

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

№ 7 (691)  
Июль 2016 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. Правдинец, 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 E-mail: izvuz\_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 26.07.16. Формат 70×108 1/16  
Усл. печ. л. 9,45+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 2242

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Дзабиева Л.Б., Юхневский П.И. Совершенствование методики технологического проектирования состава ячеистого бетона ..... 5

Шахов С.А., Николаев Н.Ю. Влияние минеральных добавок разного генезиса и морфологии на структурно-механические свойства формовочных масс ..... 11

Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А. Исследование и прогнозирование твердофазных реакций при обжиге керамических матричных композитов ..... 23

### САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Рохлецова Т.Л., Никулин С.В., Кияница Л.А. К вопросу проектирования однотрубных систем отопления в жилых зданиях ..... 36

Кононова М.С. К вопросу оценки экономии теплоты при автоматическом регулировании температуры теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения ..... 46

## **НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ**

**Литвинов С.В.** Экология и архитектурно-градостроительное пространство .... 53

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

**Нугужинов Ж.С., Абаканов М.С., Курохтина И.А.** Вопросы технического регулирования строительной отрасли Республики Казахстан ..... 67

**Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А.** К вопросу согласования работы информационных систем при автоматическом дистанционном управлении машинами дорожно-строительного комплекса ..... 75

**Немировский Ю.В., Болтаев А.И.** Особенности деформирования и разрушения многопролетных kleеных деревянных балок. С о б щ е н и е 2 ..... 83

**Тарасевич В.В.** Расчет распространения и трансформации возмущений в системе технологических трубопроводов АЭС ..... 92

**Юдин К.А., Дегтярь А.Н., Стovпенко А.С.** Двунаправленное вращательное воздействие на материал в сферической смесительной камере ..... 99

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

**No. 7 (691)**

July 2016

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

*Editorial Board:*

- A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS  
V.A. Vorobiov, 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. Pravdivets, 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 MATERIALS AND PRODUCTS**

- Dzabieva L.B., Yukhnevskiy P.I.** Improvement of methods of technological design cellular concrete .... 5

- Shakhov S.A., Nikolaev N.Yu.** Influence of the mineral additives of different genesis and morphology at structural characteristics of the molding compounds 11

- Stolboushkin A.Yu.** Investigation and forecasting of solid-phase reactions during firing of ceramic matrix composites ..... 23

### **SANITARY ENGINEERING**

- Rokhletsova T.L., Nikulin S.V., Kiyanitsa L.A.** Designing single-pipe heating system in residential units ..... 36

- Kononova M.S.** To the problem of estimation of saving of heat at autocontrol of temperature of the heat transfer in systems of the centralized heat supply .... 46

### **SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY**

- Litvinov S.V.** Architectonic, spatial, and environmental design ..... 53

## **SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION**

<b>Nuguzhinov Z.S., Abakanov M.S., Kurokhtina I.A.</b> The issues of technical regulation of the construction branch in the Republic of Kazakhstan .....	67
<b>Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A.</b> To a problem of the coordination of operation of information systems at self-acting full remote control by machines of a road-building complex .....	75
<b>Nemirovskiy Yu.V., Boltaev A.I.</b> Features of deformation and destruction multi-span glued wooden beams. Report 2 .....	83
<b>Tarasevich V.V.</b> Calculation the propagation and transformation of disturbances in the system of technological pipelines of nuclear power station .....	92
<b>Yudin K.A., Degtyar' A.N., Stovpenko A.S.</b> Bi-directional rotational impact on the material in amalgamators of periodic action .....	99

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.327 : 666.973

Л.Б. ДЗАБИЕВА, П.И. ЮХНЕВСКИЙ

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Предложена методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеистого бетона исходя из величины истинной плотности исходных сырьевых компонентов и их соотношения в сырьевой смеси: отношения массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, соотношения цемента и извести, если это вяжущее смешанное. Для расчета истинной плотности смеси сухих компонентов использована известная формула смешения, применяемая при подборе состава шихты в производстве портландцемента. Методика позволяет учесть расчетным путем весь диапазон изменений параметров сырьевых материалов и их соотношений, сократить трудоемкость технологического проектирования составов ячеистого бетона.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, расчет состава, сырьевая смесь, абсолютный объем сухих компонентов.

Расчет состава формовочных масс при технологическом проектировании производства ячеисто-бетонных изделий проводится по методу абсолютных объемов, сущность которого сводится к следующему. Объем готового ячеистого бетона принимается за единицу и рассматривается как объем поризованного твердого тела, состоящего из объема, занимаемого твердой фазой, и объема порового пространства. Последнее формируется двумя путями: одна часть за счет испарения свободной воды, т.е. той части воды затворения, которая не вступает в реакции образования гидросиликатов кальция при автоклавной обработке изделий, вторая – за счет порообразования, происходящего при взаимодействии с компонентами сырьевой смеси специально введенных газообразователей (или за счет объема введенной пены).

Для расчета каждой из названных составляющих объема ячеистого бетона используются следующие зависимости. Доля химически связанной воды учитывается через коэффициент  $K_c$ , который показывает степень увеличения массы сухих материалов за счет гидратационного связывания воды при образовании гидросиликатов кальция. Следовательно, расход сухих материалов для получения ячеистого бетона окажется меньше заданной средней плотности  $\rho_b$  и его можно определить как  $\rho_b/K_c$ . Умножая это значение на величину принятого в производстве водотвердого отношения В/Т,

рассчитывается объем пористости ячеистого бетона, которая формируется за счет испарения свободной воды:

$$V_{\Pi}^B = \frac{\rho_6}{K_c} \cdot B / T. \quad (1)$$

Величина  $K_c$  принимается для проектных расчетов равной  $K_c = 1,1^1$  и затем уточняется в ходе лабораторных испытаний. Объем пор, образовавшихся за счет реакции газообразования, вычисляется в каждом конкретном случае по уравнению химической реакции взаимодействия газообразователя с компонентами сырьевой смеси. Например, в случае использования алюминиевой пудры идет реакция



Пористость, образовавшаяся за счет этой реакции, определяется по объему выделенного водорода с учетом температурной поправки Гей-Люссака и коэффициента использования газообразователя, обозначается как  $\Pi_r$ . Таким же образом рассчитывается  $\Pi_r$  и при использовании других газообразователей – пергидроля, ферросилиция и др.

Как видно, в применяемой методике проблем с расчетом поровой составляющей объема ячеистого бетона не возникает. Иное дело с расчетом объема, занимаемого твердой фазой. Здесь базовая расчетная формула

$$\Pi_r + \frac{\rho_6}{K_c} (B / T + W) = 1 \quad (3)$$

предусматривает введение параметра  $W$  – удельного (абсолютного) объема сухих компонентов ( $cm^3/g$  или  $л/кг$ ). В этом случае объем, занимаемый в ячеистом бетоне твердой фазой, рассчитывается как произведение массы сухих сырьевых компонентов, израсходованных на получение единицы объема ячеистого бетона заданной средней плотности, на их удельный объем  $W$ . Физический смысл этого параметра – объем, занимаемый единицей массы сухих компонентов, т.е. это величина, обратная их истинной плотности. Таким образом, для определения  $W$  необходимо найти истинную плотность смеси сухих сырьевых материалов.

Многолетний опыт использования метода абсолютных объемов в курсовом и дипломном проектировании технологии производства ячеистых бетонов показывает, что предлагаемый способ<sup>1</sup> определения  $W$  из пробного замеса по формуле

$$W = \frac{1 + B / T}{\rho_p^\phi} - B / T \quad (4)$$

практически нереализуем в процессе проектирования, а определение величины  $W$  при расчете состава ячеистого бетона является проблематичным.

Одновременно этот параметр может быть рассчитан аналитически. Удельный объем сухих компонентов можно определить исходя из величины истинной плотности исходных сырьевых компонентов и их соотноше-

---

<sup>1</sup> СН 277–80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. М.: Стройиздат, 1981. 47 с.

ния в сырьевой смеси: отношения массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, соотношения цемента и извести, если это вяжущее смешанное.

Каждому виду вяжущего соответствует своя оптимальная доля кремнеземистого компонента, зависящая от содержания в вяжущем гидроксида кальция, способного связывать кремнеземистый компонент в гидросиликаты при автоклавной обработке. Если кремнеземистого компонента вводится больше оптимальной дозировки, его избыток становится инертным наполнителем; имея меньшую величину истинной плотности по сравнению с вяжущим, он приводит к снижению истинной плотности смеси компонентов, а следовательно, к увеличению ее удельного (абсолютного) объема.

При заниженном содержании кремнеземистого компонента недоиспользуются уже возможности вяжущего, избыток его удорожает изделие. Кроме того, за счет повышенной усадки вяжущего, не вступившего в реакцию образования гидросиликатов кальция, снижается трещиностойкость изделий. Количество кремнеземистого компонента, приходящегося на единицу массы вяжущего, обозначается<sup>1</sup> через  $C$ , а исходные значения этого коэффициента принимаются в зависимости от вида вяжущего.

Истинная плотность смеси сухих компонентов зависит от истинной плотности входящих в смесь материалов, в данном случае портландцемента, извести, кремнеземистого компонента, в качестве которого в технологии ячеистых бетонов используется чаще всего кварцевый песок. При этом естественно, чем легче применяемый кремнеземистый компонент, тем больше будет величина его удельного объема.

Чтобы рассчитать истинную плотность смеси сухих компонентов, воспользуемся известной формулой смешения, применяемой при подборе состава шихты в производстве портландцемента [1]. Правомерность такого подхода обусловлена зависимостью истинной плотности и удельного объема сырьевых компонентов от их минералогического и химического составов. Так, истинная плотность кремнеземсодержащих сырьевых компонентов ячеисто-бетонных смесей (песок, шлак, зола) находится в пределах 2–2,65 г/см<sup>3</sup> и всегда значительно меньше истинной плотности вяжущих компонентов 3–3,75 г/см<sup>3</sup> [2].

Рассмотрим случай, когда смесь сухих компонентов состоит из двух составляющих – извести и кремнеземистого компонента:

$$\frac{m_{kp}}{m_i} = C. \quad (5)$$

Если принять долю извести за единицу, а долю кремнеземистого компонента за  $C$ , то по правилу смешения истинную плотность их смеси можно выразить как

$$\rho_{cm} = \frac{\rho_i + C \cdot \rho_k}{1 + C}, \quad (6)$$

где  $\rho_k$  и  $\rho_i$  – истинная плотность соответственно кремнеземистого компонента и извести.

Поскольку  $W$  есть величина, обратная  $\rho_{\text{см}}$ , то поделив  $1/\rho_{\text{см}}$ , получим искомое значение  $W$ . Тогда

$$W_{\text{см}} = \frac{1}{\rho_{\text{см}}} = \frac{1+C}{\rho_{\text{и}} + C \cdot \rho_{\text{к}}}. \quad (7)$$

Например, смесь состоит из извести плотностью  $\rho_{\text{и}} = 3,0 \text{ г/см}^3$  и кремнеземистого компонента – песка кварцевого  $\rho_{\text{к}} = 2,65 \text{ г/см}^3$ , отношение массы песка к массе извести принято  $C = 3$ . Рассчитаем для этого случая величину  $W$  по формуле (7)

$$W = \frac{1+C}{\rho_{\text{и}} + C \cdot \rho_{\text{к}}} = \frac{1+3}{3 + 3 \cdot 2,65} = 0,36 \text{ см}^3 / \text{г}. \quad (8)$$

При смешивании трех компонентов результирующий параметр – истинную плотность смеси можно рассчитать как

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_1 + x \cdot \rho_2 + y \cdot \rho_3}{1+x+y}, \quad (9)$$

где  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  и  $\rho_3$  – истинные плотности составляющих смесь компонентов;  $1, x, y$  – их массовые доли.

Если компоненты смеси – портландцемент плотностью  $\rho_{\text{ц}} = 3,1 \text{ г/см}^3$ , известь  $\rho_{\text{и}} = 3,0 \text{ г/см}^3$  и песок  $\rho_{\text{к}} = 2,65 \text{ г/см}^3$ , а доли цемента и извести равны 1, величина  $C = 3$ , то

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_{\text{ц}} + \rho_{\text{и}} + 3\rho_{\text{к}}}{1+1+3} = \frac{3,1+3,0+3 \cdot 2,65}{5} = 2,81 \text{ г/см}^3, \quad (10)$$

тогда  $W_{\text{см}} = \frac{1}{\rho_{\text{см}}} = \frac{1}{2,81} = 0,35 \text{ см}^3/\text{г}. \quad (11)$

Поскольку истинные плотности портландцемента и извести близки между собой по величине, можно без большой погрешности рассматривать их смесь с кремнеземистым компонентом как двухкомпонентную систему и рассчитывать истинную плотность смеси по формуле (6).

В таблице приведены результаты расчетов по предлагаемому методу удельного объема смеси сухих сырьевых материалов для различных видов вяжущих и кремнеземистых компонентов.

#### Значения удельного объема $W$ для различных видов вяжущих и кремнеземистых компонентов

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего вещества								
	портландцемент			известь			смешанное вяжущее Ц:И = 1:1		
	$C$	$\rho_{\text{см}}$	$W$	$C$	$\rho_{\text{см}}$	$W$	$C$	$\rho_{\text{см}}$	$W$
Песок $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$	1	2,87	0,34	3	2,73	0,37	1,5	2,8	0,36
Зола $\rho = 2,36 \text{ г/см}^3$	1	2,73	0,37	3	2,52	0,4	1,5	2,63	0,38
Легкая зола $\rho = 2 \text{ г/см}^3$	1	2,55	0,39	3	2,25	0,44	1,5	2,42	0,41

Примечание. Единицы измерения:  $\rho_{\text{см}} - \text{г/см}^3$ ,  $W - \text{см}^3/\text{г}$ .

Таким образом, предлагаемая методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеистого бетона позволяет получить расчетным путем значения удельного объема сырьевых смесей и сократить трудоемкость технологического проектирования производства ячеисто-бетонных изделий.

**Выводы.** 1. Предложена методика аналитического расчета величины удельного объема сухих компонентов ячеисто-бетонной смеси.

2. Предлагаемая методика позволяет учесть расчетным путем весь диапазон изменений параметров сырьевых материалов и их соотношений, а ее внедрение в практику подбора составов ячеистого бетона существенно сократит трудоемкость технологического проектирования производства ячеисто-бетонных изделий.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Артамонова М.В., Рабухин А.И., Савельев В.Г. Практикум по общей технологии силикатов: учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1996. 280 с.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: ИнфраИнженерия, 2011. 544 с.

**Дзабиева Людмила Батыrbековна**, канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

**Юхневский Павел Иванович**, д-р техн. наук, доц.;

E-mail: sawa1950@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

Получено 07.06.16

**Dzabieva Lyudmila Batyrbekovna**, PhD, Ass. Professor

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Yukhnevskiy Pavel Ivanovich**, DSc, Ass. Professor; E-mail: sawa1950@mail.ru

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

#### **IMPROVEMENT OF METHODS OF TECHNOLOGICAL DESIGN CELLULAR CONCRETE**

The technique of analytical calculation of the value of the specific volume of the dry components of cellular concrete on the basis of the value of the true density of the source of raw materials and their ratio in the raw material mixture: ratio of the mass of silica component to the mass of the binder, the ratio of cement and lime, if it is mixed binder. To calculate the true density of the mixture of dry ingredients used known mixing formula used in the selection of the composition of the charge in the production of Portland cement. The method allows to take into account the full range calculated by changes of parameters of raw materials and their relationships, reduce the complexity of the design process of cellular concrete formulations.

**Key words:** cellular concrete, the composition calculation, raw meal, the absolute volume of dry ingredients.

REFERENCES

1. Artamonova M.V., Rabukhin A.I., Savel'ev V.G. Praktikum po obshchey tekhnologii silikatov: uchebnoe posobie dlya vuzov [Workshop on general technology of silicates: textbook for high schools]. Moscow, Stroyizdat, 1996. 280 p. (in Russian)
  2. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye mineral'nye vyazhushchie materialy [Construction mineral binding materials]. Moscow, InfraInzheneriya, 2011. 544 p. (in Russian)
-

УДК 691.4 : 666.31

С.А. ШАХОВ, Н.Ю. НИКОЛАЕВ

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА И МОРФОЛОГИИ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ МАСС

В условиях недостатка качественного глинистого сырья широкое распространение в качестве основного компонента керамической шихты приобретают пылеватые суглинки. В связи с чем подбор рационального состава композиции для пластического формования, обеспечивающего требуемые деформационные свойства и механическую прочность, достаточную для дальнейших операций с отформованным изделием, приобретает особую значимость. Экспериментально установлены оптимальные значения формовочной влажности композиций, при которых проводилось экспериментальное определение структурно-механических характеристик. Для составов шихт рассчитаны модули упругости, эластичности и прочие структурно-механические константы. Установлен характер влияния добавок разного генезиса и морфологии частиц на деформационное поведение формовочных масс.

**Ключевые слова:** структурно-механические характеристики, формовочные свойства, пластическое формование, коагуляционная структура, суглинки.

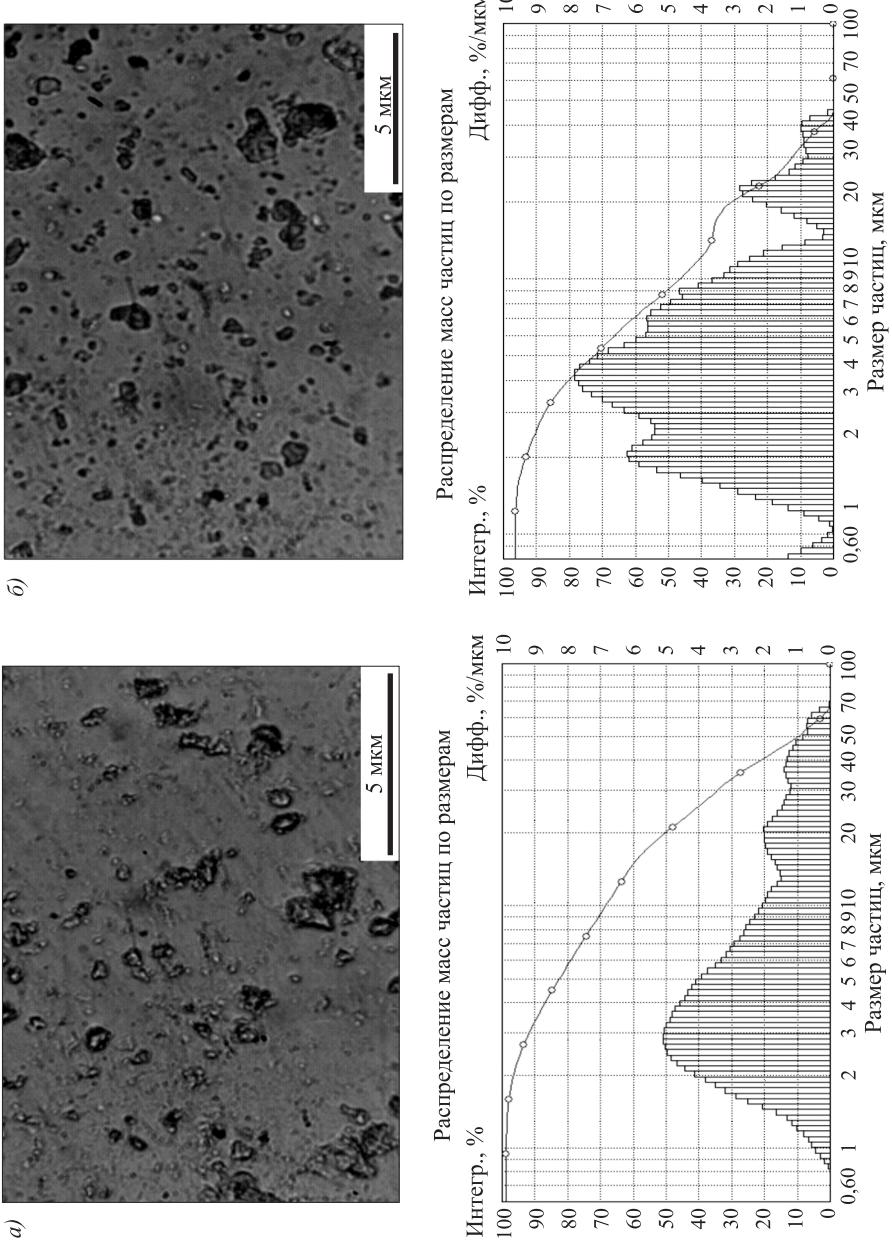
В процессе формования изделия керамическая масса подвергается механическим воздействиям различного рода. Деформационное поведение таких масс при пластическом формировании может меняться в зависимости от образованной коагуляционной структуры. В работах [1, 2] показано, что степень развития такой структуры определяется способностью формовочной массы к пластическим и упругим деформациям. При этом достаточно полная информация может быть получена по реологическим кривым, выражающим зависимость степени разрушения структуры от напряжения сдвига [2–4]. Основные структурно-механические характеристики можно использовать как критерии для оценки формовочных свойств глинистого сырья, а также для определения статических корреляционных связей между этими характеристиками и основными природными свойствами глин. Разработанные усилиями П.А. Ребиндера, С.П. Ничипоренко, Н.Н. Круглицкого, Н.Б. Урьева теоретические положения физико-химической механики допускают возможность эффективного управления реологией дисперсных систем не только за счет механических воздействий и использования ПАВ, но и за счет подбора корректирующих минеральных добавок различного происхождения [1, 2, 5–8]. В настоящее время установлено большое количество добавок, оказывающих наряду с функциональным определенный эффект и на деформационное поведение глинистых формовочных масс.

Вместе с тем среди специалистов не сложился научно обоснованный подход, позволяющий предсказать эффективность влияния тех или иных добавок на реологию высококонцентрированных алюмосиликатных систем,

и как следствие, на практике их выбор сводится к эмпирическому подбору. С учетом тенденции расширения использования многокомпонентных добавок в целях улучшения свойств керамики задача по подбору рационального состава шихты, обеспечивающего требуемые для пластического формования реологические свойства, еще более усложняется. Одной из причин такого состояния является, в частности, малая изученность влияния минеральных частиц различной морфологии на реологическое поведение формовочных масс.

Следовательно, в рамках настоящей работы была исследована группа минеральных добавок разного генезиса и морфологии, с помощью которых, по нашим оценкам, возможно управление структурно-механическими свой-

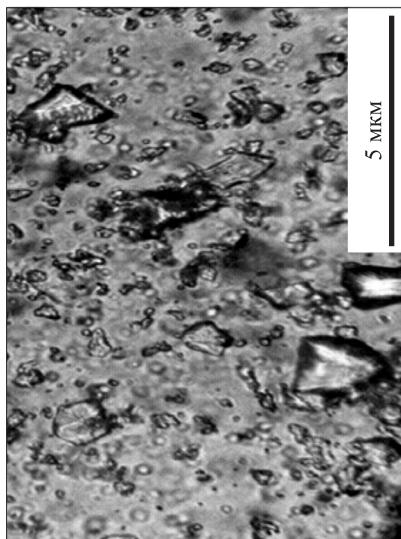
Начало рис. 1



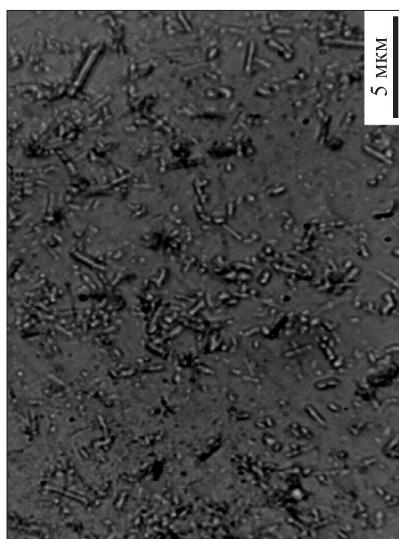
ствами и реологическим поведением формовочных масс из низкосортного глинистого сырья.

**Материалы и методы.** При проведении исследований в качестве глинистого сырья использовался суглинок Камышенского месторождения Новосибирской области. Анализ гранулометрического состава (рис. 1, а, б) показал, что суглинки являются пылеватыми, а по содержанию глинистых частиц (менее 20 мас. %) относятся к грубодисперсному сырью. По пластичности суглинок относится к умеренно пластичному классу.

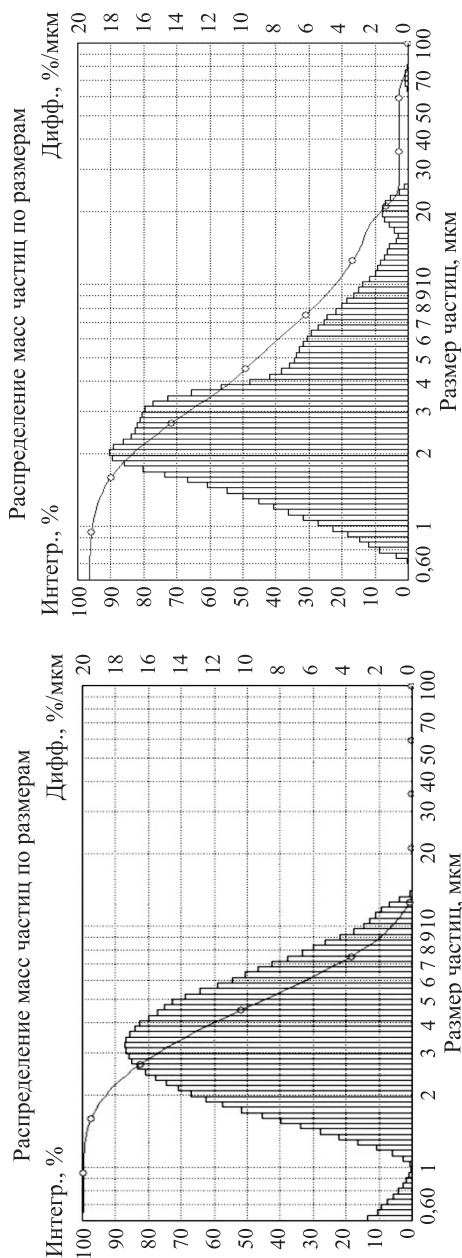
В качестве модифицирующих добавок использовались волластонит Синюхинского месторождения, гранулированный доменный шлак Кузнецкого металлургического комбината, речной песок (модуль крупности 0,7–1,0)



а)



б)



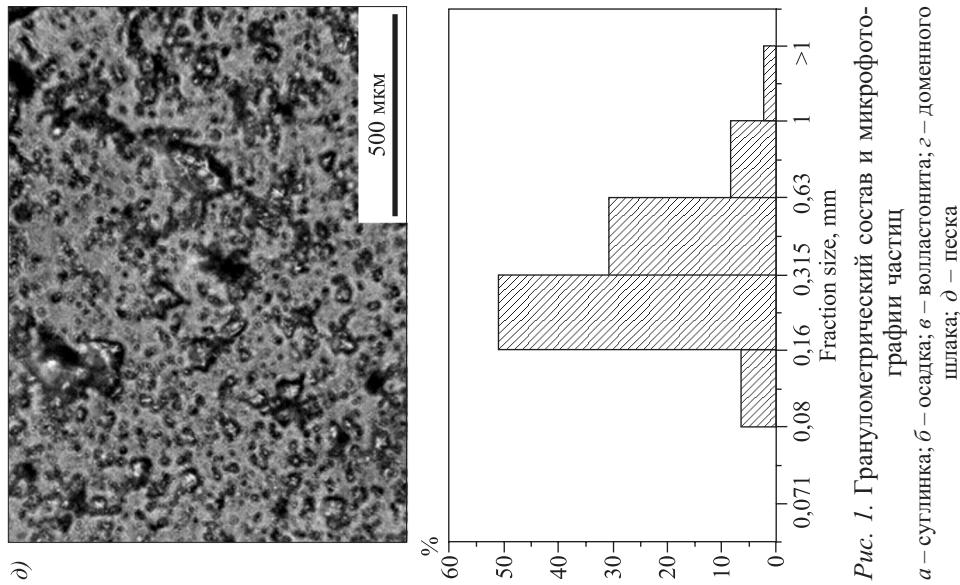


Рис. 1. Гранулометрический состав и микрографии частиц  
 а – суглинка; б – осадка; в – волластонита; г – доменного шлака; д – песка

и осадок, образующийся при очистке речной воды. Последний представляет собой смесь минеральных и органических веществ, формирующуюся в виде коллоидного раствора (влажность 95–97 %) в процессе отстаивания на водоочистной станции № 5 МУП Горводоканал г. Новосибирск. В минеральной части осадка содержание оксида кремния равно 58,8 %. Сравнительно много оксидов алюминия (4,2 %), железа (16,8 %), магния (13,1 %) и кальция (7,1 %). Органическая часть представлена белками, углеводами и жирами и составляет до 45 % массы [9].

Особенность природного волластонита – удлиненные игольчатые кристаллы. Именно такое строение частиц волластонитовой породы, по мнению целого ряда исследователей [10–12], определяет возможность ее использования в качестве армирующей добавки для получения керамических материалов с повышенной прочностью. Перед использованием волластонит был механически активирован в шаровой мельнице до  $S = 8500 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Анализ макроструктуры и фазового состава доменного гранулированного шлака показал, что его частицы в естественном виде пронизаны микро- и макропорами. Содержание стеклофазы в них составляет 65–97 %. Закристаллизованная часть шлака (не более 5–10 %) в основном представлена псевдоволластонитом  $\alpha\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $d/n$ , А – 4,162; 2,921) и микролитами мелилита  $\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Mg})[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7]$  с ( $d/n$ , А – 3,105; 2,876; 2,738; 2,522). Для использования в качестве добавки шлака были подготовлены порошки с удельной поверхностью 3500 и 4500  $\text{см}^2/\text{г}$ .

Гранулометрический состав и морфологические особенности частиц анализировали на фотометрическом седиментометре ФСХ-6К, а также методом оптической микроскопии (см. рис. 1).

Влияние добавок на структурно-механические характеристики коагуляционных структур оценивалось с использованием методов физико-химической механики. Определение пластической прочности пластично-вязких систем проводили на коническом пластометре Ребиндера. Метод не содержит эмпирических констант и дает возможность производить измерения

при малых градиентах скоростей с переходом в пределе к оценке пластической прочности системы [13]. Значения упругой, эластичной и пластической деформации определялись на установке, работающей по принципу параллельно-смещающейся пластинки (прибор Д.М. Толстого).

Результаты измерений на этой установке дают возможность получить семейство реологических кривых в системе деформация ( $\varepsilon$ ) – время сдвига ( $\tau$ ) [14]. На основании этих кривых графическим методом определялись константы упругопластичных свойств керамических масс с практическим неразрушенной структурой. По полученным сериям кривых для каждого образца рассчитывали модули упругости  $E_1$ , эластичности  $E_2$ , равновесный модуль упругости  $E$ , эластичность  $A$  и другие структурно-механические константы.

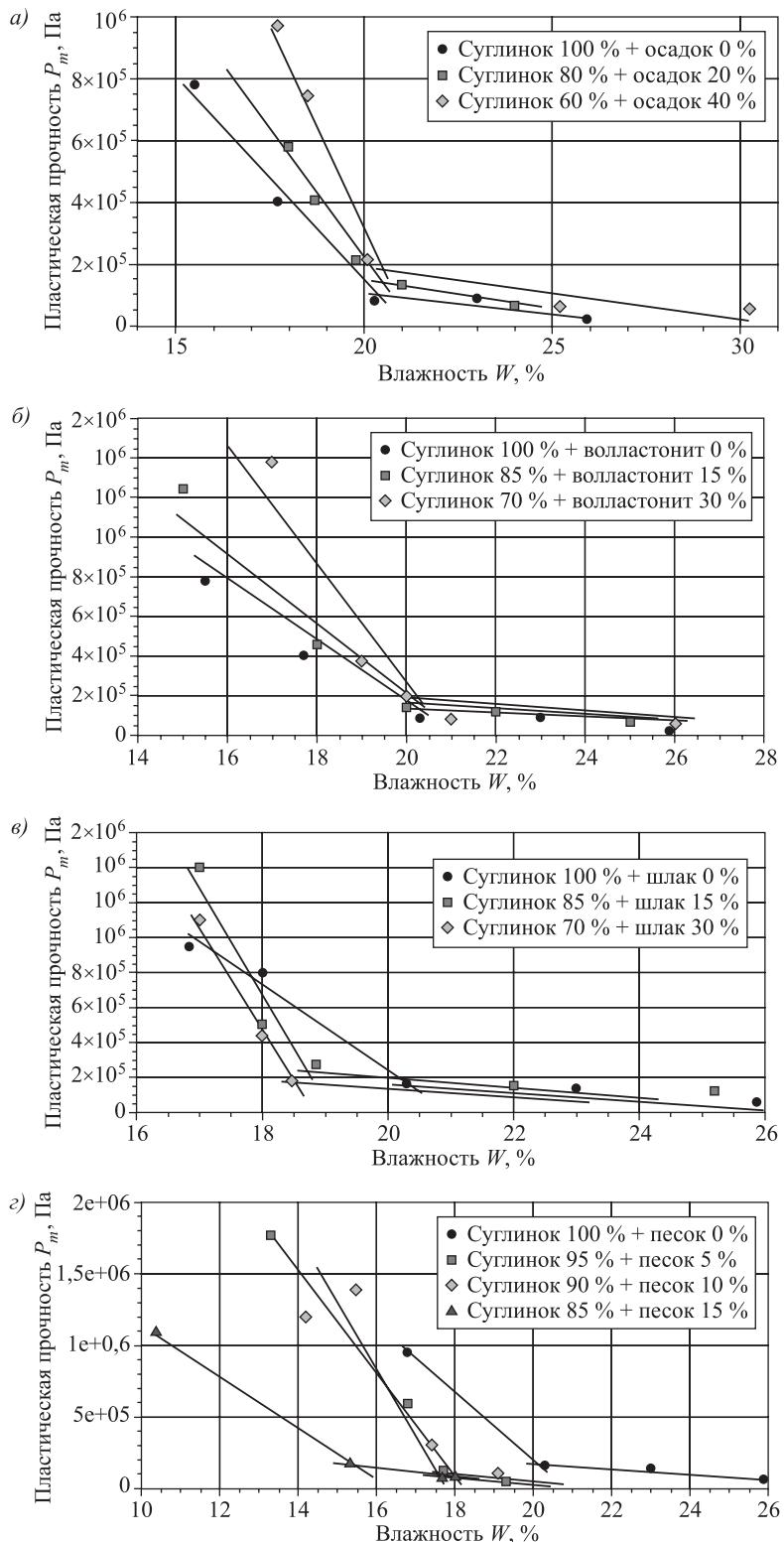
**Результаты и их обсуждение.** Формовочные свойства масс на основе глинистого сырья могут быть охарактеризованы величиной механической прочности структуры, которая определяется предельным напряжением сдвига при небольших скоростях деформации [15]. Последнюю принято оценивать при нормальной формовочной влажности, которая характеризует полное развитие гидратных оболочек в дисперсной системе и определяется точкой пересечения двух прямолинейных участков зависимости пластическая прочность – влажность.

