению автора) попытаться уточнить сами модели, введенные в свое время корифеями и родоначальниками теории турбулентности. Это положение продемонстрировано с помощью вычислительных экспериментов и использования новой модели строения продольно-однородных течений. Предложенная формула для распределения осредненных скоростей универсальна и содержит константу Кармана в качестве фундаментальной величины, одинаково равной для трех канонических течений (в круглых трубах, плоских потоках и пограничных слоях при нулевом градиенте давления)  $k = 0,4$ .

**Ключевые слова:** константа Кармана, число Рейнольдса, осредненная скорость, модели турбулентных потоков.

По Л. Прандтлю [1], распределение осредненных скоростей  $\bar{u} = \bar{u}(y)$  в продольно-однородных потоках описывается формулой

$$\bar{u} = \frac{1}{k} \lg \frac{yu_*}{v} + B, \quad (1)$$

где  $k$  — константа Кармана,

$B$  — аддитивная постоянная,

$u_*$  — динамическая скорость,

$y$  — расстояние по нормали от стенки.

Как правило, она рассматривается применительно к турбулентным течениям в круглых трубах, плоских потоках и пограничных слоях при нулевом градиенте давления. Эта формула получена для условий течения во внешней зоне пристенного слоя, однако принято распространять ее на всю область течения, включая и турбулентное ядро. Формула (1) содержит две константы —  $k$  и  $B$ . Далее уделим внимание в основном константе Кармана.

Относительно значения константы Кармана  $k$  существует множество мнений. Так или иначе, но исправление ее классического значения  $k = 0,4$  часто использовалось для лучшего приведения в соответствии с расчетом по той или иной формуле для распределения осредненных скоростей, имеющихся опытных данных. Аналогичная судьба постигла и аддитивную константу  $B$  в формуле Л. Прандтля. Приведем выборку наиболее известных мнений относительно возможности считать ее фундаментальной константой. При этом необходимо учитывать, что не все формулы для распределения осредненных скоростей в продольно-од-

нородных потоках содержат константу Кармана. Здесь они не рассматриваются.

Проблема определения значения константы Кармана по опытным данным обычно решается очевидным образом. Та или иная формула для распределения осредненных скоростей разрешается относительно  $k$ . Затем в нее подставляют опытное значение скорости  $u_{\text{оп}}$  в какой-либо точке. По полученному результату судят о степени расхождения принятого и опытного значений  $k_{\text{оп}}$ . Например, в случае логарифмического закона (1) получается, что эта формула имеет вид:

$$k = \frac{u_*}{(u - B)} \lg \frac{yu_*}{v} \quad (2)$$

или

$$k = u_* \left( y \frac{du}{dy} \right)^{-1}. \quad (3)$$

В безразмерной форме она переходит в

$$k = \left( y^+ \frac{du^+}{dy^+} \right)^{-1} \quad \text{и} \quad k_{\text{оп}} = \left( y^+ \frac{du^+}{dy^+} \right)_{\text{оп}}^{-1}, \quad (4)$$

где

$$y^+ = \frac{yu_*}{v}; \quad u^+ = \frac{u}{u_*}.$$

На основании массива полученных данных формулируют соответствующее заключение.

По мнению самого Т. Кармана, согласование расчетных данных с опытными происходит при  $k = 0,36$ .

По М.Д. Миллионщиковой [2], лучшим является значение  $k = 0,39$ . Другие оценки можно найти в публикациях [3–16 и др.], в которых авторы полагают, что коэффициент  $k$  не постоянен, а изменяется в зависимости от самых разнообразных факторов.

Во многих работах содержится попытка выявить характер изменения константы Кармана  $k$  по сечению потока (в радиальном направлении для труб и по вертикали для открытых потоков). Результаты приводят к весьма широкому диапазону разброса получаемых данных (от 0,3 до 0,8 и более). Представляется, что концепция подхода к этой проблеме изначально страдает однобокостью, а именно: полагают, что тот или иной закон распределения осредненных скоростей точен. Тогда несоппадение расчета по нему с опытными данными можно списать на непостоянство  $k$  и искать некую экспериментальную зависимость типа поправки к избранной и нерушимой (эталонной) формуле для распределения скоростей. При таком подходе любую (даже нелепую) формулу можно принять за эталон и исправить ее введением найденной описанным способом поправки.

Представляется, что предпочтительной является иная концепция, базирующаяся на оставлении за константой Кармана статуса константы ( $k = 0,4$ ), а совершенствованию подвергать сами закономерности, опре-

деляющие распределение осредненных скоростей, в частности, модели строения турбулентных потоков. Последнее, конечно, неизмеримо сложнее.

В [17] изложены результаты измерений с помощью лазерной техники, выполненные А. Томинагой и И. Незу при гладких и шероховатых стенках. Было обнаружено уменьшение константы  $B$  в случае бурных потоков, что предлагается учитывать при разработке теории «пути смешения».

Этими авторами была также обнаружена зависимость  $k$  от числа Фруда (рис. 1, 2).

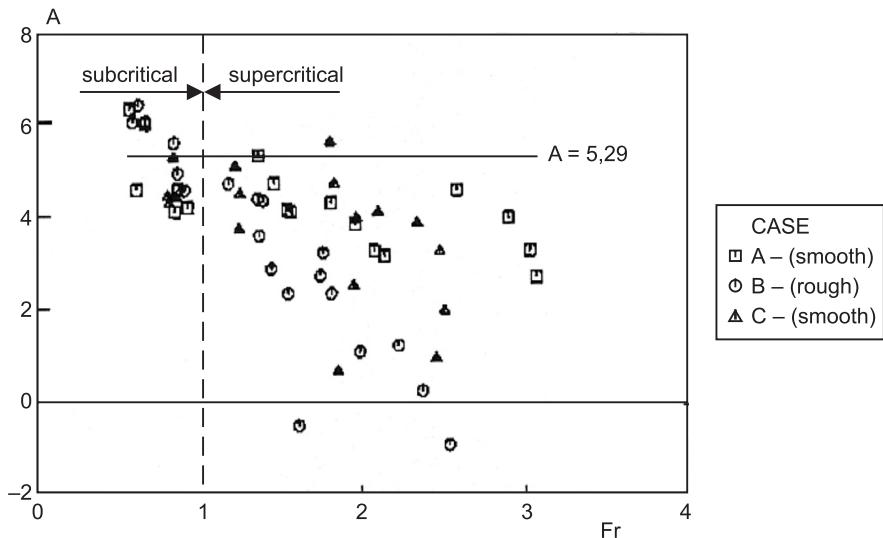


Рис. 1. Зависимость  $B$  от  $Fr$

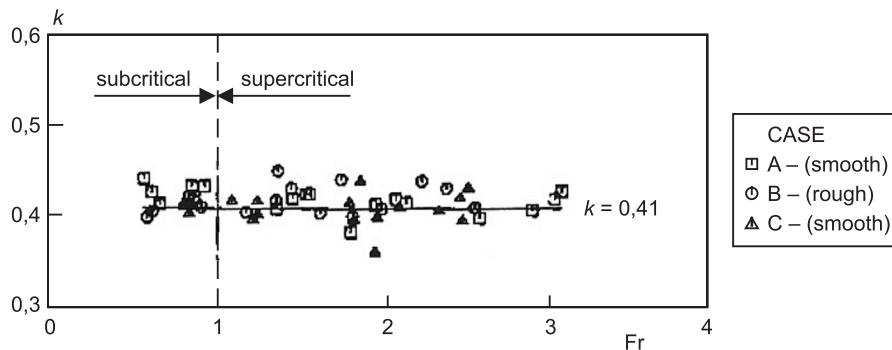


Рис. 2. Зависимость  $k$  от  $Fr$

Оказалось, что интенсивность уменьшения  $B$  при шероховатых стенах несколько больше, чем при гладких (см. рис. 1). Опыты показали, что константа Кармана фактически не зависит от числа Фруда (см. рис. 2).

Пожалуй, наиболее точные экспериментальные данные о распределении скоростей в круглых трубах приведены в [18], а в пограничном слое — в [19].

Пример анализа вариативности константы Кармана, когда результат представлен в графической форме, показан на рис. 3. Ниже приведем данные ряда известных исследователей без их анализа и исключи-

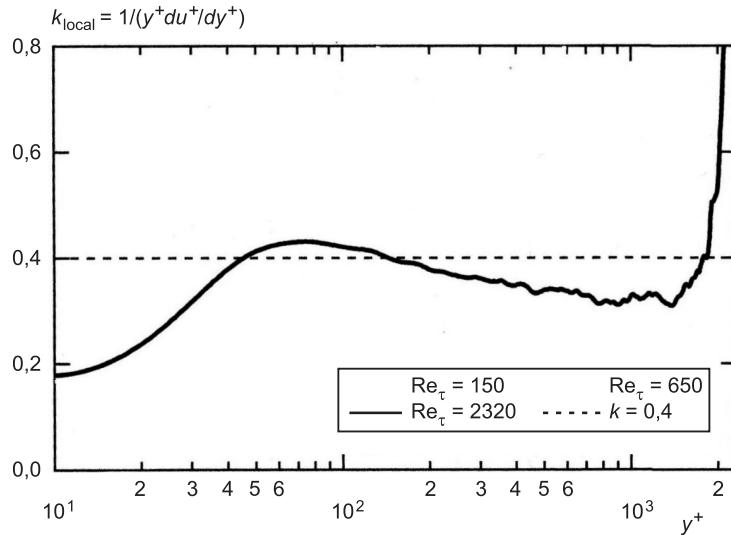


Рис. 3. График зависимости  $k$  от  $y^+$

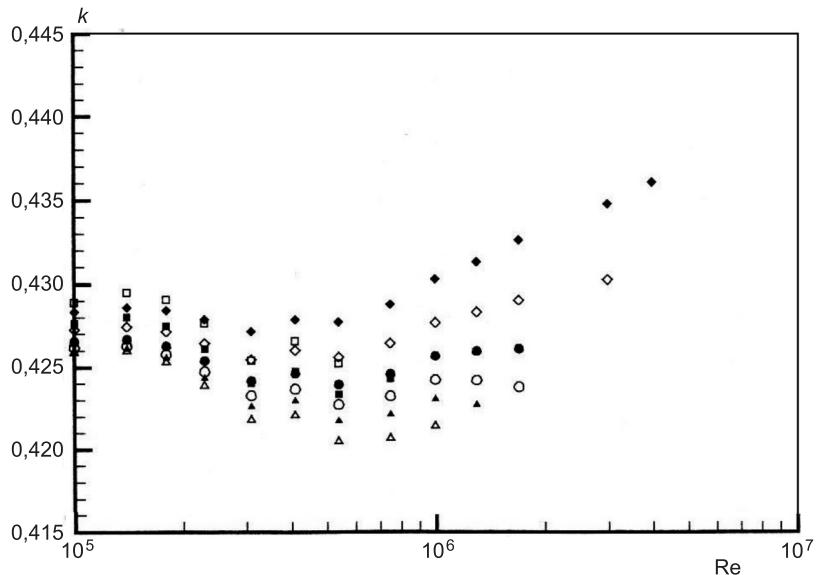


Рис. 4. Результаты изучения вариабельности  $k$  в случае течения в круглой трубе, полученные М. Загаролой [20]

тельно для иллюстрации обнаруженной ими вариабельности константы Кармана.

