

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

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

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

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

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

*Редколлегия:*  
Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Гордон В.А. д.т.н., проф.  
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Клюева Н.В. д.т.н., доц.  
Коробко А.В. д.т.н., проф.  
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Меркулов С.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Ольков Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Сергейчук О.В. д.т.н., проф.  
Серпик И.Н. д.т.н., проф.  
Тур В.В. д.т.н., проф.  
Турков А.В. д.т.н., проф.  
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Шах Р. д.т.н., проф.

*Ответственный за выпуск:*  
Соловьев С.В. к.т.н.

*Адрес редакции:*

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

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство: ПИ № ФС77-35718 от 24 марта 2009 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Блажнов А.А., Кузнецов Д.И., Уваров А.В. Энергоэкономичная ориентация арочного сооружения.....	3
Коробко В.И., Савин С.Ю., Бояркина С.В. Изгиб треугольных ортотропных пластинок с однородными и комбинированными граничными условиями.....	7
Коробко А.В., Черняев А.А. Определение отношения конформных радиусов для трапециевидных пластинок с помощью изопериметрического частного.....	14
Осовских Е.В., Колчунов В.И., Афонин П.А. Экспериментальные исследования деформирования и разрушения модели фрагмента железобетонного складчатого покрытия в запредельных состояниях.....	22
Пахомова Е.Г., Кретова В.М. Исследование работоспособности железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях.....	28
Серпик И.Н., Мироненко И.В. Оптимизация железобетонных рам с учетом многовариантности нагружения.....	33
Турков А.В., Марфин К.В. Точность результатов численных исследований круглых составных изотропных пластин на податливых связях при различном количестве конечных элементов.....	40

### Безопасность зданий и сооружений

Голенков В.А., Колчунов В.И. Инновационные технологии и механизмы обеспечения безопасности городской среды и социальных стандартов качества жизни биосферосовместимого города.....	46
--	----

### Архитектура и градостроительство

Калинкина Н.А. Изменение планировочной структуры средних профессиональных учебных заведений под влиянием развития образовательных систем.....	55
Шишкина И.В. Расчет показателя реализации функций биосферосовместимого города от вклада территориальной автотранспортной системы.....	59

### Строительные материалы и технологии

Канаев А.Ю., Христофорова И.А., Христофоров А.И. Теплоизоляционный пеноалюминиевый модифицированный отходами металлургической промышленности.....	69
Кобелеве С.А. Разработка методики определения полной энергоемкости зданий..	74
Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Влияние добавки УНИРЕМ-001 на структуру и свойства асфальтовяжущего и щебено-мастичного асфальтобетона.....	79
Федосов С.В., Акупова М.В., Потемкина О.В., Емелин В.Ю., Ветошкин А.А. Пенобетон повышенной теплостойкости.....	85



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

**№1 (39) 2012**  
**(January-February)**

# BUILDING AND RECONSTRUCTION

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

## *Editorial council:*

**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president  
**Radchenko S.Y.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Borzenkov M.I.** Candidat Sc. Tech.,  
Assistant Prof.  
**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.  
**Ivanova T.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kirichek A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Popova L.V.** Doc. Ec. Tech., Prof.  
**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## *Editor-in-chief*

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

## *Editor-in-chief assistants:*

**Danilevich D.V.** Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.  
**Kolesnikova T.N.** Doc. Arc., Prof.  
**Korobko V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## *Editorial committee*

**Bondarenko V.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Gordon V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Karpenko N.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kljueva N.V.** Doc. Sc. Tech., Assistant Prof.  
**Korobko A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Korol E.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Merkulov C.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Olkov Y.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Rimshin V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Sergeychuk O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Serpik I.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Tur V.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Turkov A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Fyodorov V.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Chernyshov E.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Schach R.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## *Responsible for edition:*

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

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

Journal is registered in Federal service on supervision in sphere of communication and mass communications  
The certificate of registration:  
*ПИ № ФС77-35718* from 24.03.09

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»  
**86294**

© State University ESPC, 2012

## Contents

### **Theory of engineering structures.**

#### **Building units**

<b>Blazhnov A.A., Kuznetsov D.I., Uvarov A.V.</b> Powereconomic orientation of arch building.	3
<b>Korobko V.I., Savin S.Yu., Bojarkina S.V.</b> Bending of the triangular orthotropic plate with homogeneous and combined boundary conditions.....	7
<b>Korobko A.V., Chernyaev A.A.</b> Definition of the relation of conformal radiuses for trapezoid plates with the help the isoperimetric private.....	14
<b>Osovskih E.V., Kolchunov V.I., Afonin P.A.</b> Experimental study of strain and failure features of reinforced concrete folded plate model in out-of-limit state.....	22
<b>Pahomova E.G., Kretova V.M.</b> Research of working capacity of ferro-concrete designs at corrosion damages.....	28
<b>Serpik I.N., Mironenko I.V.</b> Optimization of reinforced concrete frames with multichoice loading.....	33
<b>Turkov A.V., Marfin K.V.</b> Deflection and natural frequency compositesquare isotropic plates with various boundary conditions for change stiffness shear.....	40

#### **Building and structure safety**

<b>Golonkov V.A., Kolchunov V.I.</b> Innovation technologies and safety mechanisms of the urban environment and social standards of life quality in biosphere compatible city.....	46
--	----

#### **Architecture and town-planning**

<b>Kalinkina N.A.</b> Changes planning structure of secondary vocational schools under the influence of the development of educational systems.....	55
<b>Shishkina I.V.</b> Calculation of the indicator of realization of functions of the biosphere compatible city from the contribution of territorial motor transportation system.....	59

#### **Construction materials and technologies**

<b>Kanaev A.Y., Khristoforova I.A., Khristoforov A.I.</b> Heat-insulated foam aluminosilicate, modified by the waste of metallurgy industry	69
<b>Kobeleva S.A.</b> Development of methodology of determination of complete energy capasity of building.....	74
<b>Solomentsev A.B., Baranov I.A.</b> The influence of «УНИРЕМ-001 (UNIREM-001)» additive on the structure and properties of asphalt bounding agent and crushed stone and mastic asphalt concrete.....	79
<b>Fedorov S.V., Akulova M.V., Potyomkina O.V., Emelin V.U., Vetroshkin A.A.</b> Foam concrete of enhanced heat resistance.....	85

# ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 631.234

БЛАЖНОВ А.А., КУЗНЕЦОВ Д.И., УВАРОВ А.В.

### **ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ АРОЧНОГО СООРУЖЕНИЯ**

*Приведены результаты эксперимента по определению охлаждающего влияния воздушного потока на арочную поверхность различно ориентированной модели. Для создания принудительного движения воздуха использовалась аэродинамическая установка с двумя вентиляторами. Установлена связь между изменениями направления воздушного потока на модель арочного сооружения и конвективной теплоотдачей: при увеличении угла падения воздушного потока по отношению к продольной оси модели от 0 до 90° конвективная теплоотдача наружной поверхности возрастает. На основании полученных данных признано целесообразным арочное сооружение на участке строительства располагать торцом к преобладающему направлению ветра в зимний период года.*

**Ключевые слова:** модель арочного сооружения, воздушный поток, изменение направления потока, охлаждение поверхности модели.

В соответствии с федеральной целевой программой «Социальное развитие села до 2012 года» и приоритетным национальным проектом «Развитие АПК» на селе осуществляется строительство жилья и стимулируется создание малых форм хозяйствования, способствующих устойчивому развитию сельских территорий. С целью снижения стоимости и трудоемкости строительства для фермерских и личных хозяйств разработано многофункциональное производственное сооружение из легких несущих и ограждающих конструкций, предназначенное для содержания некрупных животных, птицы, культивирования овощей и грибов [1]. Несущими элементами каркаса являются стрельчатые арки пролетом 6-9 м (например, из прямоугольных труб) и проволочные прогоны. Совмещенное покрытие предусмотрено трехслойным утепленным с внутренним и наружным слоями из полимерных материалов и изделий: светостабилизированной пленки, поликарбонатных панелей и др. Экономия энергоресурсов при эксплуатации такого сооружения может быть достигнута вследствие уменьшения конвективного теплообмена при рациональном его расположении на участке относительно преобладающего направления ветра в зимний период. Например, известно, что на большей части европейской территории страны в январе преобладает юго-западный ветер (повторяемость от общего числа наблюдений до 40-60%), и зимой скорость ветра больше, чем летом.