Результаты определения пластической прочности исследуемых формовочных масс на коническом пластометре Ребиндера приведены на рис. 2, 3. Для всех составов характер кривых зависимости пластической прочности от влажности не изменяется и выражается двумя прямолинейными участками, которые характеризуют соответственно область последовательного развития адсорбционных пленок и гидратных оболочек и область появления значительных количеств излишней (свободной) воды [13].

Уменьшение предельного напряжения сдвига с ростом влажности связано с увеличением расстояния между частицами твердой фазы вследствие развития на них гидратных оболочек и появлением в системе кинетически свободной воды.

Анализ приведенных на рис. 2, 3 зависимостей показывает, что с вводом непластичного компонента – высокодисперсной добавки, независимо от природы и морфологии частиц последней, с ростом ее количества угол наклона «верхнего» прямолинейного участка кривой  $P_m = f(W)$  к оси абсцисс увеличивается, что косвенно указывает на уменьшение пластичности формовочной массы. При этом следует отметить, что влияние добавки на величину нормальной влажности связано с дисперсностью частиц и количеством вводимой добавки: чем крупнее частицы и больше содержание добавки в шихте, тем меньшее значение принимает оптимальная формовочная влажность (см. рис. 3).

Для оценки реологических свойств формовочных масс с добавками разного состава были определены их расчетные структурно-механические и деформативные характеристики. Как видно из приведенных на рис. 4 характеристик, суглинок относится к IV структурно-механическому типу. Отличительные особенности этого типа – значительное развитие пластических деформаций, небольшие значения быстрой и медленной эластичной деформаций и периода истинной релаксации. Массы такого типа весьма



*Рис. 2. Зависимости пластической прочности массы ( $P_m$ , Па) от ее влажности ( $W$ , %) суглинка с добавками*  
*а – осадка; б – волластонита; в – доменного шлака; г – песка*

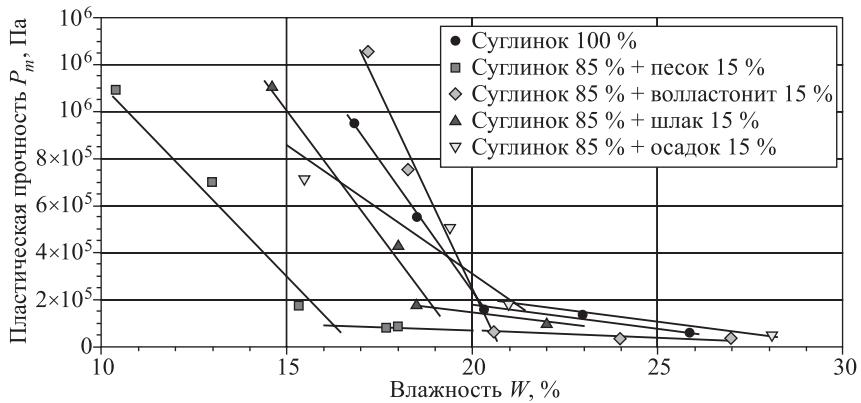


Рис. 3. Зависимости пластической прочности формовочных масс с добавками разной природы ( $P_m$ , Па) от ее влажности ( $W$ , %)



Рис. 4. Тройная диаграмма и таблица приведенных деформаций 6 структурно-механических типов по С.П. Ничипоренко для шихт состава

Точки на диаграмме	Состав шихты, %					Структурно-механические характеристики приведенных деформаций			
	Суглинок	Добавки				$\varepsilon_{\text{уп}}, \%$	$\varepsilon_{\text{зд}}, \%$	$\varepsilon_{\text{пл}}, \%$	истинный период релаксации $\tau$ , с
		осадок	волластонит	шлак	песок				
1	100	—	—	—	—	23	9	68	283
2	—	20	—	—	—	12,7	15,6	71,7	93,4
3	—	40	—	—	—	10,9	19,6	69,5	131
4	—	—	15	—	—	27,8	13,9	58,3	464
5	—	—	30	—	—	15,7	20,2	64,1	178
6	85	—	—	15	—	15,1	17,6	67,3	216
7	70	—	—	30	—	24,5	7,2	68,3	349
8	85	—	—	—	15	37,7	11,5	50,8	728
9	70	—	—	—	30	31,3	11,5	57,2	420

пластичны, легко деформируются и проявляют склонность к пластическому разрушению [16].

Добавка к суглинку осадка, как и волластонита, приводит по сравнению с исходной глинистой системой к уменьшению периода релаксации и способствует развитию медленных эластических деформаций. В то же время доменный шлак, а также традиционно применяемый на практике в качестве отщающей добавки кварцевый песок способствуют росту упругих и снижению эластических и пластических деформаций, что может быть связано с проявлением отщающей функции этих компонентов. При этом, поскольку для таких масс не требуется значительных усилий для деформации (см. рис. 3), происходит достаточная компенсация возникающих внутренних напряжений, что повышает вероятность сохранения сплошности макроструктуры сформованного изделия без дефектов. Однако такие массы (IV и V структурно-механические типы) проявляют склонность к пластическому разрушению, в частности, свибообразованию [15].

Один из критерии пригодности глинистых масс к пластическому формированию – соотношение различных видов деформаций (быстрых и медленных эластических и пластических) [15, 17–19]. Следует отметить, что по вопросу – какое соотношение деформаций оптимально – до настоящего времени не выработано единого мнения. В работах [16, 19] отдаётся предпочтение формовочным массам I и особенно II структурно-механического типа, т.е. массы, в которых преобладают медленные эластические деформации. Авторы работ [20, 21] для пластического формования рекомендуют использовать формовочные массы с равномерным развитием всех видов деформаций. При этом в качестве оптимальных конкретно какие-либо структурно-механические типы авторами не выделяются. Ориентируясь на структурно-механические характеристики формовочных масс, используемых на заводах по производству стеновой керамики в Западно-Сибирском регионе, на наш взгляд, именно последняя точка зрения представляется наиболее предпочтительной.

Проанализировав с учетом принятого допущения характер воздействия добавок с разной морфологией частиц на структурно-механические характеристики формовочных масс на основе суглинка, можно заключить, что введение добавок позволяет изменять соотношение между различными видами деформаций. Однако независимо от природы и морфологии частиц ни одна из изучаемых добавок не обеспечивает равномерное развитие всех видов деформаций в формовочной массе. Учитывая, что в настоящее время одним из перспективных направлений совершенствования технологии строительной керамики является использование для улучшения формовочных свойств шихт композиционных технологических добавок, состоящих из компонентов разного функционального назначения [22], представляется целесообразным в дальнейших исследованиях оценить эффективность управления реологическим поведением формовочных масс с помощью подобных добавок.

**Выводы.** 1. Проведены экспериментальные исследования реологического поведения формовочных масс на основе низкосортного глинистого сырья и модифицирующих добавок разного генезиса и морфологии.

2. Экспериментально установлены оптимальные значения формовочной влажности, при которой масса не подвергается отрицательному влиянию недостатка и избытка влаги. Для рассматриваемых в работе составов формовочная влажность должна составлять 19–21 %.

3. Установлено, что добавки из компонентов разного генезиса и с разной морфологией частиц влияют на деформационное поведение формовочных масс (коагуляционной структуры). Однако независимо от природы и морфологии частиц ни одна из изучаемых добавок не обеспечивает равномерное развитие всех видов деформаций в формовочной массе.

4. Представляется целесообразным в дальнейших исследованиях оценить эффективность управления реологическим поведением формовочных масс с помощью композиционных добавок, состоящих из компонентов разного функционального назначения.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. 256 с.
2. Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наук. думка, 1968. 76 с.
3. Danforth S.C., Talo I.K., Kwartk S. et al. Rheological Behavior of Injection Molding Ceramic-ceramic Composite Formulations // CIM Bull. 1989. D2. No. 926. P. 88.
4. Пивинский Ю.Е. Реология в технологии керамики и огнеупоров. Дисперсные системы, методы исследования и оценки их реологических свойств // Огнеупоры и техническая керамика. 1995. № 12. С. 11–19.
5. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика / Издр. тр. М.: Наука, 1979. 382 с.
6. Круглицкий Н.Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсий глинистых материалов. Киев: Наук. думка, 1968. 244 с.
7. Ozkan N., Oysu C., Briscoe B.J., Aydin I. Rheological analysis of ceramic pastes // J. European Ceramic Society. 1999. Vol. 19. No. 16. Pp. 2883–2891.
8. Doraiswamy D., Tsao I.K., Danforth S.C. et al. Analysis of the Rheological Behavior of Concentrated Ceramic Suspensions // Ceram. Mater. and Compon. Engines. 1989. Pp. 380–398.
9. Шахов С.А., Рудая Т.Л., Кохемяченко А.С. Изучение возможности применения осадка водоочистки в производстве строительной керамики // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 1. С. 54–61.
10. Азаров Г.М., Майорова Е.В., Беляков А.В. Волластонитовое сырье и области его применения // Стекло и керамика. 1995. № 9. С. 13–16.
11. Масленникова Г.К., Жекишева С.Ж., Конешова Т.И. Керамические материалы на основе волластонита // Стекло и керамика. 1995. № 4. С. 25–27.
12. Вакалова Т.В., Погребенков В.М., Куликовская Н.А., Рудина Н.А. Пористая фильтрующая керамика из силикатного сырья Сибири // Стекло и керамика. 2003. № 5. С. 23–26.
13. Балкевич В.Л., Мосин Ю.М., Фирсова М.Н. Определение пластической прочности для оценки формовочных свойств керамических масс // Стекло и керамика. 1980. № 4. С. 16–17.
14. Практикум по технологии керамики и огнеупоров / под ред. Д.Н. Полубояринова и Р.Я. Попильского. М.: Стройиздат, 1972. 352 с.
15. Ильин А.П., Прокофьев В.Ю. Управление структурно-механическими свойствами формовочных масс при получении экструдированных носителей и катализаторов // Каталит в промышленности. 2002. № 6. С. 45–51.

16. Физико-химическая механика дисперсных минералов / под ред. Н.Н. Круглицкого. Киев: Наук. думка, 1968. 244 с.
17. Балкевич В.Л., Мосин Ю.М. Реологические свойства керамических масс. М.: МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1988. 68 с.
18. Briscoe B.J., Ozkan N. Characterization of Ceramic Pastes by an Indentation Hardness Test // J. European Ceramic Society. 1997. Vol. 17. No. 14. Pp. 1675–1683.
19. Дзисько В.А. Основы методов приготовления катализаторов. Новосибирск: Наука, 1983. 260 с.
20. Ильин А.П., Прокофьев В.Ю. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов: монография / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. 316 с.
21. Trofimov A.N., Il'yin A.P., Shirokov Yu.G. Mechanochemical Synthesis of Binders in Technology of Alumina Products for High-Temperature Process // Siberian chemical magazine. 1991. No. 5. Pp. 150–155.
22. Кучерова Э.А., Сат Д.Х., Карапасал Б.К. Улучшение формируемости керамической массы из грубодисперсного глинистого сырья введением цеолита содержащей породы // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 3. С. 24–31.

**Шахов Сергей Александрович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: sashakhov@mail.ru  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск  
**Николаев Никита Юрьевич**, магистрант; E-mail: nikolaevh13@mail.ru.  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 16.06.16

**Shakhov Sergey Alexandrovich**, DSc, Professor; E-mail: sashakhov@mail.ru  
Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia  
**Nikolaev Nikita Yur'evich**, Post-graduate Student; E-mail: nikolaevh13@mail.ru.  
Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

## **INFLUENCE OF THE MINERAL ADDITIVES OF DIFFERENT GENESIS AND MORFOLOGY AT STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE MOLDING COMPOUNDS**

Structural clay products manufacturing is depends on the potential of local raw materials. Shoddy silty loams are the main component of fusion mixtures in view of shortage of the quality clays. Therefore, methods for determining the structural characteristics of the fusion mixtures are becoming important. The objective of the study is the influence of the mineral additives of different genesis and morphology at structural characteristics and molding properties of the molding compounds based on shoddy silty loams. It had defined the optimal values of the moisture of molding compositions in which molding compositions had been tested. Optimal values of the moisture of molding compositions has used to create compositions for the defining of rheological constants and structural characteristics. Structural constants had calculated for all molding compositions based on different kinds of additives. The influence of the mineral additives are depends on genesis and morphology of the powders. However, none of the additives is not provides a balanced development of all types of deformations.

**К e y w o r d s:** structural characteristics, molding properties, plastic molding, coagulation structure, loams.

REFERENCES

1. Ur'ev N.B. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii dispersnykh sistem i materialov [Physical and chemical bases of the technology of disperse systems and materials]. Moscow, Chemistry, 1988. 256 p. (in Russian)
2. Nichiporenko S.P. Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh struktur v tekhnologii stroitel'noy keramiki [Physical and chemical mechanics of disperse structures from construction ceramics technology]. Kiev, Naukova dumka, 1968. 76 p. (in Russian)
3. Danforth S.C., Talo I.K., Kwart S. et al. Rheological Behavior of Injection Molding Ceramic-ceramic Composite Formulations. CIM Bull. 1989. D2. No. 926. P. 88.
4. Pivinskiy Yu.E. Reologiya v tekhnologii keramiki i ogneuporov. Dispersnye sistemy, metody issledovaniya i otsenki ikh reologicheskikh svoystv [Rheology of the ceramics and refractories technology. Disperse systems, research methods of the rheological properties]. Ogneupory [Refractories]. 1995. No. 12. Pp. 11–19. (in Russian)
5. Rebinder P.A. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika. Izbrannye trudy [Surface phenomena of the disperse systems. Physical and chemical mechanics]. Moscow, Nauka, 1979. 382 p. (in Russian)
6. Kruglitskiy N.N. Fiziko-khimicheskie osnovy regulirovaniya svoystv dispersiy glinistykh materialov [Physical and chemical bases to the regulation of properties of the clay materials dispersions]. Kiev, Naukova dumka, 1968. 244 p. (in Russian)
7. Ozkan N., Oysu C., Briscoe B.J., Aydin I. Rheological analysis of ceramic pastes. J. European Ceramic Society. 1999. Vol. 19. No. 16. Pp. 2883–2891.
8. Doraiswamy D., Tsao I.K., Danforth S.C. et al. Analysis of the Rheological Behavior of Concentrated Ceramic Suspensions. Ceram. Mater. and Compon. Engines. 1989. Pp. 380–398.
9. Shahov S.A., Rudaya T.L., Kozhemyachenko A.S. Izuchenie vozmozhnosti primeneniya osadka vodoochistki v proizvodstve stroitel'noy keramiki [The possibility of using water treatment sludge in the manufacture of building ceramics]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2013. No. 1. Pp. 54–61. (in Russian)
10. Azarov G.M., Mayorova E.V., Belyakov A.V. Vollastonitovoe syr'e i oblasti ego primeneniya [Wollastonites raw material and its use]. Steklo i keramika [Glass and ceramics]. 1995. No. 9. Pp. 13–16. (in Russian)
11. Maslenikova G.K., Zhekisheva S.Zh., Koneshova T.I. Keramicheskie materialy na osnove vollastonita [Ceramic materials based from the wollastonites raw]. Steklo i keramika [Glass and ceramics]. 1995. No. 4. Pp. 25–27. (in Russian)
12. Vakalova T.V., Pogrebennikov V.M., Kulikovskaya N.A., Rudina N.A. Poristaya fil'truyushchaya keramika iz silikatnogo syr'ya Sibiri [The porous filter ceramic based on silicate raw materials from Siberia]. Steklo i keramika [Glass and ceramics]. 2003. No. 5. Pp. 23–26. (in Russian)
13. Balkevich V.L., Mosin Yu.M., Firsova M.N. Opredelenie plasticheskoy prochnosti dlya otsenki formovochnykh svoystv keramicheskikh mass [Determination of the plastic strength of the molding to evaluate the properties of ceramic materials]. Steklo i keramika [Glass and ceramics]. 1980. No. 4. Pp. 16–17. (in Russian)
14. Praktikum po tekhnologii keramiki i ogneuporov [Workshop by technology of ceramics and refractories]. Pod red. D.N. Poluboyarinova i R.Ya. Popil'skogo. Moscow, Stroyizdat, 1972. 352 p. (in Russian)
15. Il'in A.P., Prokof'ev V.Yu. Upravlenie strukturno-mekhanicheskimi svoystvami formovochnykh mass pri poluchenii ekstrudirovannykh nositeley i katalizatorov [Management of the structural and mechanical properties of the molding compositions from the preparation of extruded supports and catalysts]. Kataliz v promyshlennosti [Catalysis in Industry]. 2002. No. 6. Pp. 45–51. (in Russian)

16. Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh mineralov [Physical and chemical mechanics of disperse materials]. Pod red. N.N. Kruglitskogo. Kiev, Naukova dumka, 1968. 244 p. (in Russian)
  17. Balkevich V.L., Mosin Yu.M. Reologicheskie svoystva keramicheskikh mass [The rheological properties of the ceramic materials]. Moscow, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 1988. 68 p. (in Russian)
  18. Briscoe B.J., Ozkan N. Characterization of Ceramic Pastes by an Indentation Hardness Test. J. European Ceramic Society. 1997. Vol. 17. No. 14. Pp. 1675–1683.
  19. Dzis'ko V.A. Osnovy metodov prigotovleniya katalizatorov [Fundamentals of the catalysts preparation methods]. Novosibirsk, Nauka, 1983. 260 p. (in Russian)
  20. Il'in A.P., Prokof'ev V.Yu. Fiziko-khimicheskaya mekhanika v tekhnologii katalizatorov i sorbentov: monografiya [Physico-chemical mechanics of catalysts and adsorbents technologies: monograph]. Ivanovo, 2004. 316 p. (in Russian)
  21. Trofimov A.N., Il'yin A.P., Shirokov Yu.G. Mechanochemical Synthesis of Binders in Technology of Alumina Products for High-Temperature Process. Siberian chemical magazine. 1991. No. 5. Pp. 150–155.
  22. Kucherova E.A., Sat D.H., Kara-sal B.K. Uluchshenie formuemosti keramicheskoy massy iz grubodispersnogo glinistogo syr'ya vvedeniem tseolitsoderzhashchey porody [Improved of formability of the ceramic mass based on coarse clay raw material by introduction of the zeolite rocks]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 3. Pp. 24–31. (in Russian)
-

УДК 691.42 : 666.31

А.Ю. СТОЛБОУШКИН, О.А. ФОМИНА

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТВЕРДОФАЗНЫХ РЕАКЦИЙ ПРИ ОБЖИГЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

В зависимости от химического и фазового составов техногенного сырья рассмотрены вопросы прогнозирования твердофазных реакций, протекающих при обжиге керамических матричных композитов. Показано, что эксплуатационные свойства керамических изделий определяются завершенностью протекания твердофазных реакций и зависят от степени активации и дисперсности исходного сырья, структуры отформованного изделия, химического и фазового состава компонентов шихты, температурного режима обжига и характера газовой среды печи. Установлены возможные твердофазные реакции с участием щелочноземельных оксидов и оксидов железа по изменению энергии Гиббса при обжиге керамических стеновых материалов матричной структуры на основе техногенного и природного сырья. Проведено дифференцирование возможных твердофазных реакций внутри и на поверхности гранул при обжиге керамического матричного композита. Приведены обобщенные результаты исследования фазового состава стеновых керамических материалов, полученных в лабораторных и заводских условиях.

**Ключевые слова:** техногенное сырье, химический и фазовый состав, твердофазные реакции, керамический матричный композит.

Вследствие истощения промышленных запасов кондиционных глин в Российской Федерации, в частности в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, для перспективного развития технологии строительной керамики необходимо использовать новые виды сырья – неспекающиеся, малопластичные суглинки с высоким содержанием карбонатных включений, а также силикатсодержащие промышленные отходы.

Благодаря принципиально новому способу изготовления стеновых материалов, целенаправленно формирующему пространственно организованный ячеисто-заполненный каркас, авторами получены керамические матричные композиты на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья [1]. Высокое качество керамического черепка стало результатом управления процессами его структурообразования, позволяющими существенно интенсифицировать процессы спекания.

Физико-механические и эксплуатационные свойства керамических изделий определяются завершенностью протекания твердофазных реакций и зависят от степени активации и дисперсности исходного сырья, структуры отформованного изделия, химического и фазового состава компонентов шихты, температурного режима обжига и характера газовой среды печи [2].

Цель настоящей работы заключалась в прогнозировании (по химическому и фазовому составам гранулированных шихт) твердофазных реакций при обжиге композиционных керамических материалов матричной структуры из техногенного сырья.

Работа выполнялась при поддержке Федерального Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «УМНИК-2015», договор № 0015495.

В качестве основных компонентов керамических шихт предложено использовать крупнотоннажные промышленные отходы горнодобывающей промышленности: шламистую часть отходов обогащения железных руд; отходы угледобычи и углеобогащения. Результаты комплексного исследования сырьевых материалов представлены в [3–5], описание композиционных керамических материалов матричной структуры и способа их получения приведены в [6, 7].

Методологически при рассмотрении особенностей спекания керамического черепка матричной структуры, кроме реакций, протекающих внутри гранул, сложенных различными техногенными отходами, необходимо провести анализ термических процессов на поверхности опудривающего слоя (по контактам зерен) и на границе между опудривающим слоем и телом гранулы.

**Шламистая часть отходов обогащения железных руд (ОЖР).** Химический состав отходов характеризуется высоким содержанием щелочноzemельных оксидов ( $\Sigma (\text{CaO}, \text{MgO}) = 25,25\text{--}27,07\%$ ) и оксидов железа ( $\Sigma (\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3) = 16,31\text{--}19,29\%$ ), которые входят в состав тонкодисперсных карбонатов и магнезиально-железистых хлоритов. Остальными породообразующими минералами являются кварц, полевые шпаты и биотит. Амфиболы ( $\text{Ca}_2 \cdot \text{Mg}_5 [\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$ ), пироксены ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \cdot \text{Si}_2\text{O}_6$ ) и пирит ( $\text{FeS}_2$ ) не могут существенным образом повлиять на твердофазные реакции внутри гранул из-за своего незначительного содержания в железорудных отходах.

*Реакции внутри гранул.* Наиболее существенную роль в твердофазных реакциях керамических изделий из шламистой части железорудных отходов будут играть щелочноземельные (карбонатные) соединения. При температурах обжига до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\text{CaO}$  способствует разрыхлению черепка [8]. Как правило, повышение пористости керамического черепка происходит в результате выделения углекислого газа при диссоциации карбонатов кальция в интервале температур  $900\text{--}950\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дисперсные щелочноземельные компоненты обусловливают формирование кальцийсодержащих кристаллических фаз типа анортита ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) [9, 10]. Поэтому можно предположить, что тонкодисперсные карбонаты в условиях низкотемпературного обжига (до  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), наряду со щелочными оксидами, будут способствовать достижению необходимой прочности как гранул, так и керамического черепка в целом.

Повышенное содержание оксидов железа в химическом составе железорудных отходов в процессе обжига будет способствовать переходу в пиропластическое состояние в случае их восстановления в закисную форму. Возрастание активности расплавов облегчает диффузию и перекристаллизацию материала [9], поэтому уже при температурах  $1000\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  одним из вероятных направлений перекристаллизации смесей на основе шламистой силикатной части железорудных отходов может быть формирование цепочек силикатов с одинарными анионными цепочками, в частности, моноклинных пироксенов –  $\text{CaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$ .

По данным термического анализа, магнезиально-железистые хлориты ( $\text{Fe}, \text{Mg})_6 \cdot (\text{Si}, \text{Al})_4 \cdot \text{O}_{10} \cdot (\text{OH})_8$ , содержащиеся в отходах обогащения железных

руд, дегидратируют при температуре 600 °C с разрушением талькоподобного слоя в интервале 770–780 °C и по результатам рентгенографического анализа полностью разрушаются уже при 900 °C [11]. Продукты высокотемпературной диссоциации хлоритов совместно со щелочноземельными компонентами, благодаря диффузионным процессам, способны обеспечивать протекание реакций в твердой фазе с образованием новых соединений.

Таким образом, высокое содержание щелочноземельных компонентов и восстановленной засыпи железа должно интенсифицировать процессы твердофазового спекания в гранулах, благодаря образующимся расплавам, уже при температурах ниже 1000 °C. Возможность протекания твердофазных реакций с участием щелочноземельных оксидов и оксидов железа можно прогнозировать по изменению энергии Гиббса  $\Delta G$  (табл. 1).

Таблица 1. Значения величин энергии Гиббса для вероятных твердофазных реакций внутри гранул из отходов обогащения железных руд

Реакции	$\Delta G$ , кДж/моль, при температуре, °C		
	900	1000	1100
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 3\text{CaCO}_3 \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 3\text{CO}_2$	-801,31	-890,34	-979,37
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 4\text{CaCO}_3 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 4\text{CO}_2$	-1028,03	-1142,26	-1256,49
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 5\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 5\text{CO}_2$	-1254,76	-1394,18	-1533,60
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{CaCO}_3 + \text{FeO} \rightarrow 2(\text{Ca} \cdot \text{SiO}_3) + \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2$	-629,30	-699,22	-769,14
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{MgO} \rightarrow \text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	-306,31	-340,34	-374,38
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + 2\text{FeO} + \text{MgO} \rightarrow \text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$	-481,52	-535,02	-588,52
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} + 2\text{FeO} \rightarrow \text{Ca}(\text{Fe}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-301,48	-330,91	-360,34
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + 2\text{FeO} \rightarrow \text{Ca}(\text{Fe}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$	-457,29	-508,10	-558,91

*Реакции в граничном слое (матрице) между гранулами.* При получении керамических стеновых материалов матричной структуры граничный слой формируется в результате опудривания гранул глиной. Твердофазные реакции в глинах протекают благодаря диффузионным процессам и описываются известными уравнениями кинетики с возможным образованием герцинита  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , фаялита  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ , муллита  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  и анортита  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  [12].

*Реакции в приграничном слое гранулы.* В приграничном слое будут происходить твердофазные реакции между компонентами с высоким содержанием щелочноземельных оксидов и оксидов железа, которые входят в состав тонкодисперсных карбонатов и магнезиально-железистых хлори-

тов, с одной стороны, и с другой – алюмосиликатами смешанослойных глинистых минералов каолинит-монтмориллонит-гидрослюдистого типа. В приграничном слое наряду с пироксенами весьма вероятно формирование анортита. Обычно при избытке  $\text{CaCO}_3$  муллит и герцинит разлагаются, образуя выше 960 °С анортит, алюминаты и силикаты кальция [13].

В свою очередь, наличие в приграничном слое дегидратированной глины в присутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и других оксидов будет способствовать ускорению реакций декарбонизации. Активное протекание процесса может быть связано с усилением возможности образования фаз с участием  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ . Исследованиями А.В. Шлыкова показано, что при обжиге глин в присутствии доломита может образоваться диопсид  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ , а в присутствии  $\text{CaO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – алюмоферриты и ферриты [14]. Также можно предположить, что для граничного, сформированного преимущественно из глинистого сырья, и приграничного слоев будет характерно более раннее формирование жидкой фазы по сравнению с телом гранул.

Установлено, что образование стеклофазы в гидрослюдистых глинах начинается уже при 700 °С [12, 15]. Появление стеклофазы будет содействовать дальнейшему растворению в ней некоторой части минеральных составляющих граничного и приграничного слоев и способствовать образованию новых минеральных фаз. Возможность протекания твердофазных реакций на границе и в приграничном слое гранул по изменению  $\Delta G$  представлена в табл. 2.

Таблица 2. Значения величин энергии Гиббса для вероятных твердофазных реакций на поверхности и в приграничном слое гранул из отходов обогащения железных руд

Реакции	$\Delta G$ , кДж/моль, при температуре, °С		
	900	1000	1100
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \frac{1}{4}\text{FeO} \rightarrow$			
$\frac{1}{4}(\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + \frac{1}{4}(3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) + \frac{3}{2}\text{SiO}_2$	-134,80	-149,78	-164,76
$\frac{1}{3}(3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) + \text{CaCO}_3 + \frac{4}{3}\text{SiO}_2 \rightarrow$	-347,85	-386,50	-425,15
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$			
$\frac{1}{3}(3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) + \text{CaO} + \frac{4}{3}\text{SiO}_2 \rightarrow$	-155,41	-172,68	-189,95
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$			
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$	-347,85	-386,50	-425,15
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{CaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow$			
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2$	-1275,69	-1313,84	-1351,99
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{CaCO}_3 + \text{FeO} \rightarrow$			
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot \text{FeO} + 2\text{CO}_2$	-1252,11	-1287,64	-1323,17
$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{SiO}_2 \rightarrow$			
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	-227,36	-252,62	-277,88
$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 6\text{CaO} \rightarrow$			
$2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-361,15	-401,28	-441,41

Можно отметить, что энергия Гиббса имеет большие отрицательные значения в реакциях с участием карбонатов по сравнению с превращениями, в которых принимает участие  $\text{CaO}$ , высвобождающийся в результате диссоциации  $\text{CaCO}_3$ . Вероятно, в многокомпонентной полиминеральной системе, сформированной из техногенного сырья, химические превращения будут носить комплексный характер с одновременным разложением карбонатов и участием их в процессах перекристаллизации минеральных фаз. По расчетам  $\Delta G$  следует отметить высокую возможность протекания реакций с образованием двухкальциевого силиката (см. табл. 1), являющегося промежуточным продуктом процесса перекристаллизации волластонита в присутствии щелочноземельных оксидов и оксидов железа. Также  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  может участвовать в образовании моноклинных пироксенов типа авгита.

Значения энергии Гиббса для химических превращений, протекающих на поверхности гранул, с образованием аортита больше аналогичных значений реакций образования двухкальциевого силиката и аллюмината кальция. При этом наибольшее отрицательное значение  $\Delta G$  имеют реакции формирования фаз аортита и феррита кальция в приграничном слое с участием карбонатов и оксидов железа, возможно, дополнительно «импортированных» из тела гранул. Для производства керамических изделий наиболее предпочтительным является образование именно аортита, который будет обеспечивать необходимые прочностные характеристики.

При избытке вьюстита  $\text{FeO}$  в граничном слое весьма вероятно образование муллита (см. табл. 2), однако в приграничной зоне, имеющей избыток карбонатов по сравнению с матрицей, может происходить разложение муллита при взаимодействии с  $\text{CaCO}_3$  и образование аортитовой фазы. Поэтому фаза муллита при спекании черепка, если и будет формироваться, то в очень незначительном количестве.

Таким образом, в низкотемпературном интервале наиболее вероятностными являются процессы преимущественно твердофазового спекания, которые обусловлены стехиометрическим соотношением компонентов в массе. При избытке  $\text{CaO}$  вероятнее всего будут образовываться кальцийсодержащие соединения типа аортита, пироксенов (геденбергит), силикатов и аллюминатов кальция, с возможным незначительным формированием муллитоподобной фазы на границе гранул.

При более высоких температурах в массах с повышенным содержанием карбоната кальция требуется определенное количество щелочных компонентов, обеспечивающих необходимую вязкость расплава для полного протекания процессов твердофазового спекания и образования кальцийсодержащих кристаллических фаз. Поскольку в шламистой части отходов обогащения железных руд содержание  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  невелико, то целесообразно для более полного спекания внутри гранул в процессе гранулообразования добавить в состав шихты бой стекла, в котором обычно содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  достигает 16 %.

**Отходы углеобогащения (ОУО).** Химический состав отходов обогащения угля близок к глинам и характеризуется повышенным содержанием углерода и оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 16,47\%$ ). Содержание же оксидов щелочных металлов в отходах невелико ( $\text{R}_2\text{O} = 3,68\%$ ), примерно такое же, как и в шламистой части железорудных отходов, поэтому добавка в шихту при

гранулообразовании боя стекла будет целесообразной. Возможность протекания твердофазных реакций в теле и на границе гранул из отходов обогащения углей по изменению энергии Гиббса  $\Delta G$  показана в табл. 3, 4.

По сравнению с керамикой на основе железорудных отходов температура обжига углеотходов обычно не превышает 1000 °C, в связи с выгоранием углистого остатка, поэтому значения величин энергии Гиббса рассчитывались в интервале температур 800–1000 °C.

Физико-химические особенности процессов, протекающих при обжиге отходов угледобычи и углеобогащения, зависят от того, в какой суммарной газовой среде будет происходить термический процесс. В процессах окислительной термообработки органическая масса углеотходов играет роль только топливного компонента. Основная задача таких процессов – наиболее эффективное выжигание органической массы с одновременным использованием ее теплового потенциала. В процессах восстановительной термической переработки отходов органическая масса выполняет двоякую роль, одновременно являясь реагентом-восстановителем для оксидов минеральной части и топливным компонентом.

*Реакции внутри гранул.* Поскольку оксиды железа образуют с алюминиево-силикатной компонентой легкоплавкие эвтектики, то их повышенное содержание оказывает существенное влияние на процессы твердофазного спекания при обжиге углеотходов. Расчетные значения  $\Delta G$  свидетельствуют о возможном образовании железистой шпинели  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и фаялита  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  только при восстановлении оксидов в закись железа. В окислительных условиях (табл. 3) протекание реакции в присутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  теоретически возможно лишь при температуре более 1000 °C. Полученные расчеты согласуются с выводами по более интенсивному образованию герцинита и фаяли-

Таблица 3. Значения величин энергии Гиббса для вероятных твердофазных реакций внутри гранул из отходов углеобогащения

Реакции	$\Delta G$ , кДж/моль, при температуре, °C		
	800	900	1000
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \frac{3}{4}\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow$ $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \frac{1}{4}(2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2) + \frac{7}{4}\text{SiO}_2 + \frac{3}{8}\text{O}_2$	30,64	8,06	-14,51
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \frac{3}{2}\text{FeO} \rightarrow$ $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \frac{1}{4}(2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2) + \frac{7}{4}\text{SiO}_2$	-180,62	-203,20	-225,78
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 7\text{CaO} \rightarrow 2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-321,02	-361,15	-401,28
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} + 2\text{FeO} + \text{MgO} \rightarrow$ $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-256,96	-289,08	-321,20
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{CaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow$ $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2$	-1237,55	-1275,69	-1313,84
$\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow$ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2$	-99,17	-168,71	-238,26

та при наличии виостита  $\text{FeO}$  (в восстановительных условиях), чем при наличии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (в окислительных условиях), сделанными Садунасом при описании реакций в твердых фазах глин [16].