Оценка значения константы Кармана представлена, например, в [20, 21]. В графическом виде она показана на рис. 4–6.

В [22] приводятся аналогичные результаты с подчеркиванием их схожести для всех трех канонических типов продольно-однородных течений (рис. 7).

В табл. 1, заимствованной из обзорной статьи [23], приведены значения константы Кармана, найденные разными исследователями, проводившими обработку опытных данных, полученных в случае течений в круглых трубах, плоских каналах и пограничных слоях.

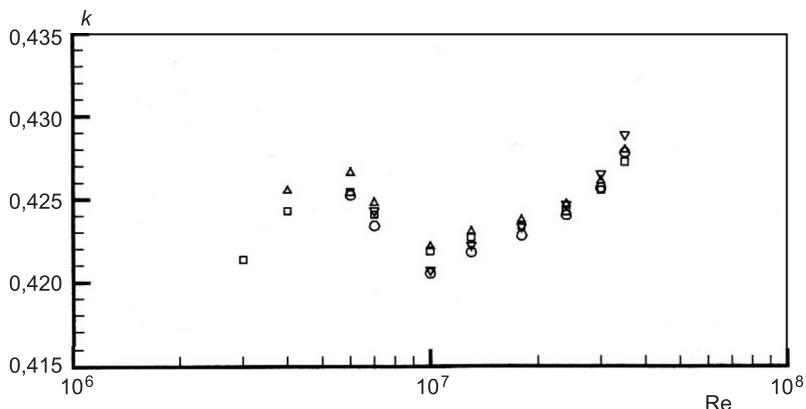


Рис. 5. Результаты изучения вариабельности  $k$  в случае течения в круглой трубе, полученные М. Загаролой [20] при больших числах Рейнольдса

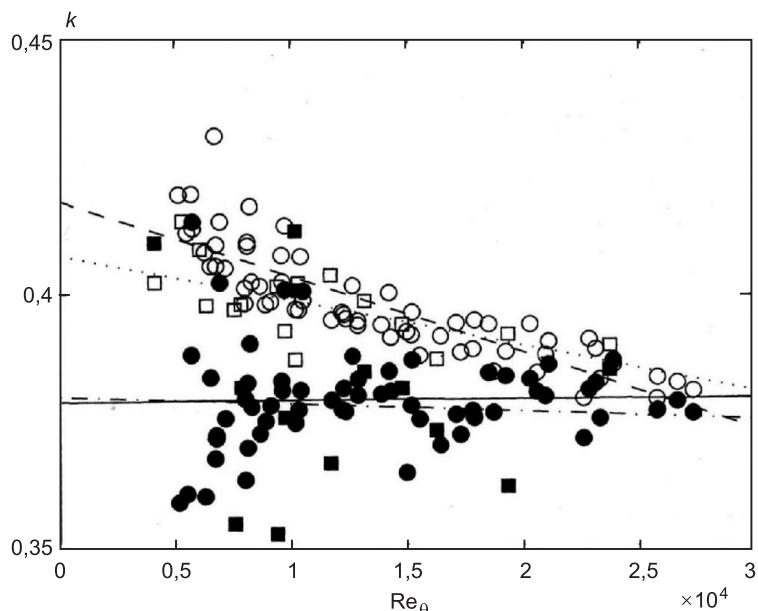


Рис. 6. Результаты изучения вариабельности  $k$  в случае пограничных течений, полученные Д. Остерлундом [21]

В [22] приводится весьма показательное высказывание: «В самом деле, трудно найти надежные ссылки, где бы утверждалось, что постоянная Кармана является или должна быть универсальной. Тем не менее в общей практике было принято считать и использовать  $k$  в качестве постоянной, равной  $k = 0,41$  (по крайней мере, за последние 30 лет или около того)».

Но как было показано в [24], при получении формулы для распределения осредненных скоростей в продольно-однородных потоках при надлежащем определении закона распределения турбулентной вязкости по нормали к стенке совершенно не требуется вводить какие-либо поправки, а константе Кармана возвращается ее статус константы.

Заметим, что вопреки многочисленным существующим мнениям вмешательство в определение значения универсальной постоянной  $k$  потреб-

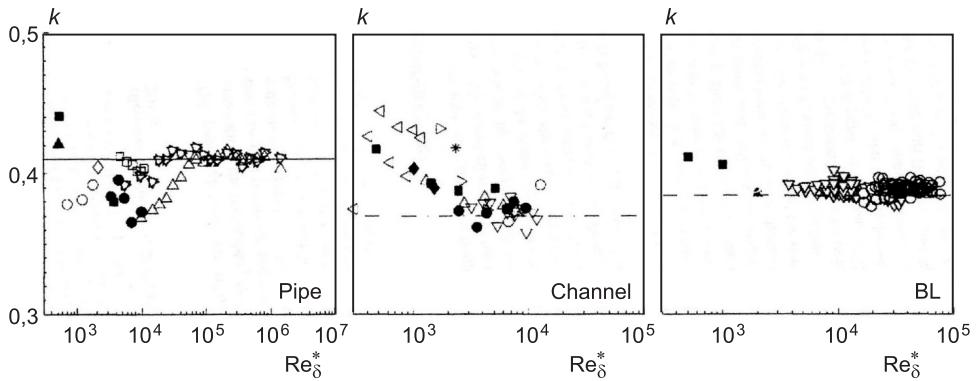


Рис. 7. Данные, рассмотренные в [22], для труб, каналов и пограничных течений при нулевом градиенте давления

Таблица 1

Автор	Вид течения	Максимальное значение числа Re	$k$	Значение $y^+$ для начала логарифмического распределения скоростей
Мак Кеон Моррисон	Труба	300 000	0,421	600
Монти	Труба	4000	0,384	100
Монти	Канал	4000	0,389	100
Занун и др.	Канал	4800	0,370	150
Нагиб и др.	Пограничный слой	22 000	0,384	200
Остерлунд и др.	Пограничный слой	14 000	0,380	200
Никкельс и др. (2007)	Пограничный слой	23 000	0,390	200

бовалось после того, как априори был принят логарифмический закон распределения осредненных скоростей для всего потока. Этот прием можно трактовать как подгонку логарифмического закона распределения скоростей под не совпадающие с ним опытные данные. Это замечание относится и ко многим другим полученным формулам.

Представляется, что отклонение значения константы Кармана от принятого (обычно при расчетах рекомендуют использовать значения  $k = 0,4$  или  $k = 0,41$ ) обусловлено структурой используемой формулы для определения осредненной скорости. Последняя может влиять неожиданным образом на значения  $k$ , соответствующие опытной величине скорости  $u_{\text{оп}}$ .

**Выводы.** 1. За несколько последних десятилетий в разных странах выполнены исследования, посвященные выявлению фундаментальности знаменитой константы Кармана.

2. Подавляющее большинство выводов содержит установление его вариабельности и принадлежит как отечественным, так и зарубежным ученым.

3. Установлена зависимость константы Кармана от числа Рейнольдса, числа Фруда, относительной шероховатости, поперечной координаты и др.

4. Вопрос о степени обусловленности способа получения значения константы Кармана по опытным показателям измеренной осредненной скорости будет рассмотрен в следующем номере.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Prandtl, L. Nenere Ergebnisse der Turbulenzforschung [Текст] / L. Prandtl // V.D.I. — 1933. — Vol. 77, N 5. — P. 107–110.
2. Миллионников, М.Д. Турбулентные течения в пограничном слое и в трубах [Текст] / М.Д. Миллионников. — М. : Наука, 1969.
3. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления [Текст] / А.Д. Альтшуль. — М. : Недра, 1970. — 216 с.
4. Баренблatt, Г.И. Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика [Текст] / Г.И. Баренблatt. — Л. : Гидрометеоиздат, 1982. — 256 с.
5. Брянская, Ю.В. Уточнение зависимостей Прандтля–Никурадзе для течений в гладких и шероховатых трубах [Текст] / Ю.В. Брянская // Изв. вузов. Строительство. — 1998. — № 9. — С. 116–120.
6. Железняков, Г.В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии [Текст] / Г.В. Железняков. — М. : Изд-во АН СССР, 1954.
7. Ибад-Заде, Ю.А. Водопроводные каналы [Текст] / Ю.А. Ибад-Заде. — М. : Стройиздат, 1975. — 192 с.
8. Конаков, П.К. Некоторые закономерности турбулентного движения жидкостей в трубах [Текст] / П.К. Конаков // Изв. АН СССР. ОТН. — 1949. — № 10.
9. Ломизе, Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах [Текст] / Г.М. Ломизе. — М. : Госэнергоиздат, 1951.
10. Мухаммедов, А.М. Распределение осредненных скоростей по глубине потока р. Аму-Дарья [Текст] / А.М. Мухаммедов, Т. Жураев // Докл. ВАСХНИЛ. — 1973. — № 5. — М. : Колос, 1973.
11. Талмаза, В.Ф. Гидроморфологические характеристики горных рек [Текст] / В.Ф. Талмаза, А.Н. Крошкин. — Фрунзе : Кыргызстан, 1968.
12. Тананаев, А.М. Течения в каналах МГД-устройств [Текст] / А.М. Тананаев. — М. : Атомиздат, 1979. — 368 с.
13. Френкель, Н.З. Гидравлика [Текст] / Н.З. Френкель. — М. : Госэнергоиздат, 1956. — 456 с.
14. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. — М. : Наука, 1974. — 712 с.
15. Nezu, I. Open channel flow measurements with a laser Doppler anemometer [Текст] / I. Nezu, W. Rodi // Journal Hydr. Engrg. ASCE. — 1986. — № 112(5). — Р. 335–355.
16. Tennekes, H. Simple Model for the Small-Scale Structure of Turbulence [Текст] / H. Tennekes // Phys. Fluids. — 1968. — Vol. 11. — P. 669–671.
17. Tominaga, A. Velocity profiles in steep open-channel flows [Текст] / A. Tominaga, I. Nezu // Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. — 1992. — Vol. 01. 118, N 1. — P. 73–90.
18. Zagarola, M.V. <http://www.orinceton.edu/~gasdvnl/>.
19. Osterlund, J. Stockholm, 1999. [Http: www.mech.kth.se/~jens/zpg/](http://www.mech.kth.se/~jens/zpg/)
20. McKeon, B.J. A new friction factor relationship for fully developed pipe flow [Текст] / B.J. McKeon, M.V. Zagarola, A.J. Smits // J. Fluid Mech. — 2005. — Vol. 538. — P. 429–443.
21. Osterlund, J.M. Measurements in a flat plate turbulent boundary layer [Текст] / J.M. Osterlund, A.V. Johansson // Turbulence shear-flow phenomena 1. TSFP-1. — Santa Barbara, USA, 1999. — 6 p.
22. Nagib, H.M. Variations of von Karman coefficient in canonical flows [Текст] / H.M. Nagib, K.A. Chauhan // Phys. Fluids. — 2008. — Vol. 20. — P. 101518.