В практических расчетах определение количества тепла  $Q_k$ , участвующего в конвективном теплообмене, ведется по формуле Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha_k(t_n - t) F z,$$

где  $\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией;  $t_n$  и  $t$  – температуры поверхности и среды;  $F$  – площадь поверхности теплоотдачи;  $z$  – продолжительность процесса.

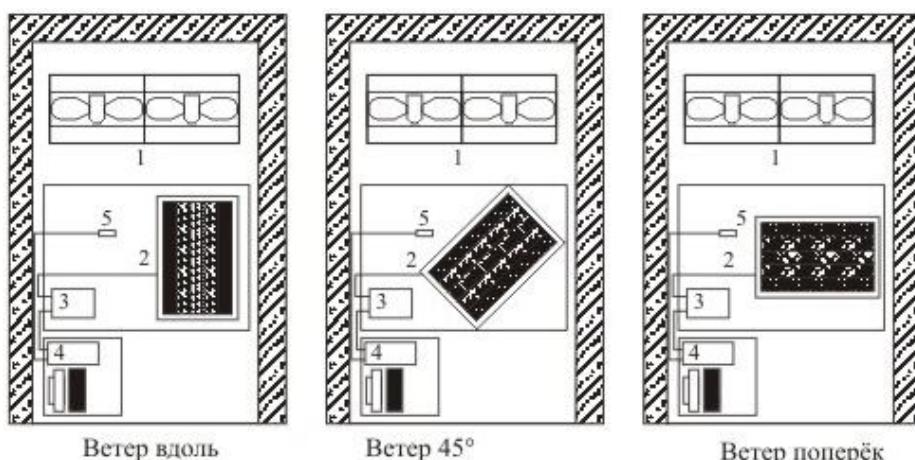
Конвективный теплообмен на наружной поверхности ограждения происходит при вынужденном движении воздуха. Применимельно к этому случаю В.М. Ильинским [2, 3] предложена формула для расчета конвективного теплообмена  $\alpha_k$ , Вт/(м<sup>2</sup> °C) в зависимости от скорости ветра  $v$  и характерного (наименьшего) размера обдуваемой поверхности:

$$\alpha_k = 5,9v^{0,8}/l^{0,2}.$$

Значения  $\alpha_k$  существенно зависят от расположения обдуваемых ветром поверхностей и скорости ветра. Например, при изменении скорости ветра от 0,5 до 10 м/с коэффициент  $\alpha_k$  увеличивается с 3,6 до 39,8 Вт/(м<sup>2</sup> · °C) [2].

Охлаждающее действие ветра на арочное сооружение исследовалось на модели, выполненной из изолана толщиной 1 см и располагавшейся различно по отношению к воздуш-

ному потоку (рис. 1) и определялось по изменению средней температуры поверхности. Размеры поперечного сечения модели соответствовали масштабу 1:15 применительно к габаритной схеме сооружения пролетом 6 м, соотношение сторон в плане составляло 1:1,75. Для создания принудительного движения воздуха использовалась аэродинамическая установка с двумя вентиляторами общей мощностью 1 кВт, скорость обтекающего модель потока равнялась 4 м/с. Внутренняя (создаваемая теплоэлектронагревателем) и наружная температуры воздуха изменились датчиками, температура в точках поверхности модели определялась пиromетром Impac IN15. Показания датчиков и пиromетра выводились на ПЭВМ, обработка результатов измерений выполнялась посредством программы MS Excel.



*Рисунок 1 – Схема эксперимента по определению теплосъема с поверхности модели сооружения: 1 – вентилятор; 2 – модель сооружения; 3 – мультиметр (регистратор); 4 – ПК; 5 – оптический пиromетр*

Необходимое для получения достоверного результата число наблюдений (точек на поверхности модели) на основании предварительных замеров определялось по формуле:

$$N = \frac{v^2 t^2}{p^2},$$

где  $v$  – коэффициент вариации, равный 4,5%;  $p$  – показатель точности, принятый равным 2%;  $t$  – показатель достоверности, равный 2,58 и соответствующий вероятности результата 0,99.

Результаты обработки опытных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты обработки опытных данных

Наименование величин	Необдуваемая поверхность модели (1)	Направление воздушного потока к продольной оси модели		
		вдоль (2)	45° (3)	поперек (4)
Число наблюдений	162	162	162	162
Средняя температура поверхности модели, °C	27,6	25,86	25,7	25,6
Среднее квадратическое отклонение, °C	1,004	0,368	0,23	0,25
Средняя ошибка среднего арифметического, °C	0,079	0,029	0,02	0,02

Достоверность разницы ( $T_{ij}$ ) между средними значениями температуры поверхности модели при различной ее ориентации по отношению к омывающему воздушному потоку определялась по формуле:

$$T_{ij} = \frac{M_i - M_j}{\sqrt{m_i^2 + m_j^2}} > 3,$$

где  $M_i$  и  $M_j$  – средние арифметические значения температуры;  $m_i$  и  $m_j$  – их средние ошибки.

Попарное сравнение экспериментальных данных при различной ориентации модели показало, что можно считать доказанным снижение средней температуры поверхности ограждающей конструкции: при обдувании поверхности модели воздушным потоком ( $T_{12}=20,7>3$ ;  $T_{13}=23,2>3$ ;  $T_{14}=24,6>3$ ); при перпендикулярном расположении модели к воздушному потоку по отношению к продольному и под  $45^\circ$  ( $T_{42}=7,45>3$ ;  $T_{43}=4,52>3$ ); при расположении модели под  $45^\circ$  к воздушному потоку по отношению к продольному ( $T_{32}=4,12>3$ ).

### **Выводы**

1. Установлена связь между изменениями направления воздушного потока на модель арочного сооружения и конвективной теплоотдачи: при увеличении угла падения воздушного потока по отношению к продольной оси модели от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  конвективная теплоотдача наружной поверхности возрастает.

2. Арочное сооружение на участке строительства целесообразно располагать торцом к преобладающему направлению ветра в зимний период года.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Блажнов, А.А. Производственное сооружение для интегрированного комплекса «жилье – производство» [Текст] / Жилищное строительство. – 2009. – №4. – С. 32-35.
2. Ильинский, В.М. Строительная теплофизика [Текст]. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
3. Малявина, Е.Г. Теплопотери здания [Текст]. – М.: АБОК-ПРЕСС, 2007.

**Блажнов Александр Александрович**

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Агропромышленное и гражданское строительство»  
Тел.: +7 (4862) 75-14-97; 75-15-60

**Кузнецов Даниил Игоревич**

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел  
Инженер, ассистент кафедры «Общестроительные дисциплины»  
Тел.: +7 (4862) 75-14-97; 75-15-60

**Уваров Александр Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Общестроительные дисциплины»  
Тел.: +7 (4862) 75-14-97; 75-15-60  
E-mail: uvarov\_av@bk.ru

---

BLAZHNOV A.A., KUZNETSOV D.I., UVAROV A.V.

### **POWER ECONOMIC ORIENTATION OF ARCH BUILDING**

*The experiment results on the assessment of cooling influence of air stream on arch surface of differently oriented model are given. For creation of compulsory movement of air aerodynamic installation with two fans was used. Connection between changes of a direction of an air stream on model of an arch construction and losses of heat by a surface is established: at increase in a hade of an air stream in relation to a longitudinal axis of model from 0 to  $90^\circ$  losses of heat by an external surface increase. On the basis of the received data the arch construction on a building site is recognised expedient to have an end face to a prevailing direction of a wind during the winter period of year.*

**Keywords:** arch building model, air stream, stream direction change, cooling of a surface of model.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Blazhnov, A.A. Proizvodstvennoe sooruzhenie dlja integrirovannogo kompleksa «zhil'jo – proizvodstvo» [Text] / Zhiliwnoe stroitel'stvo. – 2009. – №4. – S. 32-35.
2. Il'inskij, V.M. Stroitel'naja teplofizika [Text]. – M.: Vysshaja shkola, 1974. – 320 s.
3. Maljavina, E.G. Teplopoteri zdaniija [Text]. – M.: AVOK-PRESS, 2007.