В свою очередь, герцинит в присутствии  $\text{CaCO}_3$  способен образовывать алюминаты кальция  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (см. табл. 3), преимущественно октаэдрической разновидности, которые участвуют в синтезе системы твердых растворов (шпинелей) с широко развитым изоморфизмом.

Расчеты  $\Delta G$  показывают, что при обжиге глинистой составляющей отходов углеобогащения твердофазный синтез минералов с формированием однокальциевых и полукальциевых ферритов более вероятен в реакциях с участием метакаолина, карбонатов и оксидов железа, как и при обжиге композитов на основе силикатной части железорудных отходов.

*Реакции на границе и в приграничном слое гранул.* Твердофазные реакции в граничном слое протекают в основном по направлению возможного образования аортита. Также по отрицательным значениям  $\Delta G$  весьма вероятно дальнейшее развитие твердофазных реакций с участием герцинита в приграничном слое гранул. При взаимодействии  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  с продуктами диссоциации глинистой компоненты опудривающего слоя (табл. 4) возможно формирование энстатита  $\text{Mg}_2 \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6]$ , а в присутствии закиси железа – оливина  $(\text{Mg}, \text{Fe}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6]$ .

Для практического изучения твердофазных реакций при обжиге композиционных керамических материалов матричной структуры из техногенного сырья, спрогнозированных по химическому и фазовому составам гранулированных шихт, были проведены исследования керамических стекловых материалов, полученных в лабораторных и заводских условиях [17]. Изучение фазового состава и структуры матричных композитов проводилось комплексом методов, включающим порошковую рентгеновскую

**Таблица 4. Значения величин энергии Гиббса для вероятных твердофазных реакций на поверхности и в приграничном слое гранул из отходов углеобогащения**

Реакции	$\Delta G$ , кДж/моль, при температуре, °C		
	800	900	1000
$\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + 3\text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	-220,26	-247,79	-275,32
$\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaCO}_3 + 3\text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CO}_2$	-391,31	-440,23	-489,14
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{FeO} + \text{MgO} \rightarrow (\text{Mg}, \text{Fe}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-208,32	-234,36	-260,40
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} \rightarrow (\text{Mg}, \text{Fe}) \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$	-379,38	-426,80	-474,22
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaO} + 2\text{MgO} \rightarrow \text{Mg}_2 \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-181,22	-203,87	-226,52
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + 2\text{MgO} \rightarrow \text{Mg}_2 \cdot [\text{Si}_2\text{O}_6] + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$	-352,27	-396,31	-440,34

дифрактометрию, оптическую и электронную микроскопию, инфракрасную спектроскопию, дериватографический анализ и ртутно-вакуумную порометрию.

Обобщенные результаты исследования полученных в результате обжига минеральных фаз стеновой керамики на основе техногенного сырья представлены на рисунке. Сравнительный анализ элементного состава матричных композитов показал, что дисперсионная среда керамического материала имеет преимущественно алюмосиликатный состав, обеспечивающий при взаимодействии со щелочными элементами формирование пиропластичной фазы.

Керамический кирпич из техногенного сырья	Наименование структурного элемента	Минеральные новообразования	
	Железорудные отходы	Отходы углеобогащения	
	Матрица	Анортит $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ Кристобалит $\text{SiO}_2$ Муллитоподобная фаза $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ Железистые шпинели, герцинит $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	Оlivин $(\text{Mg}, \text{Fe})\cdot[\text{Si}_2\text{O}_6]$ Анортит $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ Пироксены энстатит-ферросилитового ряда $\text{Mg}_2\cdot[\text{Si}_2\text{O}_6]$
	Ядро	Сложные пироксены типа авгита $\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ Гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$ Волластонит $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	Гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$ Fe-шпинель Ферриты кальция переменного состава $\text{CaO}\cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$

Минеральные новообразования при обжиге стеновых керамических материалов матричной структуры на основе техногенного сырья (шламистая часть отходов обогащения железных руд, отходы углеобогащения)

**Керамический матричный композит на основе (ОЖР).** По результатам петрографических и электронно-микроскопических исследований керамических образцов из гранулированных шихт на основе шламистых железорудных отходов установлено формирование ярко выраженной матричной структуры. Композиционный керамический материал имеет поверхности раздела компонентов с переходным слоем из продуктов матрицы и заполнителя. Данные порошковых рентгенограмм и инфракрасные спектры поглощения дисперской фазы и дисперсионной среды показали, что основными минеральными новообразованиями в керамике на основе ОЖР являются [11]:

– по границам гранул: анортит  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , кристобалит, муллитоподобная фаза и железистая шпинель. Кроме отдельных зерен различной формы на микроуровне формируются единые конгломераты из минералов, например, реликтового кварца, сросшихся между собой и соединенных стеклофазой. Стеклофаза является цементирующим компонентом, заполняющим межзерновые пустоты и частично макропоры;

– внутри гранул: сложные пироксены типа авгита, гематит и волластонит. Зерна кристаллических фаз спаяны между собой аморфизованным веществом, образующимся за счет легкоплавких примесей.

**Керамический матричный композит на основе (ОУО).** По результатам комплексных исследований керамических образцов из гранулированных шихт на основе отходов углеобогащения установлено протекание процессов твердофазного и жидкофазного спекания в теле и на границе гранул композиционного материала. Происходят полиморфные превращения кварца и разложение карбонатов, слоистых силикатов и других минералов. При обжиге появление жидкой пиропластичной фазы обуславливает более раннее протекание реакций в твердой фазе с образованием новых минеральных фаз в интервале температур 900–1000 °C. Стеклофаза заполняет межзерновые пустоты, связывает частицы минералов между собой и способствует спеканию керамического материала. Рентгенофазовый анализ показал наличие следующих минеральных новообразований [18]:

- по границам гранул: частицы оливина  $(Mg, Fe) \cdot [Si_2O_6]$  и кристаллы пироксена, кристаллизующегося в ромбической сингонии. Из пироксенов энстатит-ферросилитового ряда диагностируется энстатит  $Mg_2 \cdot [Si_2O_6]$ ;
- внутри гранул: разновидности гематита, Fe-шпинели или ферритов кальция переменного состава, формируются новые минеральные фазы: полукальциевый  $CaO \cdot 2Fe_2O_3$  или однокальциевый  $CaO \cdot Fe_2O_3$  феррит.

Таким образом, проведенные комплексные исследования фазового состава и структуры керамических матричных композитов, полученных на основе техногенного сырья (шламистая часть отходов обогащения железных руд и отходы углеобогащения), в целом подтверждают протекание спрогнозированных твердофазных реакций при обжиге.

**Выводы.** Основными факторами, определяющими особенность протекания твердофазных реакций при обжиге керамических изделий матричной структуры из неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья, являются следующие:

- 1) пространственно организованная матричная структура изделий, сформированная в результате нанесения слоя тонкодисперсного глинистого вещества на поверхность гранул из техногенного сырья, что приводит к активизации протекания твердофазных реакций по границам раздела сред керамического композита;
- 2) химический и фазовый составы компонентов шихты (избыток содержания  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ), что по расчетам значений энергии Гиббса будет способствовать образованию силикатов и алюминатов кальция и железа с преобладанием внутри гранул заполнителя моноклинных или ромбических пироксенов, а на поверхности гранул – кальцийсодержащих соединений типа анортита, ферритов кальция и шпинели;
- 3) избыточное содержание углерода в отходах углеобогащения будет способствовать созданию восстановительной среды обжига, что приведет к восстановлению оксидов железа в закисную форму, увеличению количества расплава и, как следствие, к снижению температуры протекания твердофазных реакций с образованием муллитоподобной фазы и различных шпинелей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2500647 Рос. Федерация: МПК C1 C 04 B 33/132. Сырьевая смесь для изготавления стеновой керамики и способ ее получения / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко, А.И. Иванов, Г.И. Бердов, О.А. Столбоушкина; заявитель и патентообладатель Сиб. гос. индустр. ун-т. № 2012116133/03; заявл. 20.04.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34. 6 с.
2. Бу днико в П.П., Б е р е ж н о й А.С. Реакции в твердых фазах. М.: Промстройиздат, 1949. 192 с.
3. Столбоушкин А.Ю., Сайбулатов С.Ж., Стороженко Г.И. Технологическая оценка шламистой части отходов обогащения железных руд АОАФ как сырья для промышленности керамических строительных материалов // Комплекс. минер. сырья. 1992. № 10. С. 67–72.
4. Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база заводов керамических стеновых материалов // Строит. материалы. 2011. № 4. С. 43–46.
5. Столбоушкин А.Ю., Карпачева А.А., Иванов А.И. Стеновые керамические изделия на основе отходов углеобогащения и железосодержащих добавок: монография. Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. 156 с.
6. Столбоушкин А.Ю. Особенности формирования структуры керамического матричного композита из гранулированных шихт // Изв. вузов. Строительство. 2008. 11. С. 25–32.
7. Пат. 2005702 Рос. Федерация: МПК C1 C 04 B 33/00. Способ изготовления керамических изделий/ Г.И. Стороженко, А.Ю. Столбоушкин, Г.В. Болдырев и др.; заявитель и патентообладатель Сиб. металлург. ин-т. № 4948590/33; заявл. 25.06.1991; опубл. 15.01.1994, Бюл. № 1. 8 с.
8. Яценко Н.Д., Зубехин А.П., Голованова С.П., Вильбицкая Н.А. Особенности формирования кристаллических фаз высококальциевой керамики // Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Серия Технические науки. 2001. № 4. С. 87–89.
9. Майер А.А., Власов А.С. Керамика // Тр. I и II конф. Британского и Голландского керамических обществ; пер. с англ. М.: Металлургия, 1967. 228 с.
10. Гальперина М.К., Тарантул Н.П. Фазовые изменения при скоростном обжиге волластонитсодержащих плиток // Стекло и керамика. 1985. № 11. С. 20–21.
11. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Столбоушкина О.А., Злобин В.И. Влияние температуры обжига на формирование структуры керамических стеновых материалов из тонкодисперсных отходов обогащения железных руд // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 1. С. 33–41.
12. Августиник А.И. Керамика. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
13. Будников П.П. Химия и технология строительных материалов и керамики. М.: Стройиздат, 1965. С. 137–146.
14. Шлыков А.В. Некоторые вопросы теории и практики производства пористо-пустотелых керамических стеновых материалов при вводе топлива в шихту. М.: Промстройиздат, 1957. 64 с.
15. Зальман Г. Физико-химические основы керамики. М.: Госстройиздат, 1959. 396 с.
16. Ярулайтис В.П., Садунас А.С., Волженский А.В. Обжиг керамических материалов в газовой среде, контролируемой на отдельных этапах обжига // Окислительно-восстановительные процессы в силикатных системах. Вильнюс: Изд-во ЦБТИиП, 1968. С. 5–14.
17. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Стороженко Г.И., Уразов С.И. Получение морозостойкого керамического кирпича полусухого прессования из промышленных отходов // Строит. материалы. 2011. № 12. С. 4–7.

18. Столбушин А.Ю., Иванов А.И., Сыромясов В.А., Столбушкина О.А., Дружинин М.С., Злобин В.И. Влияние температуры обжига на спекание керамического черепка из отходов обогащения углистых аргиллитов // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 10. С. 39–48.

**Столбушкин Андрей Юрьевич**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: stanyr@list.ru  
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк  
**Фомина Оксана Андреевна**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: stoxan@gmail.com  
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Получено после доработки 30.06.16

**Stolboushkin Andrey Yur'evich**, DSc, Professor; E-mail: stanyr@list.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

**Fomina Oksana Andreevna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: stoxan@gmail.com

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

## **INVESTIGATION AND FORECASTING OF SOLID-PHASE REACTIONS DURING FIRING OF CERAMIC MATRIX COMPOSITES**

Questions of forecasting of solid-phase reactions during firing of ceramic-matrix composites are discussed depending on the chemical and phase composition of technogenic materials. It is shown that the performance properties of the ceramic products are determined by completeness of solid-phase reaction behavior and depend on the degree-activation and dispersion of fine raw material, structure of the molded product, chemical and phase composition of the mixture components, firing temperature and the nature of the gaseous environment of the furnace. The probable solid-phase reactions involving alkaline-earth oxides and iron oxides on the change of Gibbs energy during firing of ceramic wall materials with matrix structure based on technogenic and natural raw material have been stated. A differentiation of possible solid-phase reactions inside and on the surface of the granulas during firing of the ceramic matrix composite has been carried out. The summarized results of the study of phase composition of ceramic wall materials have been obtained in laboratory and industrial environment.

**К e y w o r d s:** technogenic raw materials, chemical and phase composition, solid-phase reactions, ceramic matrix composite.

## **REFERENCES**

1. Pat. 2500647 RF: IPC C1 C 04 B 33/132. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya stenovoy keramiki i sposob ee polucheniya [The raw material mixture for the ceramic wall production and method for its preparing]. A.Yu. Stolboushkin, G.I. Storozhenko, A.I. Ivanov, G.I. Berdov, O.A. Stolboushchina; claimer and patent holder Siberian State Industrial University. No. 2012116133/03; appl. 20.04.2012; publ. 10.12.2013, Bull. No. 34. 6 p. (in Russian)
2. Budnikov P.P., Berezhnoy A.S. Reaktsii v tverdykh fazakh [Reactions in the solid phases]. Moscow, Promstroyizdat, 1949. 192 p. (in Russian)
3. Stolboushkin A.Yu., Saybulatov S.J., Storozhenko G.I. Tekhnologicheskaya otsenka shlamistoy chasti otkhodov obogashcheniya zheleznykh rud AOAF kak sir'ya dlya promyshlennosti keramicheskikh stroitel'nykh materialov [Technological appraisal of silt part of the iron ore wastes of AOAF as a raw material for the production of ceramic building materials]. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya [Complex use of mineral raw materials]. 1992. No. 10. Pp. 67–72. (in Russian)

4. Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I. Otkhody ugleobogashcheniya kak syr'evaya i energeticheskaya baza zavodov keramicheskikh stenovykh materialov [Waste coal as a raw material and energy base of ceramic wall material plants]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2011. No. 4. Pp. 43–46. (in Russian)
5. Stolboushkin A.Yu., Karapacheva A.A., Ivanov A.I. Stenovye keramicheskie izdeliya na osnove otkhodov ugleobogashcheniya u zhelezosoderzhashchikh dobavok: monografiya [Ceramic wall products based on coal wastes and iron-containing additives: monograph]. Novokuznetsk, Publishing house «Inter-Kuzbass», 2011. 156 p. (in Russian)
6. Stolboushkin A.Yu. Osobennosti formirovaniya struktury keramicheskogo matrichnogo kompozita iz granulirovannykh shikht [Specific of the formation of structure of ceramic matrix composite from granulated batches]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2008. No. 11. Pp. 25–32. (in Russian)
7. Pat. 2500647 RF: IPC C 04 B 33/00. Sposob izgotovleniya keramicheskikh izdeliy [A method of ceramics production]. G.I. Storozhenko, A.Yu. Stolboushkin, G.V. Boldyrev et al.; claimer and patent holder Siberian Metallurgical Institute. No. 4948590/33; appl. 25.06.1991; publ. 01.15.1994, Bull. No. 1. 8 p. (in Russian)
8. Yatsenko N.D., Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Vil'bitskaya N.A. Osobennosti formirovaniya kristallicheskikh faz vysokokal'tsievoy keramiki [Specific of crystalline phases formation in high-calcium ceramic]. Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya Tekhnicheskie nauki [North-Caucasian region. Series Technical Sciences]. 2001. No. 4. Pp. 87–89. (in Russian)
9. Mayer A.A., Vlasov A.S. Keramika. Trudy I i II konf. Britanskogo i Gollandskogo keramicheskikh obshchestv; per. s angl. [Ceramics. Proc. I and II Conf. British and Dutch Ceramic Society; transl. from English]. Moscow, Metallurgy, 1967. 228 p. (in Russian)
10. Hal'perina M.K., Tarantul N.P. Fazovye izmeneniya pri skorostnom obzhige wollastonitsoderzhashchikh plitok [Phase changes at high speed firing of wollastonite-contain tiles]. Steklo i keramika [Glass and ceramics]. 1985. No. 11. Pp. 20–21. (in Russian)
11. Stolboushkin A.Yu., Berdov G.I., Stolboushkina O.A., Zlobin V.I. Vliyanie temperatury obzhiga na formirovanie struktury keramicheskikh stenovykh materialov iz tonkodispersnykh otkhodov obogashcheniya zheleznykh rud [Influence of the firing temperature on the structure forming of ceramic wall materials made from fine-grained iron ore wastes]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 1. Pp. 33–41. (in Russian)
12. Avgustinik A.I. Keramika. Izd. 2-e, pererab. i dop. [Ceramics. Ed. 2nd, Revised. and ext.]. Leningrad, Stroyizdat, 1975. 592 p. (in Russian)
13. Budnikov P.P. Khimiya i tekhnologiya stroitel'nykh materialov i keramiki [Chemistry and technology of building materials and ceramics]. Moscow, Stroyizdat, 1965. Pp. 137–146. (in Russian)
14. Shlykov A.V. Nekotorye voprosy teorii i praktiki proizvodstva poristo-pustotelykh keramicheskikh stenovykh materialov pri vvode topliva v shikhtu [Some issues of the theory and practice of production porous-hollow ceramic wall materials from bathes with fuel additive]. Moscow, Promstroyizdat, 1957. 64 p. (in Russian)
15. Zal'man G. Fiziko-khimicheskie osnovy keramiki [Physical and chemical basis of ceramics]. Moscow, Gosstroyizdat, 1959. 396 p. (in Russian)
16. Yarulaytis V.P., Sadunash A.S., Volzhenskiy A.V. Obzhig keramicheskikh materialov v gazovoy srede, kontroliruemoy na otdel'nykh etapakh obzhiga [Firing of ceramic materials in atmosphere with control in stages]. Okislitel'no-vosstanovitel'nye protsessy v silikatnykh sistemakh [Redox processes in silicate systems]. Vilnius: Publishing house TsBTIIP, 1968. Pp. 5–14. (in Russian)

17. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Storozenko G.I., Urazov S.I. Poluchenie morozostoykogo keramicheskogo kирпича polusukhogo pressovaniya iz promyshlennyykh otkhodov [Preparation of frost-resistant ceramic bricks of semi-dry pressing from industrial wastes]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2011. No. 12. Pp. 4–7. (in Russian)
18. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Syromyaso V.A., Stolboushkin O.A., Druzhinin M.S., Zlobin V.I. Vliyanie temperatury obzhiga na spekanie keramicheskogo cherepka iz otkhodov obogasheniya uglistykh argillitov [Influence of the firing temperature to sinter the ceramic shard from tailings carbonaceous mudstone]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 10. Pp. 39–48. (in Russian)
-

## САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



УДК 697.317

Т.Л. РОХЛЕЦОВА, С.В. НИКУЛИН, Л.А. КИЯНИЦА

### К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДНОТРУБНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Показано, что от правильного выбора схемы системы отопления в здании на стадии принятия проектных решений зависит ее работоспособность, эксплуатационные характеристики и возможности энергосбережения. Проведен краткий обзор требований к проектированию однотрубных систем отопления в России в историческом разрезе. Обоснована необходимость установки трехходового клапана в обвязке радиаторного узла при проектировании однотрубной системы отопления с П-образными стояками для предотвращения опрокидывания циркуляции в малом циркуляционном кольце. Авторами показана нецелесообразность проектирования систем отопления с опрокинутой циркуляцией в современных реалиях строительства зданий.

**Ключевые слова:** однотрубная система отопления, радиаторный узел, малое циркуляционное кольцо, система отопления с опрокинутой циркуляцией.

Системы отопления с П-образными стояками появились в России с началом строительства в 60-х гг. прошлого века многоэтажных зданий (5–12 этажей) с совмещенной кровлей (без чердака). С изменением конструктива здания изменились и системы отопления: чердака нет, поэтому магистрали и подающая, и обратная прокладываются в подвале здания. При исследовании работы таких систем отопления выяснилось, что возможно повысить температуру теплоносителя в системе отопления до 105 °C.

Основное санитарно-гигиеническое требование, предъявляемое к системам отопления, – ограничение температуры нагревательной поверхности отопительных приборов, вызванное явлением разложения и сухой возгонки органической пыли, сопровождающееся выделением вредных веществ, в частности, окиси углерода. Разложение пыли начинается при температуре 65–70 °C и интенсивно протекает на поверхности, имеющей температуру более 80 °C. При движении воды в стояке по схеме «снизу вверх» и применении радиаторных узлов с замыкающими участками и регулирующими клапанами (КЛТ или КЛП) средняя температура отопительного прибора получалась ниже принятой расчетной. При применении кон-

векторов «Комфорт-20» средняя температура отопительного прибора также была ниже. При этом еще следует учитывать падение температуры при движении теплоносителя по подающей магистрали от теплового узла до расчетного стояка и график качественного регулирования системы отопления (расчетные параметры теплоносителя поддерживаются очень непрерывное время – не более 5–10 % от общей продолжительности отопительного сезона согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»). Поэтому повышение расчетной температуры воды для систем отопления жилых и общественных зданий не противоречило санитарно-гигиеническим требованиям и одновременно позволяло уменьшить поверхность нагрева отопительных приборов за счет увеличения расчетного перепада температур воды в системе отопления.

Системы отопления с «опрокинутой» циркуляцией появились, когда было разрешено применять для многоэтажных жилых и общественных зданий температуру теплоносителя до 105 °C. Такие системы отопления проектировались для зданий, имеющих чердак. Но так как температура теплоносителя в системе отопления принималась выше 100 °C, для того чтобы не проверять возможность вскипания теплоносителя при устройстве верхнего розлива, подающую магистраль прокладывали в подвале, а обратную – на чердаке. Так как в качестве нагревательных приборов применялись либо конвекторы «Комфорт-20» (регулирование теплоотдачи по «воздуху», опрокидывание циркуляции даже теоретически невозможно), либо радиаторные узлы со смещенным замыкающим участком и регулирующим клапаном на одной подводке, при соблюдении требуемых расходов воды в стоках (см. ниже), то опрокидывания циркуляции в системах отопления таких конструкций не происходило.

Сегодня изменились конструкции зданий, появилось новое отопительное оборудование, появились требования по учету энергоносителей. Все это привело и к изменению систем отопления многоквартирных жилых зданий. Согласно п. 6.2.5, прил. Д СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» выбор системы отопления, вид теплоносителя, максимально допустимую температуру теплоносителя, тип отопительных приборов следует предусматривать с учетом назначения отапливаемых помещений в жилых, общественных и административно-бытовых зданиях. Для жилых зданий рекомендуется поквартирная водяная система отопления с радиаторами или конвекторами при температуре теплоносителя не более 95 °C, для общественных и административно-бытовых зданий – водяная с радиаторами, панелями и конвекторами при температуре теплоносителя для двухтрубных систем не более 95 °C; для однотрубных – не более 105 °C. Для систем внутреннего теплоснабжения с температурой воды 100 °C и выше следует предусматривать мероприятия, предотвращающие вскипание воды в многоэтажных зданиях; прокладку трубопроводов в специальных шахтах (п. 6.1.6 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»). Максимальная температура поверхности отопительных приборов систем отопления жилых зданий ограничивается 90 °C (п. 4.4, СанПиН 2.1.2.2645–10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях»). В связи

с этим ограничением отпадает необходимость использовать теплоноситель с температурой выше 100 °C, так как в этом случае для выполнения условия (п. 4.4, СанПиН 2.1.2.2645–10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях») требуется в подающей магистрали потерять 15 °C, т.е. почти 40 % имеющегося располагаемого перепада температур, а это непозволительная роскошь. Таким образом отпадает необходимость в проектировании систем отопления с «опрокинутой циркуляцией» – при прокладке подающей магистрали по чердаку не надо проверять условие «невскипания» воды, так как ее температура ниже 100 °C ( $T_{lp} = 95$  °C).

Поквартирная система отопления во многоэтажных жилых домах (МКД) является наилучшей как с точки зрения коммерческого поквартирного учета теплоты (п. 6.1.3, п. 6.3.4 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»), так и с точки зрения обеспечения необходимого теплового и гидравлического режимов работы системы отопления всего здания.

Согласно п. 6.1.3 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» допускается по заданию на проектирование предусматривать организацию поквартирного приборного учета расхода теплоты (т.е. у каждого отопительного прибора), многие проектировщики продолжают проектировать в МКД традиционные однотрубные системы отопления как с П-образными стояками, так и с «опрокинутой циркуляцией». При этом совершенно не понимая принципов работы таких систем и не задумываясь о последствиях принятых технически неграмотных решений.

Основная особенность однотрубной системы отопления – наличие малого циркуляционного кольца.

Малыми циркуляционными кольцами (МЦК) в однотрубной системе отопления являются радиаторные узлы, в которые входят замыкающие участки, подводки к нагревательным приборам, терmostатическая, запорная арматура и сам нагревательный прибор.

Расход воды через нагревательный прибор в однотрубной системе отопления с замыкающим участком определяется коэффициентом затекания воды в нагревательный прибор:

$$\alpha = G_{\text{пп}} / G_{\text{ст}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{пп}}$  – расход воды, проходящей через нагревательный прибор, кг/ч;

$G_{\text{ст}}$  – расход воды в стояке, кг/ч;

$\alpha = 0$  – нагревательный прибор закрыт;

$\alpha = 1$  – нагревательный прибор открыт полностью;

$0 < \alpha < 1$  – частичное затекание воды в нагревательный прибор (табл. 1).

Коэффициент затекания воды в нагревательный прибор зависит от принятой схемы обвязки нагревательного прибора, а именно применения трехходовых (КЛТ) или двухходовых (КЛП) клапанов.

Расход воды через нагревательный прибор в системе отопления с трехходовым клапаном (КЛТ) равен расходу воды по стояку, так как рабочее (расчетное) положение КЛТ «полностью открыто». Стойк в этом случае получается проточно-регулируемым. При любой схеме движения воды

Таблица 1. Усредненные коэффициенты затекания воды в нагревательный прибор для трех- и двухходовых терmostатических клапанов однотрубных систем отопления (алюминиевые радиаторы)

Фирма-изготовитель и тип регулирующей арматуры	Коэффициент затекания $\alpha$ при сочетании диаметров труб радиаторного узла $D_{ct}/D_{3y}/D_{pr}$ (мм)			
	КЛП		КЛТ	
	15×15×15	20×15×15	20×15×20	20×20×20
HERZ Armaturen (Австрия), тип TS-E, Ду 15 мм	0,25	0,2	0,255	—
HERZ Armaturen (Австрия), тип TS-E, Ду 15 мм*	0,37	0,245	0,375	—
HERZ Armaturen (Австрия), тип TS-E, Ду 20 мм	—	—	0,255	—
HERZ Armaturen (Австрия), тип TS-E, Ду 20 мм *	—	—	0,375	—
HERZ Armaturen (Австрия), тип CALIS TS, Ду 20 мм **	—	—	—	0,8
DANFOSS (Дания), тип RTD-G, Ду 15 мм	0,24	0,195	0,26	—
DANFOSS (Дания), тип RTD-G, Ду 20 мм	—	—	0,27	—
Oventrop (Германия), тип AZ, Ду 15 мм	0,21	0,175	0,22	—
Oventrop (Германия), тип M, Ду 15 мм	0,23	0,19	0,245	—
Oventrop (Германия), тип 118 05, Ду 20 мм **	—	—	—	0,55
Heimeier (Германия), тип 2242, Ду 15 мм	0,22	0,185	0,24	—
MEIBIES (Германия), тип RW 123 74, Ду 20 мм **	—	—	—	0,49

Примечания: КЛП – клапан проходной; КЛТ – клапан трехходовой; \* – с термостатическим элементом HERZ 7262; \*\* – при полностью открытом трехходовом клапане.

по стояку – «сверху вниз» (рис. 1, *a*) или «снизу вверх» (рис. 1, *б*) направление движения воды через прибор соответствует направлению движения воды в стояке.

При применении современных терmostатических клапанов коэффициент затекания воды в прибор менее 1 (см. табл. 1), так как значения коэффициентов затекания при установке терmostатов определены согласно EN 215 при настройке их на режим 2K (2 °C). Это общепринятое в европейской практике условие настройки терmostатов позволяет потребителю не только снижать температуру воздуха в помещении, но и по его желанию ее повышать. Очевидно, при таком методе определения коэффициента затекания потребная площадь поверхности нагрева отопительного прибора будет больше, чем при расчете, исходя из гидравлических характеристик полно-

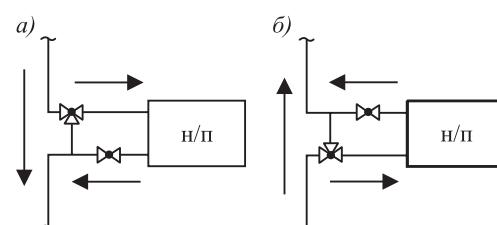


Рис. 1. МЦК в однотрубной системе отопления с КЛТ  
*а* – движение воды по стояку «сверху вниз»;  
*б* – движение воды по стояку «снизу вверх»

стью открытого клапана, характерного для отечественной практики инженерных расчетов в случае применения обычных кранов и вентиляй.

Все производители терmostатических клапанов стремятся к повышению коэффициента затекания воды: чем больше  $\alpha$ , тем больше расход воды через нагревательный прибор, большее средняя температура воды в приборе и, следовательно, меньше его поверхность нагрева.

Для определения коэффициента затекания и расхода воды через нагревательный прибор рассмотрим, что происходит в радиаторном узле (рис. 2).

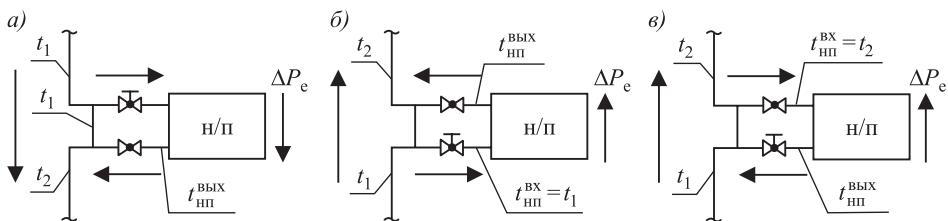


Рис. 2. МЦК в однотрубной системе отопления с КЛП

а – движение воды по стояку «сверху вниз»; б – движение воды по стояку «снизу вверх»;  
в – то же с «опрокидыванием» циркуляции

Средняя температура воды в приборе в этом случае определяется по формуле

$$t_{\text{пп}}^{\text{cp}} = 0,5 \cdot (t_1 + t_{\text{пп}}^{\text{вых}}), \quad (2)$$

где  $t_{\text{пп}}^{\text{cp}}$  – средняя температура воды в приборе;

$t_{\text{пп}}^{\text{вых}}$  – температура выхода воды из прибора;

$t_1$  – температура входа воды в прибор.

Температура на выходе из прибора определится как

$$t_{\text{пп}}^{\text{вых}} = t_{\text{пп}}^{\text{вх}} - \frac{0,86 \cdot Q_{\text{пп}}}{G_{\text{пп}}} = t_1 - \frac{0,86 \cdot Q_{\text{пп}}}{\alpha \cdot G_{\text{ст}}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{пп}}$  – тепловая нагрузка на нагревательный прибор, Вт;

$G_{\text{ст}}$  – расход воды через стояк, кг/ч.

Так как средняя температура воды в нагревательном приборе всегда меньше температуры воды в замыкающем участке, то в МЦК возникает гравитационное давление

$$\Delta P_e = h_{\text{пп}} \cdot g \cdot (\rho_{\text{пп}} - \rho_{\text{зы}}) = \beta \cdot h_{\text{пп}} \cdot g \cdot (t_1 - t_{\text{пп}}^{\text{cp}}), \quad (4)$$

где  $\Delta P_e$  – гравитационное давление в МЦК, Па;

$g = 9,81$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h_{\text{пп}}$  – высота нагревательного прибора по осям подводящих теплопроводов, м;

$\rho_{\text{пп}}, \rho_{\text{зы}}$  – плотности воды в нагревательном приборе и замыкающем участке, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – среднее уменьшение плотности воды при увеличении ее температуры на 1 °C.

При гидравлической увязке МЦК потери давления в замыкающем участке должны быть равны потерям давления в малом циркуляционном кольце (подводках к нагревательному прибору, арматуре и самом нагревательном приборе), но возникновение гравитационного давления может изменить распределение расхода, поэтому необходимо выполнить условие

$$(R \cdot l + Z)_{3y} = (R \cdot l + Z)_{\text{пп}} \pm \Delta P_e, \text{ Па}, \quad (5)$$

где  $R$  – удельное падение давления по длине, Па/м;

$l$  – длина, м;

$Z$  – падение давления в местных сопротивлениях, Па;

$(R \cdot l + Z)_{3y}$  – падение давления в замыкающем участке (по длине и в местных сопротивлениях), Па;

$(R \cdot l + Z)_{\text{пп}}$  – падение давления в нагревательном приборе и подводках к нему (по длине и в местных сопротивлениях), Па.

Для схемы движения воды в стояке «сверху вниз» (см. рис. 2, *a*) гравитационное давление  $\Delta P_e$  учитывается со знаком «–». Из уравнения (5) следует, что возникающее в МЦК дополнительное гравитационное давление должно быть погашено в подводках к нагревательному прибору. Возникающее гравитационное давление при такой схеме движения теплоносителя способствует увеличению коэффициента затекания воды в нагревательный прибор.