23. Marusic, J. Wall-bounded turbulent flows at high Reynolds number: Recent advances and key issues [Текст] / J. Marusic, B.J. Mc Keon // Physics of fluids. — 2010. — 22, № 065103. — Р. 1–24.
24. Высоцкий, Л.И. Продольно-однородные осредненные турбулентные потоки [Текст] / Л.И. Высоцкий, И.С. Высоцкий. — Саратов : СГТУ, 2011. — 560 с.

**ВЫСОЦКИЙ Лев Ильич, д-р техн. наук, проф.**  
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Получено 18.05.15

**Vysotskiy Lev Illich**, doctor of technical sciences, professor, Saratov State Technical University, Russia

## **ABOUT CONSTANT KARMAN**

### **Part I**

Many researchers are actively discussing the problem of the fundamental constants of the Karman. It is shown that it is ill-conditioned and the nature of attempts to repair the proposed dependencies for the distribution of the averaged velocity. Rationally (according to author) to try to clarify the models themselves, introduced by luminaries and founders of the theory of turbulence. This situation is demonstrated through computational experiments and the use of a new model of the structure of a longitudinally uniform currents. The proposed formula for the distribution of the averaged velocity universal and contain a constant Pocket as a fundamental value, equal to three canonical flows (in round pipes, flat flows and boundary layers at zero pressure gradient)  $k = 0,4$ .

**Key words:** constant of the Karman, Reynolds number, mean velocity, models of turbulent flows.

## REFERENCES

1. Prandtl, L. Nenere Ergebnisse der Turbulenzforschung [Text] / L. Prandtl // V.D.I. — 1933. — Vol. 77, N 5. — P. 107–110.
2. Millionshchikov, M.D. Turbulent flow in the boundary layer and in the pipes [Text] / M.D. Millionshchikov. — M. : Nauka, 1969.
3. Altshul, A.D. Hydraulic resistance [Text] / A.D. Altshul. — M. : Nedra, 1970. — 216 p.
4. Barenblatt, G.I. Similarity, self-similarity, intermediate asymptotics [Text] / G.I. Barenblatt. — L. : Gidrometeoizdat, 1982. — 256 p.
5. Bryanskaya, Yu.V. Clarification of the dependency of the Prandtl–Nikuradse for flows in smooth and rough pipes [Text] / Yu.V. Bryanskaya // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 1998. — N 9. — P. 116–120.
6. Zheleznyakov, G.V. Hydraulic justification of methods of river hydrometry [Text] / G.V. Zheleznyakov. — M. : Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1954.
7. Ibad-Zade, Yu.A. Water channels [Text] / Yu.A. Ibad-Zade. — M. : Stroyizdat, 1975. — 192 p.
8. Konakov, P.K. Some patterns of turbulent flow of liquids in pipes [Text] / P.K. Konakov // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. REL. — 1949. — N 10.
9. Lomize, G.M. Filtration in fissured rocks [Text] / G.M. Lomize. — M. : Gosenergoizdat, 1951.
10. Muhammedov, A.M. Distribution of averaged velocities over the depth of flow of the Amu Darya [Text] / A.M. Muhammedov, T. Zhuraev // Doklady VASKHNIL. — 1973. — N 5. — M. : Kolos, 1973.
11. Talmaza, V.F. Hydromorphological characteristics of mountain rivers [Text] / V.F. Talmaza, A.N. Kroshkin. — Frunze : Kyrgyzstan, 1968.

12. Tananaev, A.M. Flow in channels MHD-devices [Text] / A.M. Tananaev. — M. : Atomizdat, 1979. — 368 p.
  13. Frenkel, N.Z. Hydraulics [Text] / N.Z. Frenkel. — M. : Gosenergoizdat, 1956. — 456 p.
  14. Slichting, G. Boundary layer theory [Text] / G. Slichting. — M. : Nauka, 1974. — 712 p.
  15. Nezu, I. Open channel flow measurements with a laser Doppler anemometer [Text] / I. Nezu, W. Rodi // Journal Hydr. Engrg. ASCE. — 1986. — № 112(5). — P. 335–355.
  16. Tennekes, H. Simple Model for the Small-Scale Structure of Turbulence [Text] / H. Tennekes // Phys. Fluids. — 1968. — Vol. 11. — P. 669–671.
  17. Tominaga, A. Velocity profiles in steep open-channel flows [Text] / A. Tominaga, I. Nezu // Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. — 1992. — Vol. 01. 118, № 1. — P. 73–90.
  18. Zagarola, M.V. <http://www.orinceton.edu/~gasdvnl/>.
  19. Osterlund, J. Stockholm, 1999. [Http://www.mech.kth.se/~jens/zpg/](http://www.mech.kth.se/~jens/zpg/)
  20. McKeon, B.J. A new friction factor relationship for fully developed pipe flow [Text] / B.J. McKeon, M.V. Zagarola, A.J. Smits // J. Fluid Mech. — 2005. — Vol. 538. — P. 429–443.
  21. Osterlund, J.M. Measurements in a flat plate turbulent boundary layer [Text] / J.M. Osterlund, A.V. Johansson // Turbulence shear-flow phenomena 1. TSFP-1. — Santa Barbara, USA, 1999. — 6 p.
  22. Nagib, H.M. Variations of von Karman coefficient in canonical flows [Text] / H.M. Nagib, K.A. Chauhan // Phys. Fluids. — 2008. — Vol. 20. — P. 101518.
  23. Marusic, J. Wall-bounded turbulent flows at high Reynolds number: Recent advances and key issues [Text] / J. Marusic, B.J. Mc Keon // Physics of fluids. — 2010. — 22, № 065103. — P. 1–24.
  24. Vysotskiy, L.I. Longitudinally-averaged homogeneous turbulent flows [Text] / L.I. Vysotskiy, I.S. Vysotskiy. — Saratov : SSTU, 2011. — 560 p.
-

**УДК 620.193.1**

**В.Т. КУЗАВОВ**

## **КАВИТАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В СПИРАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ В ПОСТАНОВКЕ ВИБРАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ**

Представлены результаты экспериментальных исследований разрушения материалов при кавитационной эрозии. Разрушение исследуемых материалов связано с образованием ранее неизвестных в литературе спиральных структур, кавитационных трубок. Разрушение, образование и возникновение микротрещин в исследуемых материалах связано с фокусировкой энергии на оси кавитационных трубок на каждом витке спирали.

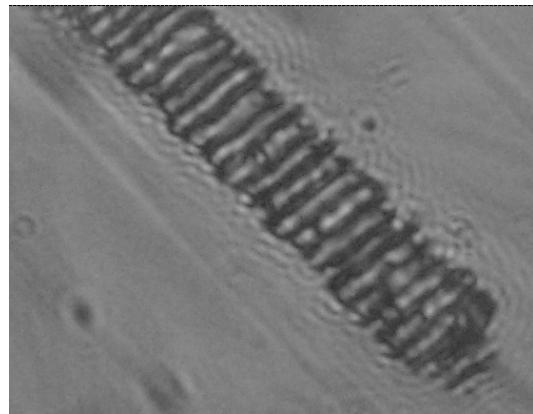
**Ключевые слова:** разрушение, микротрешины, кавитационная эрозия, кавитационная трубка, спиральная структура.

В существующей модели кавитационного воздействия разрушение материалов происходит за счет удара кумулятивных струй и ударных волн, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков вблизи исследуемой поверхности [1, 2]. В работах [3, 4] представлены экспериментальные особенности эрозионного разрушения, из результатов которых следует, что разрушение исследуемых материалов происходит не от удара кумулятивных струй и ударных волн, образующихся при захлопывании кавитационных пузырьков, а в результате возникновения новых, не известных до сих пор спиральных структур, образующихся в исследуемых материалах, кавитационных трубках (к-трубках). Образование к-трубок и разрушение исследуемых материалов начинается на небольшой глубине 20–100 мкм от свободной поверхности. В работе представлены экспериментальные результаты исследования эрозионного разрушения органического стекла и эbonита, проведенные в рамках постановки вибрационной эрозии. Образцы из эbonита и органического стекла тщательно полировались так, чтобы на исследуемой поверхности не было повреждений, что контролировалось под оптическим микроскопом. После ультразвукового воздействия поврежденные поверхности фотографировались фотоаппаратом с помощью оптического микроскопа. Время воздействия менялось в широком диапазоне, от нескольких секунд до десятков минут, в зависимости от свойств исследуемого материала. Из представленных экспериментальных результатов можно проследить возможный механизм разрушения исследуемых материалов при воздействии на них кавитации в спиральных структурах и сравнить с действующей моделью эрозионного разрушения.

В исследуемых материалах образуются многочисленные структуры, возникающие на небольшой глубине (10–20 мкм) и хаотично расположенные под свободной поверхностью исследуемого материала. В исследуемом образце формируются не только такие структуры, но и упорядоченные, состоящие из прямых линий, равноотстоящих друг от друга и различных по длине и длительности. Хаотично расположенные и упорядо-

доченные структуры образуются под свободной поверхностью в отдельных замкнутых областях произвольной формы. Таким образом, в исследуемом материале под свободной поверхностью на небольшой глубине образуются два типа структур: хаотично расположенные небольшой длительности и структуры в виде прямых линий различной длины и диаметра и представляющие собой гладкие цилиндрические трубы диаметром 10–15 мкм, которые в дальнейшем будем называть кавитационными трубками (к-трубками). К-трубы имеют диаметр от 10–15 мкм и более. Они могут быть гладкими, т.е. без видимых спиральных витков вдоль к-трубки и иметь спиральную структуру (рис. 1).