**Blazhnov Aleksandr Aleksandrovich**

Oryol state agrarian university, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department «Agroindustrial and civil building»

Ph.: +7 (4862) 75-14-97; 75-15-60

**Kuznetsov Daneel Iqorevich**

Oryol state agrarian university, Orel

Engineer, assistant of department «Building disciplines»

Ph.: +7 (4862) 75-14-97; 75-15-60

**Uvarov Aleksandr Vasilyevich**

Oryol state agrarian university, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department «Building disciplines»

Ph.: +7 (4862) 75-14-97; 75-15-60

E-mail: uvarov\_av@bk.ru

КОРОБКО В.И., САВИН С.Ю., БОЯРКИНА С.В.

## ИЗГИБ ТРЕУГОЛЬНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИНОК С ОДНОРОДНЫМИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

В статье рассматриваются задачи поперечного изгиба упругих ортотропных пластинок в виде равнобедренных треугольников, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, при однородных и комбинированных граничных условиях. Для этих пластинок по значениям максимальных прогибов, полученным с помощью МКЭ, построены аппроксимирующие функции, аргументами которых являются коэффициент формы и соотношения цилиндрических жесткостей. Эти функции могут быть использованы непосредственно для нахождения значений максимальных прогибов треугольных пластинок либо для получения опорных значений при решении задачи поперечного изгиба ортотропных пластин в виде трапеций методом интерполяции по коэффициенту формы.

**Ключевые слова:** треугольные ортотропные пластинки, максимальный прогиб, однородные и комбинированные граничные условия, метод интерполяции по коэффициенту формы.

Одним из эффективных инженерных методов расчета пластинок сложных форм является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ) [1], который интенсивно развивается в последние годы. Однако к ортотропным и анизотропным пластинкам он до сих пор не применялся. В настоящей статье этот метод получил свое развитие к решению задач поперечного изгиба ортотропных пластинок в виде равнобедренных треугольников с комбинированными граничными условиями (комбинация условий шарнирного опирания и жесткого защемления по сторонам).

Сущность МИКФ заключается в следующем. Пусть для пластинки заданной формы необходимо найти значение интегральной физической характеристики (максимальный прогиб, частота собственных колебаний, критическая сила). Если форму заданной пластинки можно получить в результате какого-либо геометрического преобразования из форм других пластинок, интегральные физические характеристики которых известны (опорные решения), то искаемая величина может быть найдена интерполяцией опорных значений по коэффициенту формы. Поэтому одно из направлений развития МИКФ связано с построением граничных кривых для пластинок определенных форм и различными комбинациями граничных условий, которые бы могли использоваться в качестве опорных решений.

МИКФ широко применяется для расчета изотропных пластинок с различными граничными условиями. Однако для ортотропных пластинок граничные кривые построены только для двух случаев закрепления (либо шарнирное опирание по всему контуру, либо жесткое защемление) пластинок в виде треугольников [3] и прямоугольников [4] из трех наиболее распространенных в строительстве видов фанеры. Таким образом, существует потребность в построении граничных функций для характерных форм ортотропных пластинок с комбинированными граничными условиями, по которым можно было бы найти опорные значения интегральных физических характеристик при расчете ортотропных пластинок произвольного вида при сложных граничных условиях с помощью МИКФ.

Для изгиба ортотропной пластинки из теории упругости известно следующее дифференциальное уравнение:

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q, \quad (1)$$

где  $H = D_1 + 2D_{xy}$ ,  $D_1 = D_x v_y = D_y v_x$ .

В этих выражениях  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_{xy}$  – цилиндрические жесткости пластинки;  $v_x$ ,  $v_y$  – коэффициенты Пуассона по соответствующим направлениям.

Разделим правую и левую части уравнения (1) на  $H$ :

$$\frac{D_x}{H} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{D_y}{H} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{H}. \quad (2)$$

В этом случае при прочих одинаковых условиях (форма пластинки, нагрузка  $q$ , граничные условия и  $H$ ) решение будет зависеть от двух параметров уравнения:  $D_x/H$ ;  $D_y/H$ .

В изопериметрическом виде выражение для определения максимальных прогибов изотропной пластиинки представляется зависимостью [2]:

$$w = K_w \frac{qA^2}{DK_f^2}, \quad (3)$$

где  $K_f = \oint_L \frac{ds}{h}$  – коэффициент формы;  $K_w$  – некоторая функция, зависящая от граничных условий;  $A$  – площадь пластиинки, постоянная для пластиин с формой области одного класса (прямоугольные, трапециевидные и т.д.).

Следует отметить, что для изотропных пластиин в виде равнобедренных треугольников можно подобрать функцию  $K_w$ , удовлетворяющую всему множеству пластиин данного класса, лишь при однородных граничных условиях (шарнирное опирание либо жесткое защемление по всему контуру). В случае комбинированных граничных условий  $K_w$  будет различной для пластиин с углом при основании  $\alpha < 60^\circ$  и  $\alpha \geq 60^\circ$ . Если материал пластиинок обладает ортотропией упругих свойств, то на величину  $K_w$  также будет влиять соотношение характеристик  $D_x/H$  и  $D_y/H$ . С учетом указанных особенностей  $K_w$  решение задачи об изгибе треугольной ортотропной пластины будем искать в виде функции:

$$w = f(D_x/H; D_y/H; \alpha) \cdot g(K_f) \cdot \frac{qA^2}{HK_f^2}, \quad (4)$$

где  $g(K_f)$  – некоторая функция, зависящая от формы области и граничных условий, принятая для заданного интервала значений угла  $\alpha$  при основании пластиинки в виде равнобедренного треугольника;  $f(D_x/H; D_y/H; \alpha)$  – функция, учитывающая соотношение упругих характеристик ортотропной пластины, а также различие в значениях интегральных физических характеристик для пластиин в виде равнобедренных треугольников с углом при основании  $\alpha < 60^\circ$  и  $\alpha \geq 60^\circ$ .

В настоящей статье выполняется построение граничных кривых для максимальных прогибов упругих ортотропных пластиинок в виде равнобедренных треугольников с однородными и комбинированными граничными условиями (рис. 1). При этом одна из осей ортотропии направлена вдоль основания треугольника, а другая перпендикулярна ей. Построение аппроксимирующих функций осуществлялось по результатам численного решения соответствующих задач с помощью МКЭ с применением программного комплекса SCAD (с числом конечных элементов не менее 500).

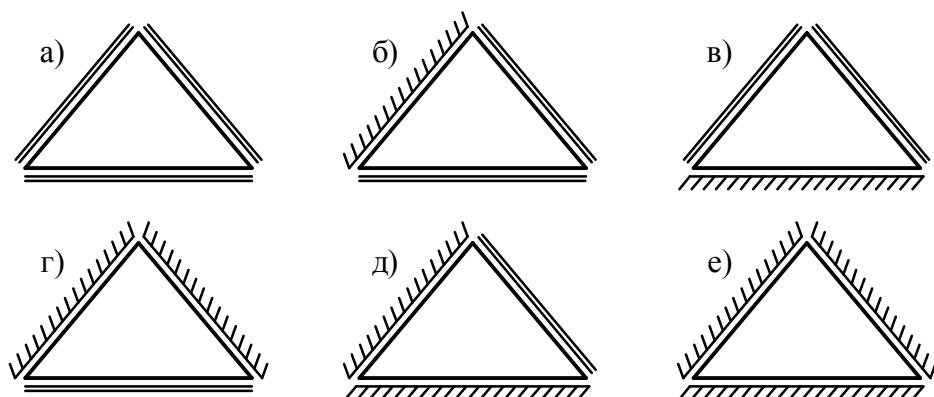


Рисунок 1 – Треугольные пластиинки с однородными и комбинированными граничными условиями