Для схемы движения воды в стояке «снизу вверх» (см. рис. 2, *b*) гравитационное давление  $\Delta P_e$  учитывается со знаком «+». Если возникающее в МЦК гравитационное давление не учесть, произойдет «опрокидывание» циркуляции в МЦК, т.е. вода по стояку будет двигаться «снизу вверх», а через нагревательный прибор «сверху вниз». Это приведет к понижению температуры воды на входе в нагревательный прибор ( $t_{\text{пп}}^{\text{вх}} < t_1$ , рис. 2, *в*) и, как следствие, к занижению поверхности нагрева прибора и «недотопу» помещений. Сам по себе факт опрокидывания циркуляции не приводит к нарушению работоспособности системы отопления, если это опрокидывание было учтено при расчетах поверхности нагрева отопительных приборов. Однако стандартные расчеты систем отопления не предполагают этого опрокидывания. В расчетных программных комплексах заложено соответствие схем движения воды в стояке и нагревательном приборе, т.е. если в стояке движение теплоносителя осуществляется «снизу вверх», то это предполагает и движение воды в нагревательном приборе «снизу вверх». Из выполнения этого условия построена стандартная методика теплового расчета систем отопления.

Из практики эксплуатации П-образных систем отопления известно явление «опрокидывания» циркуляции в подающих (подъемных) стояках. Оно возникает в случае отключения и последующего включения нагревательного прибора из-за остывания воды в нем. Такое явление происходит, когда потери давления в замыкающем участке при пропуске по нему расхода воды стояка будут меньше противодавления, создаваемого охлажденной водой в радиаторе (вода с температурой 25 °C и ниже). Во избежание возникновения такого явления (опрокидывания циркуляции в подъемной ветке П-образного стояка) расход воды в П-образных стояках должен быть не менее определенной величины [1], представленной в табл. 2.

Таблица 2. Минимальные расходы воды в стояках однотрубных систем отопления с П-образными стояками для исключения опрокидывания циркуляции в МЦК

Эскиз узла	Диаметры, мм			Минимальный расход воды по стояку, кг/ч
	стояк	замыкающий участок	подводки	
	15	15	15	200
	20	15	20	275
	20	20	20	
	25	20	25	535
	25	25	25	

Эти расходы, определенные из условия «неопрокидывания» циркуляции, соответствуют расходам воды по требуемой скорости воды в стояке из условия выноса воздуха из верхней части П-образного стояка системы отопления (не менее 0,25 м/с).

Условие «неопрокидывания» циркуляции в МЦК оговорено в п. 6.2.7 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»: потери давления в стояках однотрубных систем отопления с нижней разводкой подающей и верхней разводкой обратной магистрали должны составлять не менее 300 Па на каждый метр высоты стояка.

С учетом вышеизложенного однотрубные П-образные системы отопления и системы отопления с «опрокинутой» циркуляцией не следует проектировать с установкой в радиаторном узле двухходовых клапанов, так как для схем обвязки нагревательных приборов с современными терmostатическими клапанами выполнить условие равенства потерь напора в замыкающем участке и через нагревательный прибор невозможно. Согласно п.6.4.9 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» в жилых и общественных зданиях у отопительных приборов следует, как правило, устанавливать автоматические терморегуляторы, а для обеспечения нормальной работы терморегулятора перепад давлений на нем должен быть не менее 0,003–0,005 МПа [2]. Об этом говорится и в методических рекомендациях по проектированию систем отопления НТФ ООО «ВИТАТЕРМ»: при движении воды в секционном радиаторе по схеме «снизу вверх» в ходе исследований было установлено, что теплоноситель движется по этой схеме лишь по одной – двум секциям, ближайшим к подводящим боковым теплопроводам, а по остальным по схеме «сверху вниз», причем с заметно меньшим расходом теплоносителя и, как следствие, с меньшей средней температурой воды [3, 4].

Проведенные проверочные теплогидравлические расчеты однотрубной системы отопления с «опрокинутой» циркуляцией построенного 18-этажного жилого здания, при проектировании которой не была учтена особенность работы малых циркуляционных колец при установке в обвязке нагревательных приборов проходных клапанов, были выполнены для различных фирм-производителей (FAR, GIACOMINI, DANFOSS, HERZ). Расчеты выполнялись при помощи расчетно-графических программных продуктов

Таблица 3. Итоги расчетов малых циркуляционных колец при обвязке клапанами различных фирм-производителей

Бренд	FAR	GIACOMINI	DANFOSS	HERZ
Артикул	FAR 1350	GIACOMINI R402H	DANFOSS RA-G	HERZ TS-E
D <sub>y</sub> , мм	20	20	20	20
K <sub>vs</sub> , м <sup>3</sup> /ч	2,6	3,52	3,81	5,1
α, %	32	17	27	19
Q <sub>деф</sub> , %	4–6	15–20	8–11	10–15
G <sub>деф</sub> , %	22	58	31	44

серии CO, SANKOM. Краткие выводы по каждому варианту расчета приведены в табл. 3.

Также производился расчет с применением трехходового клапана для однотрубных систем отопления без предварительной настройки HERZ CALIS-TS 3D, с возможностью установки термостатической головки (рис. 3). В расчетном режиме 2К коэффициент затекания воды в прибор отопления при применении этого клапана D<sub>y</sub> = 20 мм составляет 50 %, K<sub>vs</sub> = 4,2 м<sup>3</sup>/ч.

Согласно расчетам коэффициент затекания воды в прибор отопления в среднем равен 0,5, а коэффициент затекания теплоносителя в прибор отопления достаточен для полного покрытия тепловых потерь помещения.



Рис. 3. Клапан HERZ CALIS-TS 3D

**Выводы.** 1. При проектировании однотрубной системы отопления с П-образными стояками в обвязке радиаторного узла необходимо устанавливать трехходовой клапан для предотвращения опрокидывания циркуляции в малом циркуляционном кольце. При проектировании в обвязке радиаторного узла двухходового клапана наблюдается опрокидывание циркуляции во всех вариантах расчета.

2. Если при проектировании однотрубной системы отопления в обвязке радиаторного узла установлен двухходовой клапан, то при тепловом расчете нагревательного прибора необходимо учесть опрокидывание циркуляции в малом циркуляционном кольце (это приведет к увеличению поверхности нагрева на 15–20 % по сравнению с п. 1 выводов).

3. Проектировать систему отопления с «опрокинутой циркуляцией» вообще не следует, так как расчетная температура воды в системе отопления не должна превышать 95 °C (п. 6.2.5, прил. Д СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»). Вскипание воды с такой температурой не произойдет, поэтому подающую магистраль можно прокладывать на техническом этаже, а обратную магистраль – в подвале здания. При такой схеме прокладки магистралей системы отопления «опрокидывание» циркуляции невозможно при любой схеме подключения радиаторных узлов к стояку.

4. Неправильно принятые технические решения на стадии проектирования однотрубной системы отопления не приводят к «неработоспособности» системы (система отопления в здании работает), но приводят к:

- увеличению общего расхода теплоносителя на систему отопления для обеспечения требуемого теплового комфорта в помещениях на 22–58 % в зависимости от выбранного двухходового клапана;
- увеличению требуемого напора циркуляционного насоса в отдельных случаях более чем в 2,5 раза;
- увеличению потребления теплоты на здание в целом от 15 до 32 % по различным месяцам отопительного сезона из-за тепловой разрегулировки системы отопления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. I. Отопление / В.Н. Богословский и др.; под ред. И.Г. Староверова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
2. Сасин В.И. Термостаты в российских системах отопления // АВОК. 2004. № 5. С. 64–68.
3. Рекомендации по применению секционных радиаторов итальянского предприятия GLOBAL (3-я ред.). М., НТФ ООО «ВИТАТЕРМ», 2010. 36 с.
4. Рекомендации по применению биметаллических секционных отопительных радиаторов «Сантехпром БМ», «Сантехпром БМН» и «Сантехпром БМН Авто», изготавливаемых ОАО «Сантехпром». М., НТФ ООО «ВИТАТЕРМ», 2010. 43 с.

**Рохлецова Татьяна Лаврентьевна**, канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Никulin Сергей Викторович**, инж., технический специалист  
ООО «ГЕРЦ Инженерные системы»

**Кияница Лаврентий Александрович**, асп.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,  
ст. инженер ИТП ООО «Кельвион Машимпэкс»

Получено 16.06.16

**Rokhletsova Tat'yana Lavrent'evna**, PhD, Ass. Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Nikulin Sergey Viktorovich**, Engineer, Technical Specialist  
OJSC «GERZ Engineering systems», Russia

**Kiyanitsa Lavrentiy Alexandrovich**, Post-graduate Student

Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;  
Senior Engineer, Individual Heating units Division, «Kelvion Mashimpeks», Russia

#### **DESIGNING SINGLE-PIPE HEATING SYSTEM IN RESIDENTIAL UNITS**

It is shown that the correct choice of heating circuit in the building at the stage of decision-making depends on its design capacity for work of, performance and capabilities of-ECONOMY. The brief overview of the requirements for the design of one-pipe heating systems in Russia in the historical section. Substantiates the necessity installing a three-way valve in the trim of the radiator unit at designing one-pipe heating system with a U-shaped

one-hundred-yaks to prevent overturning circulation in small compass Zion ring. The authors showed unreasonableness design of heating systems with circulation overturned in the modern realities of building buildings.

**Key words:** single-pipe heating system, radiator assembly, a small heating circuit, heating system with an inverted loop.

## REFERENCES

1. Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie ustroystva. V 3 ch. Ch. 1. Otoplenie [Internal sanitary-engineering equipment. 3 parts. P. I. Heating]. V. Bogoslovskiy and others; Edit. I. Staroverova. 4th edit. Moscow, Stroyizdat, 1990. 344 p. (in Russian)
  2. S a s i n V.I. Termostaty v rossiyskikh sistemakh otoplenniya [Thermostats in Russian heating systems]. ABOK. 2004. No. 5. Pp. 64–68. (in Russian)
  3. Rekomendatsii po primeneniyu sektsionnykh radiatrorov ital'yanskogo predpriyatiya GLOBAL (3-ya red.) [Usage recommendations of Link Radiator produced by Italian Company GLOBAL. 3<sup>rd</sup> edit.]. Moscow, NTF OOO «VITATERM», 2010. 36 p. (in Russian)
  4. Rekomendatsii po primeneniyu bimetallicheskikh sektsionnykh otopitel'nykh radiatrorov «Santekhprom BM», «Santekhprom BMN» i «Santekhprom BMN Avto», izgotavlivayemykh OAO «Santekhprom» [Usage recommendations of bimetallic link radiators «Santekhprom BM», «Santekhprom BMN» and «Santekhprom BMN Auto», produced by OJSC «Santekhprom»]. Moscow, NTF OOO «VITATERM», 2010. 43 p. (in Russian)
-

УДК 697.34 : 697.444

М.С. КОНОНОВА

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИИ ТЕПЛОТЫ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Описано явление перерасхода тепловой энергии на отопление зданий при центральном качественном регулировании, связанное с «изломом» температурного графика тепловой сети. При различных расчетных температурах теплоносителя и наружного воздуха приведены результаты вычисления температуры наружного воздуха в точке «излома» температурного графика. Рассчитана потенциальная экономия теплоты на основе графиков продолжительности тепловых нагрузок для 20 городов России, расположенных в различных климатических условиях. Показано, что наибольшая экономия при автоматическом регулировании подачи теплоносителя у потребителей тем выше, чем ниже расчетная температура теплоносителя в подающей магистрал и чем выше расчетная температура воздуха.

**Ключевые слова:** экономия энергии на отопление, график продолжительности тепловой нагрузки, излом температурного графика, энергосберегающий эффект, централизованное теплоснабжение.

Наиболее распространенным способом регулирования подачи теплоты в системах теплоснабжения городов является центральное качественное регулирование, при котором на выходе из источника теплоты температура теплоносителя поддерживается в соответствии с температурным графиком, приведенным на рис. 1 [1].

По графику видно, что при понижении температуры наружного воздуха температура теплоносителя в тепловой сети увеличивается. Однако в диапазоне температур наружного воздуха от +8 до  $t_{iz}$  температура не меняется (график имеет излом в точке с температурой подающего теплоносителя 70 °C). Этот излом объясняется тем, что тепловая сеть, как правило, помимо систем отопления обеспечивает нагрев воды для систем горячего водоснабжения зданий, поэтому температура теплоносителя не должна опускаться ниже заданной (т.е. 70 °C) [1].

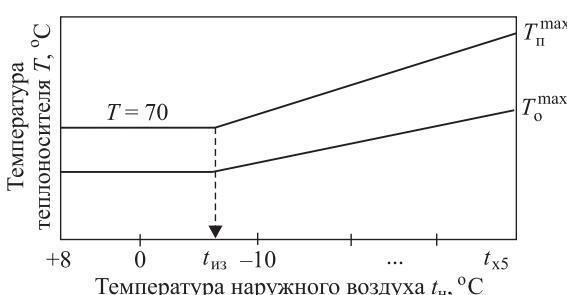


Рис. 1. Зависимость температуры теплоносителя в тепловой сети от температуры наружного воздуха  
 $T_n^{max}$ ,  $T_o^{max}$  – расчетная температура теплоносителя в подающей и обратной магистрали тепловой сети;  $t_{x5}$  – температура наружного воздуха в точке излома температурного графика

$T_n^{max}$ ,  $T_o^{max}$  – расчетная температура теплоносителя в подающей и обратной магистрали тепловой сети;  $t_{x5}$  – температура наружного воздуха в точке излома температурного графика

Таким образом, в указанном диапазоне температур

(от +8 до  $t_{из}$ ) в систему отопления теплоноситель поступает с более высокой температурой, чем это требуется – происходит так называемый «перетоп» зданий, связанный с особенностями такого способа регулирования. Устранить этот перерасход энергии можно путем установки приборов автоматического регулирования температуры теплоносителя непосредственно у потребителей (в индивидуальных тепловых пунктах зданий).

Выяснение точного значения потенциальной экономии энергии является актуальной задачей, поскольку этот параметр может стать решающим при принятии решения о необходимости применения дорогостоящих приборов автоматического регулирования в конкретном здании.

Вопросу оценки возможного сокращения вышеописанного явления «перетопа» зданий посвящено достаточно много исследований [2–6], при этом потенциал экономии тепловой энергии оценивается в очень широком диапазоне – от 4 % [5] до 70 % [2]. Такой широкий разброс объясняется тем, что значение температуры в точке излома графика  $t_{из}$  и соответственно связанный с ней потенциал экономии зависит от двух параметров: расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления (температуры наиболее холодной пятидневки) и расчетной температуры теплоносителя. Варианты сочетаний этих параметров приведены в табл. 1, из которой видно, что значение  $t_{из}$  тем больше, чем выше расчетная температура наружного воздуха и расчетная температура теплоносителя.

Но по значению температуры наружного воздуха в точке излома графика нельзя оценить потенциальную экономию энергии на отопление. Это можно

**Таблица 1. Значения температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика  $t_{из}$**

Температура наиболее холодной пятидневки, °C	Расчетная температура теплоносителя в подающей магистрали, °C			
	95	110	130	150
-20	-4,75	-0,17	3,64	6,19
-21	-5,18	-0,67	3,23	5,84
-22	-5,79	-1,17	2,82	5,49
-23	-6,41	-1,68	2,42	5,15
-24	-7,03	-2,18	2,00	4,81
-25	-7,64	-2,69	1,59	4,46
-26	-8,26	-3,19	1,18	4,12
-27	-8,87	-3,69	0,77	3,77
-28	-9,48	-4,20	-0,37	3,43
-29	-10,09	-4,70	-0,04	3,58
-30	-10,71	-5,21	-0,45	2,74
-31	-11,32	-5,71	-0,86	2,39
-32	-11,94	-6,22	-1,27	2,05
-33	-12,55	-6,72	-1,68	1,70
-34	-13,17	-7,22	-2,09	1,36
-35	-13,78	-7,73	-2,50	1,01
-36	-14,39	-8,23	-2,91	0,66
-37	-15,01	-8,74	-3,32	0,32

сделать на основе годового графика продолжительности тепловой нагрузки, который строится для заданных климатических условий по методике, приведенной в [1]. На рис. 2 приведен общий вид этого графика. Площадь фигуры  $ABCD$  соответствует годовому расходу теплоты на отопление, а площадь заштрихованной фигуры  $EFC$  соответствует перерасходу теплоты за счет «излома» температурного графика, приведенного на рис. 1. Соответственно, отношение площадей  $S_{EFC}/S_{ABCD}$  показывает долю годовой экономии теплоты, которую можно получить за счет применения приборов автоматического регулирования у потребителей.

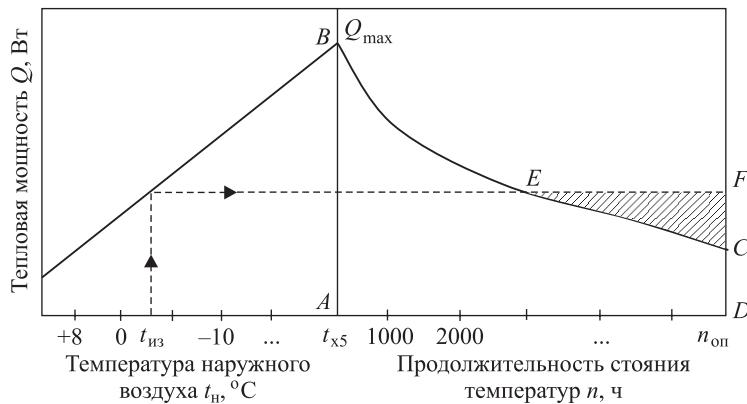


Рис. 2. График годовой продолжительности тепловой нагрузки  
 $Q_{\max}$  – расчетная тепловая мощность отопления;  $n_{\text{оп}}$  – продолжительность отопительного периода;  $t_{x5}, t_{iz}$  – см. обозначения к рис. 1

Для оценки вышеописанной величины потенциальной экономии были выбраны 20 городов России, расположенные в различных климатических условиях, для которых были проведены расчеты в соответствии с алгоритмом, приведенным в [6]. Для каждого города были построены графики продолжительности тепловых нагрузок на основе данных, приведенных в табл. 2. Затем, используя значения температуры наружного воздуха в точке «излома» (см. табл. 1), были построены зоны «перетопа» (см. рис. 2) и определены отношения площадей  $S_{EFC}/S_{ABCD}$ .

Таблица 2. Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже данной

Город	Температура наружного воздуха, °C								
	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Астрахань	–	3	32	114	291	601	1238	2460	4128
Волгоград	–	1	13	126	420	930	1650	3100	4368
Брянск	–	2	17	89	356	870	1730	3210	4950
Воронеж	–	7	34	144	470	1020	1850	3380	4780
Курск	–	3	15	97	343	872	1740	3260	4750
Москва	3	15	47	172	418	905	1734	3033	4910
Саратов	–	2	38	232	665	1320	220	2570	4780

**Окончание табл. 2**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Смоленск	—	2	23	112	381	964	1852	3241	5050
Пенза	2	11	55	232	670	1420	2390	3670	4950
Тверь	—	14	48	160	516	1080	2020	3620	5250
Хабаровск	—	1	10	55	254	656	1420	3060	4550
Иваново	5	42	102	275	635	1300	2070	3800	5210
Н. Новгород	2	25	99	281	685	1350	2320	3820	5230
Иркутск	58	172	458	864	1730	2600	3300	4320	5780
Архангельск	10	48	150	380	820	1580	2670	4300	6024
Пермь	15	75	220	504	1050	1840	2850	4080	5420
Тюмень	25	118	294	670	1270	2120	3050	4050	5280
Красноярск	82	210	468	828	1360	2110	3000	4050	5650
Новосибирск	89	205	488	910	1550	2430	3290	4270	5450
Омск	64	195	485	950	1660	2480	3310	4250	5280

Полученные значения, выраженные в процентах, приведены в табл. 3.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что наибольший энергосберегающий эффект можно получить при графике с расчетной температурой теплоносителя 95 °C, он составляет в среднем от 35 до 50 % от годового теплопотребления. Наименьший эффект соответствует расчетной температуре теплоносителя 150 °C, он составляет в среднем около 4 % годового потребления.

**Таблица 3. Значения потенциальной экономии теплоты при центральном качественном регулировании за счет устранения «излома» температурного графика**

Наименование города	Температура наиболее холодной пятидневки $t_{x5}$ , °C	Продолжительность отопительного периода, $z_{\text{оп}}$ , сут	Средняя температура за отопительный период, $t_{\text{оп}}$ , °C	Количество градусо-суток отопительного периода, °C·сут	Относительная экономия теплоты, %, при расчетной температуре теплоносителя в подающей магистрали			
					95 °C	110 °C	130 °C	150 °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Астрахань	-21	164	-0,8	3411	50,6	28,5	11,0	6,2
Волгоград	-22	176	-2,3	3925	41,0	21,9	7,8	1,2
Брянск	-24	199	-2,0	4378	50,1	28,3	11,5	2,1
Воронеж	-24	190	-2,5	4275	41,8	22,5	8,3	1,2
Курск	-24	194	-2,3	4326	48,9	27,3	11,0	2,1
Москва	-25	205	-2,2	4551	35,5	17,2	4,2	0,9
Саратов	-25	188	-3,5	4418	32,2	16,5	6,0	1,6
Смоленск	-25	209	-2,0	4598	34,9	16,8	4,2	0,9
Пенза	-27	200	-4,1	4820	45,2	25,2	10,4	2,8
Тверь	-29	218	-3,0	5014	47,7	26,4	10,2	2,1
Хабаровск	-29	204	-9,5	6018	22,2	11,4	4,8	1,9
Иваново	-30	219	-3,9	5234	38,2	19,5	6,0	0,4
Н. Новгород	-31	215	-4,1	5182	65,1	40,4	20,9	9,3

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Иркутск	-33	232	-7,7	6426	39,2	22,1	10,1	4,3
Архангельск	-33	250	-4,5	6125	56,7	33,8	16,0	5,9
Пермь	-35	225	-5,5	5738	42,8	23,4	9,3	3,1
Тюмень	-35	223	-6,9	5999	41,0	22,0	8,3	2,4
Красноярск	-37	233	-6,7	6221	58,2	35,9	18,9	9,0
Новосибирск	-37	221	-8,1	6221	50,5	30,1	14,8	6,6
Омск	-37	216	-8,1	6070	50,0	29,8	14,9	7,1

Кроме того, при анализе результатов не выявлено однозначной зависимости исследуемой величины потенциальной экономии от основных климатических характеристик отопительного периода, в том числе и от количества градусосуток.

Принимая во внимание, что приведенные в табл. 3 результаты были основаны на климатических данных за один сезон, и допуская, что они могут отличаться от принятых в большую или меньшую сторону, можно предложить для оценочных расчетов предполагаемой экономии следующие значения,

приведенные в табл. 4, которые не привязаны к конкретному климатическому району, а зависят только от расчетной температуры теплоносителя.

Кроме того, полученные результаты будут иметь значение при определении оптимальных параметров транспортировки теплоносителя в

тепловых сетях [7–8], которые являются одним из основных элементов системы централизованного теплоснабжения. При этом следует учитывать, что от расчетной температуры теплоносителя будет зависеть схемное решение тепловых пунктов присоединяемых зданий и затраты на их эксплуатационное обслуживание.

Таким образом, полученные результаты имеют практическое значение и могут быть использованы для вычисления годовой экономии при оценке срока окупаемости приборов автоматического регулирования. При этом следует учитывать, что реальный энергосберегающий эффект может быть выше в зависимости от схемного решения регулирующего оборудования за счет влияния других факторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 1999. 472 с.
- Шелудько Л.П. Анализ возможности сокращения «перетопа» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети // Новости теплоснабжения. 2004. № 5. С. 35–38.
- Панферов В.И. Об экономии теплоты при автоматизации систем отопления зданий // Вестн. ЮУрГУ. Серия Строительство и архитектура. 2016. № 2. С. 52–57.

4. Кононова М.С. Выбор приоритетных энергосберегающих мероприятий при реконструкции систем отопления зданий // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 10. С. 47–51.
5. Ханнанова В.Н. Анализ энергетической эффективности методов регулирования температуры в помещениях // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2014. № 23. С. 152–158.
6. Кононова М.С. Алгоритм расчета энергосберегающего потенциала зданий при автоматическом регулировании систем отопления // Науч. вестн. Воронеж. гос. архит.-строит. ун-та. Серия Информ. технологии в строит., соц. и экон. системах. 2015. № 2(6). С. 71–74.
7. Кононова М.С. Определение оптимальных параметров транспортировки теплоносителя в тепловых сетях // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 11–12. С. 56–61.
8. Кононова М.С. О влиянии температуры теплоносителя на технико-экономические показатели проектируемых тепловых сетей // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 10. С. 67–73.

**Кононова Марина Сергеевна**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kniga16@mail.ru  
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 02.06.16

**Kononova Marina Sergeevna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: kniga16@mail.ru  
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

## **TO THE PROBLEM OF ESTIMATION OF SAVING OF HEAT AT AUTOCONTROL OF TEMPERATURE OF THE HEAT TRANSFER IN SYSTEMS OF THE CENTRALIZED HEAT SUPPLY**

The appearance of the overexpenditure of a thermal energy on heating of buildings at central qualitative regulation is circumscribed, bound with «break» of the temperature graph of a thermal web. At different calculated temperatures of the heat transfer medium and free air the computed results of temperature of a free air in a point of «break» of the temperature graph are reduced. The potential saving of a heat is calculated on the basis of the graphs of a duration of thermal loads for twenty cities of Russia located in different climatic conditions. The greatest saving is obtained, that at autocontrol of feeding of the heat transfer medium for customers is above, than lower is the calculated temperature of the heat transfer medium in a giving turnpike, and than higher is the calculated temperature of air.

**Keywords:** saving of energy on heating, graph of a duration of thermal load, break of the temperature graph, efficiency of saving of energy, centralized heat supply.

## **REFERENCES**

1. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti: uchebnik dlya vuzov* [Central heating and thermal webs: the textbook for high schools]. Moscow, Publishing house MEI, 1999. 472 p. (in Russian)
2. Shelduk L.P. *Analiz vozmozhnosti sokrashcheniya «peretopa» teplovykh potrebiteley pri «izlome» temperaturnogo grafika teploseti* [The analysis of possibility of decrease of «overheat» of thermal customers at «break» of the temperature graph of a thermal web]. Novosti teplosnabzheniya [News of heating]. 2004. No. 5. Pp. 35–38. (in Russian)

3. Panferov V.I. Ob ekonomii teploty pri avtomatizatsii sistem otopleniya zdaniy [On heat savings in case of heating automation]. Vestnik YuUr Gu. Seriya Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture]. 2016. No. 2. Pp. 52–57. (in Russian)
4. Kononova M.S. Vybor prioritetnykh energosberегayushchikh meropriyatiy pri rekonstruktsii sistem otopleniya zdaniy [The choice of priority in power saving means to reconstruct buildings heat supply systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2006. No. 10. Pp. 47–51. (in Russian)
5. Khananova V.N. Analiz energeticheskoy effektivnosti metodov regulirovaniya temperatury v pomeshcheniyakh [The analysis of power efficiency of methods of an attemperation in dwelling-house]. Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta [Bulletin the Kazan Technological University]. 2014. No. 23. Pp. 152–158. (in Russian)
6. Kononova M.S. Algoritm rascheta energosberегayushchego potentsiala zdaniy pri avtomaticheskem regulirovaniyu sistem otopleniya [Algorithm of calculation saving means of potential of buildings at autocontrol of heater systems]. Nauchnyy vestnik Voronezh. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Seriya Informatsionnye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomiceskikh sistemakh [The scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series Information techniques in building, social and economical systems]. 2015. No. 2(6). Pp. 71–74. (in Russian)
7. Kononova M.S. Opredelenie optimal'nykh parametrov transportirovki teplonositelya v teplovyykh setyakh [Definition of Optimal Heat Carrier Transportation Parameters in Heat Network]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2005. No. 11–12. Pp. 56–61. (in Russian)
8. Kononova M.S. O vliyanii temperatury teplonositelya na tekhniko-ekonomicheskie pokazateli proektiruemых teplovyykh setey [About temperature effect of the heat transfer medium on technological indexes of designed thermal webs]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 10. Pp. 67–73. (in Russian)

# НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ



УДК 711.4-112

С.В. ЛИТВИНОВ

## ЭКОЛОГИЯ И АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Рассматривается иерархия пространств архитектурно-градостроительной среды (интерьер – здание – город – расселение). С целью выявления взаимосвязи предметов экологии и архитектуры (и градостроительства) эксперты путем составлен перечень факторов взаимодействия архитектурно-градостроительной среды с природным окружением на каждом пространственном уровне и произведена комплексная оценка взаимовлияния этих факторов. Выявлены наиболее существенные (определяющие) факторы этого взаимодействия; факторы ранжированы по степени их активности и критичности (важности). Ранжирование факторов позволило определить наиболее актуальные приемы и принципы формирования пространства, применение которых в практике архитектурного и градостроительного проектирования и управления, а также в практике реализации проектных решений на соответствующем пространственном уровне реализует экологический подход к городскому пространству.

**Ключевые слова:** урбэкология, архитектурное пространство, экологический подход к городскому пространству.

Архитектура непременно создает материально организованную среду, необходимую людям для их жизни и деятельности. Общеизвестно, что в середине XX в. архитектурная профессия разделилась на две ветви: «объемное проектирование» (зданий и сооружений) и «градостроительство» (решает задачи проектирования и развития городской среды).

Интерьеры отдельных помещений здания – первый элементарный уровень архитектурного проектирования, следующий уровень – здание в целом, далее – комплекс зданий – составляют ряд архитектурных объектов, который с увеличением масштаба продолжается рядом градостроительных объектов. Градостроительные объекты также имеют масштабную иерархию, известную из теории градостроительства [1]. Иерархия архитектурно-градостроительных объектов соответствует иерархии формируемых ими пространств (создаваемых человеком для человека). Такой переход (от рассмотрения объектов к рассмотрению пространств) оказывается теоретически необходимым при исследовании разнообразных экологических связей объектов, поскольку именно экологический подход предполагает изучение воздействия этих объектов на окружающую среду, а факторов окружающей среды,

в свою очередь, – на функционирование объектов (зданий, сооружений и градостроительных систем) в оптимальном для человека режиме. Центр иерархии пространств – человек. Саму иерархию можно представить в виде четырех уровней, существенно различающихся количественно и качественно: интерьер (по своей сути является пространством) – здание (совокупность интерьеров) – городское пространство – пространство систем расселения. Последние два уровня пространственного окружения человека могут рассматриваться дробно (в соответствии с уже упомянутой масштабной иерархией градостроительных объектов). Введение пространственных уровней сразу конкретизирует в пространственном отношении и понятие «окружающая среда».

В целом представление архитектурно-градостроительной среды как множества определенным образом иерархично организованных пространственных систем, антропогенных по происхождению, каждая из которых функционирует на конкретной территории (соответствующего пространственного масштаба), обладающей определенным природным (экологическим) потенциалом, позволило развиться в градостроительной науке следующим направлениям: архитектурная экология, градостроительная экология, экология систем расселения [2–5]. Методология этих трех направлений в общем-то схожая: искусственный объект определенного пространственного масштаба рассматривается во взаимосвязи и взаимодействии с окружающей его средой. Каждое из направлений на своем пространственном уровне стремится выработать принципы оптимизации этого взаимодействия при максимально возможном сохранении естественного потенциала окружающей среды.

Данные направления, будучи достаточно развиты в научно-теоретическом и прикладном отношении, требуют дальнейшей операционализации. Цель исследований при этом – создание арсенала конкретных приемов, эффективных с точки зрения природопользования, достаточно легко применимых в практике архитектурного и градостроительного проектирования, формирования физической реальности в процессе строительства и эксплуатации архитектурных объектов и градостроительных систем. Именно так она формулируется и для данной статьи.

Для того чтобы понять, какие конкретно приемы, условия, принципы делают архитектуру и градостроительство экологичными (биопозитивными), экспертным путем составлен перечень факторов взаимосвязи архитектурно-градостроительной среды с природным окружением на четырех пространственных уровнях. Эта взаимосвязь изучается системно: разнородные приемы, условия, принципы рассматриваются как факторы, взаимодействующие в системах «интерьер – окружающая среда», «здание – окружающая среда», «городское пространство – окружающая среда», «расселение – окружающая среда». Среди большого числа факторов важно определить наиболее существенные, от которых, прежде всего, зависит характер поведения этих систем и возможность эффективного управления ими. Для такого определения используется прием, заимствованный из теории игр и решений, заключающийся в измерении на основе экспертной оценки степени влияния друг на друга различных факторов, действующих в рассматриваемой системе. Достоинство приема в том, что факторы могут иметь различ-

ную природу, могут быть как измеримы, так и неизмеримы количественно, иметь разные единицы измерения. Данный метод позволяет измерить интенсивность взаимовлияния факторов, ранжировать их по степени активности/пассивности, определить управляющие и управляемые факторы, а также степень важности (критичности) факторов [4, с. 100].

В каждой из четырех таблиц статьи приводится систематизированный перечень факторов, действующих соответственно в системах «интерьер – окружающая среда», «здание – окружающая среда», «городское пространство – окружающая среда», «расселение – окружающая среда». Оценка факторов системы «интерьер – окружающая среда» приведена в табл. 1. В строках таблицы размещаются факторы (обозначены литерами), действующие в этой системе; в столбцах указаны буквы этих же факторов (в соответствии со строкой). На пересечении конкретной строки и столбца проставляется балльная оценка интенсивности влияния конкретного фактора на другой фактор. Таким образом, в строке оказывается балльная оценка силы влияния данного конкретного фактора на каждый из остальных (оценка прямых связей фактора), а в столбце – балльная оценка силы восприятия данным фактором влияния каждого из остальных (оценка обратных связей). Кроме того, в табл. 1 приводится оценка феноменологических редукций (типа «уютно», «экологично»), вызываемых действием каждого конкретно фактора. Эти пояснения относятся также ко всем остальным таблицам.

Поскольку в пространственном отношении здание может быть представлено как совокупность интерьеров, все факторы, рассмотренные в системе «интерьер – окружающая среда», справедливы и для системы «здание – окружающая среда», однако дополнительно необходимо рассмотреть факторы, присущие отношению здания (именно как целого) к окружающей его среде (табл. 2).

Положительные факторы взаимодействия архитектурно-градостроительной среды и природного окружения, фиксируемые на следующем пространственном уровне «городское пространство – окружающая среда», в целом раскрывают идею «экополиса» (экогорода) – «...города, созданного с учетом экологических потребностей его населения» [4] (табл. 3).