На рис. 1 представлена к-трубка в органическом стекле толщиной 1 мм. Расстояние между отдельными витками спиральной трубы составляет несколько микрон. Вся спиральная к-трубка состоит из нескольких отдельных участков определенной величины. Длительность по времени таких участков может меняться от опыта к опыту. Спиральные и гладкие к-трубы могут прерываться, т.е. могут состоять из нескольких таких повторяющихся участков определенной по времени длительности. Удалось установить, что гладкие к-трубы, т.е. трубы без видимых на них витков, также имеют спиральную структуру. Это было установлено в экспериментах при выходе к-трубки на свободную поверхность исследуемого образца. Таким образом, структуры (к-трубы), образующиеся в исследуемом материале при воздействии на его кавитации, имеют спиральную структуру. Гладкие к-трубы образуются под свободной поверхностью и могут заполнять собой отдельные области исследуемого материала. Так как гладкие к-трубы имеют спиральную структуру, т.е. имеют определенную частоту, то при достаточно близком их расположении, примерно на диаметре к-трубки, происходит их акустическое взаимодействие и могут образовываться новые к-трубы большего диаметра. Такие к-трубы будем называть резонансными. Так как к-трубы имеют спиральную структуру, то на оси спирали будет происходить фокусировка акустической энергии на каждом ее витке. В результате фокусировки к-трубы могут разрушаться с образованием микротрешин вдоль их длины. Так как спиральные трубы расположены на небольшой глубине от свободной поверхности (10–20 мкм), вдоль ее длины образуются микротрещины, возникающие в результате фокусировки акустической энергии на каждом витке спирали. Если к-трубка находилась на глубине менее 10–20 мкм от свободной поверхности, то происходит ее разрушение и отделение тонкого слоя материала, расположенного над кавитационной трубкой, от ее верхней части (рис. 2), т.е. происходит разрушение исследуемой поверхности. На хаотично расположенных к-трубках разру-



*Рис. 1*

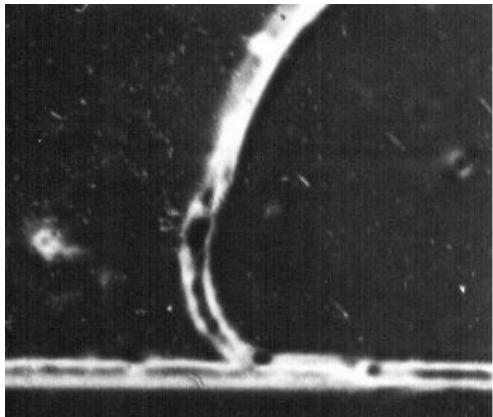


Рис. 2

шение происходит в отдельных локальных точках, а на спиральных трубках разрушаются целые участки трубы. В [1] представлен типичный размер частиц, отделяющихся при кавитационном разрушении. Оказалось, что большинство частиц имеют диаметр 13 мкм. Диаметр к-трубки примерно равен 10–15 мкм, поэтому размер отделяющихся частиц совпадает с диаметром к-трубки, что, по нашему мнению, подтверждает образование к-трубок.

С образцами из эbonита проводились следующие эксперименты. После проведения эксперимента фотографировалась поврежденная поверхность, а затем на полировальном круге удалялся слой определенной толщины (несколько микрон), и поверхность снова фотографировалась. На полученных кадрах проводилось сравнение повреждений поверхности до и после снятия определенного слоя. Оказалось, что после снятия слоя на поврежденной поверхности возникают новые повреждения, ранее не отмеченные в фиксированных точках исследуемого образца. В существующей модели эрозионного разрушения [1], при ударах кумулятивных струй положение повреждений в образце не меняется до и после снятия слоя, а меняется только форма повреждений.

Все вышеперечисленные результаты были получены при исследовании образцов на оптическом микроскопе с ограниченным увеличением, что не позволяет рассмотреть более тонкие детали кавитационного разрушения. Поэтому были проведены эксперименты на органическом стекле, а затем на исследуемую разрушенную поверхность напылялся слой меди (толщина слоя меди 7–10 мкм), что позволило рассмотреть повреждения на электронном микроскопе при значительно больших увеличениях. На рис. 3 представлена фотография разрушенной поверхности органического стекла. Время кавитационного воздействия на исследуемый образец было равным 1 мин. Даже при небольшом времени воздействия поврежденные поверхности покрыты сетью микротрещин. Это подтверждает ранее установленный механизм эрозионного разрушения — образование в исследуемом образце к-трубок, их разрушение и образование микротрещин. Следует отметить, что в традиционной модели эрозионного разрушения

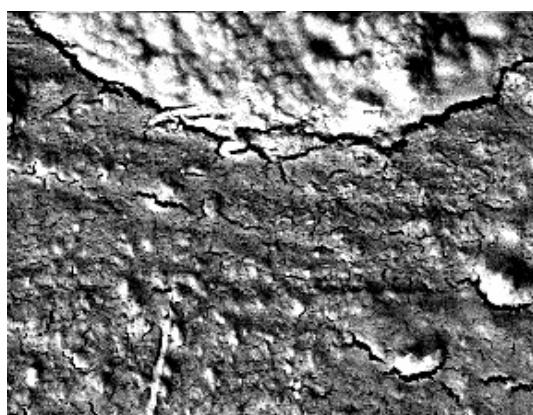
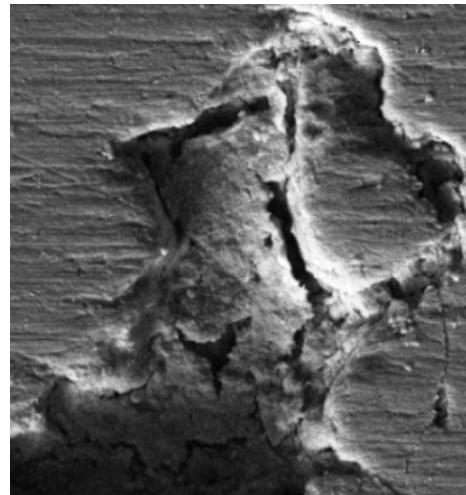


Рис. 3

ния на исследуемой поверхности и на ее срезе должны присутствовать только микрократеры небольшой глубины. С увеличением времени воздействия до 20–30 мин на срезе исследуемой поверхности образуются разрушенные зоны, не связанные со свободной поверхностью образца. На рис. 4 приведена фотография исследуемой поверхности с образовавшейся на ней к-трубкой с крупными микротрешинами.

Таким образом, в результате кавитационного воздействия в исследуемом образце на небольшой глубине от свободной поверхности образуются к-трубки. К-трубки имеют спиральную структуру. В результате фокусировки акустической энергии происходит разрушение кавитационных трубок, раскрытие их, с образованием многочисленных микротрешин. С увеличением времени ультразвукового воздействия происходит взаимодействие микротрешин, скалывание отдельных участков исследуемого образца. Структура и механизм образования к-трубок весьма сложен, до конца неясен и требует дальнейших экспериментальных исследований.



*Рис. 4*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кнэпп, Р. Кавитация [Текст] / Р. Кнэпп. — М. : Мир, 1974. — 687 с.
2. Прис, К. Эрозия [Текст] / К. Прис. — М. : Мир, 1982. — 464 с.
3. Кузавов, В.Т. Новые постановки в исследовании кавитационной эрозии [Текст] / В.Т. Кузавов, В.В. Дегтярев // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 9. — С. 105–109.
4. Кузавов, В.Т. Структура и особенности разрушения материалов при кавитационной эрозии в новой постановке [Текст] / В.Т. Кузавов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 7. — С. 113–117.

*КУЗАВОВ Василий Тимофеевич, канд. физ.-мат. наук  
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск*

Получено после доработки 25.05.15

**Kuzavov Vasiliy Timofeevich**, candidate of physical and mathematical sciences; Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

#### **CAVITATIONAL DESTRUCTION OF MATERIALS IN SPIRAL STRUCTURES IN VIBRATIONAL EROSION APPROACH**

Results of experimental research of destruction of materials due to cavitation erosion are presented. Destruction of sample materials has to do with spiral structures, cavitation tubes, which have not been widely discussed in public sources previously. The formation and appearance of microfractures in samples are due to focusing of energy on the axis of cavitation tubes on each curve of the spiral.

Key words: destruction, microfractures, cavitation erosion, cavitation tube, spiral structure.

#### REFERENCES

1. Knepp, R. Cavitation [Text] / R. Knepp. — M. : Mir, 1974. — 687 p.
  2. Price, K. Erosion [Text] / K. Price. — M. : Mir, 1982. — 464 p.
  3. Kuzavov, V.T. New approach in research of cavitation erosion [Text] / V.T. Kuzavov, V.V. Degtyarev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 9. — P. 105–109.
  4. Kuzavov, V.T. Structure and destructin of materials due to cavitation erosion in a new approach [Text] / V.T. Kuzavov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 7. — P. 113–117.
-

**УДК 624.072.2.012.35.042.6/.8**

**В.С. ПЛЕВКОВ, Д.Г. УТКИН**

## **РАБОТА СТАЛЕФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований изгибаемых и сжато-изогнутых сталефиброжелезобетонных элементов при кратковременном динамическом нагружении. Разработан метод расчета прочности таких элементов с учетом нелинейной работы бетона, арматуры и сталефибробетона. Разработано пособие, посвященное оценке технического состояния, восстановлению и усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений с применением фибробетона.

**Ключевые слова:** прочность, трещиностойкость, экспериментальные исследования, кратковременное динамическое нагружение, статическое нагружение, сталефибробетон, зонное армирование.

В настоящее время все более актуальной становится необходимость проектирования железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию кратковременных динамических нагрузок, которые вызывают значительные повреждения конструкций и приводят к их полному или частичному разрушению.

Одним из перспективных строительных материалов является сталефибробетон, обладающий повышенными прочностными и деформативными характеристиками как при статическом, так и при кратковременном динамическом нагружениях.

Для исследования влияния величины и расположения зонного армирования из стальной фибры на прочность, деформативность и энергоемкость железобетонных элементов были проведены экспериментальные исследования изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов с различным зонным сталефибральным армированием при кратковременном динамическом нагружении.

При кратковременном динамическом нагружении были испытаны 2 железобетонные и 18 сталефиброжелезобетонные балки. Зонное армирование высотой 0,2  $h$  и 0,3  $h$  применялось в растянутой или в сжатой зонах конструкции. Для каждого варианта зонного армирования было испытано по четыре конструкции, две из которых испытывались при кратковременном динамическом поперечном изгибе, а две — при кратковременном динамическом поперечном изгибе с различным уровнем продольного сжимающего усилия. Программа экспериментальных исследований сталефиброжелезобетонных балок при кратковременном динамическом нагружении представлена на рис. 1.

Длина экспериментальных балок составляла 2,2 м, расчетный пролет — 2,0 м, поперечное сечение — 100×200 мм.