По результатам вычислений, выполненных для изотропных пластинок ( $Dx/H=1$ ,  $Dy/H=1$ ) с углом при основании  $\alpha$  не более  $60^\circ$ , с помощью программного комплекса Table Curve 2D построены аппроксимирующие функции:

- для шарнирно опирания по контуру (рис. 1, а):

$$g(K_f) = 1/(1,076 K_f^2 + 20,86 K_f - 8,458); \quad (5)$$

- для комбинированного опирания, когда одна боковая сторона жестко защемлена, а две другие шарнирно оперты (рис. 1, б):

$$g(K_f) = 1/(1,839 K_f^2 + 19,16 K_f + 100,4); \quad (6)$$

- для комбинированного опирания, когда две боковые стороны шарнирно оперты, а основание жестко защемлено (рис. 1, в):

$$g(K_f) = 1/(2,186 K_f^2 + 57,13 K_f - 303,2); \quad (7)$$

- для комбинированного опирания, когда две боковые стороны жестко защемлены, а основание шарнирно оперто (рис. 1, г):

$$g(K_f) = 1/(3,739 K_f^2 - 3,586 K_f + 376); \quad (8)$$

- для комбинированного опирания, когда одна боковая сторона шарнирно оперта, а две другие жестко защемлены (рис. 1, д):

$$g(K_f) = 1/(3,055 K_f^2 + 71,99 K_f - 300,7); \quad (9)$$

- для жесткого защемления по контуру (рис. 1, е):

$$g(K_f) = 1/(6,225 K_f^2 + 40,65 K_f + 29,38). \quad (10)$$

Разделим значения максимальных прогибов, вычисленных по МКЭ, на соответствующие решения, найденных по аппроксимирующим функциям (5)...(10). Анализ полученных результатов показал, что для заданных граничных условий величина  $f(D_x/H; D_y/H; \alpha)$  при постоянных параметрах  $D_x/H$  и  $D_y/H$  может быть описана с помощью полиномов второй или третьей степени, в которых переменной величиной является угол  $\alpha$  при основании треугольников. Ввиду того, что с изменением параметров  $D_x/H$  и  $D_y/H$  в выражениях, описывающих величину  $f(D_x/H; D_y/H; \alpha)$ , изменяются лишь коэффициенты, то их можно представить в виде функций, зависящих от соотношений цилиндрических жесткостей –  $D_x/H; D_y/H$ . С учетом этого выражение для величины  $f(D_x/H; D_y/H; \alpha)$  может быть записано в следующем виде:

$$f(D_x/H; D_y/H; \alpha) = D_i \alpha^3 + C_i \alpha^2 + B_i \alpha + A_i, \quad (11)$$

где  $A_i, B_i, C_i, D_i$  – некоторые функции параметров  $D_x/H; D_y/H$ . Для нахождения этих функций воспользуемся программой Table Curve 3D. В результате проведенных вычислений получены следующие выражения:

- для шарнирного опирания по контуру (рис. 1, а):

$$A_1 = -0,0812 + 0,6761 \frac{H}{D_x} + 1,1485 \frac{H}{D_y} - 0,9406 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,1492 \frac{H^2}{D_y^2} - \\ - 0,836 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,4722 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0544 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,2005 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,4439 \frac{H^3}{D_x^2 D_y},$$

$$B_1 = -2,2 \cdot 10^{-5} - 0,0067 \frac{H}{D_x} + 0,0034 \frac{H}{D_y} - 0,0075 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0276 \frac{H^2}{D_y^2} +$$

$$+ 0,0467 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0067 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0081 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,001 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 0,0236 \frac{H^3}{D_x^2 D_y},$$

$$C_1 = 7,1 \cdot 10^{-6} + 0,0001 \left( 2 \frac{H}{D_x} - \frac{H}{D_y} \right) + 10^{-4} \left( 0,36 \frac{H^2}{D_x^2} + 2 \frac{H^2}{D_y^2} - 3 \frac{H^2}{D_x D_y} \right) -$$

$$- 7,8 \cdot 10^{-5} \frac{H^3}{D_x^3} - 4,6 \cdot 10^{-6} \frac{H^3}{D_y^3} - 0,0001 \left( \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 2 \frac{H^3}{D_x^2 D_y} \right); \quad (12)$$

- для комбинированных граничных условий по рисунку 1, б:

$$\begin{aligned}
 A_2 = & -0,0694 + 0,64 \frac{H}{D_x} + 1,323 \frac{H}{D_y} - 0,8744 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,4615 \frac{H^2}{D_y^2} - 0,5967 \frac{H^2}{D_x D_y} + \\
 & + 0,32 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,2385 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,1136 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,688 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 B_2 = & -0,0005 - 0,0122 \frac{H}{D_x} - 0,0052 \frac{H}{D_y} + 0,004 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0003 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 & + 0,0152 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0094 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,0096 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,0278 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 0,0381 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 C_2 = & 8,6 \cdot 10^{-6} + 0,0005 \frac{H}{D_x} + 0,0001 \frac{H}{D_y} - 0,0007 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0007 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 & + 0,0007 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0001 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0006 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,0008 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,0005 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 D_2 = & 10^{-6} \cdot \left( 0,0611 - 4,193 \frac{H}{D_x} - 2,865 \frac{H}{D_y} + 8,099 \frac{H^2}{D_x^2} + 8,882 \frac{H^2}{D_y^2} - \right. \\
 & \left. - 9,138 \frac{H^2}{D_x D_y} - 2,667 \frac{H^3}{D_x^3} - 5,256 \frac{H^3}{D_y^3} + 5,593 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 1,379 \frac{H^3}{D_x^2 D_y} \right); \tag{13}
 \end{aligned}$$

- для комбинированных граничных условий по рисунку 1, ε:

$$\begin{aligned}
 A_3 = & -0,0756 - 0,0506 \frac{H}{D_x} + 1,4713 \frac{H}{D_y} - 0,396 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,3117 \frac{H^2}{D_y^2} - 1,147 \frac{H^2}{D_x D_y} + \\
 & + 0,2758 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0579 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,3619 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,4851 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 B_3 = & -0,0009 + 0,053 \frac{H}{D_x} - 0,018 \frac{H}{D_y} - 0,0514 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0148 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 & + 0,0675 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0216 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0096 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,015 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 0,021 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 C_3 = & 3,6 \cdot 10^{-5} - 0,0014 \frac{H}{D_x} + 0,0002 \frac{H}{D_y} + 0,0013 \frac{H^2}{D_x^2} + 0,0001 \frac{H^2}{D_y^2} - \\
 & - 0,0001 \frac{H^2}{D_x D_y} - 0,0005 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,0002 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,0004 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,0001 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 D_3 = & 10^{-6} \cdot \left( -0,3027 + 12,78 \frac{H}{D_x} - 1,152 \frac{H}{D_y} - 10,92 \frac{H^2}{D_x^2} - 2,248 \frac{H^2}{D_y^2} + \right. \\
 & \left. + 7,27 \frac{H^2}{D_x D_y} + 3,902 \frac{H^3}{D_x^3} + 2,621 \frac{H^3}{D_y^3} - 4,709 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,7217 \frac{H^3}{D_x^2 D_y} \right); \tag{14}
 \end{aligned}$$

- для комбинированных граничных условий по рисунку 1, ε:

$$\begin{aligned}
 A_4 = & -0,0697 + 0,7775 \frac{H}{D_x} + 0,879 \frac{H}{D_y} - 0,597 \frac{H^2}{D_x^2} + 0,435 \frac{H^2}{D_y^2} - \\
 & - 1,0895 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0342 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,0611 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,3184 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 1,1813 \frac{H^3}{D_x^2 D_y},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_4 &= -0,0002 - 0,0362 \frac{H}{D_x} + 0,0343 \frac{H}{D_y} + 0,0043 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,059 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 &+ 0,033 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0217 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0049 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,0532 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 0,0735 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 C_4 &= -5,9 \cdot 10^{-6} + 0,0014 \frac{H}{D_x} - 0,0007 \frac{H}{D_y} - 0,0012 \frac{H^2}{D_x^2} + 0,0003 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 &+ 0,0007 \frac{H^2}{D_x D_y} + 2,5 \cdot 10^{-5} \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0004 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,0016 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,0013 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 D_4 &= 10^{-6} \cdot \left( 0,214 - 11,56 \frac{H}{D_x} + 2,545 \frac{H}{D_y} + 14,56 \frac{H^2}{D_x^2} + 4,226 \frac{H^2}{D_y^2} - \right. \\
 &\left. - 11,02 \frac{H^2}{D_x D_y} - 3,671 \frac{H^3}{D_x^3} - 5,65 \frac{H^3}{D_y^3} + 11,73 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 6,28 \frac{H^3}{D_x^2 D_y} \right); \tag{15}
 \end{aligned}$$