На уровне формирования пространств систем расселения основополагающим является внедрение в практику проектирования схем территориального планирования (СТП) регионов и районов как главных целеполагающих и методических документов управления пространственным развитием территорий, принципов сохранения динамического экологического равновесия данных территорий. Факторы, обеспечивающие такое равновесие, приводятся в табл. 4.

Интенсивность влияния оценивается по 4-балльной шкале: 3 – сильное влияние, 2 – среднее, 1 – слабое влияние, 0 – прямые и обратные связи отсутствуют. АС (активная сумма) – активность фактора, его суммарное влияние на остальные факторы. ПС (пассивная сумма) – восприятие фактором активности других факторов. Отношение АС/ПС показывает, во сколько раз активное влияние фактора больше восприятия им влияния других факторов; по данному показателю можно ранжировать все факторы по их активности; если  $AC/PC > 1$ , фактор активный (действующий как управляющий), если  $AC/PC < 1$ , фактор пассивный (управляемый). Произведение  $AC \times PC$  – это

Таблица 1

Наименование фактора		A	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
<b>Санитарно-гигиенические факторы</b>									
А	Инсоляция	—	1	3	3	0	0	0	0
Б	Воздухообмен	0	—	0	2	0	0	0	0
В	Естественная освещенность	0	0	—	0	0	0	0	0
Г	Температурно-влажностный режим	0	1	0	—	0	0	0	0
<b>Объемно-планировочные решения</b>									
Д	Ориентация помещения	3	2	3	1	—	2	2	3
Е	Визуальные связи со средой (окна)	3	3	3	3	0	—	0	1
Ж	Эркер	3	2	3	1	0	0	—	0
З	Лоджия	3	2	3	3	0	1	0	—
И	Балкон	3	2	3	1	0	1	0	0
К	Второй свет	3	3	3	3	2	2	1	0
Л	Атриум	3	3	3	3	3	0	0	0
<b>Природные объекты (озеленение и обводнение)</b>									
М	Зимний сад или его элементы	2	3	3	3	3	2	0	0
Н	Ландшафт (как элемент системы)	1	1	1	2	2	3	0	0
<b>Конструкции и отделка</b>									
О	Материал конструкций	0	0	0	3	0	0	0	0
П	Натуральные отделочные материалы	0	1	0	2	0	0	0	0
<b>Мебель и оборудование</b>									
Р	Естественный материал мебели	0	0	0	0	0	0	0	0
С	Дизайн мебели	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Феноменологические редукции</b>									
Т	Удобно	0	0	0	0	0	0	0	0
У	Комфортно	0	0	0	0	0	0	0	0
Ф	Уютно	0	0	0	0	0	0	0	0
Х	Здорово (в смысле ощущения здоровой среды)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Пассивная сумма (ПС)	24	24	28	30	10	11	3	4

\* Здесь и далее АС – активная сумма.

суммарная балльная оценка всех связей фактора (и его влияния, и его восприятия). Максимальное значение АС×ПС имеет критический (наиболее важный) фактор; минимальное – нейтральный фактор.

Оценка факторов в системе «интерьер – окружающая среда» показала, что самый активный фактор – «эркер» ( $AC/PC = 10$ ); способен сильно влиять на все остальные факторы, действующие в этой системе; самый пассивный (зависимый) «температурно-влажностный режим» ( $AC/PC = 0,43$ ); критический фактор – наличие зимнего сада ( $AC \times PC = 868$ ). Аналогичный анализ можно провести по всем четырем таблицам.

И	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	AC*	AC/ПС	ACxПС
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	-------	-------

0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	3	3	18	0,75	<b>432</b>
0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	14	0,58	336
0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	3	3	14	0,5	392
0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	13	0,43	390

2	2	3	3	2	0	0	0	1	1	2	2	2	36	3,6	360
1	2	2	3	3	0	0	0	1	0	2	2	2	31	2,82	341
0	2	1	2	3	0	0	0	1	3	3	3	3	30	<b>10</b>	90
0	0	0	1	2	0	0	0	0	2	3	3	3	26	6,5	104
–	0	0	1	3	0	0	0	0	2	3	2	2	23	5,75	92
0	–	3	3	3	2	0	0	1	3	2	2	2	<b>38</b>	4,22	342
0	3	–	3	3	0	0	0	0	3	3	2	3	35	3,89	315

0	0	0	–	0	2	0	2	2	2	2	2	3	31	1,11	<b>868</b>
1	0	0	0	–	0	0	1	1	2	1	3	3	22	1,1	440

0	0	0	0	1	–	2	1	1	1	2	3	3	17	3,4	85
0	0	0	2	0	1	–	3	2	3	3	3	3	23	7,67	69

0	0	0	0	0	0	0	–	3	3	3	3	3	15	1,88	120
0	0	0	0	0	0	1	1	–	3	3	3	3	14	1,08	182

0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	3	3	3	9	0,23	360
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	–	3	3	9	0,17	477
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	–	3	9	0,17	486
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	–	9	0,16	504
4	9	9	28	20	5	3	8	13	40	53	54	56	–		

Возвращаясь к обозначенной выше иерархии: интерьер – здание – городское пространство – пространство систем расселения, важно обозначить ряд архитектурно-экологических приемов и принципов – актуальнейших при формировании пространства на том или ином уровне.

1. На уровне формирования пространств интерьера это группа приемов, обеспечивающих визуальную связь внутренней и внешней среды (остекление, эркеры, атриумы), естественную освещенность, полноценный уровень солнечной радиации (в том числе инсоляции), температурно-влажностный и шумовой режимы, озеленение и др.

Таблица 2

	Наименование факторов	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
<b>Градоэкологические факторы (факторы размещения здания)</b>										
А	Рельеф (экспозиция площадки расположения)	–	3	3	3	3	3	3	0	0
Б	Шумовой режим здания	0	–	0	0	2	0	0	1	0
В	Ветровой (аэрационный режим) здания	0	1	–	3	2	0	2	1	2
Г	Снеговетровой режим здания	0	0	0	–	1	2	2	1	3
Д	Ориентация фасада	0	3	1	1	–	0	1	0	1
Е	«Лэндмурфинг» (внедрение здания в ландшафт)	0	3	3	1	3	–	1	3	3
<b>Архитектурные, объемно-планировочные решения</b>										
Ж	«Тепловое» зонирование здания (подчинение объемно-планировочного решения здания закономерности следования теплового потока из теплового ядра к наружной поверхности ограждающей конструкции)	0	3	2	1	0	0	–	2	1
З	Форма здания (коэффициент компактности)	0	1	1	3	2	0	1	–	3
И	Форма кровли	0	1	3	3	0	0	0	3	–
К	«Плотность» – «прозрачность» фасадов (противоположные характеристики фасадов с малым и большим количеством световых проемов)	0	3	1	1	0	0	0	2	0
Л	Величина переходных, промежуточных элементов (навес, терраса, портик, галерея и т.п.)	0	3	3	3	1	1	3	3	2
М	Степень блокированности дома	0	1	2	2	1	0	0	3	3
Н	Вертикальное озеленение, озеленение кровли	0	3	2	0	0	0	0	1	2
<b>Конструктивные решения</b>										
О	Массивность ограждающих конструкций	0	3	1	1	0	0	0	3	0
П	Материал и технология ограждающих конструкций	0	3	1	1	0	0	0	1	0
Р	Конструктивная система (материал и технология несущих конструкций)	1	0	0	0	1	0	0	2	2
<b>Факторы ресурсопотребления</b>										
С	Теплопотребление здания	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Т	Электропотребление	0	0	0	0	0	0	0	0	0
У	Водопотребление	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Факторы ресурсопроизводства (возврата)</b>										
Ф	Теплопроизводство (utiлизация тепла и альтернативные источники)	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Х	Электропроизводство (альтернативные источники)	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Ц	Водопроизводство (отчистка и вторичное использование)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Феноменологические редукции</b>										
Ч	«Экологично»	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Пассивная сумма (ПС)	1	31	23	23	16	6	10	28	24

K	L	M	H	O	P	R	C	T	Y	Ф	X	Ц	Ч	AC	AC/PC	AC×PC
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------	-------

0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	3	24	<b>24</b>	24
3	3	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	3	21	0,68	651
1	2	2	0	1	2	1	3	0	0	0	1	0	3	27	1,17	621
1	3	3	0	1	2	3	3	0	0	0	0	0	3	28	1,22	644
3	1	0	3	1	0	0	3	1	0	1	0	0	2	22	1,38	352
3	3	0	1	0	1	2	3	3	1	2	2	0	3	<b>41</b>	6,83	246

1	1	3	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	3	24	2,4	240
1	2	2	1	0	2	3	3	1	1	1	1	0	3	32	1,14	896
0	2	1	3	0	2	1	1	2	1	1	1	1	3	29	1,20	696
-	2	2	1	3	3	2	3	3	0	0	0	0	2	28	1,33	588
2	-	0	1	0	1	2	3	2	0	1	1	0	3	35	1,25	<b>980</b>
0	1	-	0	0	0	2	3	1	0	1	0	0	1	21	1,24	357
1	1	0	-	0	2	0	1	0	3	2	0	0	3	21	1,17	378

1	1	0	1	-	3	3	3	1	0	0	0	0	0	21	1,4	315
1	1	0	3	3	-	3	3	1	0	1	0	0	3	25	1,04	600
0	2	1	0	1	3	-	0	0	0	0	0	0	1	13	0,54	312

0	1	0	0	0	0	0	0	-	1	1	0	0	0	1	4	0,09	176
3	2	0	0	0	0	0	0	3	-	0	3	0	1	2	14	0,61	322
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-	1	1	1	2	7	0,7	70

0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	-	0	0	3	9	0,6	135
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	-	1	3	10	1,43	70
0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	-	3	8	2	32	

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
21	28	17	18	15	24	24	<b>44</b>	23	10	15	7	4	53	-			

Таблица 3

	Наименование факторов	А	Б	В	Г	Д	Е	Ё	Ж
<b>Градоэкологические факторы</b>									
А	Аэрационный (ветровой) режим застройки (ветрозащитные приемы и проветривание)	—	3	2	1	1	1	0	0
Б	Пылеветровой режим	3	—	2	0	0	0	0	0
В	Радиационный режим застройки	2	1		1	1	0	1	0
Г	Функциональное зонирование города с учетом направленности потоков вещества и энергии (воздушного и водного переносов, твердого стока)	2	2	0	—	3	3	3	1
Д	Планировочная структура города, «вписанная» в рельеф	3	1	2	1	—	1	3	2
Е	Пространственная непрерывность водных и озелененных площадей	3	3	1	3	3	—	3	2
Ё	«Не зелень в городе, а город в зелени»	3	3	2	3	3	3	—	3
Ж	Дифференциация элементов озеленения и определение экологической роли каждого элемента	1	1	1	3	0	3	3	—
З	Приватизация жилища, включающего элементы природного окружения непосредственно у зданий	0	2	0	1	0	1	3	1
И	Четкое функциональное зонирование города (отделение промышленности, транспорта, коммунальных зон от селитебных территорий)	1	1	0	3	1	3	3	2
Й	Дифференциация транспортной сети города и разделение транспортных потоков	2	0	0	2	0	2	2	1
К	Учет при планировании территории города теплового «загрязнения»	2	1	2	2	1	1	2	2
Л	Учет при планировании территории города электромагнитного «загрязнения»	0	0	0	1	1	1	1	2
М	Учет при планировании территории города радиоактивного «загрязнения»	0	0	0	2	1	1	1	2
Н	Учет при планировании территории города вибрации и гравитации	0	0	0	1	0	1	1	1
<b>Факторы инженерной подготовки и благоустройства</b>									
О	Сохранение почвенного покрова	0	3	1	1	1	1	3	2
П	Качественная вертикальная планировка территории города	1	1	0	2	3	1	1	2
Р	Ливневая канализация территории	0	0	0	3	0	0	2	1
С	Нейтрализация физико-геологических процессов и явлений (карст, осьпи, сели, обвалы и т.п.)	0	3	0	0	1	1	2	2
Т	Благоустройство берегов рек и малых водотоков	0	2	0	0	1	1	0	2
У	Применение экопокрытий на различных функциональных площадках	0	3	1	0	0	3	2	0
Ф	Очистные сооружения бытовых, промышленных и ливневых стоков	0	0	0	2	1	1	1	1
Х	Магистральные улицы и дороги, расчленяющие селитебную зону, проектируются в выемке	1	0	0	2	2	1	2	2
Ц	Применение шумозащитных сооружений	0	0	0	0	0	0	0	2

з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	э	ю	я	ас	ас/пс	ас×пс
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------	-------

0	0	2	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1	1	3	25	0,89	700	
0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	2	2	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3	19	0,57	627	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1	2	3	15	0,79	285	
0	3	2	3	2	2	1	1	1	3	1	0	0	2	0	0	0	2	0	1	1	2	39	1,15	1326		
0	1	0	2	0	0	0	1	3	3	1	2	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	3	36	1,44	900	
0	1	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1	3	1	3	0	2	3	3	2	0	1	3	61	<b>1,85</b>	<b>2013</b>	
0	1	1	3	3	1	3	3	1	0	2	3	3	1	3	0	3	3	3	3	1	1	3	62	1,22	<b>3162</b>	
3	0	1	3	3	3	3	3	3	1	2	3	2	0	3	0	0	3	3	3	3	3	3	1	60	1,62	<b>2220</b>
-	0	0	0	0	0	0	2	3	3	1	0	0	3	0	0	0	3	3	3	3	3	3	41	<b>2,93</b>	<b>574</b>	
0	-	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	2	3	3	1	0	0	1	55	1,57	<b>1925</b>	
0	3	-	2	3	1	3	3	1	0	0	0	1	0	3	3	2	2	3	1	0	0	1	39	1,26	1209	
0	3	0	-	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3	0	0	0	1	27	0,82	891
0	3	3	1	-	1	1	3	2	0	0	0	0	0	2	1	1	0	3	2	0	0	1	30	1,15	780	
0	3	0	1	1	-	1	3	3	0	0	1	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	1	26	0,81	832	
0	3	3	1	1	1	-	3	3	0	0	0	0	0	1	3	3	0	1	0	0	0	1	28	0,90	868	

0	0	0	0	0	3	1	-	3	2	3	0	3	0	0	0	1	3	3	1	0	0	2	37	0,71	<b>1924</b>
0	1	1	0	0	3	2	3	-	3	3	1	3	1	1	0	1	2	1	3	0	0	1	40	0,78	<b>2040</b>
0	1	0	0	0	1	0	3	3	-	3	3	2	3	2	0	0	1	2	1	0	0	1	32	1,28	800
0	1	1	1	1	1	1	3	3	1	-	3	1	0	1	0	1	1	2	0	0	0	1	32	1,14	896
0	1	1	0	0	0	0	3	3	3	3	-	3	0	2	0	0	3	2	3	1	2	3	39	0,93	1638
1	0	0	0	0	0	0	3	3	1	1	3	-	0	0	0	1	3	2	3	0	0	3	33	0,83	1320
0	2	0	3	0	3	0	0	1	3	0	3	0	-	0	0	0	2	0	2	1	3	29	1,93	435	
1	1	3	0	3	0	3	1	3	2	1	1	1	0	-	3	1	0	0	2	0	0	2	37	1,09	1258
0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	-	3	0	0	2	0	0	2	18	0,86	378

Окончание табл. 3

Наименование факторов		A	Б	В	Г	Д	Е	Ё	Ж
-----------------------	--	---	---	---	---	---	---	---	---

**Факторы восприятия среды человеком (в том числе факторы видеоэкологии)**

Ч	Соразмерность архитектурно-градостроительных форм (домов, улиц и др.) росту человека	3	0	3	0	0	0	3	0
Ш	Уменьшение площади гомогенных визуальных полей	0	2	1	0	0	2	3	0
Щ	Исключение «психологического» загрязнения среды	0	0	0	0	0	1	2	1
Ы	Дизайн архитектурной среды города	1	1	1	0	1	0	2	1

**Социальные факторы**

Э	Низкий уровень преступности	0	0	0	0	0	0	1	1
Ю	Минимальная маргинальность общества	0	0	0	0	0	0	1	1

**Феноменологические редукции**

Я	«Экологично»	0	0	0	0	0	0	0	0
	Пассивная сумма	28	33	19	34	25	33	51	37

Таблица 4

Наименование факторов		A	B
-----------------------	--	---	---

**Экологические подходы, выдержаные в СТП региона (района)**

A	Рассчитанная площадь зоны экологического равновесия для расселения региона меньше либо равна площади региона	-	3
Б	Выделен природный каркас системы расселения региона, который по площади охватывает не менее 2/5 части региона	3	-
В	Выделен природный каркас системы расселения района (агломерации, отдельной системы расселения), который по площади охватывает не менее 1/3 части района	3	3
Г	Природный каркас дифференцирован на площадные, линейные и точечные элементы; в конкретных элементах каркаса строго соблюдается режим землепользования	3	3
Д	Функциональное зонирование территории, охваченной СТП, учитывает направленность потоков вещества и энергии (воздушного и водного переносов, твердого стока)	3	3
Е	Фактический за последний год и ожидаемый рост численности населения региона (района), фиксируемый в СТП, сопоставим с демографической емкостью территорий региона (района)	3	2
Ж	Обоснование режимов использования территорий региона (района) выполнено с учетом репродуктивной способности территории, геохимической активности ее ландшафтов, устойчивости к физическим нагрузкам и экологической емкости территории	3	3
З	На основе общего урбозоологического зонирования территории выявлены проблемные ситуации и ареалы этой территории	3	2
И	Составлены и реализуются в практике градостроительства схемы пространственной локализации мероприятий по охране окружающей среды	3	3

**Факторы, от которых зависит реализация экологической программы СТП**

K	Стабильная социально-экономическая ситуация в стране (регионе)	2	2
Л	Преобладание экологического типа мироощущения у населения страны (района)	3	3

З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ы	Э	Ю	Я	АС	АС/ПС	АС×ПС
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------	-------

2	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	2	0	0	3	3	—	3	0	3	3	3	3	35	0,83	1470
0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	3	3	0	0	0	2	—	3	3	2	1	2	31	0,79	1209
1	1	0	0	1	1	0	2	1	0	2	3	3	0	1	1	0	2	—	1	0	1	3	28	0,55	1428
2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	3	3	0	2	2	3	3	3	—	3	3	2	40	0,8	<b>2000</b>
2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	3	—	3	1	18	0,64	504
2	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	1	3	3	—	1	21	0,7	630
																							—		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3			—	9	0,15	540
14	35	31	33	26	32	31	52	51	25	28	42	40	15	34	21	42	39	51	50	28	30	60	—		700

В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О	АС	АС/ПС	АС×ПС
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------	-------

3	1	1	2	3	0	0	0	1	1	1	1	3	19	0,54	665
3	3	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	3	25	0,76	825
—	3	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	3	25	0,76	825
3	—	1	1	3	3	2	1	1	3	2	3	29	1	<b>841</b>	
3	2	—	1	3	1	2	1	2	1	2	3	27	1,5	486	
2	1	0	—	0	0	0	2	1	2	0	2	15	0,88	255	
3	3	2	1	—	2	0	1	1	3	3	3	28	0,97	812	
2	3	2	0	3	—	3	0	1	0	3	1	23	1,28	414	
3	2	2	3	2	3	—	2	1	3	3	3	33	1,5	726	

2	2	2	2	2	2	3	—	1	3	3	0	26	<b>1,86</b>	364
3	3	1	1	3	1	2	2	—	3	3	3	31	1,55	620

Окончание табл. 4

	Наименование факторов	A	B
M	Приоритет экологических целей у максимального числа субъектов хозяйственной (в том числе градостроительной) деятельности	3	3
<b>«Чистые» технологии</b>			
H	Внедрение технологий нейтрализации и утилизации выбросов промышленных, коммунальных предприятий, транспорта и пр.	3	3
<b>Феноменологические редукции</b>			
O	«Экологично»	0	0
	Пассивная сумма (ПС)	<b>35</b>	33

2. На уровне отдельного здания к приемам, реализованным на предыдущем уровне, добавляется стремление обеспечить нулевой энергетический баланс здания и применение ресурсосберегающих технологий (в том числе альтернативных источников энергии).

3. На уровне городской среды на первый план выходят вопросы формирования средствами градостроительства непрерывного экологического каркаса (совокупности обводненных и озелененных незастроенных пространств), при этом каркаса достаточного мощного, обеспечивающего выход в его территориальные пределы с каждого здания, обеспечивающего условное экологическое равновесие функционирования всей городской экосистемы. На стыке третьего и четвертого уровня, т.е. на границе пространственно-го взаимодействия города и его природного окружения, выделяются принципы функционального зонирования города с учетом направленности потоков вещества и энергии (воздушного и водного переносов, твердого стока).

4. На уровне формирования пространств систем расселения основополагающим является внедрение в практику проектирования схем территориального планирования регионов и районов территориальных принципов сохранения динамического экологического равновесия. На данном уровне можно предложить принцип выделения административно-территориальных единиц (субъектов РФ) в строгом соответствии с урбобиологическим районированием; это значит, что в границах административно-территориальной единицы обеспечивается полное (или условное, или относительное) экологическое равновесие, т.е. природная среда региона во взаимодействии с развивающимися антропогенными структурами (производственными, расселенческими, сельскохозяйственными, рекреационными) сохраняет основные свои характеристики – достаточную фотосинтезирующую активность автотрофных растений, воспроизведение в необходимых масштабах всех своих компонентов (воды, кислорода, биомассы), способность к самоочищению и дальнейшей эволюции. Сохранение экологического равновесия в пределах административно-территориальной единицы (субъекта РФ) должно стать первой (основной) ответственностью региональной власти и миссией жизни всего общества.

Определенное теоретическое значение проведенного исследования заключается в систематизации различных и разнородных приемов, принципов, факторов и условий создания здоровой и комфортной среды по четы-

В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О	AC	AC/ПС	AC×ПС
3	3	2	1	3	3	3	2	3	–	3	3	<b>35</b>	1,30	945
3	3	1	1	3	1	3	1	3	3	–	3	31	1,24	775
0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	–	6	0,18	198
33	29	18	17	29	18	22	14	20	27	25	33			

рем пространственным уровням, а также оценка их взаимодействия с помощью метода из математической теории игр. Данный метод позволил измерить интенсивность взаимовлияния факторов, ранжировать их по степени активности/пассивности, определить управляющие и управляемые факторы, степень важности (критичности) факторов. Интерес представляет как сам метод оценки взаимодействия различного рода факторов, который в архитектурно-градостроительный науке почти не используется, так и результат оценки.

Именно результат оценки имеет практическое значение: ранжирование факторов, приемов, принципов, условий позволяет подойти к ним избирательно в процессе проектирования и строительства (новых и реконструкции существующих) архитектурных и градостроительных объектов. В практике проектирования и строительства в условиях ограниченности ресурсов такое ранжирование всегда целесообразно.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владими́ров В.В., Найма́рк Н.И. Проблемы развития теории расселения в России / Теоретические основы градостроительства. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 376 с.
2. Микулина Е.М., Благовидова Н.Г. Архитектурная экология. М.: Академия, 2013. 250 с.
3. Гла́зычев В.Л. Социально-экологическая интерпретация городской среды. М.: Наука, 1984. 180 с.
4. Владими́ров В.В. Расселение и экология / ред. Н.Б. Либман. М.: Стройиздат, 1996. 392 с.
5. Владими́ров В.В., Найма́рк Н.И., Субботин Г.В., Лейзирович Е.Е. [и др.]. Районная планировка: справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1986. 326 с.

**Литвинов Сергей Викторович**, канд. архитектуры, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 14.06.16

**Litvinov Sergey Viktorovich**, PhD, Ass. Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **ARCHITECTONIC, SPATIAL, AND ENVIRONMENTAL DESIGN**

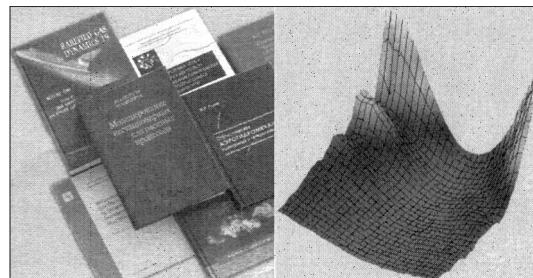
In this article the hierarchy of spaces of architectural and urban environment (interior – building – city – resettlement) is being considered. The relationship of the subjects of ecology and architecture (and urban development) is shown as a key to understanding the environmental problems of the urban space. A list of factors of the interaction of architectural and urban environment with the natural environment at each spatial level is made by expert's evaluation. The most essential (defining) factors of this interaction are being revealed. The factors are being ranked according to the degree of their activity in the process of interaction, critical and neutral factors are being defined. A number of specific techniques and principles which application at the appropriate spatial level implements environmental approach to urban space is being considered.

**Keywords:** urban ecology, architectural space, ecological approach to city space.

### **REFERENCES**

1. Vl adimirov V.V., Naymark N.I. Problemy razvitiya teorii rasseleniya v Rossii [The problems of development of the theory of resettlement]. Moscow, Editorial URSS, 2002. 376 p. (in Russian)
  2. Mikulina E.M., Blagovidova N.G. Arkhitekturnaya ekologiya [Architectural ecology]. Moscow, Akademiya, 2013. 250 p. (in Russian)
  3. Glazychev V.L. Sotsial'no-ekologicheskaya interpretatsiya gorodskoy sredy [The social and ecological interpretation of a city environment]. Moscow, Nauka, 1984. 180 p. (in Russian)
  4. Vl adimirov V.V. Rasselenie i ekologiya [The resettlement and ecology]. Moscow, Stroyizdat, 1996. 392 p. (in Russian)
  5. Vladimirov V.V., Naymark N.I., Subbotin G.V., Leyzerovich E.E. Rayonnaya planirovka. Spravochnik proektirovshchika [The district planning. The reference book of designer]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 326 p. (in Russian)
-

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 69(083.75)(574)

Ж.С. НУГУЖИНОВ, М.С. АБАКАНОВ, И.А. КУРОХТИНА

### ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

В соответствии с поручением Главы государства Республики Казахстан и Правительства с 2010 г. проводится реформа системы технического регулирования в строительной отрасли, которая проводится сразу по нескольким направлениям. Статья посвящена фактическому состоянию вопроса технического регулирования строительной отрасли по состоянию на начало 2016 г. Также в статье рассматриваются основные направления и цель проводимой реформы.

**Ключевые слова:** Еврокоды, нормативная база, параметрический метод нормирования, регулирование, реформа, гармонизация, энергосбережение.

В соответствии с поручением Главы государства Республики Казахстан и Правительства с 2010 г. в соответствии с «Государственной программой по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 годы» (ГПФИИР), утвержденной постановлением Правительства Республики Казахстан от 14 апреля 2010 г. № 302, проводится реформа системы технического регулирования в строительной отрасли.

Тактической целью реформы является приведение технического регулирования строительной отрасли Республики Казахстан в соответствии с принципами соглашений ВТО, государств-участников Таможенного союза и ЕврАзЭС об устранении технических барьеров в торговле и создание условий в строительной отрасли для интеграции в мировую систему экономики.

Тактическая цель реформы достигается путем решения задачи по гармонизации системных компонентов технического регулирования в строительстве Казахстана с аналогичными системами экономически развитых государств Европы и мира, государств-участников Таможенного союза и ЕврАзЭС.

Реформирование системы технического регулирования Республики Казахстан ведется сразу по нескольким направлениям:

- 1) реформирование нормативно-технической базы строительной сферы;

- 2) разработка нового ресурсного метода ценообразования в строительстве;
- 3) демонополизация части функций государственной экспертной организации;
- 4) внедрение энергоэффективных и энергосберегающих технологий;
- 5) задача гармонизации нормативно-технических документов по Таможенному союзу и СНГ.

Следует отметить, что реформирование нормативно-технической базы строительной отрасли производится в три этапа:

1-й этап – подготовительный период, на котором осуществляется переход от устаревшего предписывающего метода нормирования к параметрическому;

2-й этап – период сосуществования старой и новой системы технического регулирования;

3-й этап – период обобщения видимых результатов реформы, а также в случае необходимости корректировка новой нормативной базы.

На текущий момент времени в Республике Казахстан в соответствии с Концепцией по реформированию нормативно-технической базы строительной сферы завершен ее 1-й этап реформы с подготовкой до 90 % всех необходимых технических норм, в том числе строительных норм СН РК ЕН, идентичных Еврокодам с Национальными приложениями и Нормативно-техническими пособиями, с введением их в действие с 2015 г.

На данном этапе заложен переход от устаревшего предписывающего метода нормирования, основанного на строгом соблюдении требований проектирования и строительства объектов в соответствии с утвержденными строительными нормами и правилами (СНиП), стандартами (ГОСТ), что не позволяло применение других (альтернативных) вариантов, препятствовало применению инновационных (новых) проектных решений к прогрессивному параметрическому методу, отвечающему условиям рыночных отношений, принятому во всех экономически развитых странах мира. Такой подход принят на основании изучения и анализа результатов европейского и мирового опыта. Новый параметрический метод способствует внедрению инноваций за счет использования методов строительных решений, которые являются альтернативными путями достижения нормативного соответствия. Метод альтернативных решений позволит новаторам строительной отрасли применять инновации, новые технологии, материалы, изделия, методы, предлагать и реализовать уникальные решения. Альтернативные решения также позволяют решить проблему, с которой постоянно сталкиваются крупные отечественные и зарубежные участники строительного рынка в Казахстане – применение в строительстве передовых решений и технологий, которые не вписываются в существующую негибкую нормативную базу Казахстана.

В целом структура технического нормирования Казахстана формируется по аналогии с европейской базой нормирования с учетом национальных особенностей республики. Она состоит из технического регламента, строительных норм, сводов правил, пособий, методических указаний, инструкций и стандартов.

К настоящему времени разработаны 58 единиц строительных норм СН РК ЕН, идентичных Еврокодам, с Национальными приложениями и Инструкцией по их применению в переходный период, а также нормативно-технические Пособия, разъясняющие, развивающие и облегчающие применение СН РК ЕН при расчете и проектировании зданий и сооружений с примерами расчетов, которые выполняют два базовых требования из шести Технического регламента Республики Казахстан «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий».

Переработаны более 300 нормативных документов (СНиП и др.) по архитектурным, строительным, объемно-планировочным решениям, инженерным системам зданий и сооружений для выполнения остальных четырех требований Технического регламента РК, с гармонизацией с нормами стран Таможенного союза и СНГ, с учетом достижений стран Европы. Данные строительные нормы введены в действие с 1 июля 2015 г. приказом Министра национальной экономики от 23 июня 2015 г. № 441.

В начальной стадии реформирования системы технического регулирования намечен, как говорилось выше, поэтапный переход проектных, строительных организаций и предприятий строительной индустрии республики на адаптированные к условиям Казахстана Европейские коды (Еврокоды) и европейские стандарты, что позволит обеспечить расширение экспорта строительной продукции и услуг, внедрению передовых технологий, инновационных решений, а также снять технические барьеры при реализации инвестиционных проектов на территории страны и за рубежом.

На текущий момент Республикой Казахстан осуществляется 2-й этап реформы – переход на новую систему технического регулирования. На данном этапе предусмотрен «период сосуществования» старой и новой системы технического регулирования до 2020 г.

Период сосуществования – это вынужденная мера использования потенциала действующих кадров и предприятий строительной отрасли Республики Казахстан. К концу «периода сосуществования» должны быть приняты все национальные приложения, обеспечивающие функционирование новой системы технического регулирования.

Сейчас по всей стране проводится обучение студентов пользованию новой системой технического регулирования. За этот период университетами и отраслевыми институтами будет проведен комплекс научных исследований по адаптации европейских норм и стандартов с учетом климатических, геологических, природно-климатических и других особенностей Казахстана, разработке инноваций в строительной отрасли, освоению новых технологий, материалов, изделий и конструкций.

Такой 5-летний период освоения и отладки новой нормативной базы в проектировании и строительстве, включая Еврокоды, принят по аналогии с мировой практикой. В этот период все заинтересованные проектные организации и специалисты, наряду с освоением новой нормативной базы, могут в целях совершенствования внести свои замечания и конструктивные предложения для учета в СН РК и СП РК (переработанных СНиП) в установленном порядке с широким обсуждением для принятия согласованного решения в КДСЖКХиУЗР МНЭ РК. По мере принятия окончательной редакции новых нормативных документов будут поэтапно отменяться

параллельно действующие (старые) СНиП и останется одна из двух нормативно-технических баз к концу 2020 г.

3-й этап реформы пройдет в 2021–2025 гг., на котором будут получены и обобщены видимые результаты реформы, а также в случае необходимости корректировка новой нормативной базы. При этом ожидаются следующие результаты:

- 1) высокая культура строительства и благоприятная искусственная среда обитания и жизнедеятельности человека;
- 2) глубокая и устойчивая интеграция отечественной строительной отрасли в европейскую и мировую экономические системы;
- 3) повышение конкурентоспособности проектировщиков и строителей, производителей строительных материалов и конструкций.

За их индикаторы будут приняты:

- 1) создание новой нормативно-технической базы строительной отрасли, гармонизированной не менее чем до 90 % с аналогичными системами стран Европейского союза, государств Таможенного союза, ЕЭП;
- 2) увеличение к 2020 г. степени привлечения иностранных инвестиций в строительную отрасль до 30 % по сравнению с 2015 г.;
- 3) увеличение доли предприятий стройиндустрии, работающих по инновационным технологиям до 20 % к 2020 г.

Реформирование строительного законодательства без совершенствования действующей системы ценообразования нецелесообразно. Именно поэтому с 2010 г. в рамках ГПФИИР стали реализовываться мероприятия по разработке нового ресурсного метода ценообразования в строительстве, методе определения стоимости строительной продукции путем калькуляции в текущих ценах и тарифах элементов затрат (ресурсов), необходимых для реализации проекта [1]. Ресурсный метод позволяет на основе выделяемых по проекту и сметным нормативам ресурсных показателей: затрат труда, времени использования строительных машин, расхода материалов, изделий, конструкций и текущих цен на эти ресурсы с высокой точностью, на требуемый момент времени, определять сметную стоимость объектов инвестиций исходя из текущих цен на материальные и трудовые ресурсы. Данный ресурсный метод определения стоимости строительства внедрен с 1 июля 2015 г. на основании Приказа Министерства национальной экономики Республики Казахстан от 24 июня 2015 г. № 450 «О внедрении ресурсного метода определения стоимости строительства в Республике Казахстан».