Фибровое армирование по объему бетона составляло 2 %. Применялась фибра, нарезанная из стальной полосы, сечением 0,4×0,6 мм, дли-

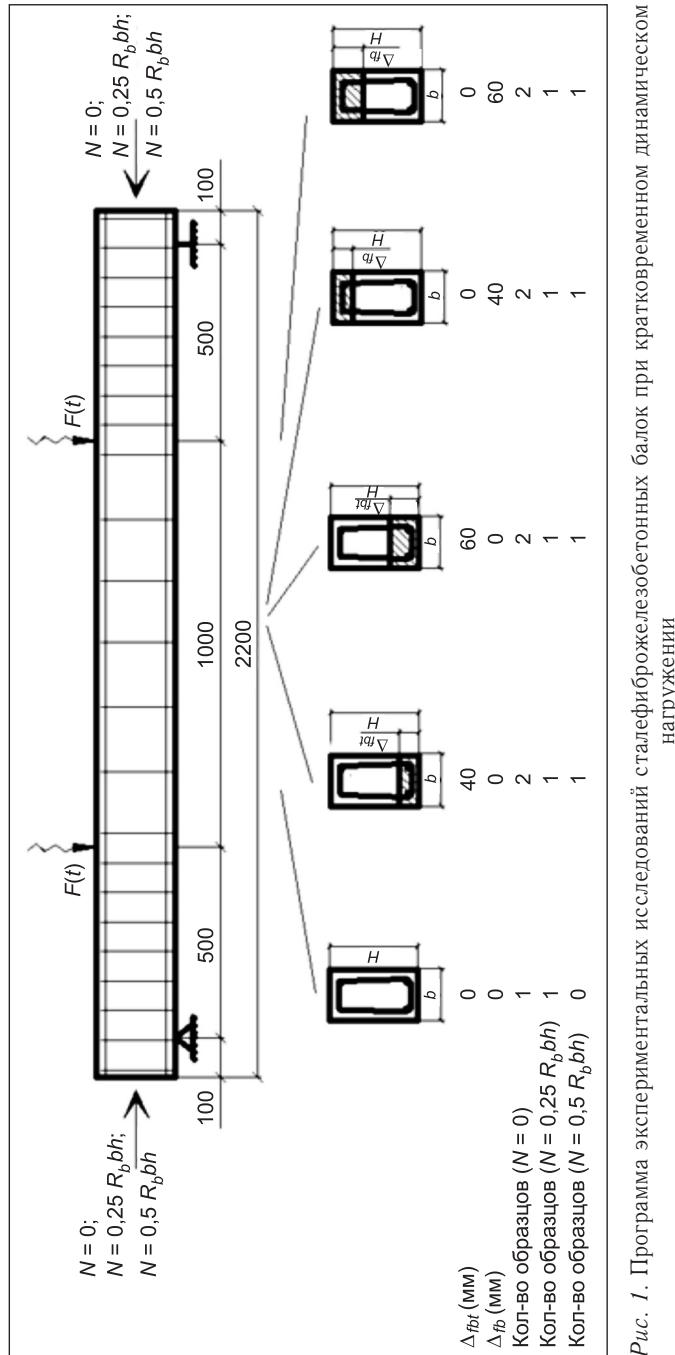


Рис. 1. Программа экспериментальных исследований сталефиброжелезобетонных балок при кратковременном динамическом нагружении

ной 40 мм. Армирование балок выполнено вязанными пространственными каркасами. В нижней зоне балок были установлены два стержня Ø12 А-400с. Верхняя арматура выполнена из двух стержней Ø6 А-240, поперечная арматура — в виде гнутых хомутов из Ø5 Вр500.

В результате проведенных экспериментов установлены зависимости деформативности бетона, сталефибробетона и арматуры, несущей способности, характера развития трещин и разрушения образцов, изменения энергоемкости и прогибов сталефиброжелезобетонных элементов от ве-

личины продольного сжимающего усилия и параметров зонного армирования при кратковременном динамическом нагружении.

Полученные при экспериментальных исследованиях схемы трещинообразования и разрушения элементов (рис. 2) показали, что железобетонные балки с зонным сталефибральным армированием в растянутой зоне разрушились вследствие образования и дальнейшего раскрытия по высоте нормальных трещин по всей длине балки с последующим разрушением сжатой зоны бетона. У элементов с зонным армированием из стальной

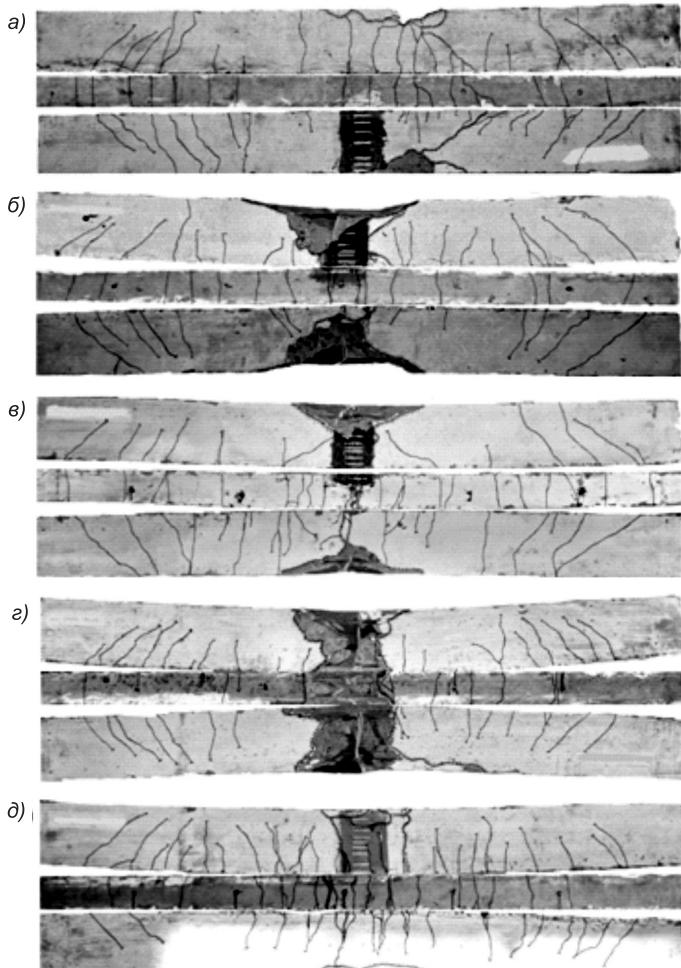


Рис. 2. Схемы трещинообразования и разрушения балок с различной высотой и расположением зонного сталефибрового армирования, испытанных при кратковременном динамическом изгибе ( $N = 0$ )

*а* — железобетонная балка; *б* — сталефиброжелезобетонная балка с зонным армированием из стальной фибры толщиной 40 мм в растянутой зоне сечения ( $\Delta_{fbt} = 40$  мм); *в* — сталефиброжелезобетонная балка с зонным армированием из стальной фибры толщиной 60 мм в растянутой зоне сечения ( $\Delta_{fbt} = 60$  мм); *г* — сталефиброжелезобетонная балка с зонным армированием из стальной фибры толщиной 40 мм в сжатой зоне сечения ( $\Delta_{fb} = 40$  мм); *д* — сталефиброжелезобетонная балка с зонным армированием из стальной фибры толщиной 60 мм в сжатой зоне сечения ( $\Delta_{fb} = 60$  мм)

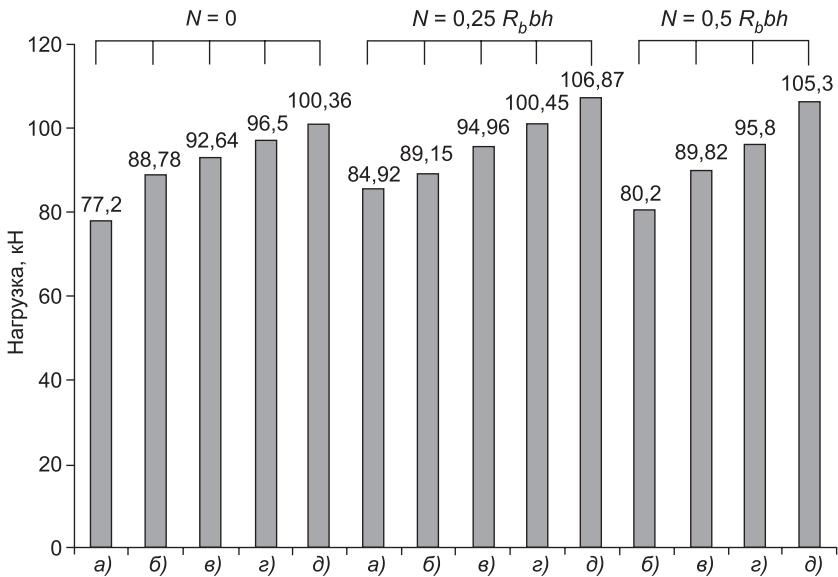


Рис. 3. Изменение динамической нагрузки при испытании сталефиброжелезобетонных элементов при кратковременном динамическом нагружении в зависимости от уровня продольной сжимающей силы

а — железобетонная балка; б — железобетонная балка с  $\Delta_{fbt} = 40$  мм; в — железобетонная балка с  $\Delta_{fbt} = 60$  мм; г — железобетонная балка с  $\Delta_{fb} = 40$  мм; д — железобетонная балка с  $\Delta_{fb} = 60$  мм

фибры в сжатой зоне разрушение также происходит вследствие образования нормальных трещин по длине балки, но при незначительном разрушении сжатой зоны бетона. При увеличении уровня продольной сжимающей силы наблюдается более характерное разрушение сжатой зоны бетона, а количество нормальных трещин по длине балки уменьшается. Основное разрушение элементов происходит в центральной части элемента.

Анализ эффективности применения зонного армирования из стальной фибры для изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов с различным уровнем обжатия при кратковременном динамическом нагружении показал, что использование зонного сталефибрового армирования в растянутой зоне толщиной  $0,2 h$  и  $0,3 h$  для изгибаемых железобетонных элементов повышает их несущую способность соответственно на 12 и 18 %, энергоемкость на 6 и 10 %, а максимальные прогибы уменьшаются на 22 и 24 %. При расположении зонного сталефибрового армирования в сжатой зоне сечения — несущая способность повышается соответственно на 20 и 25 %, энергоемкость на 14 и 20 %, а максимальные прогибы уменьшаются на 38 и 43 % (рис. 3, 4). Несущая способность железобетонных и сталефиброжелезобетонных элементов при  $N = 0,25 R_bh$  повышается в среднем на 5–6 % по сравнению с изгибающимися элементами. При последующем увеличении продольной сжимающей силы до уровня  $N = 0,5 R_bh$  происходит снижение несущей способности сталефиброжелезобетонных элементов в среднем на 3–8 % по сравнению с чистым изгибом.