- для комбинированных граничных условий по рисунку 1, *d*:

$$\begin{aligned}
 A_5 &= -0,0593 + 0,2191 \frac{H}{D_x} + 1,249 \frac{H}{D_y} - 0,4677 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,204 \frac{H^2}{D_y^2} - 0,8084 \frac{H^2}{D_x D_y} + \\
 &+ 0,1799 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0558 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,1507 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,5353 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 B_5 &= -0,0015 + 0,0229 \frac{H}{D_x} + 0,001 \frac{H}{D_y} - 0,0274 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0179 \frac{H^2}{D_y^2} + 0,03 \frac{H^2}{D_x D_y} + \\
 &+ 0,0192 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,005 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,0048 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 0,0226 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 C_5 &= 3,6 \cdot 10^{-5} - 0,0005 \frac{H}{D_x} - 0,0001 \frac{H}{D_y} + 0,0002 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0001 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 &+ 0,0002 \frac{H^2}{D_x D_y} - 0,0002 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0001 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,0002 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,0001 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 D_5 &= 10^{-6} \cdot \left( -0,1888 + 4,3 \frac{H}{D_x} - 0,3089 \frac{H}{D_y} - 0,2177 \frac{H^2}{D_x^2} + 2,404 \frac{H^2}{D_y^2} - \right. \\
 &\left. - 3,066 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,089 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,8064 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,1042 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 1,313 \frac{H^3}{D_x^2 D_y} \right); \tag{16}
 \end{aligned}$$

- для жесткого защемления по контуру (рис. 1, *e*):

$$\begin{aligned}
 A_6 &= -0,0647 + 0,1816 \frac{H}{D_x} + 1,1512 \frac{H}{D_y} + 0,2161 \frac{H^2}{D_x^2} + 0,557 \frac{H^2}{D_y^2} - \\
 &- 1,7594 \frac{H^2}{D_x D_y} - 0,1403 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,332 \frac{H^3}{D_y^3} + 0,3904 \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,7956 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}, \\
 B_6 &= -0,0009 + 0,0153 \frac{H}{D_x} + 0,0118 \frac{H}{D_y} - 0,0621 \frac{H^2}{D_x^2} - 0,0643 \frac{H^2}{D_y^2} + \\
 &+ 0,0818 \frac{H^2}{D_x D_y} + 0,0358 \frac{H^3}{D_x^3} + 0,0264 \frac{H^3}{D_y^3} - 0,0053 \frac{H^3}{D_x D_y^2} - 0,0384 \frac{H^3}{D_x^2 D_y},
 \end{aligned}$$

$$C_6 = 1,6 \cdot 10^{-5} - 4,9 \cdot 10^{-5} \frac{H}{D_x} - 0,0003 \frac{H}{D_y} + 0,0006 \left( \frac{H^2}{D_x^2} + \frac{H^2}{D_y^2} - \frac{H^2}{D_x D_y} \right) - \\ - 0,0004 \frac{H^3}{D_x^3} - 0,0002 \frac{H^3}{D_y^3} - 8,8 \cdot 10^{-5} \frac{H^3}{D_x D_y^2} + 0,0004 \frac{H^3}{D_x^2 D_y}. \quad (17)$$

Подставляя значения переменных коэффициентов из (12)...(17) в (11) и умножая затем полученные выражения на соотношения (5)...(10), найдем значения максимальных прогибов для ортотропных пластинок в виде равнобедренных треугольников при однородных и комбинированных граничных условиях. Сравнение результатов, полученных с помощью предложенного способа, с результатами расчета по МКЭ показало, что погрешность решений по сравнению с последними не превышает 3,8%.

### **Выводы**

- Построены аппроксимирующие функции для нахождения значений максимальных прогибов упругих ортотропных пластинок в виде равнобедренных треугольников при однородных и комбинированных граничных условиях, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой.
- Полученные аппроксимирующие функции могут быть использованы для непосредственного расчета треугольных пластинок и в качестве граничной кривой для выбора опорных решений, а также для разработки программного комплекса, реализующего метод интерполяции по коэффициенту формы при расчете ортотропных пластинок.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
2. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода [Текст] / В.И. Коробко. – М.: АСВ, 1997. – 390 с.
3. Коробко, В.И. Расчет треугольных ортотропных пластинок с однородными граничными условиями методом интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / В.И. Коробко, С.Ю. Савин // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2010. – №4 (30) – С. 8-12.
4. Коробко, А.В. Расчет прямоугольных ортотропных пластинок с однородными граничными условиями методом интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / А.В. Коробко, С.Ю. Савин. – 2011. – №1. – С. 11-15.

#### **Коробко Виктор Иванович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: vikor10@mail.ru

#### **Савин Сергей Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
E-mail: sjs28@mail.ru

#### **Бояркина Светлана Викторовна**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Инженер  
Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: center\_epb@mail.ru

## **BENDING OF THE TRIANGULAR ORTHOTROPIC PLATE WITH HOMOGENEOUS AND COMBINED BOUNDARY CONDITIONS**

*The article describes the problem of transverse bending of elastic orthotropic plates in the form of isosceles triangles, loaded with a evenly distributed load, with combined and with homogeneous boundary conditions. For these plates the values of the maximum deflection obtained by FEM to construct an approximating function whose arguments are the shape factor and the ratio of flexural rigidity. These functions can be directly used for finding of values of the maximum deflection of triangular plates, or to obtain reference values for solving the problem of transverse bending of orthotropic plates in the form of trapezoids using the interpolation technique by shape factor.*

**Keywords:** the triangular orthotropic plates, the maximum deflection, homogeneous and combined boundary conditions, the interpolation technique by shape factor.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovaniye formy oblasti v dvumernykh zadachakh teorii uprugosti [Text] / A.V. Korobko. – M.: ASV, 1999. – 320 s.
2. Korobko, V.I. Izoperimetricheskij metod v stroitel'noj mehanike: Teoreticheskie osnovy izoperimetricheskogo metoda [Text] / V.I. Korobko. – M.: ASV, 1997. – 390 s.
3. Korobko, V.I. Raschet treugol'nyh ortotropnyh plastinok s odnorodnymi granichnymi uslovijami metodom interpolacii po kojefficientu formy [Text] / V.I. Korobko, S.Ju. Savin // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2010. – №4 (30) – S. 8 – 12.
4. Korobko, A.V. Raschet prjamougol'nyh ortotropnyh plastinok s odnorodnymi granichnymi uslovijami metodom interpolacii po kojefficientu formy [Text] / A.V. Korobko, S.Ju. Savin // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2011. – №1. – S. 11 – 15.