За это время в Республике Казахстан была завершена ревизия более 40 тыс. ресурсных показателей Сметно-нормативной базы Казахстана, а также работы по мониторингу цен на строительные ресурсы по всем регионам Казахстана, введены новые сметные нормы ресурсов в ресурсную сметно-нормативную базу по новым технологиям строительного производства на основе технологических карт.

В рамках реформы системы технического регулирования строительной отрасли Республики Казахстан на основании Закона РК № 366-V «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам архитектурной, градостроительной и строительной деятельности» от 28 октября 2015 г. происходит поэтапная передача в конку-

рентную среду демонополизируемой части функций государственной экспертной организации.

Указанный Закон разработан с целью поэтапной передачи в конкурентную среду экспертной деятельности в области проектирования объектов строительства, создание эффективной системы рынка негосударственной экспертной деятельности в области проектирования объектов строительства.

Законом предлагается:

1. Усиление административной ответственности экспертов в сфере проектирования объектов строительства путем дополнения штрафов приостановлением действия аттестата эксперта на срок до шести месяцев даже за однократное нарушение.

2. Исключить понятие «государственная экспертиза» в связи с передачей из монопольной в конкурентную среду объектов экспертной деятельности, входящих ныне в исключительную компетенцию государственных экспертов.

3. Ввести новые понятия «негосударственный эксперт» и «негосударственная экспертная организация» в связи с передачей из монопольной в конкурентную среду объектов экспертной деятельности, субъектами рынка экспертных работ могут быть физические лица – негосударственные эксперты, а также юридические лица – негосударственные экспертные организации.

4. Ввести понятие «профессиональное объединение негосударственных экспертных организаций» в целях установления возможности создавать негосударственными экспертными организациями саморегулируемые профессиональные организации в порядке, установленном законодательством Республики Казахстан. Наряду с этим вводится отдельная статья, предусматривающая регламентацию правового статуса, а также функций профессионального объединения негосударственных экспертных организаций.

5. Установить перечень проектов (технико-экономические обоснования или проектно-сметная документация), относящихся к исключительному ведению государственной экспертной организации.

6. Пересмотреть компетенцию уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства в части дополнения функцией контроля и надзора за деятельностью негосударственных экспертных организаций и негосударственных экспертов, установления правил выдачи замечаний экспертизы при приемке проектов строительства на экспертизу и в ходе их рассмотрения, а также оформления и выдачи экспертных заключений по рассмотренным технико-экономическим обоснованиям и проектной (проектно-сметной) документации, установления правил аккредитации негосударственных экспертных организаций, ведения реестров аккредитованных негосударственных экспертных организаций и аттестованных экспертов, осуществляющих экспертные работы и инженерно-технические услуги в сфере архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, утверждения правил прохождения стажировки лиц, претендующих на право занятия экспертной деятельностью, взаимодействия

с профессиональным объединением негосударственных экспертных организаций.

На сегодняшний день негосударственным экспертам уже передали 50 % проектов, до 2020 г. эта цифра увеличится до 90 %. Речь идет о возведении новых больниц, поликлиник, школ, жилых домов высотой до 10 этажей и гостиниц. Под надзором государства останутся только уникальные и высокотехнологичные здания и сооружения.

Другим направлением реформы системы технического регулирования строительной отрасли Республики Казахстан является «Зеленое строительство», развитие энергоэффективных и энергосберегающих технологий. Основной упор делается на снижение энергопотребления в промышленности и только потом в жилищно-коммунальном хозяйстве и бюджетном секторе. Одним из пунктов плана является обязательная работа с населением. Правительство ставит задачу «сформировать другое отношение и новое мышление по рациональному использованию и разумному потреблению энергоресурсов».

Принятый в 13.01.2012 г. в РК Закон «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» дал определенный толчок движению в этом направлении. Документ разработан в соответствии с указом президента Казахстана «О дальнейших мерах по реализации Стратегии развития Казахстана до 2030 года». Законом предусматривается развитие правовой базы по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности, осуществлению финансирования мероприятий за счет бюджетов всех уровней. Регламентируются нормы по установлению компетенции госорганов на проведение модернизации производства, хранения, транспортировки и потребления энергоносителей, проведение контроля и надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов, установлению мер ответственности за соблюдением норм закона в сфере энергосбережения и энергоэффективности. В рамках закона предполагается создание в стране государственного энергетического реестра, куда будут включены субъекты, потребляющие более 1,5 тыс. т условного топлива в год. Они должны обязательно проходить энергоаудит, по итогам которого должны составить планы мероприятий по энергосбережению и обеспечить ежегодное снижение потребления энергетических ресурсов.

Ярким примером энергоэффективных и энергосберегающих технологий являются строящиеся объекты EXPO-2017.

Одним из важных этапов реформы системы технического регулирования строительной отрасли Республики Казахстан являются задачи гармонизации нормативно-технических документов по Таможенному союзу и СНГ. Для создания общего рынка, с формированием Единого экономического пространства с устранением существующих технических барьеров и гармонизацией нормативно-технических документов на текущий момент продолжаются работы по согласованию технического регламента ЕЭП «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов». Между тем стоит отметить, что ведется непрерывная работа по вопросам выработки согласованного подхода к гармонизации нормативно-технических документов с принятием порядка и правил гармонизации (межгосударственные нормативные документы необходимо разрабатывать на основе норм госу-

дарств-членов ТС и СНГ с учетом национальных особенностей), а также подходов по созданию и аккредитации, лицензированию испытательных лабораторий строительных материалов по методике ЕвроКодов, экспертных организаций по проектно-сметным документациям, аттестации экспертов с разработкой положений, порядка и правил [2].

Перечисленные выше направления реформы системы технического регулирования строительной отрасли позволят Республике Казахстан в ближайшем будущем плавно интегрироваться в мировое экономическое сообщество и занять достойное место в числе экономически развитых стран планеты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А манова Р. Ресурсный метод: достоверность и оперативность // Казахстанская правда. 2016. № 20 (28146). С. 6.
2. А л пы с баев М. Проблемы технического регулирования в строительстве // Строительный вестник. 2014. № 23 (514). С. 4.

**Нугужинов Жмагул Смаголович**, д-р техн. наук, профессор;

E-mail: kazmirr@mail.ru

Казахстанский многопрофильный институт реконструкции и развития при РГП на ПХВ КарГТУ (КазМИРР), Республика Казахстан

**Абаканов Миркен Сейткасымович**, д-р техн. наук

Казахстанский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры (АО «КазНИИСА»), Республика Казахстан

**Курохтина Ирина Алексеевна**, магистрант; E-mail: kurohtina.ira@mail.ru

Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан

Получено 14.06.16

**Nuguzhinov Zhmagul Smagulovich**, DSc, Professor; E-mail: kazmirr@mail.ru

Kazakhstan Multidisciplinary Institute of Reconstruction and Development at RSE on REM KSTU (KazMIRR), Republic of Kazakhstan

**Abakanov Mirken Seytakasymovich**, DSc

Kazakhstan Research and Design Institute of Construction and Architecture (JSC KAZNIISA), Republic of Kazakhstan

**Kurokhtina Irina Alexeevna**, Post-graduate Student; E-mail: kurohtina.ira@mail.ru

Karaganda State Technical University, Republic of Kazakhstan

### **THE ISSUES OF TECHNICAL REGULATION OF THE CONSTRUCTION BRANCH IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

In accordance with the order of the Head of state of the Republic of Kazakhstan and the Government, since 2010 there has been being reformed the system of technical regulation in the construction branch which is carried out in several directions at once. The article deals with the actual state of the issue of technical regulation of the construction branch on the beginning of 2016. In the article there are also considered the main directions and the purpose of the carried-out reform.

**К e y w o r d s:** Eurocodes, normative base, parametrical method of rating, regulation, reform, harmonization, energy saving.

REFERENCES

1. A m a n o v a R. Resursnyy metod: dostovernost' i operativnost' [Resource method: reliability and efficiency]. Kazakhstanskaya pravda. 2016. No. 20 (28146). P. 6. (in Russian)
  2. A l p y s b a e v M. Problemy tekhnicheskogo regulirovaniya v stroitel'stve [Problems of technical regulation in construction]. Stroitel'nyy vestnik [Construction messenger]. 2014. No. 23 (514). P. 4. (in Russian)
-

УДК 621.878.2 : 621.396

Ю.В. АВДЕЕВ, А.Д. КОНОНОВ, А.А. КОНОНОВ, Н.А. ВАРДАНЯН

## К ВОПРОСУ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ МАШИНАМИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Работа посвящена разработке систем дистанционного управления строительных и дорожных машин как важному направлению повышения эффективности их применения. На основе анализа возможностей автоматического переключения работы систем управления движением машин между режимом отслеживания предыдущих траекторий и радионавигационным режимом разработан алгоритм согласованного функционирования и приведена электрическая схема устройства, реализующего коррекцию траектории движения машин. Даны рекомендации по достижению наибольшей эффективности применения дорожно-строительных машин путем одновременного использования оптических и радионавигационных систем коррекции текущей траектории и систем автоматического управления рабочими органами, основанных на управлении по прямым показателям эффективности.

**Ключевые слова:** дистанционное управление, строительно-дорожные машины, навигационные системы, обработка сигналов, отслеживание траектории.

Важным направлением повышения эффективности использования дорожно-строительных машин и безопасности жизнедеятельности операторов является развитие систем дистанционного управления [1, 2]. Для дистанционного радиоуправления [3] перемещением машин может быть использован навигационный метод [4], основанный на измерении текущих координат машин и сопровождении их движения по требуемым траекториям [5].

Система отслеживания предыдущих траекторий (СОПТ) должна вырабатывать сигналы управления при движении строительно-дорожных машин на прямых рабочих участках, если отклонения объекта от заданной траектории невелики [6]. При движении машин на участках разворотов, а также при значительных отклонениях от заданного направления на прямолинейном участке сигналы управления и коррекции могут вырабатываться координатомерной радионавигационной системой (РНС).

Высокую точность при движении по прямой обеспечивает СОПТ на базе оптической аппаратуры, но СОПТ не обеспечивает точного разворота. Кроме того, при выходе по каким-то причинам траектории движения машины за «коридор», определяемый шириной зоны захвата СОПТ, необходимо возвратить ее обратно с помощью РНС. В отличие от СОПТ радионавигационная координатомерная система обеспечивает меньшую точность при движении по прямолинейному участку, но с ее помощью можно осуществить разворот или коррекцию траектории даже за пределами «коридора». Машины, управляемые РНС, при движении на прямых участках не могут выйти

за пределы зоны захвата координатомерной системы, так как эта зона включает весь рабочий участок.

Следовательно, для эффективного дистанционного управления эти две системы (СОПТ и РНС) должны работать параллельно. Контроль рабочего процесса осуществляется координатомерной системой, которая определяет текущие значения координат движущегося объекта и величину отклонения его от заданной траектории. Если эта величина рассогласования не превосходит обусловленного заранее значения  $\delta$ , то коррекция движения по необходимости осуществляется только системой отслеживания предыдущих траекторий. В случае, когда величина отклонения превысит пороговое значение  $\delta$ , сигнал управления вырабатывается самой координатомерной системой, а сигнал СОПТ блокируется. При достижении управляемым объектом границы обрабатываемого участка навигационная система вырабатывает специальный сигнал, отключающий систему отслеживания, и осуществляет необходимое управление машинами на участке разворота. После окончания разворота вновь включается СОПТ.

Такое распределение функций в управлении строительно-дорожными машинами осуществляется коммутационным устройством по сигналам, поступающим от координатомерной системы. Эти сигналы вырабатываются специализированным вычислительным устройством (СВУ) [7] в режиме программного управления движением машин.

СВУ, определяющее отклонение мобильного объекта от заданной траектории и значение оценки близости к точкам начала разворота, содержит два рабочих регистра, с которых может быть снята текущая информация. Необходимо выделить какой-либо из разрядов одного из регистров, содержащее которого служило бы критерием включения или отключения СОПТ. В описываемом устройстве в качестве такого разряда был выбран восьмой разряд регистра индикации  $Y$ . В случае, если этот разряд имеет, например, значение 7, управление осуществляется оптической системой отслеживания, если же в этом разряде находится 0, то управление полностью передается координатомерной системе.

Программа управления движением строительно-дорожных машин должна формировать такой же признак в восьмом разряде регистра  $X$ . В то же время в первых семи разрядах того же регистра формируется значение отклонения объекта от заданной траектории. При этом необходимо учитывать, что значения отклонений могут варьироваться в довольно широком диапазоне и, следовательно, могут иметь разные десятичные весовые коэффициенты.

С точки зрения точности дистанционного управления эффективно использовать гибридную оптико-радионавигационную систему, в которой управление движением машин на прямолинейных участках осуществляется оптической системой (СОПТ), а на участке разворота (и контроль за нахождением границ «коридора сопровождения», и возврат машин в эту зону в случае выхода из нее) выполняется радиосистемой.

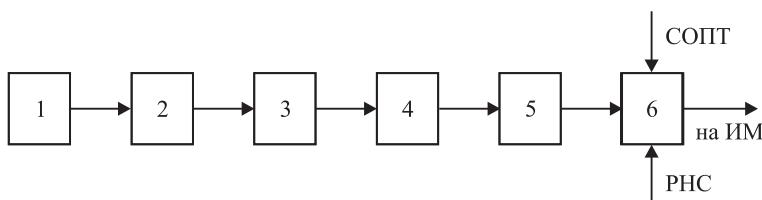
Устройство, обеспечивающее совместную работу РНС и СОПТ, должно выполнять следующие функции.

Во-первых, оперативно определять, находятся ли строительно-дорожные машины на прямом или на разворотном участке. В случае нахождения

машин на прямой, управление переключить на оптическую часть СОПТ. Если машины вышли в зону разворота, управление передать радионавигационному устройству.

Во-вторых, определить, не превышает ли отклонение найденных координат от заданных с определенным допустимым порогом при движении на прямом рабочем участке. Если рассогласование превышает заданное значение, передать управление на навигационную часть, иначе должна функционировать оптическая часть.

Функциональная часть системы, обеспечивающей совместную работу радионавигационной системы и системы отслеживания предыдущих траекторий в соответствии с описанным выше алгоритмом, приведена на рис. 1. Она содержит анализатор положения машин относительно заданной траектории 1, схему интерфейса вычислительного блока с устройством согласования совместной работы РНС и СОПТ при движении объекта 2, дешифратор выходных сигналов СВУ 3, буферную память 4, схему определения кода переключения дистанционного управления машин с СОПТ на РНС и обратно 5, выходной коммутатор 6.



*Рис. 1. Схема устройства, обеспечивающего согласованную работу РНС и СОПТ при автоматическом дистанционном управлении строительно-дорожными машинами*

Анализатор 1 положения строительно-дорожных машин относительно требующейся траектории движения предназначен для сравнения текущих координат с граничными заданными координатами, определяющими начало и конец прямолинейного рабочего участка и величину допустимой ошибки СОПТ. Конструктивно анализатор положения машин относительно заданной траектории движения совмещен с вычислительным блоком СВУ и работа его осуществляется в соответствии с описанным выше алгоритмом.

Схема сопряжения 2 вычислительного блока с последующими устройствами системы согласования совместной работы РНС и СОПТ предназначена для устранения взаимных помех, возникающих при работе СВУ и самого согласующего устройства.

Дешифратор 3 выходных сигналов вычислительного блока построен на логических вентилях ЗИ, на входе которых происходит совпадение трех сигналов: запрет, разряд, вес числа. Дешифратор 3 предназначен для преобразования выходных сигналов устройства управления индикаций, поступающих с регистров СВУ в последовательном коде, в параллельный код, необходимый для записи информации в буферную память 4.

Буферная память выполнена по схеме четырехразрядного регистра с параллельным вводом информации и предназначена для хранения ее на вре-

мя отработки сигнала рассогласования радионавигационной системой. Сброс регистра осуществляется по окончании обработки сигнала рассогласования, вырабатываемого блоком преобразования выходных сигналов СВУ для взаимодействия с исполнительными механизмами (ИМ) как в режиме управления с помощью РНС, так и при управлении движением машин с помощью СОПТ.

Схема определения кода переключения 5 управления движением агрегата с СОПТ на РНС и обратно представляет собой логический вентиль 4И. Если в буферную память из вычислительного блока записан код переключения управления от РНС к СОПТ (в нашем случае это код 7, т.е. 0111 в восьмом разряде регистра  $Y$ ), то с выхода схемы поступит сигнал управления выходным коммутатором, разрешающий выдачу на исполнительные механизмы машин команды от СОПТ. Иначе выходы СОПТ будут блокированы.

Выходной коммутатор 6 выполнен по схеме дешифратора, построенного на логических вентилях 2И, на входы которых поступают выходные сигналы СОПТ, пропорциональные углу и величине рассогласования, и выходные сигналы РНС, пропорциональные величине рассогласования с учетом знака рассогласования.

Принципиальная электрическая схема устройства для согласования совместной работы СОПТ и РНС при движении машин представлена на рис. 2.

По сигналу «конец вычислений», поступающему с устройства управления СВУ, снимается сигнал запрета считывания информации со схемы устройства управления индикацией вычислительного блока.

Выходная информация анализатора положения машин относительно заданной траектории движения с восьмого разряда устройства индикации вычислительного блока через схему сопряжения СВУ с устройством согласования, выполненную на транзисторах  $V_1 - V_5$ , поступает на дешифратор выходных сигналов. Информация о коде переключения с РНС на СОПТ в виде двоично-десятичного числа с весами разрядов 1-2-4-8 и знака разряда записывается в буферную память.

Дешифратор выходных сигналов вычислительного блока, представляющий собой схемы совпадения положительных сигналов запрета, веса разрядов (по шинам  $B_1 - B_4$ ) и номера разряда (по шине  $P$ ), собран на микросхемах  $D_2, D_3, D_4, D_5$ .

Буферная память представляет собой четырехразрядный регистр с параллельным вводом информации, содержащий RS триггеры, собранные на микросхемах  $D_2, D_3, D_4, D_5$  и переключаемые командами дешифратора выходных сигналов вычислительного блока.

Выходные сигналы регистра буферной памяти поступают на схему определения кода переключения дистанционного управления дорожно-строительных машин с СОПТ на РНС, выполненную на микросхемах  $D_6$ . Если на входе микросхемы  $D_6$  код 0111, то происходит переключение на СОПТ.

Выходной коммутатор выполнен на микросхемах  $D_7, D_8$  и с его помощью осуществляется непосредственное переключение с одной системы на другую.

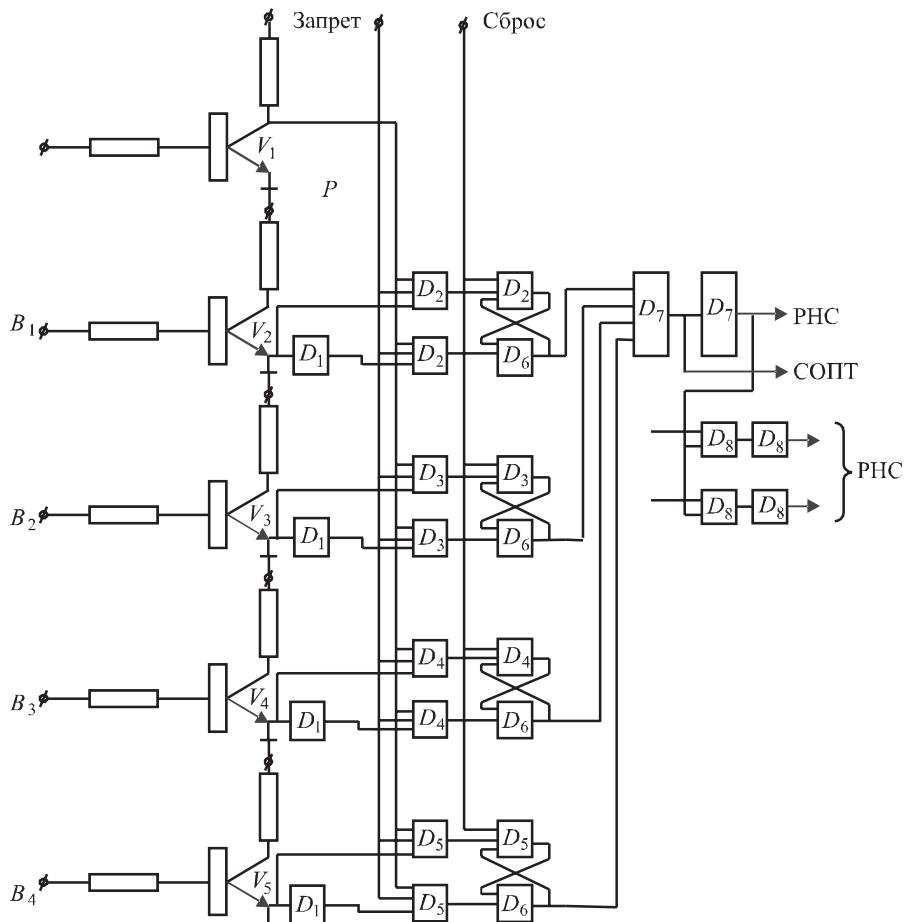


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства согласования совместной работы СОПТ и РНС для автоматического дистанционного управления строительно-дорожными машинами

Следует отметить, что наибольшей эффективности применения строительно-дорожных машин можно добиться при одновременном использовании предложенного варианта автоматического дистанционного управления движением и систем автоматического управления рабочими органами, основанными на управлении по прямым показателям эффективности [8].

Разработанная функциональная схема системы дистанционного управления строительно-дорожных машин для совместной работы оптической аппаратуры СОПТ и координатомерной радионавигационной системы имеет практический интерес и может быть полезна разработчикам систем дистанционного управления машинами в дорожном строительстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устинов Ю.Ф., Тепляков И.М., Аведеев Ю.В., Кононов А.А. Проблема построения систем дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 1. С. 83–86.

2. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А. Анализ принципов дистанционного адаптивного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 9. С. 41–46.
3. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Анкин В.Н. К вопросу исследования радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 10. С. 86–92.
4. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. Сравнительный анализ фазовых методов определения координат в задачах дистанционного автоматического управления машинами дорожно-строительного комплекса // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 1. С. 86–93.
5. Кононов А.Д., Авдеев Ю.В., Кононов А.А. Алгоритм обработки сигналов датчиков системы следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 3–4. С. 95–99.
6. Кононов А.Д., Авдеев Ю.В., Кононов А.А. Алгоритм формирования сигналов управления в системах следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 1. С. 81–86.
7. Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А. Метод компенсации погрешностей измерения координат при автоматическом дистанционном управлении машинами дорожно-строительного комплекса // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 8. С. 75–80.
8. Устинов Ю.Ф., Кононов А.Д., Кононов А.А., Иванов С.А. Повышение эффективности процесса разработки грунта косопоставленным отвалом землеройно-транспортной машины // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 1. С. 69–72.

**Авдеев Юрий Валентинович**, канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**Кононов Александр Давыдович**, канд. физ.-мат. наук, доц.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**Кононов Андрей Александрович**, д-р техн. наук; E-mail: kniga16@mail.ru

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**Варданян Нара Арташесовна**, асп.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 02.06.16

**Avdeev Yuriy Valentinovich**, PhD, Ass. Professor

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kononov Alexandre Davydovich**, PhD, Ass. Professor

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kononov Andrey Alexandrovich**, DSc; E-mail: kniga16@mail.ru

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Vardanyan Nara Artashesovna**, Post-graduate Student

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

## **TO A PROBLEM OF THE COORDINATION OF OPERATION OF INFORMATION SYSTEMS AT SELF-ACTING FULL REMOTE CONTROL BY MACHINES OF A ROAD-BUILDING COMPLEX**

The operation is devoted to system development of a distance control of building and road computers, as to the relevant direction of a heightening of efficiency of their

application. On the basis of the analysis of possibilities of automatic switching of operation of motion control systems of computers between a condition of watching of the previous trajectories and radio navigational condition the algorithm of compounded operation designed, and the circuitry of the device implementing correction of a trajectory of driving of computers is reduced. The guidelines on reaching the greatest operational effectiveness of road-building computers are given by simultaneous usage of optical and radio navigational systems of correction of a flowing trajectory and automatic control systems by end-effectors grounded on control on direct indexes of efficiency.

**Key words:** full remote control, building road machines, navigation systems, signal processing, trajectory observation.

## REFERENCES

1. Ustinov Yu.F., Teplyakov I.M., Avdeev Yu.V., Kononov A.A. Problema postroeniya sistem distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [Problem of build-up of remote control systems of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2006. No. 1. Pp. 83–86. (in Russian)
2. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A. Analiz printsipov distantsionnogo adaptivnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [The analysis of principles of a remote adaptive control of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 9. Pp. 41–46. (in Russian)
3. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Anikin V.N. K voprosu issledovaniyu radiovolnovogo kanala sistemy distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [To the problem of research of a radio-wave duct of a remote control system of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 10. Pp. 86–92. (in Russian)
4. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A. Sravnitel'nyy analiz fazovykh metodov opredeleniya koordinat v zadachakh distantsionnogo avtomaticheskogo upravleniya mashinami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa [The comparative analysis of phase methods of a coordinates setting in problems of remote automatic control of machines of a road-building complex]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 1. Pp. 86–93. (in Russian)
5. Kononov A.D., Avdeev Yu.V., Kononov A.A. Algoritm obrabotki signalov datchikov sistemy sledyashchego distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [The algorithm of processing of signals of transmitters of the system of a tracking distance control of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2009. No. 3–4. Pp. 95–99. (in Russian)
6. Kononov A.D., Avdeev Yu.V., Kononov A.A. Algoritm formirovaniya signalov upravleniya v sistemakh sledyashchego distantsionnogo upravleniya zemleroyno-transportnymi mashinami [The algorithm of forming of signals of control in systems of a tracking distance control of autograders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 1. Pp. 81–86. (in Russian)
7. Avdeev Yu.V., Kononov A.D., Kononov A.A., Vardanyan N.A. Metod kompensatsii pogreshnostey izmereniya koordinat pri avtomaticheskem distantsion-

- nom upravlenii mashinami dorozhno-stroitel'nogo kompleksa [The method of compensation of measuring errors of coordinates at the automatic remote control of autor graders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 8. Pp. 75–80. (in Russian)
8. Ustinov Yu.F., Kononov A.D., Kononov A.A., Ivanov S.A. Povyshenie effektivnosti protsessa razrabotki grunta kosopostavlennym otvalom zemleroyno-transportnoy mashiny [Heightening of efficiency of ground processing by obliquely positioned dump of autor graders, scrapers and bulldozers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2008. No. 1. Pp. 69–72. (in Russian)
-

УДК 539.3

Ю.В. НЕМИРОВСКИЙ, А.И. БОЛТАЕВ

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МНОГОПРОЛЕТНЫХ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК\*

### Сообщение 2

Предложен численный алгоритм решения задачи, поставленной в [1], о расчете гибридных стержневых конструкций с учетом физической нелинейности и разносопротивляемости материала. Решение разрешающей системы нелинейных алгебраических уравнений осуществляется с использованием квазиньютоновского метода и заменой производных их конечно-разностной аппроксимацией. Приведены результаты расчета трехслойных балок, составленных из различных пород древесины. В них показана возможность возникновения скрытых форм разрушения конструкции, которую необходимо учитывать при проектировании. Показана возможность существенного изменения предельной нагрузки, максимальных прогибов и характера начала разрушения при варьировании пород древесины слоев балки.

**Ключевые слова:** физическая нелинейность, гибридные стержневые конструкции, многопролетные балки, численные методы решения, брусья, деформирование, разрушение.

**Введение.** В работе [1] в процессе решения задачи об определении напряженно-деформированного состояния (НДС) гибридных стержневых конструкций с учетом физической нелинейности и разносопротивляемости материала получена замкнутая система разрешающих уравнений. Данная статья содержит алгоритм решения полученной системы уравнений. Приводятся примеры расчета, показывающие важные особенности работы гибридных стержневых конструкций.

**1. Алгоритм решения задачи.** Одна из основных сложностей определения НДС многопролетной балки в физически нелинейной постановке связана с решением системы нелинейных уравнений (11) из [1]:

$$\begin{cases} \sum_{t=0}^3 \aleph_i^t \sum_{n=t}^3 C_n^t \varepsilon_{0i}^{n-t} \sum_{j=1}^{n_{\text{сл}}} E_{jn} d_{jt} = N_i, \\ \sum_{t=0}^3 \aleph_i^t \sum_{n=t}^3 C_n^t \varepsilon_{0i}^{n-t} \sum_{j=1}^{n_{\text{сл}}} E_{jn} d_{j,t+1} = -M_i. \end{cases} \quad (1)$$

Данная система уравнений является явно выраженной относительно продольного усилия  $N_i$  и момента  $M_i$ . Из этого следует, что если известны деформации балки ( $\varepsilon_{0i}, \aleph_i$ ) и нужно найти внутренние усилия, то сис-

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-01-00102.

тема (1) уже является решением. Однако в подавляющем большинстве случаев все наоборот: известными являются внутренние усилия балки, а деформации необходимо определить. Исходя из этого преобразуем систему (1) так, чтобы деформации были явно выражены относительно внутренних усилий. Сделать это возможно с помощью известных методов аппроксимации функций двух переменных [2]. Иначе говоря, можно свести задачу решения системы нелинейных уравнений (1) к задаче аппроксимации функции двух переменных.

В качестве аппроксимирующей функции принимаем степенной многочлен:

$$\mathfrak{N}_i = \sum_{t=0}^{n_1} \sum_{n=0}^{n_2} a_{tn} N_i^t M_i^n, \quad \varepsilon_{0i} = \sum_{t=0}^{n_1} \sum_{n=0}^{n_2} b_{tn} N_i^t M_i^n. \quad (2)$$

Коэффициенты  $a_{tn}$ ,  $b_{tn}$  зависят от геометрии сечения, расположения слоев и их механических характеристик (коэффициенты  $E_{ij}$ ), но не зависят от  $N_i$  и  $M_i$ . Это значит, что при изменении функций продольных усилий и моментов нет необходимости заново находить  $a_{tn}$ ,  $b_{tn}$ .

Алгоритм решения системы (1) представляет собой следующую последовательность действий:

1. Покрываем область возможных значений  $\varepsilon_{0i} - \mathfrak{N}_i$  некоторой сеткой. В общем случае конфигурация сетки может быть произвольной и выбирается в зависимости от возможных путей упрощения расчета. Например, в области малых  $\varepsilon_{0i}$  и  $\mathfrak{N}_i$  шаг сетки возможно укрупнить. В данном случае используем прямоугольную сетку с постоянным шагом  $\Delta\varepsilon_{0i}$  и  $\Delta\mathfrak{N}_i$ .

2. В каждом узле сетки известны значения  $\varepsilon_{0i}$  и  $\mathfrak{N}_i$ . Подставляем их в систему (1) и находим пару  $N_i$ ,  $M_i$ .

3. Определяем коэффициенты  $a_{tn}$ ,  $b_{tn}$  с помощью аппроксимации полученных значений  $\varepsilon_{0i} - \mathfrak{N}_i - M_i - N_i$  и получаем решение (1) в виде (2).

Если балка статически определима, то можно найти внутренние усилия из одних уравнений равновесия. Подставив их в (2), найдем деформации балки  $\mathfrak{N}_i$  и  $\varepsilon_{0i}$ , по ним определим перемещения балки  $w_i$ ,  $\varphi_i$  и  $u_{0i}$  – формулы (6) из [1]. Однако многопролетная балка статически неопределенна и поэтому необходимо дополнительно удовлетворить уравнениям совместности деформаций.

Используя уравнения (2)–(4) из [1], получим выражения внутренних усилий, содержащие в качестве неизвестных только концевые моменты:

$$\begin{cases} M_i(\zeta_i) = M_{\pi,i} \frac{\zeta_i}{l_i} + M_{\pi,i-1} \left(1 - \frac{\zeta_i}{l_i}\right) + \\ + (M_{0i} + F_{0\zeta i}(k+H)) \left(1 - \frac{\zeta_i}{l_i}\right) + M_{F,i}(\zeta_i) - M_{F,i}(l_i) \frac{\zeta_i}{l_i}, \\ Q_i(\zeta_i) = \frac{1}{l_i} (M_{\pi,i} - M_{\pi,i-1} - M_{0i} - F_{0\zeta i}(k+H) - M_{F,i}(l_i)) + Q_{F,i}(\zeta_i), \\ N_i(\zeta_i) = \sum_{t=1}^{i-1} N_{F,t-1}(l_{t-1}) - \sum_{t=1}^i F_{0\zeta t} + N_{F,i}(\zeta_i). \end{cases} \quad (3)$$

Подставляем функции моментов и продольных сил в (2) и получаем выражение для  $\aleph_i$  и  $\varepsilon_{0i}$ , зависящей от координаты  $\zeta_i$  и концевых моментов  $M_{n,i-1}$ ,  $M_{n,i}$ . После этого подставляем выражение кривизны в (6) из [1] и получаем функции прогиба и угла поворота сечений  $i$ -го пролета:

$$w_i(\zeta_i) = w_i^0 + \varphi_i^0 \zeta_i + I_{2i}(\zeta_i), \quad \varphi_i(\zeta_i) = \varphi_i^0 + I_{1i}(\zeta_i), \quad (4)$$

$$I_{1i}(\zeta_i) = \int_0^{\zeta_i} \aleph_i(\zeta_i) d\zeta_i, \quad I_{2i}(\zeta_i) = \int_0^{\zeta_i} \left( \int_0^{\zeta_i} \aleph_i(\zeta_i) d\zeta_i \right) d\zeta_i. \quad (5)$$

В интегралах (5) присутствуют как параметры величины  $M_{n,i-1}$  и  $M_{n,i}$ . Преобразуем условия совместности перемещений (7), (8) из [1] с учетом выражений (4):

$$\begin{aligned} \varphi_i^0 + I_{1i}(l_i) &= \varphi_{i+1}^0, \quad w_i^0 = \Delta_i, \quad w_i^0 + \varphi_i^0 l_i + I_{2i}(l_i) = \Delta_{i+1}, \\ w_{i+1}^0 + \varphi_{i+1}^0 l_{i+1} + I_{2,i+1}(l_{i+1}) &= \Delta_{i+2}. \end{aligned} \quad (6)$$

После преобразования зависимостей (6) получаем

$$\frac{1}{l_i} (\Delta_{i+1} - \Delta_i - I_{2i}(l_i)) + I_{1i}(l_i) = \frac{1}{l_{i+1}} (\Delta_{i+2} - \Delta_{i+1} - I_{2,i+1}(l_{i+1})). \quad (7)$$

Коэффициенты  $\Delta_j$  находим из решения (17) из [1].

$$\Delta_i = \frac{-B_{1i}^\pm \pm \sqrt{B_{1i}^{\pm 2} + 4B_{2i}^\pm \sigma_i^\pm}}{2B_{2i}^\pm}, \quad \sigma_i^\pm = \frac{R_i^\pm}{A_{0pi}^\pm}. \quad (8)$$

Чтобы определиться с правилом выбора знака в (8), найдем  $d\Delta_i/d\sigma_i^\pm = \pm 1/\sqrt{B_{1i}^{\pm 2} + 4B_{2i}^\pm \sigma_i^\pm}$ . Знак производной  $d\Delta_i/d\sigma_i^\pm$  определяется только выбором соответствующего корня (8). С другой стороны, для единственности решения необходимо, чтобы функция  $\Delta_i(\sigma_i)$  была взаимно однозначной, а это выполняется при условии  $d\Delta_i/d\sigma_i^\pm > 0$  либо  $d\Delta_i/d\sigma_i^\pm < 0$  на всей области определения функции  $\Delta_i(\sigma_i)$ . Второй вариант не отображает реального поведения материала, так как получается, что на всей области деформирования увеличение деформаций приводит к снижению напряжений. Следовательно, в решение (8) необходимо брать знак «+».