Для оценки несущей способности сталефиброжелезобетонных конструкций разработан метод расчета прочности изгибаемых и сжато-изогну-

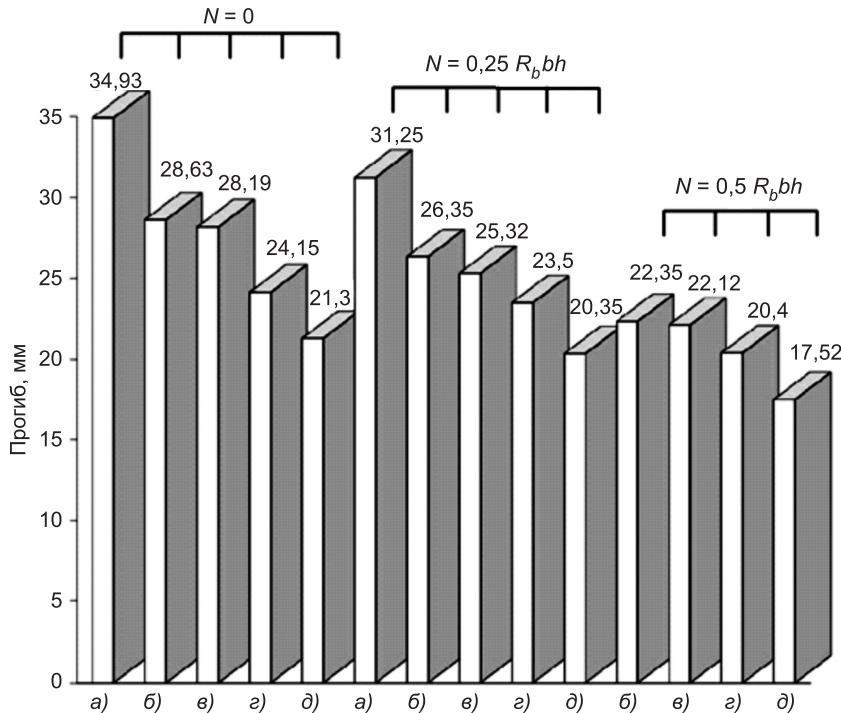


Рис. 4. График изменения максимальных перемещений для железобетонных балок в зависимости от уровня продольной сжимающей силы образцов и величины и места расположения зонного сталефиброго армирования

Усл. обозн. см. на рис. 3

тых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры при статическом и кратковременном динамическом нагружениях, позволяющий наглядно оценить запас несущей способности, либо обнаружить перегрузку конструкции или ее элемента под нагрузкой.

Физической основой предлагаемого метода расчета сталефиброжелезобетонных элементов при статическом и кратковременном динамическом нагружении являются действительные нелинейные диаграммы деформирования бетона, фибробетона и арматуры, аналитическое описание которых получено на основе обобщения имеющихся экспериментальных данных. Основные параметрические точки на диаграммах при кратковременном динамическом нагружении трансформируются вдоль временной координаты. Аналитическое описание коэффициентов динамического упрочнения для бетона и арматуры получено на основе логарифмических зависимостей профессоров Ю.М. Баженова и Г.И. Попова. Нелинейная диаграмма деформирования и коэффициенты динамического упрочнения для сталефибробетона предложены с учетом работ В.И. Григорьева [1], Ф.Н. Рабиновича [2] и результатов собственных исследований [3].

Разработанный метод расчета прочности и трещиностойкости сталефиброжелезобетонных элементов реализует деформационную модель с учетом нелинейных диаграмм деформирования бетона, арматуры и сталефибробетона, исходя из их напряженно-деформированного состояния на различных стадиях работы элемента (рис. 5). За критерий исчерпания статической либо динамической прочности нормального сечения прини-

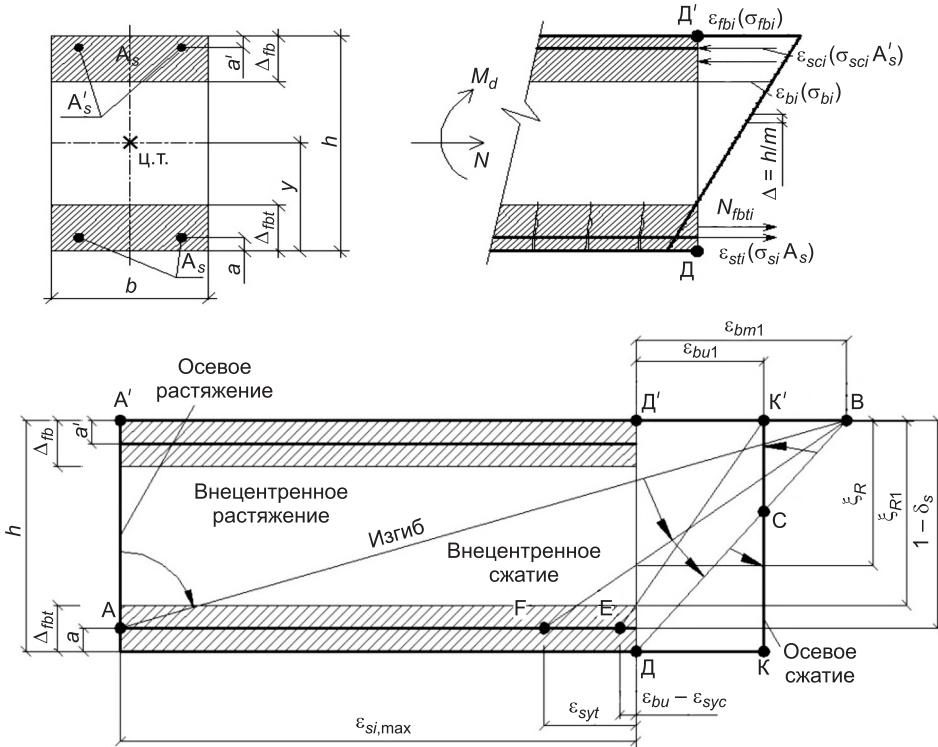


Рис. 5. Расчетная модель, характеризующая последовательность развития деформаций в нормальном сечении сталифиброжелезобетонного элемента в зависимости от вида нагрузления

мается достижение деформациями растянутой арматуры и сжатого бетона (сталифибробетона) в рассматриваемом сечении элемента их предельных значений. Согласно [1, 2] и результатам собственных исследований, приняты значения предельных деформаций для бетона и арматуры<sup>1</sup> и для фибробетона<sup>2</sup>.

Процесс вычисления внутренних усилий в сталифиброжелезобетонном элементе разбивается на заданное количество этапов, на каждом из которых определяются значения высоты сжатой зоны бетона (фибробетона), деформаций бетона (сталифибробетона) сжатой зоны сечения, сталифибробетона растянутой зоны сечения, сжатой и растянутой арматуры.

Далее, на основании аналитических зависимостей, описывающих диаграммы деформирования бетона, арматуры и сталифибробетона, производится определение напряжений в каждом из этих материалов по вычисленным значениям деформаций. По полученным значениям напряжений осуществляется послойное суммирование усредненных в пределах слоев значений внутренних усилий. В результате определяются предельные относительные продольные усилия и изгибающие моменты, воспринимаемые нормальным сечением, относительно центра тяжести бетонного сечения, которые являются координатами, описывающими область относительного сопротивления по трещиностойкости и прочности нор-

<sup>1</sup> СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2004. 54 с.

<sup>2</sup> СП 52-104-2006. Сталифибробетонные конструкции. М.: НИИЖБ, 2007. 56 с.

мального сечения сталефиброжелезобетонного элемента при статическом или кратковременном динамическом нагружении. При этом за единичные параметры приняты несущая способность бетонного сечения при сжатии и сжатии с изгибом относительно его центра тяжести. Получаемые при расчетах области относительного сопротивления позволяют оценить прочность и трещиностойкость сталефиброжелезобетонного элемента при любом сочетании продольных сил и изгибающих моментов.

Предложенная деформационная модель позволяет рассмотреть весь процесс деформирования элемента на всех стадиях его работы, включая предельные параметры (осевое растяжение, изгиб, осевое сжатие).

Большая наглядность при расчетах прочности сталефиброжелезобетонных элементов достигается при векторном представлении относительных усилий, возникающих в рассматриваемых сечениях, части или элементе в целом. При этом каждому воздействию или сумме воздействий будут соответствовать компоненты векторов действующих относительных усилий (рис. 6).

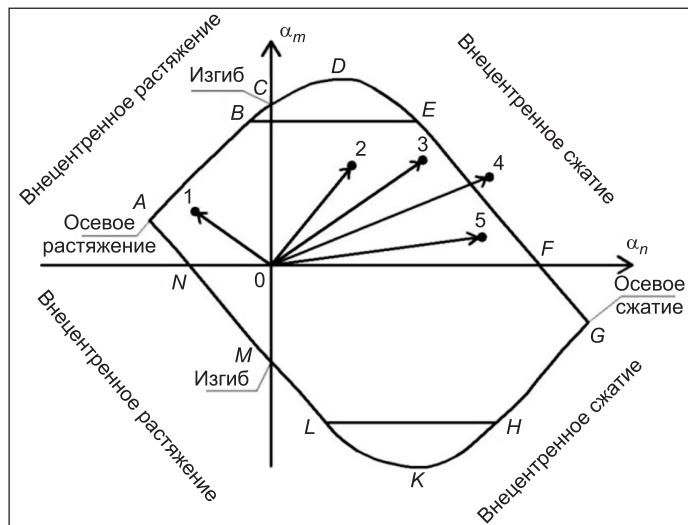


Рис. 6. Область относительной прочности нормального сечения железобетонного элемента с зонным армированием из стальной фибры с несимметричным армированием при кратковременном динамическом нагружении

Разность между значениями действующих относительных усилий и предельных усилий, воспринимаемых сечением, названа компонентами запаса прочности нормального сечения сталефиброжелезобетонного элемента. При положительном их значении условия прочности рассматриваемого элемента выполняются, в противном случае — не выполняются.

Разработанные методы расчета доведены до программы расчета изгibаемых и сжато-изогнутых железобетонных конструкций с зонным армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении с учетом неупругих свойств сталефибробетона и железобетона (JBK-NM-Fibre) [4]. Выполненные численные исследования позволили установить влияние различных параметров сталефибрового армирования

на прочность изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов при статическом и кратковременном динамическом нагружениях.

Разработанный метод расчета, основанный на деформационной модели и нелинейных диаграммах деформирования бетона, арматуры и сталефибробетона, обладает единым методологическим подходом при расчете прочности нормальных сечений изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении, полнотой и наглядностью для принятия более обоснованных практических решений при проектировании.