**Korobko Viktor Ivanovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Doctor of technical science, professor of department «Construction structures and materials»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: vikor10@mail.ru

**Savin Sergey Yurievich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Post-graduate student of department «Construction structures and materials»  
E-mail: sjjs28@mail.ru

**Bojarkina Svetlana Viktorovna**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Engineer  
Ph.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: center\_epb@mail.ru

КОРОБКО А.В., ЧЕРНЯЕВ А.А.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ КОНФОРМНЫХ РАДИУСОВ ДЛЯ ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ПЛАСТИНОК С ПОМОЩЬЮ ИЗОПЕРИМЕТРИЧЕСКОГО ЧАСТНОГО

*Отношение внутреннего к внешнему конформных радиусов для трапециевидных областей определяется через изопериметрическое частное. Это отношение рассматривается в качестве нового аргумента в геометрических методах решения двумерных задач технической теории пластинок и используется для определения интегральных физико-механических характеристик пластинок (критического усилия при потере устойчивости, основной частоты свободных колебаний, максимального прогиба при поперечном изгибе) по методике метода интерполяции по коэффициенту формы.*

**Ключевые слова:** *отношение конформных радиусов, коэффициент формы, трапециевидные области, геометрические методы технической теории пластинок, метод интерполяции по коэффициенту формы, изопериметрическое частное.*

В предыдущих работах авторов [1...4] были установлены функциональные зависимости интегральных физико-механических характеристик (ФМХ) пластинок (критическое усилие при потере устойчивости, основная частота свободных колебаний, максимальный прогиб при поперечном изгибе) от отношения внутреннего  $\dot{r}$  (подразумевается его максимальное значение) и внешнего  $\bar{r}$  конформных радиусов  $\dot{r}/\bar{r}$ :

$$q_{0,kp} \leq \pi k_q \left( \frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)^{-1} \cdot \frac{D}{A}; \quad \omega_0 \leq \pi k_\omega \left( \frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)^{-1} \cdot \frac{\sqrt{D/m}}{A}; \quad w_0 \geq \pi k_w \left( \frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right) \cdot \frac{qA^2}{D}, \quad (1)$$

где  $q_{0,kp}$  – критическое усилие при потере устойчивости пластинки;  $\omega_0$  – основная частота свободных колебаний пластинки;  $w_0$  – максимальный прогиб при поперечном изгибе равномерно нагруженной пластинки;  $k_q$ ,  $k_\omega$ ,  $k_w$  – некоторые численные константы, зависящие от граничных условий пластинки;  $\dot{r}/\bar{r}$  – отношение конформных радиусов для области ограниченной контуром пластинки;  $D$ ,  $A$  и  $m$  – соответственно цилиндрическая жесткость, площадь и масса единицы площади пластинки;  $q$  – интенсивность поперечной нагрузки.

Неравенства (1) обращаются в равенства для правильных  $n$ -угольных, треугольных и ромбических пластинок, шарнирно опертых либо жестко защемленных по контуру. Если  $k_q$ ,  $k_\omega$ ,  $k_w$  представить как интегральные характеристики в виде функций от аргумента  $\dot{r}/\bar{r}$  ( $k_i = f_i(\dot{r}/\bar{r})$ , где  $k_i$  зависят также лишь от граничных условий пластинки и ее формы) и включить константу  $\pi$  в эти функции, то неравенства (1) можно переписать в виде равенств:

$$q_{0,kp} = k_q \cdot \frac{D}{A}; \quad \omega_0 = k_\omega \cdot \frac{\sqrt{D/m}}{A}; \quad w_0 = k_w \cdot \frac{qA^2}{D} \quad (2)$$

справедливых уже для пластинок произвольных форм.

Из приведенных выражений (1) и (2) видно, что *отношение конформных радиусов является геометрическим аналогом рассматриваемых в статье интегральных ФМХ пластинок*, если считать толщину и площадь всего множества пластинок с выпуклым контуром заданными и одинаковыми величинами. Следовательно, отношение  $\dot{r}/\bar{r}$  можно рассматривать как новый аргумент в геометрических методах решения двумерных задач строительной механики. Подробнее с физико-геометрической сущностью этих методов можно ознакомиться, например, в работе [5].

Для простых областей, форма которых задается изменением лишь одного геометрического параметра [6] (круг и правильные  $n$ -угольники, треугольники, ромбы, прямоугольники и эллипсы) в справочной математической литературе существуют точные формулы для определения конформных радиусов [7, 8]. В предыдущих работах авторов [1...4] для пластинок простых форм были получены функциональные зависимости (2). На рисунках 1 и 2 приведены

графики изменения критического усилия  $q_{0,kp}$  и основной частоты колебаний  $\omega_0$  для жестко защемленных пластинок.

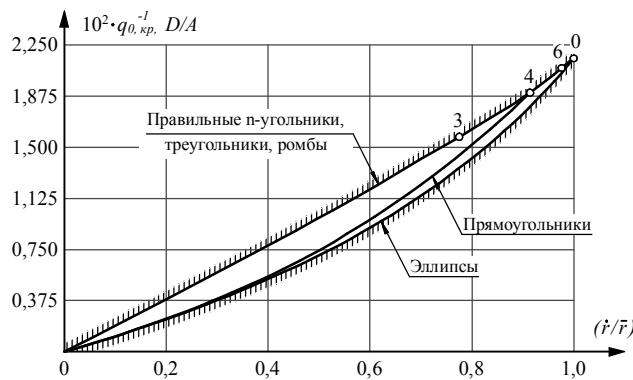


Рисунок 1 – Графики  $q_{0,kp} - \bar{r}/\bar{r}$

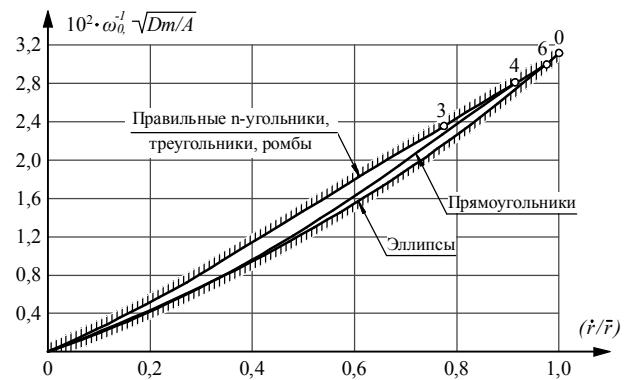


Рисунок 2 – Графики  $\omega_0 - \bar{r}/\bar{r}$

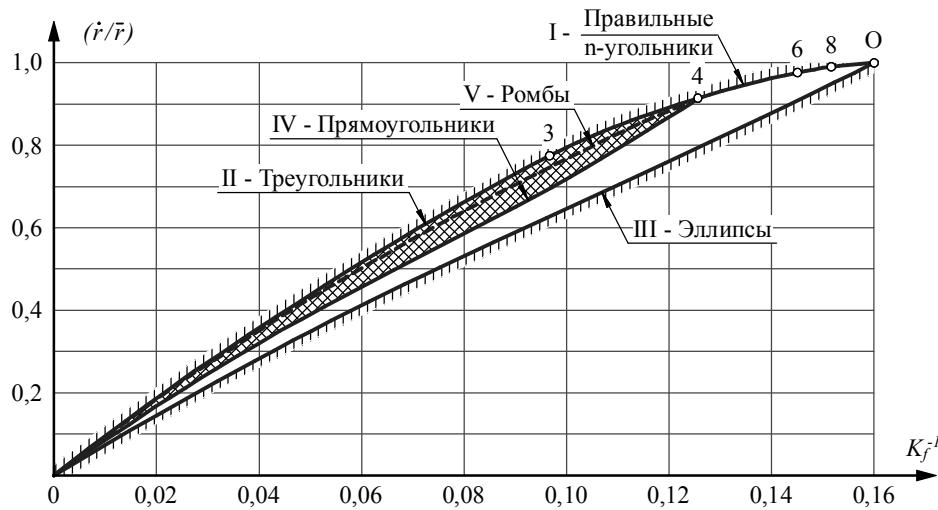


Рисунок 3 – Графики  $\bar{r}/\bar{r} - K_f$

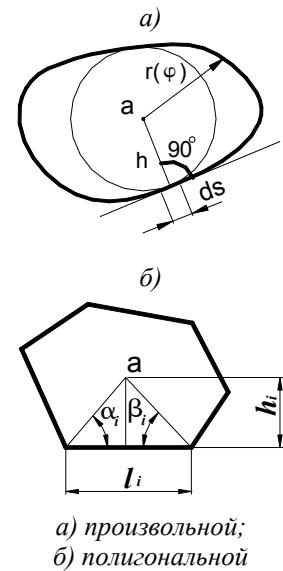


Рисунок 4 – К определению  $K_f$  плоской области

В работе [1] были исследованы вопросы взаимосвязи отношения конформных радиусов  $\bar{r}/\bar{r}$  с коэффициентом формы  $K_f$  (рис. 3). На основании теорем о закономерностях изменения коэффициента формы при геометрических преобразованиях [5] было установлено важное свойство о двусторонней ограниченности всего множества значений отношения  $\bar{r}/\bar{r}$  для четырехугольных областей: *верхнюю границу этого множества образуют значения  $\bar{r}/\bar{r}$  для треугольных областей, а нижнюю –  $\bar{r}/\bar{r}$  для прямоугольников* (на рисунке 3 указанная область заштрихована). На этом рисунке т. 3 соответствуютциальному треугольнику, т. 4 – квадрату, т. 6 –циальному шестиугольнику, т. 8 –циальному восьмиугольнику, т. О – кругу. По оси абсцисс откладываются значения коэффициента формы, который определяется контурным интегралом:

$$K_f = \min \oint_L \frac{ds}{h}, \quad (3)$$

где  $L$  – периметр заданной области;  $ds$  – линейный элемент контура;  $h$  – перпендикуляр, опущенный из любой точки, взятой внутри области, на касательную к переменной точке контура (рис. 4, а) [5]<sup>\*</sup>. В случае полигональной области выражение (3) примет следующий вид:

\* В любой области с выпуклым контуром существует лишь одна точка, обеспечивающая интегралу (3) минимальное значение [5].

$$K_{fa} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{h_i} = \sum_{i=1}^n (\operatorname{ctg}\alpha_i + \operatorname{ctg}\beta_i), \quad (4)$$

где  $n$  – число сторон многоугольника, а остальные обозначения указаны на рисунке 4, б.

Свойство о двусторонней ограниченности отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  для всего множества четырехугольников позволяет сформулировать аналогичное свойство относительно интегральных ФМХ пластинок: для всего множества равновеликих четырехугольных пластинок верхнюю (или нижнюю) границу значений интегральных ФМХ образуют треугольные пластинки, а нижнюю (или верхнюю) – прямоугольные. Из этого следует, что к определению интегральных ФМХ четырехугольных пластинок произвольного вида с использованием отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  можно применить разработанную в монографии [9] достаточно эффективную и простую в реализации методику метода интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ). Следует лишь заменить коэффициент формы  $K_f$  на отношение  $\dot{r}/\bar{r}$ . Поскольку область возможных значений интегральных ФМХ для четырехугольных пластинок при использовании отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  оказалась значительно уже (в 2...3 раза), чем при  $K_f$  [2...4], то и точность получаемых решений будет значительно выше.

Для областей сложного вида, форма которых определяется двумя и большим числом геометрических параметров, включая трапеции и параллелограммы, определение значений внутреннего и внешнего конформных радиусов представляет собой весьма сложную математическую задачу, связанную с нахождением отображающей функции [10]. Поэтому целесообразно найти приближенные способы определения отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  для таких областей. С этой целью воспользуемся функциональными зависимостями  $\dot{r}/\bar{r} - K_f$ , приведенными на рисунке 3, и рассмотрим пути определения отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  для трапециевидных областей (формы таких пластинок достаточно широко используются в строительных и машиностроительных конструкциях). Для этого используем методику МИКФ, отыскивая вместо интегральных ФМХ отношения  $\dot{r}/\bar{r}$ , а граничными кривыми при этом (для выбора «опорных» решений) будут аппроксимирующие функция 0-3-4-6-8-О и 0-4, построенные по известным точным формулам. С учетом сказанного

$$\dot{r}/\bar{r} = (\dot{r}/\bar{r})_1 \left( \frac{K_f}{K_{f1}} \times \frac{A_1}{A} \right)^n, \text{ где } n = \frac{\ln((\dot{r}/\bar{r})_1 / (\dot{r}/\bar{r})_2)}{\ln(K_{f2}/K_{f1} \times A_1/A_2)}, \quad (5)$$

а индексы 1 и 2 относятся соответственно к геометрическим параметрам первой и второй опорных фигур. Получаемые по формуле (5) решения имеют малую погрешность при «близко» расположенных опорных решениях.

Для трапециевидных областей в качестве «опорных» фигур следует использовать треугольники и прямоугольники (заштрихованная область на рисунке 3). При реализации методики МИКФ есть два основных типа интерполяции. Первый – когда «опорные» и заданная фигуры объединены одним геометрическим преобразованием, и второй – когда у «опорных» и заданной фигуры одно и то же значение коэффициента формы (подробнее см. [9]). Второй тип интерполяции более эффективен, поскольку рассматриваемая область возможных значений отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  достаточно узкая. Формулы (5) в этом случае приобретают следующий вид:

$$\dot{r}/\bar{r} = (\dot{r}/\bar{r})_1 \left( \frac{A_1}{A} \right)^n, \text{ где } n = \frac{\ln((\dot{r}/\bar{r})_1 / (\dot{r}/\bar{r})_2)}{\ln(A_1/A_2)}. \quad (6)$$

Поскольку отношение  $\dot{r}/\bar{r}$  не зависит от масштаба фигур, то для использования выражений (6) необходимо ввести еще одно условие, связывающее три фигуры. Например, при рассмотрении трапециевидных пластинок можно принять условие равенства нижнего основания у треугольника, трапеции и прямоугольника. Такой способ интерполяции графически иллюстрируется на рисунке 5, а. На нем точка 3 соответствует неизвестному значению отноше-

ния  $\dot{r}/\bar{r}$  для заданной фигуры, а точки 1 и 2 соответствуют значениям этого отношения для прямоугольника и равнобедренного треугольника. На рисунке 5, б показаны для примера опорные фигуры (фиг. 1 и 2) для заданной трапеции (фиг. 3) с одинаковым основанием. Указанный тип интерполяции будет исследован в последующих работах авторов.

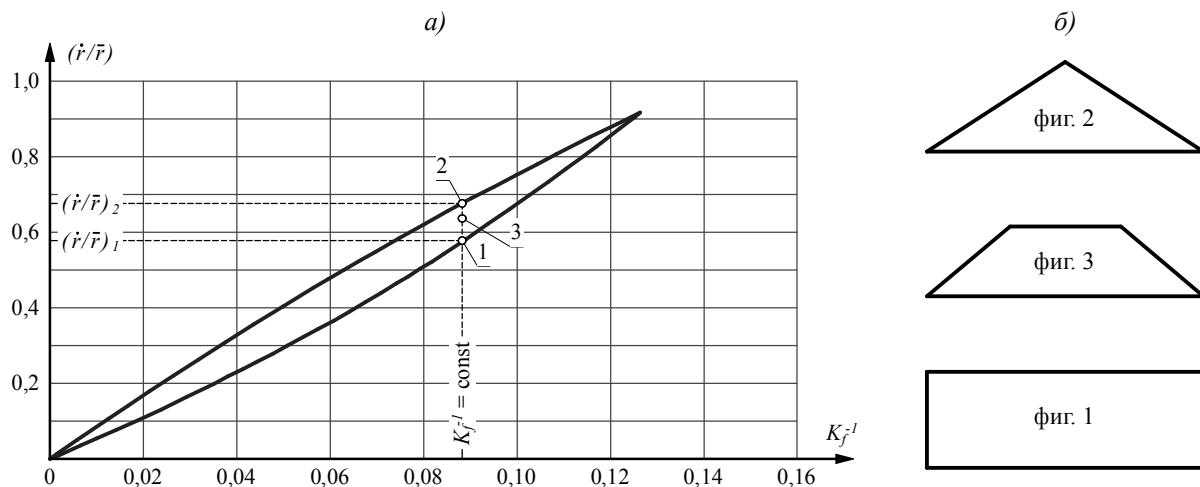


Рисунок 5 – Способ интерполяции значений  $\dot{r}/\bar{r}$  при  $K_f = \text{const}$

Далее рассмотрим новый способ интерполяции значений отношения  $\dot{r}/\bar{r}$ , используя в качестве аргумента изопериметрическое частное, которое по своему геометрическому смыслу имеет то же значение, что и коэффициент формы [9], однако для трапеций численно от него отличается:

$$4\pi A/L^2 \leq 1. \quad (7)$$

При линейной интерполяции по изопериметрическому частному, сокращенному на  $4\pi$ , применительно к трапециям получим:

$$\dot{r}/\bar{r} = (\dot{r}/\bar{r})_2 + \frac{A_2/L_2^2 - A/L^2}{A_2/L_2^2 - A_1/L_1^2} \cdot ((\dot{r}/\bar{r})_1 - (\dot{r}/\bar{r})_2). \quad (8)$$

Результаты расчетов по формуле (8) для равнобедренных и прямоугольных трапеций сведены в таблицы 1 и 2.