Теперь необходимо выразить реакцию  $R_i$  через концевые моменты. Для этого используем первое уравнение системы (4) из [1] и второе из (3) и в итоге получим  $R_i = f_i(M_{n,i-2}, M_{n,i-1}, M_{n,i})$ . Тогда уравнение (8) примет вид

$$\Delta_i = f_i(M_{n,i-2}, M_{n,i-1}, M_{n,i}). \quad (9)$$

Подставляем его в (7) и окончательно получаем:

$$\begin{aligned} \frac{1}{l_i}(f_{i+1}(M_{\pi,i-1}, M_{\pi,i}, M_{\pi,i+1}) - f_i(M_{\pi,i-2}, M_{\pi,i-1}, M_{\pi,i}) - \\ - I_{2i}(l_i)) + I_{1i}(l_i) = \frac{1}{l_{i+1}}(f_{i+2}(M_{\pi,i}, M_{\pi,i+1}, M_{\pi,i+2}) - \\ - f_{i+1}(M_{\pi,i-1}, M_{\pi,i}, M_{\pi,i+1}) - I_{2,i+1}(l_{i+1})). \end{aligned} \quad (10)$$

Выражение (10) содержит в себе пять неизвестных концевых моментов  $M_{\pi,i-2} - M_{\pi,i+2}$ . Оно представляет аналог уравнения пяти моментов для многопролетной балки на упругих опорах [3]. Но в отличие от него учитывает физическую нелинейность как опор, так и материала балки. Уравнение (10) нелинейно относительно неизвестных  $M_{\pi,i-2} - M_{\pi,i+2}$ . Для балки из  $N$  пролетов необходимо решить систему из  $N-1$  таких уравнений.

Если опоры абсолютно жесткие, то уравнение (10) значительно упрощается (коэффициенты  $\Delta_j = 0$  в (7)) и приобретает вид

$$I_{1i}(l_i) - I_{2i}(l_i) \frac{1}{l_i} + I_{2,i+1}(l_{i+1}) \frac{1}{l_{i+1}} = 0. \quad (11)$$

В уравнение (11) входят три неизвестных концевых момента  $M_{\pi,i-1} - M_{\pi,i+1}$ . В линейной теории ему соответствует уравнение трех моментов [3].

Уравнения (10), (11) являются достаточно громоздкими, однако они легко поддаются решению путем использования квазиинуютоновского метода с заменой производных на их конечно-разностные аппроксимации [4]. При этом начальные значения неизвестных опорных моментов  $M_{\pi,i-2} - M_{\pi,i+2}$  берутся из линейного расчета.

Теперь есть все необходимое для составления полного алгоритма решения поставленной задачи.

1. Задаем входные параметры: геометрия балки, геометрия сечений и характеристики материалов слоев, нагрузки и диаграммы деформирования различных пород древесины.

2. Получаем решение системы нелинейных уравнений (1) в виде (2) и нелинейного уравнения (17) из [1] в виде (8).

3. Составляем систему нелинейных уравнений (10), решив ее, находим концевые моменты для каждого пролета.

4. Зная концевые моменты, найдем функции внутренних усилий (3).

5. Подставляя  $M_i$  и  $N_i$  в (1), (8), получим характеристики деформаций балки  $\varepsilon_{0i}$ ,  $\aleph_i$  и удлинение (сжатие) податливых опор  $\Delta_i$ .

6. Зная деформации, можно найти перемещения балки по формулам (6) из [1] и напряжения по (9) из [1].

**2. Примеры расчета.** Рассмотрим двухпролетную балку, загруженную равномерно распределенной нагрузкой  $q$  (рис. 1).

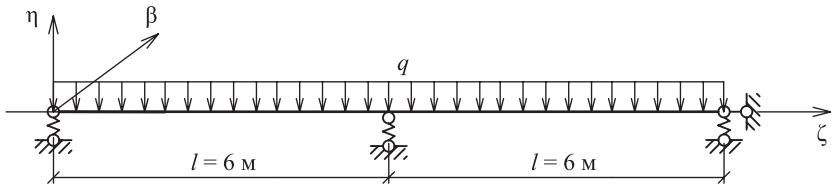


Рис. 1. Расчетная схема балки

Выражение моментов для левого пролета балки в осях  $\eta\zeta\beta$  определяется формулой

$$M(\zeta) = \frac{1}{2}q\zeta(l - \zeta) - \frac{M_{\text{пл}}}{l}\zeta, \quad (12)$$

где  $M_{\text{пл}}$  – величина момента на средней опоре.

Значения моментов в правом пролете определяются аналогично ввиду симметрии расчетной схемы.

Поперечное сечение балки представляет собой равнобедренную трапецию, состоящую из трех слоев. Площадь всех опор взята настолько большой, чтобы податливость их была пренебрежимо мала, как и свойство физической нелинейности. Отсчет слоев идет снизу вверх. Геометрические характеристики сечения приведены на рис. 2, все размеры даны в миллиметрах.

Для расчета возьмем три породы древесины: 1 – сосна, 2 – лиственница, 3 – ясень. Имея трехслойную балку и три породы древесины, можно получить  $3^3 = 27$  различных вариантов поперечных сечений, отличающихся расположением пород. Балку с каждым из видов сечений будем загружать до наступления начала разрушения, когда максимальные продольные деформации в каком-либо из слоев достигнут предельно допустимых значений. Результаты расчета приведены в табл. 1. Столбец 2 показывает, из каких пород изготовлены слои сечения. Так, шифр 312 означает, что первый слой выполнен из ясеня, второй из сосны и третий из лиственницы. В столбцах 3, 4 соответственно приведены предельное значение интенсивности распределенной нагрузки и максимальное значение прогиба балки.

Анализируя табл. 1, можно выделить важные особенности деформирования многослойной балки:

1) изменение породы слоев приводит к тому, что начало разрушения наступает в различных слоях. При этом в некоторых случаях реализуется скрытый характер разрушения, когда предельные деформации достигаются во внутреннем слое балки. В балках же, состоящих из одной породы

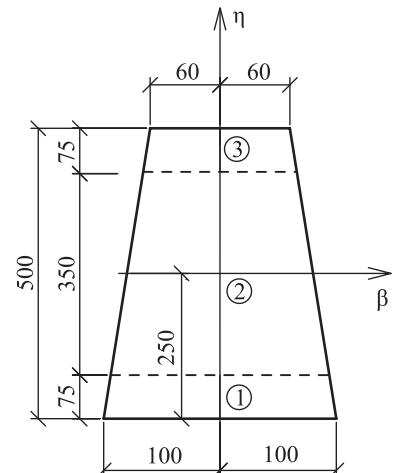


Рис. 2. Поперечное сечение балки

Таблица 1. Результаты расчета № 1

№	Распределение пород	$q_{\max}$ , кН/м	$w_{\max}$ , мм	Слой, в котором началось разрушение	Стоимость материала балки $S$ , руб.	$q_{\max}/w_{\max}$	$q_{\max}/S$
1	111	107	26,9	1	2520	4,0	0,042
2	121	97	27,0	1	2856	3,6	0,034
3	221	136	44,7	3	2928	3,0	0,046
4	211	128	36,4	2	2592	3,5	0,049
5	131	96	26,7	1	3276	3,6	0,029
6	331	121	38,9	1	3438	3,1	0,035
7	311	124	35,2	2	2682	3,5	0,046
8	321	122	39,2	1	3018	3,1	0,040
9	231	135	44,4	3	3348	3,0	0,040
10	112	101	27,6	1	2592	3,7	0,039
11	122	92	28,2	1	2928	3,3	0,031
12	222	136	47,7	1	3000	2,9	0,045
13	212	125	38,3	2	2664	3,3	0,047
14	132	92	28,2	1	3348	3,3	0,027
15	332	120	41,9	1	3510	2,9	0,034
16	312	122	37,4	2	2754	3,3	0,044
17	322	120	41,8	1	3090	2,9	0,039
18	232	134	47,1	1	3420	2,8	0,039
19	113	101	27,7	1	2682	3,6	0,038
20	123	92	28,3	1	3018	3,3	0,030
21	223	135	47,7	1	3090	2,8	0,044
22	213	125	38,5	2	2754	3,2	0,045
23	133	92	28,3	1	3438	3,3	0,027
24	333	118	41,3	1	3600	2,9	0,033
25	313	121	37,2	2	2844	3,3	0,043
26	323	118	41,2	1	3180	2,9	0,037
27	233	133	47,0	1	3510	2,8	0,038

древесины, предельные деформации всегда возникают на фиброзных волокнах;

2) начало разрушения в 1-м и 2-м слоях во всех случаях расчета начиналось из-за достижения предельно допустимых продольных деформаций на сжатие, а в 3-м слое из-за достижения предельно допустимых деформаций на растяжение. То есть, варьируя породу слоев, можно изменить характер начала разрушения конструкции.

Возможность создания многослойной конструкции из различных пород древесины естественным образом наталкивает на задачу оптимального

расположения пород древесины по сечению. Так, располагая различным образом породы в сечении, можно добиться значительного изменения предельной несущей способности балки и соответствующего ей максимального прогиба. В ходе расчета  $q_{\max}$  принимало значения в интервале 92–136 кН/м,  $w_{\max}$  в интервале 26,7–47,7 мм. Если в качестве критерия оптимальности конструкции использовать отношение предельной нагрузки к максимальному прогибу (см. табл. 1, столбец 9) или отношение предельной нагрузки к стоимости материала балки (табл. 1, столбец 10), то в первом случае наилучшей из приведенных в табл. 1 будет балка из сосны, а во втором – балка, первый слой которой выполнен из лиственницы, а второй и третий – из сосны. Разумеется, при другом наборе пород и (или) другой стоимости материалов, оптимальный вариант может измениться коренным образом.

Расчет № 2. Рассмотрим балку из шести пролетов, загруженную равномерно распределенной нагрузкой. Длина всех пролетов  $l = 4$  м. Поперечное сечение балки прямоугольное с размерами  $b \times h = 0,1 \times 0,25$  м. Материал балки – сосна, опор – дуб. Площадь всех опор  $A_{\text{оп}} = 40 \text{ см}^2$  взята из расчета, чтобы максимальные деформации опор были близки к предельным. Первый расчет произведем для данной балки с линейной зависимостью  $\sigma - \varepsilon$ ; во втором расчете опоры моделируем физически нелинейными, а материал балки оставляем линейным; в третьем расчете, наоборот, материал балки принимаем нелинейным, а материал опор линейным и в последнем расчете материал балки и опор принимаем нелинейным. Во всех четырех расчетах балку загружаем до наступления начала разрушения по условию (15) из [1]. В табл. 2 для каждого варианта расчетов приводим значения предельной нагрузки, максимальных прогиба и угла поворота. В столбце 6 дан коэффициент загруженности опор  $k = |\varepsilon^{\pm(\max)} / \varepsilon_*^\pm|$ , где  $\varepsilon^{\pm(\max)}$  – максимальное значение продольной деформации опор;  $\varepsilon_*^\pm$  – предельно допустимое значение продольной деформации материала опор.

Таблица 2. Результаты расчета № 2

Зависимость $\sigma - \varepsilon$		$q_{\max}$ , кН/м	$w_{\max}$ , $10^{-3}$ м	$\Phi_{\max}$ , $10^{-3}$ рад	$k$
материал балки	опоры	3	4	5	6
Линейная	Линейная	51	5,34	32,5	0,51
Линейная	Нелинейная	50	8,85	30,5	0,95
Нелинейная	Линейная	41	4,31	27,4	0,41
Нелинейная	Нелинейная	40,5	5,52	26,6	0,56

На основании данных табл. 2, можно сделать следующие выводы: при линейном расчете балка имеет максимальную несущую способность, учет физической нелинейности опор снижает несущую способность на 2,0 %, а учет физической нелинейности материала балки на 19,6 %; максимальное снижение несущей способности происходит при учете физической нелинейности как материала балки, так и опор – 20,6 %. Аналогично ведут себя максимальные прогибы и углы поворота. Только во втором и четвертом вариантах расчета из-за физической нелинейности опор происходит возрастание максимального прогиба по сравнению с линейным расчетом.

**Заключение.** В статье приводится алгоритм численного решения задачи, поставленной в [1], о расчете многопролетной kleеной деревянной балки

с учетом физической нелинейности и разносопротивляемости материала. Поперечное сечение балки может состоять из произвольного количества слоев, выполненных из различных пород древесины. Причем каждый слой может иметь свою зависимость изменения ширины по высоте сечения, что позволяет рассматривать различные формы поперечных сечений. Согласно приведенным результатам расчета трехслойных балок, составленных из различных пород древесины, возможно возникновение скрытых форм разрушения конструкции, что необходимо учитывать при проектировании. Также показана возможность существенного изменения предельной нагрузки, максимальных прогибов и характера начала разрушения при варьировании пород древесины слоев балки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Немировский Ю.В., Болтаев А.И. Особенности деформирования и разрушения деревянных kleеных многопролетных балок. Сообщ. 1 // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 6. С. 116–126.
2. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т. 1. М.: Физматгиз, 1962. 464 с.
3. Киселев В.А. Строительная механика. Общ. курс. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 520 с.
4. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985. 509 с.

**Немировский Юрий Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, проф.;  
E-mail: nemirov@itam.nsc.ru

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,  
г. Новосибирск

**Болтаев Артем Иванович**, асп.; E-mail: boltaev\_artem@mail.ru

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,  
г. Новосибирск

Получено после доработки 06.06.16

**Nemirovskiy Yuriy Vladimirovich**, DSc, Professor; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru  
Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics the Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Boltaev Artem Ivanovich**, Post-graduate Student; E-mail: boltaev\_artem@mail.ru  
Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics the Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

#### FEATURES OF DEFORMATION AND DESTRUCTION MULTI-SPAN GLUED WOODEN BEAMS

#### Report 2

A numerical algorithm for solving the problem posed in [1], the calculation of the hybrid beam structures, taking into account physical nonlinearity and different resistance material. The decision resolving a system of nonlinear algebraic equations is carried out using a quasi-Newton method and the replacement of the derivatives of the finite-difference approximation. The results of the calculation of three-layer beams composed of different types of wood which shows the possibility of hidden forms of structural failure which will certainly be taken into account in the design. Also shown is the possibility of

significant changes in both maximum load and maximum deflection by varying the trees making up the layers of the beam.

**K e y w o r d s:** physical nonlinearity, hybrid design, multi-span beams, numerical solution methods, bars, deformation, destruction.

#### REFERENCES

1. Nemirovskiy Yu.V., Boltakov A.I. Osobennosti deformirovaniya i razrusheniya derevyannykh kleenykh mnogoproljetnykh balok. Soobshchenie 1 [Features of deformation and fracture of multi-span glued wooden beams. Message 1] Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 6. Pp. 116–126. (in Russian)
  2. Berezin I.S., Zhidkov N.P. Metody vychisleniy. T. 1 [Calculation methods. Vol. 1]. Moscow, Fizmatgiz, 1962. 464 p. (in Russian)
  3. Kiselev V.A. Stroitel'naya mekhanika. Obshchiy kurs [Structural mechanics. General Course.] Moscow, Stroyizdat, 1986. 520 p. (in Russian)
  4. Gill F., Murray U., Rayt M. Prakticheskaya optimizatsiya [Practical optimization]. Moscow, Mir, 1985. 509 p. (in Russian)
-

УДК 631.311.25 : 621.039 : 532.595.2

В.В. ТАРАСЕВИЧ

## РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС

Рассчитывается процесс распространения и трансформации возмущений по системе технологических трубопроводов АЭС. Возмущения порождаются колебаниями заслонок в дросселях-регуляторах, расположенных в напорных патрубках главных циркуляционных насосов. Использование комбинированной явно-неявной схемы бегущего счета и применение моделей с сосредоточенными параметрами для описания отдельных частей системы позволило проводить достаточно эффективные вычисления. Результаты расчетов использовались для оценки надежности работы АЭС.

**Ключевые слова:** возмущение потока, гидравлический удар, явно-неявная схема бегущего счета, эквивалентизация части сети.

Обеспечение надежности функционирования атомных электростанций (АЭС), несомненно, представляет собой весьма актуальную задачу. Одним из важных элементов АЭС является система технологических трубопроводов, от надежности работы которых зависит надежность работы всей станции. Упрощенная схема такой системы представлена на рис. 1.

Рабочая жидкость (вода) от четырех главных циркуляционных насосов (ГЦН) поступает в напорный коллектор (НК), откуда по 22 раздаточным коллекторам (РК) подается через систему водяных трубопроводов (по 45 трубопроводов от каждого раздаточного коллектора) в рабочую зону реактора.

Нестационарный режим работы в системе возникает вследствие нестационарной работы дросселей-регуляторов (ДР), расположенных на напорных патрубках ГЦН. Колебания заслонок дросселей-регуляторов представляют собой случайный процесс [1]; порожденные этим процессом возмущения распространяются по всей трубопроводной системе, взаимодействуя между собой, отражаются от тупиков и тройников системы. В результате в трубопроводной системе возникает сложный нестационарный и вследствие порождающих возмущений случайный процесс. Оценка параметров этого процесса (автокорреляционная функция, спектральная плотность и т.д. [2]) необходима для расчетов надежности трубопровода.

Так как возмущения имеют достаточно малую амплитуду и распространяются в однородной капельной жидкости вдоль трубопровода (одномерный процесс), для описания распространения этих возмущений представляется целесообразным использовать теорию гидравлического удара [3, 4].

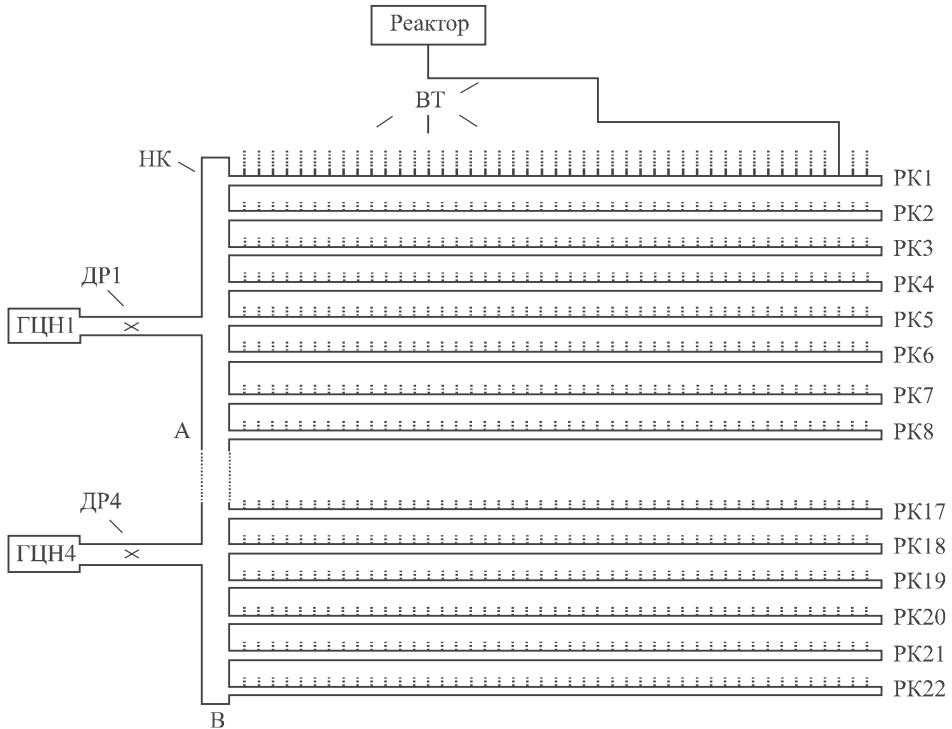


Рис. 1. Упрощенная схема системы технологических трубопроводов АЭС  
 ГЦН1 – главные циркуляционные насосы; ВТ – водяные трубопроводы; ДР1 – дроссели-регуляторы; НК – напорный коллектор; РК1 – раздаточные коллекторы

Тогда нестационарный процесс в жидкости будет описываться уравнениями [3, 4]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho a^2 \frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \lambda \frac{V|V|}{2d} + g \frac{dz}{dx} = 0, \quad (1)$$

где  $t$  – время;

$x$  – координата вдоль оси трубы;

$p = p(t, x)$  – давление;

$V = V(t, x)$  – скорость;

$\rho$  – плотность жидкости;

$a$  – скорость волны гидравлического удара [3];

$z = z(x)$  – вертикальная отметка оси трубы в точке  $x$ ;

$d$  – диаметр трубопровода;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения [5].

В качестве граничных условий используются следующие соотношения.

В тройниках (соединениях труб) задается равенство давлений (потери на поворот и на проход не учитываются) и баланс расходов

$$p_i^j = p^j, \quad \sum_{i \in R^j} \eta_i^j \omega_i V_i^j = 0, \quad (2)$$

где  $i$  – номер трубы;

$j$  – номер узла;

$R^j$  – множество номеров труб, примыкающих к узлу  $j$ ;

$p_i^j$ ,  $V_i^j$  и т.п. – давление и скорость на конце трубы  $i$ , примыкающем к узлу  $j$ ;

$\omega_i$  – площадь поперечного сечения  $i$ -й трубы;

$p^j$  – давление в узле  $j$ ;

$\eta_i^j = +1$ , если труба  $i$  входит в узел  $j$ , и  $\eta_i^j = -1$ , если труба  $i$  выходит из узла  $j$ .

В тупиках задано условие непротекания

$$V_i^j = 0. \quad (3)$$

На входе в рабочую зону реактора задается постоянное давление  $p_{nr}$

$$p_i^j = p_{nr}. \quad (4)$$

На выходе дросселей-регуляторов, расположенных в напорных патрубках ГЦН, задается осциллирующее давление как функция времени, снятая непосредственно с осциллографа:

$$p_i^j = p_{Drn}(t), \quad (5)$$

где  $n$  – номер дросселя-регулятора ( $n = 1, \dots, 4$ ).

Применяемая методика расчета использует запись системы (1) в инвариантах Римана [6], где

$$r = (\rho a V + p + \rho g z) / 2, \quad s = (\rho a V - p - \rho g z) / 2. \quad (6)$$

Система (1) в новых переменных  $r$  и  $s$  запишется в виде

$$\frac{\partial r}{\partial t} + a \frac{\partial r}{\partial x} + B \cdot (r + s) = 0, \quad \frac{\partial s}{\partial t} - a \frac{\partial s}{\partial x} + B \cdot (r + s) = 0, \quad (7)$$

где

$$B = \lambda \cdot |V| / 4d. \quad (8)$$

Исследуемая система состоит из 1017 трубопроводов и разбивается примерно на 2000 расчетных участков. Для проведения расчетов ось времени разбивается на шаги с постоянным шагом  $\tau$ , и каждая  $i$ -я труба разбивается на  $N_i$  шагов с постоянным для данной трубы шагом  $\Delta x_i$ .

Так как процесс распространения возмущений является быстропротекающим и имеет крутые участки фронта возмущения, для расчетов целесообразно использовать явную схему. Такие схемы имеют ограничение на расчетные шаги. Так, если применять явную схему бегущего счета [6], для устойчивого счета должно выполняться условие Куранта

$$\kappa_i = a_i \tau / \Delta x_i \leq 1, \quad (9)$$

где  $\tau$  – шаг счета по времени;

$\Delta x$  – шаг счета по оси  $x$  вдоль  $i$ -й трубы.

При наличии в системе разномасштабных труб («короткие» трубы наряду с «длинными») соотношение (9) может порождать излишне мелкий шаг по времени и соответственно неоправданно большое число шагов как по пространству, так и по времени, что требует больших вычислительных ресурсов (оперативной памяти и машинного времени). Это обстоятельство делает многократный просчет различных вариантов весьма затруднительным.

Для преодоления «проблемы коротких труб» предлагается решать систему (7) по явно-неявной схеме бегущего счета:

$$\begin{aligned} r_n^{k+1}(1+\kappa-\varphi+\tau \cdot B_n^k) &= r_n^k(1-\varphi)+\kappa \cdot r_{n-1}^k+(\kappa-\varphi) \cdot r_{n-1}^{k+1}-\tau \cdot B_n^k \cdot s_n^k, \\ s_n^{k+1}(1+\kappa-\varphi+\tau \cdot B_n^k) &= \\ =s_n^k(1-\varphi)+\kappa \cdot s_{n+1}^k+(\kappa-\varphi) \cdot s_{n+1}^{k+1}-\tau \cdot B_n^k \cdot r_n^k, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $k$  – номер шага по времени;

$n$  – номер шага по длине;

$\kappa$  – коэффициент Куранта (9).

Параметр  $\varphi$  выбирается следующим образом

$$\varphi_i=\min (1, \kappa_i) . \quad (11)$$

При выполнении условия (9) из соотношения (11) следует  $\varphi_i=\kappa_i$ , и (10) превращается в явную схему бегущего счета; при  $\kappa_i=1$  имеем метод характеристик, а для «коротких» труб  $\kappa_i>1$ ,  $\varphi_i=1$  и (10) становится разновидностью неявной схемы бегущего счета.

Для преодоления большой размерности системы отдельные части трубопроводной системы (подсистемы) описывались моделями с сосредоточенными параметрами [7]. При этом каждый раздаточный коллектор с присоединенными к нему 22 трубопроводами заменялся одним узлом с эквивалентными (в некотором смысле) характеристиками, который описывался уравнениями:

$$\begin{aligned} Q-Q_{nr} &= A \cdot \frac{dp}{dt}, \\ B \cdot\left[\beta \cdot \frac{dQ}{dt}+(1-\beta) \frac{dQ_{nr}}{dt}\right]+p_{nr}-p+\rho g \Delta z-K|Q| Q &=0, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий упругие свойства заменяемой части трубопроводной системы;

$B$  – коэффициент, характеризующий инерциальные свойства этой подсистемы;

$\beta$  – весовой коэффициент;

$K$  – коэффициент потерь на трение;

$Q$  и  $p$  – расход и давление в узле соответственно;

$Q_{nr}$  – общий расход, поступающий в рабочую зону реактора;

$\Delta z$  – средний перепад вертикальных отметок между раздаточным коллектором и рабочей зоной реактора.

Для нахождения коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $K$  применяется следующая процедура. Для каждого участка трубы, входящего в рассматриваемую подсистему, параметры  $A$ ,  $B$  и  $K$  будут определяться так

$$A = \frac{\omega L}{\rho a^2}, \quad B = \frac{\rho L}{\omega}, \quad K = \frac{\lambda \rho L}{2d\omega^2}, \quad (13)$$

где  $L$  – длина участка трубопровода.

Интегральное значение параметра  $A$  для всей трубопроводной подсистемы представляет собой сумму параметров  $A_i$  каждого  $i$ -го участка, входящего в подсистему, т.е. коэффициенты, характеризующие упругие свойства элементов подсистемы, суммируются.

Пусть  $i$  и  $m$  – номера двух участков трубопроводной системы. При последовательном соединении участков значения параметров  $B$  и  $K$  суммируются. При параллельном соединении двух участков для нахождения результирующего параметра  $B$  суммируются обратные величины  $1/B_{res} = 1/B_i + 1/B_m$ , а для нахождения результирующего сопротивления  $K_{res}$  суммируются проводимости [8]:  $1/\sqrt{K_{res}} = 1/\sqrt{K_i} + 1/\sqrt{K_m}$ .

Продвигаясь от конца раздаточного коллектора к точке его отвода от напорного коллектора и последовательно заменяя параллельные и последовательные соединения участков на «эквивалентный» узел согласно вышеописанной процедуре, в итоге получаем представление (12).

Сопоставление расчетов по «полней» модели (исходной модели с распределенными параметрами) и по построенной таким образом упрощенной модели показало расхождение порядка 0,5–0,9 % (рис. 2).

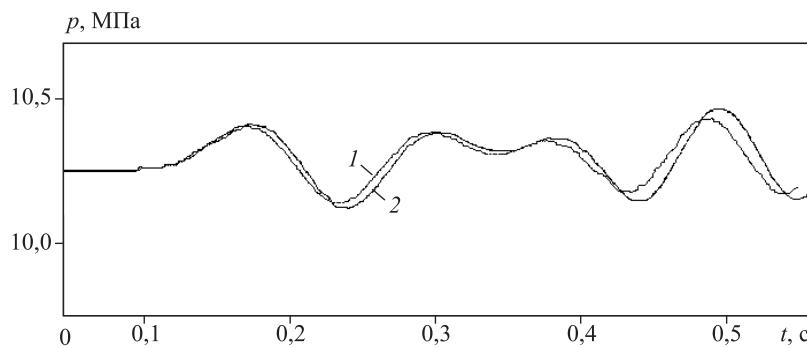
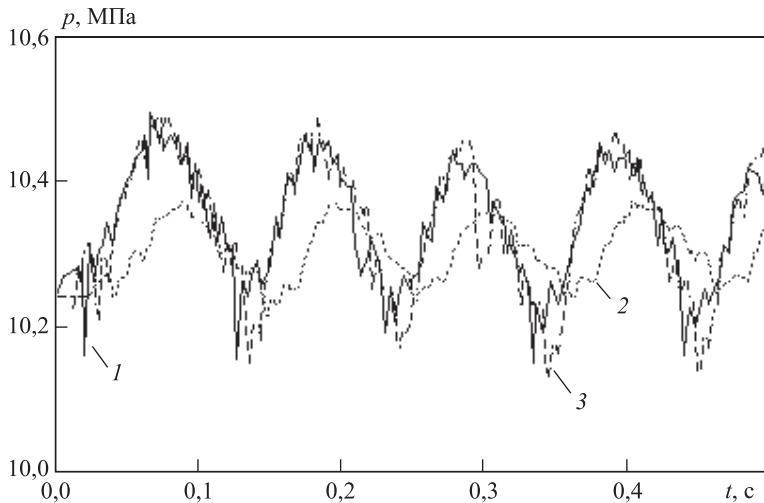


Рис. 2. Сопоставление расчетов давления  
1 – «точная» модель (с распределенными параметрами);  
2 – приближенная модель (12)

Использование явно-неявной схемы (10) и замена исходной трубопроводной системы на упрощенную с эквивалентными характеристиками по вышеописанной методике позволило в десятки раз увеличить производительность вычислений при сохранении приемлемой точности расчетов.

На рис. 3 представлены результаты расчета нестационарного процесса в системе вследствие случайных колебаний дросселя-регулятора ДР1 и результаты расчетов использовались при оценках надежности работы АЭС.



*Рис. 3. Давление в различных точках системы технологических трубопроводов АЭС*

1 – давление в источнике возмущения (за дросселем ДР1), 2 – давление в средней части НК (точка А), 3 – в тупике НК (точка В)

**Заключение.** Вышеизложенная методика позволяет рассчитывать нестационарные процессы распространения возмущений по таким большим и сложным трубопроводным системам, как системы технологических трубопроводов АЭС, содержащих более тысячи трубопроводных участков. Применение предложенной явно-неявной схемы бегущего счета позволяет эффективно организовать вычислительный процесс. Замена отдельных частей трубопроводной системы (которые являются системами с распределенными параметрами) на эквивалентные узлы, моделируемые системами с сосредоточенными параметрами, значительно снижает размерность системы в целом, что позволяет сократить на порядок – два время счета задачи. Это обеспечило возможность проведения многовариантных расчетов с приемлемыми затратами вычислительных ресурсов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Светлицкий В.А. Случайные колебания механических систем. М.: Машиностроение, 1991. 320 с.
- Розанов Ю.А. Введение в теорию случайных процессов. М.: Наука, 1982. 128 с.
- Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах // Бюллентень Политехнического общества. 1899. № 5. С. 3–73.
- Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1975. 224 с.
- Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 224 с.
- Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1978. 688 с.
- Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. М.: Мир, 1971. 560 с.
- Киселев П.Г. Гидравлика: основы механики жидкости. М.: Энергия, 1980. 360 с.

**Тарасевич Владимир Владимирович**, канд. физ.-мат. наук, доц.  
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирский филиал

Получено 22.06.16

**Tarasevich Vladimir Vladimirovich**, PhD, Ass. Professor  
Institute for Water and Environment Problem of the Siberian Branch of Russian Academy  
of Sciences, Novosibirsk, Russia

## **CALCULATION THE PROPAGATION AND TRANSFORMATION OF DISTURBANCES IN THE SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PIPELINES OF NUCLEAR POWER STATION**

The process of propagation and transformation of disturbances in the system of technological pipelines of nuclear power station is considered. The disturbances are generated by oscillations of flaps in the throttle-regulators located in the pressure-head branch pipes of main circulating pumps. Using the combined explicit-implicit running scheme and the application models with lumped parameters for describing some parts of the system allowed to carry out sufficiently effective computing. These calculations are used to estimate the reliability of nuclear power plant operation.

**K e y w o r d s:** disturbed flow, water hammer, explicit-implicit running scheme, equivalencing of a part of pipeline network.