Проведенные экспериментальные исследования сталефиброжелезобетонных элементов с различной высотой фибрового армирования сжатой и растянутой зон сечения позволили получить новые данные о работе таких элементов в условиях кратковременного динамического нагружения и выявить наиболее эффективный вариант армирования изгибаемых и сжато-изогнутых несущих конструкций.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Григорьев, В.И. О коэффициенте динамического упрочнения сталефибробетона при растяжении [Текст] / В.И. Григорьев // Исследование и расчет пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. — Л., 1985. — С. 95–99.
- Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции : монография [Текст] / Ф.Н. Рабинович. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 560 с.
- Уткин, Д.Г. Совершенствование метода расчета прочности сжато-изогнутых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении : автореф. дис... канд. техн. наук [Текст] / Д.Г. Уткин. — Томск, 2009. — 24 с.
- Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2014615848 от 04.06.2014 г. Программа для расчета прочности изгибаемых железобетонных конструкций с зонным армированием из стальной фибры («JBK-NM-FIBRE») [Текст] / В.С. Плевков, И.В. Балдин, Д.Г. Уткин; заявл. № 2014611445. — 2 с.

*ПЛЕВКОВ Василий Сергеевич, д-р техн. наук, проф.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

*УТКИН Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, доц.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено после доработки 14.05.15

**Plevkov Vasiliy Sergeevich**, doctor of technical sciences, professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Utkin Dmitriy Gennadievich**, candidate of technical sciences, assistant professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

#### **THE WORK OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS IN THE SHORT-TERM DYNAMIC LOADING**

In given article the results theoretical and experimental researches bent are submitted and is compressed-bent of steel fiber reinforced concrete elements at short-term dynamic load. Method of calculation of durability such elements are developed in view of nonlinear work of concrete, armature and steel fiber reinforced concrete. The grant devoted to an estimation of a

technical condition, to restoration and amplification of ferro-concrete designs of buildings and constructions with application of steel fiber reinforced concrete is developed.

**Key words:** durability, crack-stability, experimental researches, short-term dynamic load, static load, steel fibre reinforced concrete, zoned reinforcing.

#### REFERENCES

1. Grigor'ev, V.I. About factor of dynamic hardening of steel fibre reinforced concrete at a stretching [Text] / V.I. Grigor'ev // Research and calculation of spatial designs civil building: the collection of proceedings. — L., 1985. — P. 95–99.
  2. Rabinovich, F.N. Composite on a basis dispersion the reinforced concrete. Questions of the theory and designing, technology, a design : monography [Text] / F.N. Rabinovich. — M. : Publishing house ASV, 2004. — 560 p.
  3. Utkin, D.G. Perfection of a method of calculation of durability it is compressed-bent ferro-concrete elements with zoned reinforcing from a steel fiber at short-term load : Author's Abstract of diss. ... cand. tech. sci. [Text] / D.G. Utkin. — Tomsk, 2009. — 24 p.
  4. The certificate on the state registration of the program on the COMPUTER № 2014615848 from 04.06.2014. The program for calculation of durability of bent ferro-concrete designs with zoned reinforcing from a steel fiber («JBK-NM-FIBRE») [Text] / V.S. Plevkov, I.V. Baldin, D.G. Utkin; it is declared № 2014611445. — 2 p.
-

УДК 621.926.3.001.24

В.С. РОМАНЕНКО, В.С. БОГДАНОВ

## МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Предложена методика расчетов конструктивно-технологических параметров горизонтальной валковой мельницы, позволяющая решать две технологические задачи: для заданной мельницы найти предельную крупность исходного сырья и по крупности исходного сырья подобрать мельницу подходящих геометрических размеров.

**Ключевые слова:** методика расчета, размеры рабочих элементов, угол захвата, частота вращения, разрушающее усилие, жесткость пружин, мощность привода, производительность.

На сегодняшний день фирмы-производители горизонтальных валковых мельниц (ГВМ) Fives FCB (Франция) и ООО «Инжиниринговый центр промышленных инноваций» (Украина) являются монополистами в производстве данного типа мельниц, публикуемая ими информация имеет чисто рекламный характер. Практически отсутствуют данные по стендовым и промышленным исследованиям, по математическому моделированию протекающих в этих мельницах процессах, не говоря о методиках расчетов технологических параметров, которые являются коммерческой тайной.

Необходимость разработки методики расчетов конструктивно-технологических параметров горизонтальной валковой мельницы вызвана набирающей популярностью их применения в различных отраслях промышленности.

Конструкция и принцип работы роликокольцевой мельницы схожи с конструкцией и принципом работы горизонтальной валковой мельницы. Существующая методика расчетов роликокольцевой мельницы, предложенная П.М. Сиденко [1], с некоторыми изменениями и дополнениями взята за основу при разработке методики расчетов конструктивно-технологических параметров ГВМ.

В данной работе представлена методика расчетов конструктивно-технологических параметров двухвалковой ГВМ. Исходными данными при расчетах являются максимальная крупность кусков в исходном материале, требуемая максимальная крупность готового продукта, прочность материала и производительность установки.

**Расчет размеров рабочих элементов мельницы в зависимости от крупности исходного материала.** Формула, связывающая четыре величины: угол захвата  $\alpha$  (коэффициент трения  $f$ ), радиус корпуса  $R$ , радиус валка  $R_1$  и крупность кусков исходного материала  $r_1$ :

$$f^2 = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{r_1(R - R_1 - r_1)}{RR_1}. \quad (1)$$

Угол захвата определяется по коэффициенту или углу трения. Угол захвата ГВМ составляет порядка 34...48° [1].

Для второго валка по аналогии с первым формула (1) примет вид

$$f^2 = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{r_2(R - R_2 - r_2)}{RR_2}. \quad (2)$$

Значение  $R$  выбирается минимальным, но таким, чтобы в корпусе разместились два валка и отклоняющая система. При этом учитывается возможность конструктивного решения и других узлов. Чрезмерное увеличение радиуса корпуса  $R$  приводит к неоправданному удорожанию установки. Соотношение между  $R$  и  $R_1$ ,  $R_2$  принимают конструктивно. Обычно выдерживается соотношение  $R_1 = (0,4 \div 0,6)R$ . Соотношение между  $R_1$  и  $R_2$  обычно выдерживают  $R_2 = (0,4 \div 0,6)R_1$ .

**Расчет частоты вращения корпуса мельницы.** Необходимым условием работы ГВМ является прижатие материала к внутренней поверхности корпуса за счет действия центробежной силы. Нижний предел частоты вращения корпуса мельницы определяется по формуле

$$n_{\text{кор}} = n_{\text{раб}} \geq \frac{45 \dots 60}{\sqrt{R}}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{кор}}$  — частота вращения корпуса ГВМ, мин<sup>-1</sup>.

Верхний предел частоты вращения корпуса определяют из условий безаварийной работы. Чрезмерное увеличение числа оборотов корпуса приводит к преждевременному повышенному износу рабочих элементов мельницы.

**Расчет величины разрушающего усилия (для первого валка).** Чтобы разрушить тело, его необходимо деформировать в направлении сжимающих сил на такую величину, при которой в материале возникают разрушающие напряжения  $\sigma_p$  (рис. 1). Формула для нахождения необходимого разрушающего усилия имеет вид [2]

$$F_p = \sigma_p k_d S = \sigma_p k_d \frac{2\pi R_1}{360} \beta B k_3 k_p, \quad (4)$$

где  $\sigma_p$  — напряжение в материале, необходимое для разрушения, МПа;  $k_d$  — коэффициент, учитывающий дефекты в кристаллической решетке измельчаемого материала [3];

$S$  — поверхность цилиндра радиусом, равным радиусу первого валка, заключенная между линиями соприкосновения валок — тело и валок — корпус, м<sup>2</sup>;

$\beta$  — центральный угол окружности валка, соответствующий дуге  $m-n$  (см. рис. 1), град;

$B$  — ширина валка, м;

$k_3$  — коэффициент заполнения мельницы [1];

$k_p$  — коэффициент разрыхления материала [4].

**Расчет жесткости пружин.** В ГВМ валки прижимаются к корпусу пружинами. Если усилия в пружинах окажутся недостаточными, они

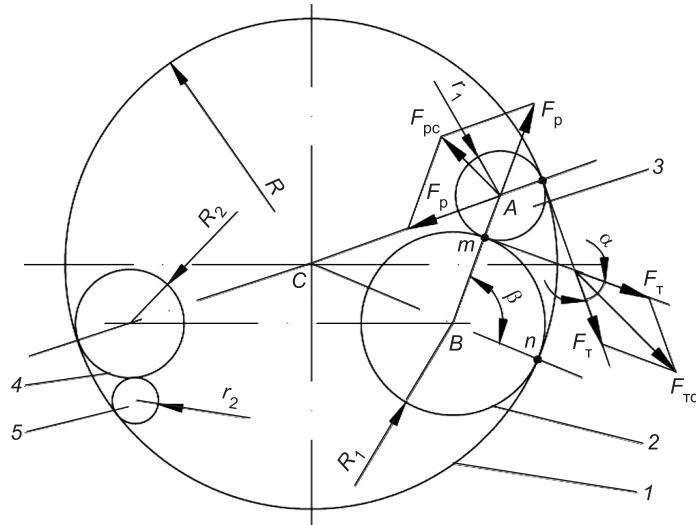


Рис. 1. Схема к определению технологических размеров ГВМ

1 — корпус, 2 — первый валок, 3 — кусок исходного материала, 4 — второй валок, 5 — кусок материала, прошедший через первый валок

сожмутся, а измельчаемый материал свободно пройдет между валками и корпусом без разрушения. Для предотвращения этого пружины должны обладать такой жесткостью, чтобы воспринимать силу  $F_p$  при минимальной дополнительной осадке.

Для того чтобы вычислить осадку пружин, необходимо знать полную нормальную силу, сжимающую пружины  $F_h = 2F_{np}$  (рис. 2):

$$F_{np} = \frac{F_p (\cos \gamma_1 + \cos \gamma_2)}{2}, \quad (5)$$

где  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — углы между вертикальной осью корпуса и линиями, проведенными между осью корпуса и осями каждого из валков (зависят от конструктивных размеров мельницы).

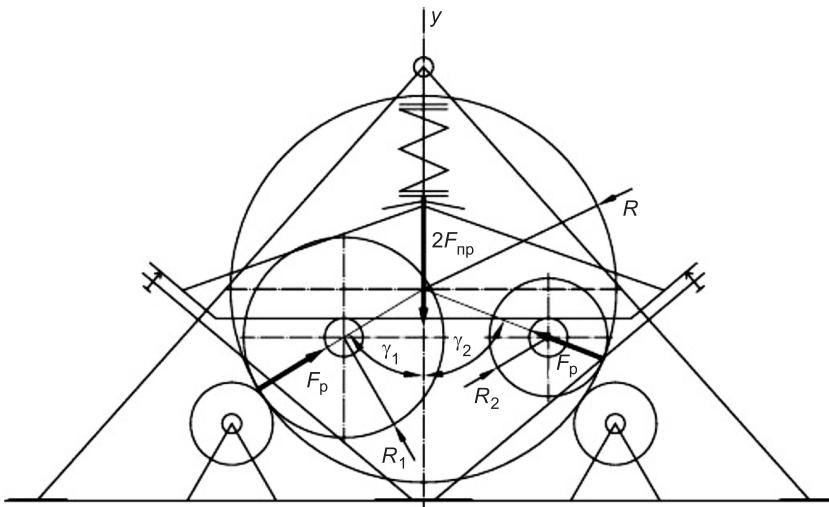


Рис. 2. Схема к определению полной нормальной силы сжимающей пружины ГВМ

Методика расчета осадки пружин для ГВМ производится аналогично методике расчета осадки в роликокольцевой мельнице [1].

**Расчет мощности, потребляемой приводом ГВМ.** Мощность привода потребляемой ГВМ можно определить, если ее разбить на составляющие: затраты на помол материала, затраты на трение в подшипниках скольжения валков, затраты на трение в подшипниках колес опор барабана и затраты на трение скребка отбрасывающего устройства о барабан, т.е. на преодоление всех сопротивлений при работе машины:

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{\eta}, \quad (6)$$

где  $P_1$  — мощность, расходуемая на помол материала, Вт;

$P_2$  — мощность, расходуемая на преодоление сил трения в подшипниках скольжения валков, Вт;

$P_3$  — мощность, расходуемая на преодоление сил трения в подшипниках колес опор барабана, Вт;

$P_4$  — мощность, расходуемая на преодоление сил трения, возникающих на скребке отбрасывающего устройства, Вт;

$\eta$  — суммарный КПД привода.

**Расчет производительности ГВМ.** Производительность мельницы зависит от габаритных размеров рабочих элементов, скорости их вращения, свойств измельчаемого материала, свойств готового продукта, вида помола, условий эксплуатации мельницы, равномерности питания и прочих факторов. Если принять во внимание, что мельница питается равномерно, готовый продукт отводится непрерывно, и представить процесс помола как движение колец материала вдоль оси вращения корпуса мельницы толщиной, равной минимальному расстоянию между валком и барабаном, причем за один оборот из мельницы выходит одно кольцо материала, производительность можно записать в следующем виде, кг / ч:

$$Q = 60Vk_p n_{\text{кор}} k_{\text{дп}} \rho, \quad (7)$$

где  $V$  — объем кольца материала, выпадающий из мельницы за один оборот барабана, м<sup>3</sup>;

$k_{\text{дп}}$  — коэффициент, учитывающий изменение толщины и плотности ленты, при деформации пружин;

$\rho$  — насыпная плотность измельчаемого материала, кг / м<sup>3</sup>.

В заключение можно отметить, что разработанная методика расчетов конструктивно-технологических параметров ГВМ позволяет решать две технологические задачи: для заданной мельницы найти предельную крупность исходного сырья и по крупности исходного сырья подобрать мельницу подходящих геометрических размеров.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности [Текст] / П.М. Сиденко. — М. : Химия, 1977. — 368 с.

2. Романенко, В.С. Определение усилия измельчения в горизонтальной валковой мельнице с учетом прочности материала [Текст] / В.С. Романенко, В.С. Богданов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2012. — № 4. — С. 84–247.
3. Афонин, В.К. Металлы и сплавы: справочник [Текст] / В.К. Афонин, Б.С. Ермаков, Е.Л. Лебедев и др. — СПб. : НПО «Профессионал», 2003. — 354 с.
4. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для строительных вузов [Текст] / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. — М. : Машиностроение, 1981. — 324 с.

*РОМАНЕНКО Владимир Сергеевич, асп.; E-mail: vladimir.romanenko.31@bk.ru  
Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова  
БОГДАНОВ Василий Степанович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: v.s\_bogdanov@mail.ru*

*Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова*

Получено 14.05.15

**Romanenko Vladimir Sergeevich**, post-graduate student; E-mail: vladimir.romanenko.31@bk.ru, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Bogdanov Vasiliy Stepanovich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: v.s\_bogdanov@mail.ru, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

## **METHOD OF COMPUTATION OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE HORIZONTAL ROLLER MILL**

The technique of calculations of constructive-technological parameters of the horizontal roller mill allows to solve two technological problems: for a given mill to find the ultimate particle size of feedstock and size of feedstock to pick up a mill suitable geometric dimensions.

**Key words:** the method of calculation, the size of work items, capture angle, speed, destructive force, stiffness of the springs, drive power, performance.

## **REFERENCES**

1. Sidenko, P.M. Crushing in chemical industry [Text] / P.M. Sidenko. — M. : Chemistry, 1977. — 368 p.
2. Romanenko, V.S. Determination of the effort of milling in horizontal roller mill considering the strength of the material [Text] / V.S. Romanenko, V.S. Bogdanov // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. — 2012. — N 4. — P. 84–247.
3. Afonin, V.K. Metals and alloys: handbook [Text] / V.K. Afonin, B.S. Ermakov, E.L. Lebedev, etc. — SPb. : NPO «Professional», 2003. — 354 p.
4. Baum an, V.A. Mechanical equipment of enterprises of building materials, components and structures: a textbook for engineering universities [Text] / V.A. Bauman, B.V. Klushantsev, V.D. Martynov. — M. : Mechanical Engineering, 1981. — 324 p.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

В НГАСУ (Сибстрин) разработаны методы оценки параметров нестационарных гидродинамических процессов, возникающих в напорных трубопроводных системах, речных руслах и гидротехнических сооружениях при нештатных ситуациях природного и техногенного характера. Оцениваются параметры процесса распространения волн прорыва, вызванных разрушением гидротехнических сооружений, их отдельных конструкций или элементов механического оборудования. Такие расчеты важны для обеспечения устойчивого функционирования промышленных, транспортных и водохозяйственных систем, в том числе речных водозаборов в летне-осенний и зимний периоды и в условиях катастрофического маловодья; обоснования мероприятий для безаварийной эксплуатации мостовых переходов на реках Сибири и Республики Саха (Якутия) при аномальных ледовых явлениях; борьбы с наводнениями, обусловленными различными причинами.

**Разработанные методы обеспечивают:**

- Расчетное обоснование путей предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных аварийных ситуаций на объектах, функционирующих в сложных природно-климатических условиях речных бассейнов Сибирского региона.
- Повышение безопасности эксплуатации транспортных водохозяйственных и гидроэнергетических комплексов.
- Уменьшение затрат по ликвидации последствий природных и техногенных катастроф.

Методы апробированы применительно к речным бассейнам Западной Сибири, Республики Саха (Якутия), Алтайского края и другим регионам Российской Федерации.

**РАЗРАБОТЧИКИ:** Дегтярев В.В., д-р техн. наук, проф.,  
Яненко А.П., д-р техн. наук, проф.,  
Лаврентьев В.Л., канд. техн. наук, проф.,  
Тарасевич В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.

**630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**  
**E-mail: [ngasu\\_gts@mail.ru](mailto:ngasu_gts@mail.ru)**  
**Тел. 266-94-11**

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ»**

В НГАСУ (Сибстрин) разработаны пакеты компьютерных программ (ПКП) для оперативного управления технологическим циклом на очистных сооружениях канализации (ОСК).

При оснащении ЭВМ пакетами программ предполагается три варианта действий:

- 1) ввод исходных данных, характеризующих условия, в которых протекают технологические процессы на ОСК; ЭВМ представляет результаты моделирования;
- 2) компьютерное моделирование на основании введенных данных; результат выдается в режиме «прогнозирование»;
- 3) компьютерный поиск оптимального варианта управления в режиме «оптимизация».

ПКП оснащен базой данных, в которую включены параметры, описывающие условия, в которых протекают процессы очистки сточных вод и обработки осадков. Корректируя значения исходных данных, технолог имеет возможность моделировать работу ОСК в различных эксплуатационных ситуациях.

База данных условно делится на три направления по наиболее общим признакам каждого из параметров, составляющих исходные данные:

- 1) показатели количества и качества жидкости, поступающей на очистку,  $t$  °C наружного воздуха, атмосферное давление;
- 2) управляющие параметры (характеристики оборудования, режимов его работы, конструктивные особенности сооружений, влияющих на очистку сточных вод и обработку осадков);
- 3) параметры, необходимые для оценки эффективности режимов управления ОСК.

На объектах, внедривших ПКП в свою практику управления, эксплуатационный персонал получил возможность в производственных условиях оперативно оценивать достоинства и недостатки возможных режимов управления и выбирать оптимальные варианты.

**РАЗРАБОТЧИКИ:** Амбросова Г.Т., канд. техн. наук, проф.,

Гвоздев В.А., канд. техн. наук,

**Быковский О.В., канд. техн. наук**

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: ntio@:sibstrin.ru

Internet: www.sibstrin.ru

Тел./факс: (383) 266-28-89

# ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ<sup>1</sup>

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
  - сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

**к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи<sup>2</sup> за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;**

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Сыг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список;

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и **e-mail** авторов;

— **название статьи на английском языке**;

— **аннотация на английском языке**;

— **ключевые слова на английском языке**;

— **библиографический список на английском языке**.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением \*.cdr (предпочтительно) или \*.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. **Русские и греческие буквы** и индексы, а также **цифры**, **аббревиатуры** и **стандартные функции** (Re, cos и др.) набираются **прямым шрифтом**. **Латинские буквы** набирать **курсивом**. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

<sup>1</sup> С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

<sup>2</sup> На 2015 г. — из расчета 900 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

**8.** Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

**9.** В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу [www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) и [www.izvuzstr.sibstrin.ru](http://www.izvuzstr.sibstrin.ru)

**10.** Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

**11.** Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

**12.** Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

**13.** Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

**14.** Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ****ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ****«СТРОИТЕЛЬСТВО»****Журнал имеет разделы**

Строительные конструкции  
Теория инженерных сооружений  
Строительные материалы и изделия  
Экономика и организация строительства  
Автоматизация и технология строительного производства  
Гидротехническое строительство  
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов  
Строительные и дорожные машины  
Научные проблемы архитектуры и экологии  
Научно-методический В лабораториях вузов  
Внедрение научных достижений в производство  
Научная информация

**На 1-е полугодие 2015 г.****каталожная цена за 6 месяцев — 3000 р.****цена отдельного номера — 500 р.**

ББК 38  
И 33  
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 6 (678) 2015**

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*