### **REFERENCES**

1. Svetlitzkiy V.A. Sluchaynye kolebaniya mechanicheskikh system [Random oscillations of mechanic systems]. Moscow, Mashinostroenie, 1991. 320 p. (in Russian)
2. Rozanov Yu.A. Vvedenie v teoriyu sluchaynykh protsessov [Introduction in the theory of random processes]. Moscow, Nauka, 1982. 128 p. (in Russian)
3. Zhukovskiy N.E. O gidravlicheskem udare v vodoprovodnykh trubakh [About the water hammer in the water pipelines]. Byulleten' Politekhnicheskogo obshchestva [Bulletin of Polytechnic Society]. 1899. No. 5. Pp. 3–73. (in Russian)
4. Charney I.A. Neustanovivsheesya dvizhenie real'noy zhidkosti v trubakh. 2-e izd., pererab. i dop. [Unsteady moving of real fluid in the pipes. Second edition]. Moscow, Nedra, 1975. 224 p. (in Russian)
5. Altschul' A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya. 2-e izd., pererab. i dop. [Hydraulic resistance. Second edition]. Moscow, Nedra, 1982. 224 p. (in Russian)
6. Rozhestvenskiy B.L., Yanenko N.N. Sistemy kvazilineynykh uravneniy i ikh prilozheniya k gazovoy dinamike. 2-e izd., dop. [Systems of quasi-linear equations and their applications to gas dynamics. Second edition]. Moscow, Nauka, 1978. 688 p. (in Russian)
7. Skudryk E. Prostye i slozhnye kolebatel'nye sistemy [Simple and Complex vibratory systems]. The Pennsylvania State University Press, 1968. 560 p.
8. Kiselev P.G. Gidravlika: osnovy mekhaniki zhidkosti [Hydraulics: the basis of fluid mechanics]. Moscow, Energiya, 1980. 360 p. (in Russian)

УДК 621.926.34

К.А. ЮДИН, А.Н. ДЕГТЯРЬ, А.С. СТОВПЕНКО

## ДВУНАПРАВЛЕННОЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МАТЕРИАЛ В СФЕРИЧЕСКОЙ СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ

Проведено исследование процесса смешивания компонентов в смесителе периодического действия со сферической смесительной камерой и двунаправленным воздействием на материал. Представлена авторская кинематическая схема смесителя, предполагающая двунаправленное вращательное воздействие на материал относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Вращение смесительной камеры осуществляется посредством конической, цепной и цилиндрической передач. Возникающее сложное пространственное движение частиц материала можно регулировать частотным преобразователем и подбором соответствующих зубчатых колес. Представлена часть методики по определению траектории частиц материала в смесительной камере. Математически решается пространственная задача. Представлен пример машинной реализации задачи с помощью SolidWorks Flow Simulation. Описан вариант применения смесителя при производстве газосиликатных изделий.

**Ключевые слова:** смеситель периодического действия, траектории движения частиц материала, вращение камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей.

Проблемным и энергоемким направлением является переработка материалов. Специфичность применения смесительного оборудования направлена на повышение эффективности его эксплуатации с учетом способов переработки материалов [1]. В качестве инновационного подхода предлагается рассмотреть двунаправленное воздействие на смешиваемый материал в смесителях периодического действия со сферической смесительной камерой [2].

Это предполагает двунаправленное воздействие на смесительную камеру с материалом, включающее вращение камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей [3, 4].

Представим кинематическую схему предлагаемого устройства (рис. 1).

Техническим результатом использования устройства является повышение эффективности перемешивания материалов. Движение частиц материала происходит по траекториям свободного падения, а суперпозиция центробежных сил внутри смесительной камеры сферической формы заставляет частицы материала перемещаться по сложной траектории.

Технический результат достигается устройством для перемешивания материалов, содержащим смесительную камеру сферической формы, смонтированную на водиле, вращающем вокруг горизонтальной оси и приводом вращения. Коническая передача для вращения непосредственно смесительной камеры вокруг второй оси дополнена цепной передачей [5].

Наличие цепной передачи позволяет снизить размеры конических шестерен передачи, вращающей непосредственно смесительную камеру, что сократит материалоемкость конструкции устройства для перемешивания материалов.

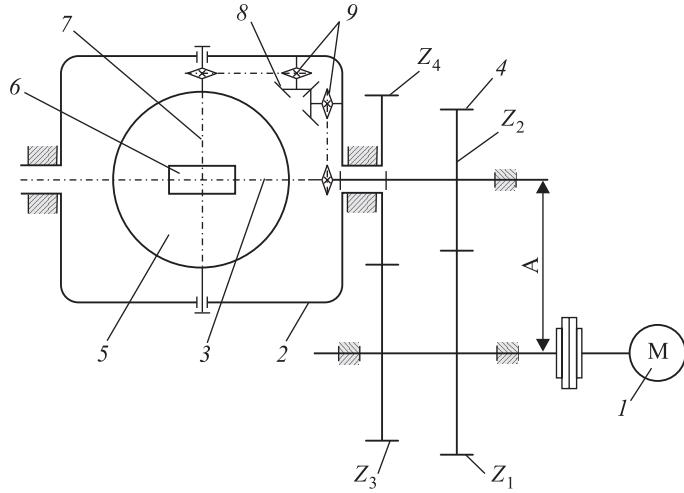


Рис. 1. Кинематическая схема устройства для перемешивания материалов с вращением камеры относительно двух взаимно перпендикулярных горизонтальных осей

1 – привод; 2 – вращающееся водило; 3 – горизонтальная ось; 4 – цилиндрическая зубчатая передача; 5 – смесительная камера; 6 – загрузочный люк; 7 – вторая горизонтальная ось; 8 – коническая зубчатая передача; 9 – цепная передача

Сферическая форма смесительной камеры и варьирование частотой вращения с помощью частотного преобразователя целесообразны для устранения застойных зон загрузки, повышения интенсивности перемешивания и гомогенизации смеси. Рабочая фаза заканчивается остановкой привода вращения через определенный интервал времени и разгрузкой смесительной камеры через люк.

Пространственные задачи для движения частиц смешиваемого материала в сферической смесительной камере решаются следующим образом.

Будем считать, что частица материала движется внутри смесительной камеры только под действием силы тяжести [6, с. 111]:

$$m_i \ddot{\vec{r}}_i = \vec{G}_i, \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -й частицы;  $\vec{G}_i$  – вес  $i$ -й частицы.

Учитывая, что  $G_i = m_i g$ , и интегрируя дважды уравнение (1), получим

$$\begin{cases} \ddot{\vec{r}}_i = -g\vec{k}; \\ \dot{\vec{r}}_i = -g\vec{k}t + \vec{V}_{i0}; \\ \vec{r}_i = -g\vec{k} \frac{t^2}{2} + \vec{V}_{i0} t + \vec{r}_{i0}. \end{cases} \quad (2)$$

В общем случае при отсутствии контакта выбранной частицы шарообразной формы с другими частицами и футеровкой смесительной камеры движение центров масс каждой частицы описывается уравнением

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{i0} + \vec{V}_{i0t} + \frac{\vec{g}t^2}{2}. \quad (3)$$

Уравнение (3) в проекциях примет вид:

$$\begin{cases} x_i = x_{i0} + V_{ix0}t; \\ y_i = y_{i0} + V_{iy0}t; \\ z_i = z_{i0} + V_{iz0}t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (4)$$

Для каждой  $i$ -й частицы можно определить время  $t_{ib}$  ее движения по параболической траектории до соударения со смесительной камерой. Границочное условие имеет вид

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = (R_b - r_s)^2, \quad (5)$$

где  $R_b$  – радиус смесительной камеры;  $r_s$  – радиус частицы.

Уравнение (5) с учетом (4) принимает вид

$$(x_{i0} + V_{ix0}t_{ib})^2 + (y_{i0} + V_{iy0}t_{ib})^2 + \left( z_{i0} + V_{iz0}t_{ib} - \frac{g}{2}t_{ib}^2 \right)^2 = (R_b - r_s)^2. \quad (6)$$

Уравнение (6) является уравнением 4-го порядка и имеет четыре действительных корня. Поскольку изначально частица материала находится внутри смесительной камеры, то один корень всегда отрицательный, а необходимый корень минимальный положительный. Варианты движения частицы можно интерпретировать графически (рис. 2).

Аналогично можно рассчитать время до соударения частиц  $|\vec{r}_i - \vec{r}_j| = 2r_s$ , которое в скалярном виде выглядит так:

$$(x_{i0} + V_{ix0}t_{ijs} - x_{j0} - V_{jx0}t_{ijs})^2 + (y_{i0} + V_{iy0}t_{ijs} - y_{j0} - V_{jy0}t_{ijs})^2 + \left( z_{i0} + V_{iz0}t_{ijs} - \frac{g}{2}t_{ijs}^2 - z_{j0} - V_{jz0}t_{ijs} + \frac{g}{2}t_{ijs}^2 \right)^2 = (R_b - r_s)^2. \quad (7)$$

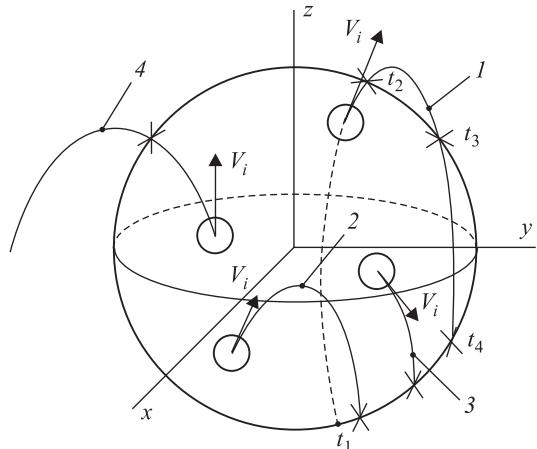


Рис. 2. Варианты движения частиц

Рассмотрим соударение частицы материала со смесительной камерой. Будем считать, что положение частицы в течение удара не меняется, а происходит мгновенное изменение скорости центра масс частицы.

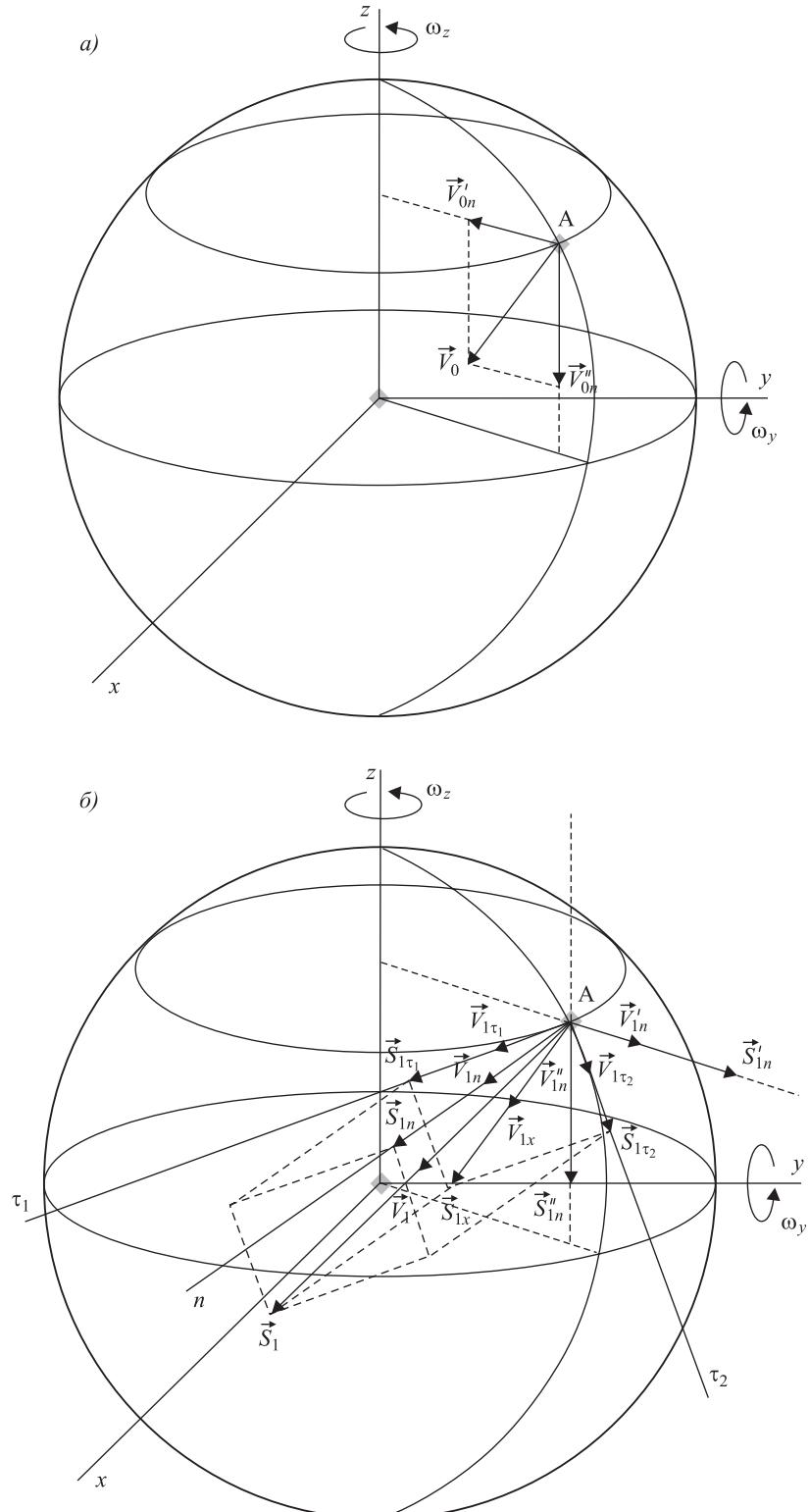


Рис. 3. Скорость в точке А до соударения (а); после соударения (б)

Запишем для частицы теоремы об изменении количества движения и об изменении момента количества движения [6]

$$\begin{cases} m\vec{V}_1 - m\vec{V}_0 = \vec{S}_n + \vec{S}_\tau; \\ J(\vec{\omega}_{1z} - \vec{\omega}_{0z}) = m_z(\vec{S}_n) + m_z(\vec{S}_\tau); \\ J(\vec{\omega}_{1y} - \vec{\omega}_{0y}) = m_y(\vec{S}_n) + m_y(\vec{S}_\tau), \end{cases} \quad (8)$$

где  $J = \frac{2 \cdot mr^2}{5}$  – момент инерции частицы относительно оси, проходящей

через ее центр масс;

$\omega_1, \omega_0$  – угловая скорость после контакта и до контакта;

$S_n$  – импульс силы нормального давления;

$S_\tau$  – импульс силы тангенциального давления;

$V_1, V_0$  – скорость частицы после контакта и до контакта.

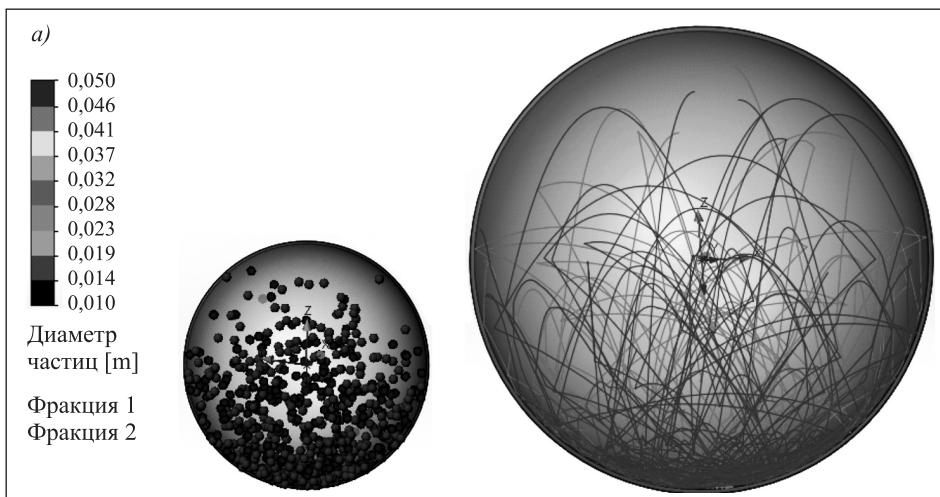
Спроецируем уравнения (8) на оси координат, привязанные к точке А на внутренней поверхности смесительной камеры (рис. 3).

$$\begin{cases} m\vec{V}_{1n} - m\vec{V}_{0n} = (\vec{S}_{1n}); \\ m\vec{V}_{1\tau_1} - m\vec{V}_{0\tau_1} = S_{1\tau_1}; \\ m\vec{V}_{1\tau_2} - m\vec{V}_{0\tau_2} = S_{1\tau_2}; \\ J\vec{\omega}_z = \sum m_z(\vec{S}_1); \\ J\vec{\omega}_y = \sum m_y(\vec{S}_1). \end{cases} \quad (9)$$

В результате решения системы (9) найдем составляющие скорости  $V_1$ .

Приведена часть методики, не включающая соударение частиц с другими частицами смеси. Соответствующий математический аппарат будет приведен в следующих работах.

Полученные результаты следует дополнить машинным экспериментом. Применим специфичное программное обеспечение SolidWorks Flow



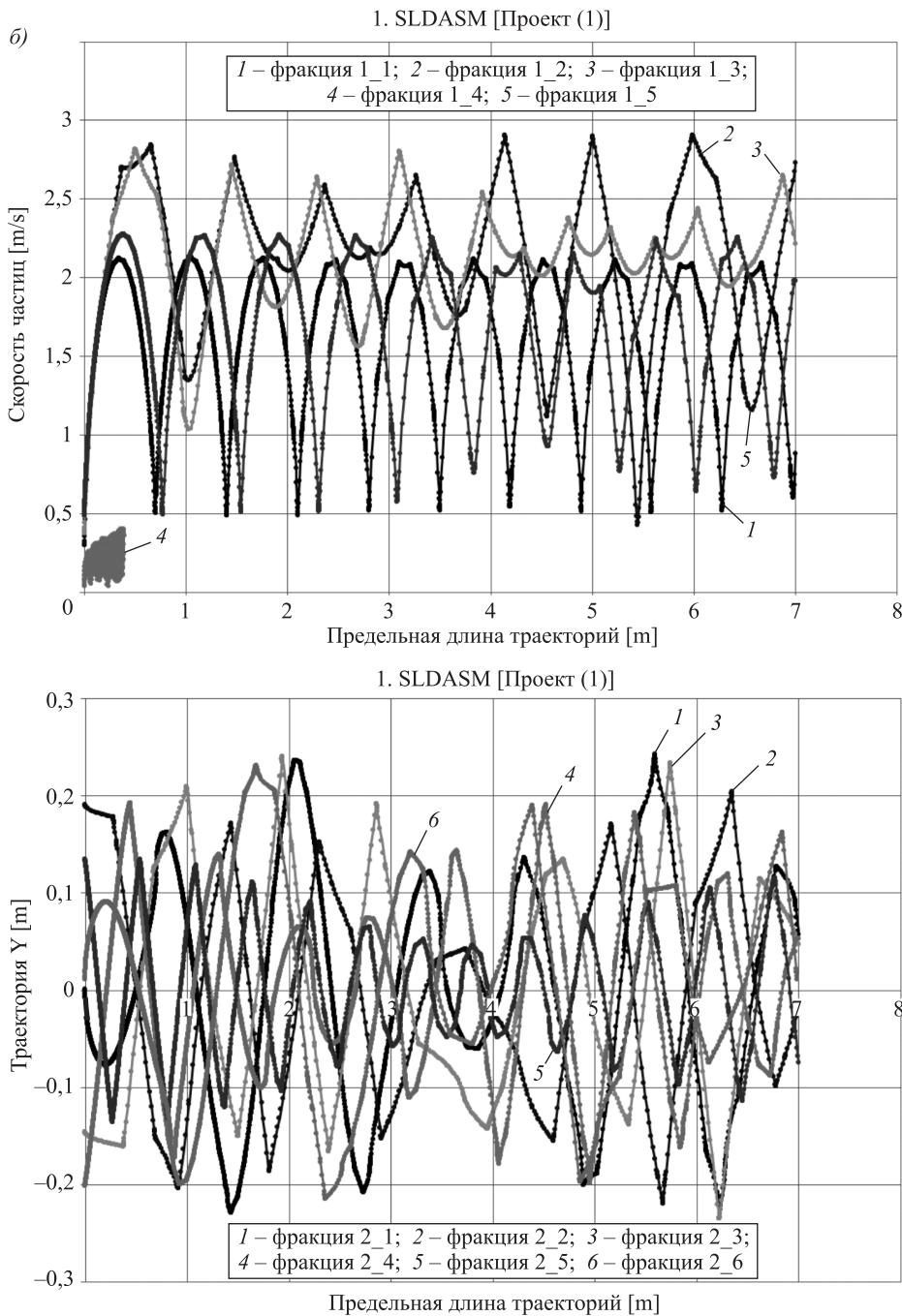


Рис. 4. Диаграммы анализа движения частиц

Simulation. Например, при частоте вращения  $n = 0,3 \text{ с}^{-1}$  и диаметре камеры  $d = 0,5 \text{ м}$ , можно получить следующие диаграммы (рис. 4).

На рис. 4 приведены траектории движения частиц материала и их фракционность. На приведенных диаграммах показана зависимость длины траектории от скорости частиц.

Скорость движения частиц достигает 2,9 м/с, а предельная длина траектории 7 м. Варьируя скоростью вращения смесительной камеры, можно

получить оптимальные значения скорости частиц и длины траектории в зависимости от загружаемого материала.

Вариантом практического применения двунаправленного вращательного воздействия на смешиаемый материал может выступать смеситель, используемый при производстве газосиликатных изделий [7].

Предлагаемое производственникам устройство для перемешивания расположено на подвижном портале и реализует двунаправленное вращательное воздействие на перемешиваемый материал.

Выходы о возможности использования таких смесителей могут быть сделаны в результате сравнения рассчитанных с помощью разрабатываемой методики параметров процессов смещивания и производственных данных.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмейнов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 680 с.
2. Юдин К.А., Дегтярь А.Н. Особенности движения материала в смесителе гироскопического типа // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 108–111.
3. Uicker John J., Pennock Gordon R., Shigley Joseph E. Theory of Machines and Mechanisms. Oxford University Press, 2009. P. 590.
4. Yudin K.A., Kuschev L.A., Savkin I.N., Negrun A.N. Modeling mixers gyroscopic type. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8): 1125–1129. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.08.7086 [http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/17.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/17.pdf)
5. Пат. на полезную модель № 144695 РФ МПК'В22 С 5/04. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, В.С. Богданов, И.Н. Савкин, А.Н. Нетрун; заявитель и патентообладатель Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова (RU), № 2014114674; заявл. 14.04.2014, опубл. 27.08.14, Бюл. № 24. 4 с.
6. Воробьев Н.Д. Математическое моделирование в процессах измельчения и классификации материалов: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 397 с.
7. Головин Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высш. школа, 1989. 384 с.

**Юдин Константин Анатольевич**, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
**Дегтярь Андрей Николаевич**, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
**Стовпенко Артем Сергеевич**, асп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено после доработки 08.06.16

**Yudin Konstantin Anatol'evich**, PhD, Ass. Professor

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Degtyar' Andrey Nikolaevich**, PhD, Ass. Professor

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

**Stovpenko Artem Sergeevich**, Post-graduate Student  
Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

## **BI-DIRECTIONAL ROTATIONAL IMPACT ON THE MATERIAL IN AMALGAMATORS OF PERIODIC ACTION**

Considered are the peculiarities of the development of mixers periodically type. Shows one copyright kinematic scheme of mixers, describe the impact on the mixing material in two mutually perpendicular directions. Rotation of the mixing chamber is carried out by means of toothed (conical, chain, and cylindrical) programmes. The resulting complex spatial motion of material particles can be adjusted to the selection of appropriate gear wheels. They were preliminary experimental studies. Conclusions on experiments are drawn. The example of machine realization of a task by means of SolidWorks Flow Simulation. There is shows an example of the using this mixers in gas silicate.

**K e y w o r d s:** batch mixer, trajectory of material motion inside the mixing chamber, rotation around two the axes.

### **REFERENCES**

1. Bogdanov V.S., Sharapov R.R., Fadin Yu.M., Semikopenko I.A., Nesmeyanov N.P., Gerasimenko V.B. Osnovy rascheta mashin i oborudovaniya predpriyatiy stroitel'nykh materialov i izdeliy: uchebnik [The basis of the calculation of machinery and equipment of enterprises of building materials and products: a tutorial]. Staryy Oskol, TNT, 2013. 680 p. (in Russian)
2. Yudin K.A., Degtyar' A.N. Osobennosti dvizheniya materiala v smesitele giroskopicheskogo tipa [Features of motion of material in the mixer is a gyroscopic type]. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2015. No. 5. Pp. 108–111. (in Russian)
3. Uicker John J., Pennock Gordon R., Shigley Joseph E. Theory of Machines and Mechanisms. Oxford University Press, 2009. P. 590.
4. Yudin K.A., Kuschev L.A., Savkin I.N., Negrur A.N. Modeling mixers gyroscopic type. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8): 1125-1129. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.08.7086  
[http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/17.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/17.pdf)
5. Pat. na poleznuyu model' No. 144695 RF MPK<sup>7</sup> V22S5/04. Ustroystvo dlya peremeshivaniya materialov [Pat. on useful model No. 144695. A device for mixing materials]. K.A. Yudin, V.S. Bogdanov, I.N. Savkin, A.N. Negrur; applicant and patentee BSTU named after V.G. Shukhov; appl. 14.04.2014; publ. 27.08.14, Bull. No. 24. 4 p. (in Russian)
6. Vorob'ev N.D. Matematicheskoe modelirovaniye v protsessakh izmel'cheniya i klassifikatsii materialov: monografiya [Mathematical modeling in process of milling and classification of material: monograph]. Belgorod, BSTU, 2014. 397 p. (in Russian)
7. Gorlov Yu.P. Tekhnologiya teploizolyatsionnykh i akusticheskikh materialov i izdeliy [Technology thermal insulation and acoustic materials and products]. Moscow, Higher School, 1989. 384 p. (in Russian)

## **СОРБЦИОННОЕ УДАЛЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО ОКСИДА МАРГАНЦА**

Наибольшую опасность среди веществ, оказывающих негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека, представляют ионы тяжелых цветных металлов (медь, цинк, свинец, марганец, никель и др.). Длительное поступление металлов в организм с питьевой водой может привести к их накоплению в нем, а впоследствии к развитию различных интоксикаций. Высокий уровень загрязненности поверхностных, а в ряде случаев и подземных вод происходит через сточные воды горнодобывающей промышленности, черной и цветной металлургии, машиностроительных, металлообрабатывающих, приборостроительных и других предприятий. В связи с этим очистка водных сред (природных и сточных вод) от ионов тяжелых металлов является актуальной задачей.

Для решения этой задачи в Институте горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН проведены исследования по использованию природных минеральных сорбентов, основные преимущества которых — относительно низкая стоимость и достаточно высокая сорбционная емкость. Исследования проводили на марганцевой руде одного из месторождений Сибири.

В результате исследований установлено, что данная марганцевая руда проявляет сорбционную активность по отношению к цинку и меди. Изучены основные факторы (время контакта, pH водной среды, расход сорбента), влияющие на сорбционный процесс. Показана принципиальная возможность использования марганцевых руд как природного источника оксида марганца в процессах сорбционной очистки водных сред от ионов тяжелых цветных металлов до санитарных норм.

За консультацией можно обращаться к разработчикам.

**Разработчики:** КОВАЛЕНКО Ксения Андреевна, канд. техн. наук;  
ПУШКАРЕВА Галина Ивановна, ст. науч. сотр.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск  
Адрес: 630091, Красный проспект, 54.  
E-mail: kovalenko-ksusha@mail.ru; E-mail: galinapush@mail.ru

## **УЛУЧШЕНИЕ ФОРМУЕМОСТИ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАССЫ ИЗ ГРУБОДИСПЕРСНОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ВВЕДЕНИЕМ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ**

При производстве изделий строительной керамики из пластической массы их эксплуатационные свойства зависят от качества формования, так как большинство дефектов закладывается именно на этом этапе, а затем лишь раскрывается при сушке и обжиге. При использовании грубодисперсных (содержание глиняных частиц менее 15 %) и малопластичных глинистых пород для повышения формируемости в состав шихты вводят высокопластичные глины. Однако из-за уменьшения запасов и отсутствия высококачественных глин для регулирования формируемости керамических масс в качестве пластифицирующей добавки применяют нетрадиционные природные и техногенные алюмосиликатные материалы. В Новосибирском архитектурно-строительном университете (Сибстрин) проведены исследования по улучшению формируемости грубодисперсного и малопластично-го глинистого сырья введением цеолитсодержащей породы (ЦСП), которая ранее не применялась в производстве керамических изделий. Опытным путем установлено, что цеолитсодержащая порода в виде отсева размером частиц до 3 мм должна измельчаться в шаровой мельнице в сухом состоянии в течение не более 6 ч. При введении ее до 30 % в керамические шихты на основе грубодисперсного суглинка предел прочности сырцов при сжатии увеличивается с 1,5 до 3,5 МПа. Промышленные испытания, проведенные на базе ООО «Стройгрупп» (измельчение цеолитсодержащей породы) и на кирпичном заводе ООО «Адарон» (формование кирпичей-сырцов, сушка и обжиг), подтвердили результаты лабораторных исследований.

Приглашаем к сотрудничеству всех заинтересованных лиц.

**Разработчики: КУЧЕРОВА Элла Алексеевна, канд. техн. наук, проф.  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**

**САТ Дмитрий Хураган-оолович, ст. препод., E-mail: silikat-tgu@mail.ru  
Тувинский государственный университет, г. Кызыл**

**КАРА-сал Борис Комбуй-оолович, д-р техн. наук, проф., E-mail: silikat-tgu@mail.ru  
Тувинский государственный университет, г. Кызыл**

## **ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ**

**1.** Рукопись представляется в редакцию на *русском языке*. Зарубежные авторы могут присыпать статьи на *английском языке*. Возможна публикация статьи одновременно в двух вариантах — на русском и английском языках. В этом случае оформляются два текста статьи — на русском языке и точный перевод на английский. Вместе с рукописью представляются:

- *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;
- *рекомендация* соответствующего академического (кафедры) или научного подразделения (заверенная выписка из протокола заседания подразделения);
- *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись.

Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции.

**2.** Рукопись должна готовиться на компьютере в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от Word 97 до Word 10; от Windows XP до Windows 10). Текст набирают шрифтом Times New Roman Сг размером 14 пт с межстрочным интервалом 1,5, все поля — 20 мм. Обязательна нумерация страниц внизу посередине. Объем рукописи — до 12 страниц А4, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

**3.** Состав рукописи статьи, правила и образец оформления см. на Internet-сайте журнала <http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/>

*a) русскоязычная часть:*

- индекс УДК — в левом верхнем углу, прописными буквами;
- инициалы, фамилии авторов;
- название статьи;
- аннотация объемом до 1/3 страницы текста (не менее 80 слов);
- ключевые слова (не менее 5);
- текст статьи:
  - следует применять физические величины и их обозначения согласно международной системе СИ;
  - аббревиатуры и сокращения расшифровываются при первом использовании;
  - ф о р м у л ы набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType, в статье должен быть необходимый минимум формул; все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента);
  - русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом; латинские буквы — курсивом;
  - во избежание смещения сходных изображений прописных и строчных букв *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и др., а также трудноразличимых букв и символов *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п. пояснения выполняются простым карандашом на полях;
  - и л л ю с т р а ц и и представляются в редакцию в виде файлов, созданных в Corel Draw или Microsoft Word, записанных с разрешением 300 дпі, с расширением cdr (предпочтительно) или .doc, фотографии — TIFF или JPEG; надписи и цифры набирать шрифтом Times New Roman, иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей и должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки);
  - иллюстрации распечатываются в двух экземплярах, с подписями к ним, размер иллюстрации — не более 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4;
  - т а б л и ц ы печатаются каждая на отдельном листе, все наименования в них даются полностью, без сокращения слов;
  - б и б л и о г р а ф и ч е с к и й с п и с о к (не менее 8 ссылок), составляется по следующим правилам:
    - в список включаются только опубликованные работы, в порядке упоминания в статье, ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках, в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТов, СНиПов, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) — ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстрочных сносок, библиографический список следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008 (примеры см. на сайте [http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/rules\\_and\\_examples\\_of\\_design\\_bibliographies\\_list/](http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/rules_and_examples_of_design_bibliographies_list/)), ссылки на интернет- сайты не допускаются;
    - для статей из зарегистрированных электронных журналов указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;
  - с в е д е н и я о б а в т о р а х: последовательно для каждого — фамилия, имя, отчество (полностью), учченая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), наименование учреждения, в котором работает автор, e-mail автора, страна (если не Российская Федерация);

*б) англоязычная часть:*

- сведения об авторах — последовательно для каждого:
  - фамилия, имя, отчество полностью, транслитерированные в латинские символы по системе BGN (использовать таблицу «правила транслитерации» см. на сайте [http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/BGN\\_PCGN\\_romanization/](http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/BGN_PCGN_romanization/));

(Окончание правил)

- ученая степень (DSc — доктор наук, PhD — кандидат наук, MSc — магистр, без указания научного направления), ученые звания (Professor, Ass. Professor, Academician of..., Corr. Member of... — профессор, доцент, академик ...), член-корреспондент ...), другое — Senior Lecturer (ст. преподаватель), Engineer (инженер), Post-graduate Student (аспирант), Student (студент);
  - официальное англоязычное название организации (учреждения), города (если не упоминается в названии организации), страны;
  - название статьи;
  - аннотация;
  - ключевые слова (Keywords);
  - библиографический список:
    - для зарубежных источников на латинице — с сохранением оригинального описания;
    - для ссылок на русскоязычные источники — транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов и название статьи; затем в квадратных скобках — название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, —, // и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце — (in Russian).
4. Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).
5. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению; авторы могут сообщить редакции данные о специалистах по профилю статьи. Доработанную после рецензии статью присыпать в электронном виде.
6. Корректура статьи может предоставляться по запросу автора.
7. Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.
8. Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Указываются разработчики: фамилия, имя, отчество полностью, звания и контактная информация. Электронная версия обязательна.
9. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высыпаются.

**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 раздел
- В лабораториях вузов
- Внедрение научных достижений в производство
- Научная информация

На 2-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2016 г.

каталожная цена за 6 месяцев — 3600 р.

цена отдельного номера — 600 р.

ББК 38  
И 33  
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 7 (691) 2016**

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*  
Технический редактор *Н.М. Макаренко*  
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*  
Корректор *Г.И. Шведкина*