На основании данных, приведенных в таблицах 1 и 2, построены графики изменения отношения  $\dot{r}/\bar{r}$  для равнобедренных и прямоугольных трапеций (рис. 7 и 8), а с помощью программного комплекса «Table Curve\_3D» получены аппроксимирующие функции:

- для равнобедренных трапеций:

$$\dot{r}/\bar{r} = \frac{a + c \ln \lambda + e \ln \alpha + g(\ln \lambda)^2 + i(\ln \alpha)^2 + k \ln \lambda \ln \alpha}{1 + b \ln \lambda + d \ln \alpha + f(\ln \lambda)^2 + h(\ln \alpha)^2 + j \ln \lambda \ln \alpha}, \quad (9)$$

где  $a = 0,45422$ ;  $b = -0,1706$ ;  $c = -0,062817$ ;  $d = -0,44733$ ;  $e = -0,20358$ ;  $f = 0,0071641$ ;  $g = -3,10819 \cdot 10^{-5}$ ;  $h = 0,05069$ ;  $i = 0,023411$ ;  $j = 0,037962$ ;  $k = 0,014003$ ;  $\lambda = a_1/h$  – отношение большего основания к высоте;  $\alpha$  – острый угол трапеции (погрешность функции не превышает 2,5%);

- для прямоугольных трапеций:

$$\dot{r}/\bar{r} = \frac{a + c \ln \lambda + e \ln \alpha + g(\ln \lambda)^2 + i(\ln \alpha)^2 + k \ln \lambda \ln \alpha}{1 + b \ln \lambda + d \ln \alpha + f(\ln \lambda)^2 + h(\ln \alpha)^2 + j \ln \lambda \ln \alpha}, \quad (10)$$

где  $a = 0,46206$ ;  $b = -0,2243$ ;  $c = -0,086994$ ;  $d = -0,45104$ ;  $e = -0,20692$ ;  $f = 0,014507$ ;  $g = 0,00044982$ ;  $h = 0,052104$ ;  $i = 0,02429$ ;  $j = 0,050307$ ;  $k = 0,019584$ ;  $\lambda = a_1/h$  – отношение большего основания к высоте;  $\alpha$  – острый угол трапеции (погрешность функции не превышает 2,5%).

Таблица 1 – Значения отношений конформных радиусов  $\dot{r}/\bar{r}$  для равнобедренных трапеций

$\frac{\alpha}{a_2/a_1}$	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	85°
0,9	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	–	–	–	0,5172	0,7984
	$a_1/h$	–	–	–	–	–	3,5261	1,7498
0,8	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	–	–	0,5241	0,8157	0,8830
	$a_1/h$	–	–	–	–	3,6403	1,7634	0,8749
0,7	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	–	0,5277	0,7467	0,9060	0,7474
	$a_1/h$	–	–	–	3,8521	2,4284	1,1763	0,5836
0,6	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	0,5195	0,7110	0,8604	0,8497	0,6264
	$a_1/h$	–	–	4,1946	2,8885	1,8208	0,88207	0,43764
0,5	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	0,4612	0,6595	0,8092	0,8806	0,7849
	$a_1/h$	–	–	4,7664	3,3568	2,3095	1,4273	0,70532
0,4	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	0,5735	0,7129	0,8267	0,8620	0,6966
	$a_1/h$	–	–	3,9730	2,7972	1,9246	1,2133	0,58775
0,3	$\dot{r}/\bar{r}$	–	0,4972	0,6327	0,7611	0,8338	0,8219	0,6415
	$a_1/h$	–	4,9480	3,4048	2,3975	1,6496	1,0399	0,50380
0,2	$\dot{r}/\bar{r}$	–	0,5241	0,6440	0,7714	0,8155	0,7837	0,5982
	$a_1/h$	–	4,3309	2,9797	2,0978	1,4434	0,90992	0,44082
0,1	$\dot{r}/\bar{r}$	–	0,5355	0,6647	0,7593	0,7924	0,7553	0,5630
	$a_1/h$	–	3,8491	2,6483	1,8646	1,2830	0,7098	0,39183
0	$\dot{r}/\bar{r}$	–	0,5560	0,6556	0,7411	0,7748	0,7270	0,5308
	$a_1/h$	–	3,4638	2,3838	1,6781	1,1547	0,72796	0,35266

Примечания: 1.  $a_2/a_1$  – отношение меньшего основания к большему;  $a_1/h$  – отношение большего основания к высоте;  $\alpha$  – острый угол трапеции ( $\alpha \leq 90^\circ$ ). 2. Прочерк «–» означает, что для таких трапеций (очень вытянутых  $5 \leq a_1/h \leq 0,2$ ) значения отношений конформных радиусов не подсчитывалось, поскольку в этом нет необходимости, так как пластинки таких форм не встречаются на практике.

Таблица 2 – Значения отношений конформных радиусов  $\dot{r}/\bar{r}$  для прямоугольных трапеций

$\frac{\alpha}{a_2/a_1}$	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	85°
0,9	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	–	–	0,5021	0,7950	0,8953
	$a_1/h$	–	–	–	–	3,6403	1,7129	0,87489
0,8	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	0,4731	0,6156	0,8026	0,8818	0,6291
	$a_1/h$	–	–	4,1946	2,8868	1,8198	0,8816	0,43745
0,7	$\dot{r}/\bar{r}$	–	–	0,5139	0,6528	0,7955	0,8968	0,7288
	$a_1/h$	–	–	3,9729	2,7972	1,9246	1,2133	0,58775
0,6	$\dot{r}/\bar{r}$	–	0,4994	0,6453	0,7805	0,8716	0,8456	0,6088
	$a_1/h$	–	4,3309	2,9797	2,0978	1,4434	0,90992	0,44082
0,5	$\dot{r}/\bar{r}$	–	0,5941	0,7407	0,8333	0,8545	0,7633	0,5273
	$a_1/h$	–	3,4638	2,3838	1,6781	1,1547	0,72796	0,35266
0,4	$\dot{r}/\bar{r}$	0,4893	0,6584	0,7805	0,8271	0,8030	0,6950	0,4682
	$a_1/h$	4,5788	2,8868	1,9861	1,3984	0,96228	0,60661	0,29388
0,3	$\dot{r}/\bar{r}$	0,5284	0,6846	0,7770	0,7723	0,7537	0,6388	0,4228
	$a_1/h$	3,9246	2,4746	1,7024	1,1988	0,82481	0,51997	0,25190
0,2	$\dot{r}/\bar{r}$	0,5429	0,6813	0,7528	0,7606	0,7117	0,5948	0,3865
	$a_1/h$	3,4341	2,1650	1,4896	1,0489	0,72171	0,45496	0,22041
0,1	$\dot{r}/\bar{r}$	0,5396	0,6636	0,7254	0,7273	0,6734	0,5588	–
	$a_1/h$	3,0525	1,9246	1,3242	0,93231	0,64152	0,40442	–
0	$\dot{r}/\bar{r}$	0,5284	0,6436	0,6970	0,6970	0,6436	0,5284	–
	$a_1/h$	2,7473	1,7319	1,1918	0,83907	0,57733	0,36397	–

Примечания: 1.  $a_2/a_1$  – отношение меньшего основания к большему;  $a_1/h$  – отношение большего основания к высоте;  $\alpha$  – острый угол трапеции ( $\alpha \leq 90^\circ$ ). 2. Прочерк «–» означает то же, что и в таблице 1.

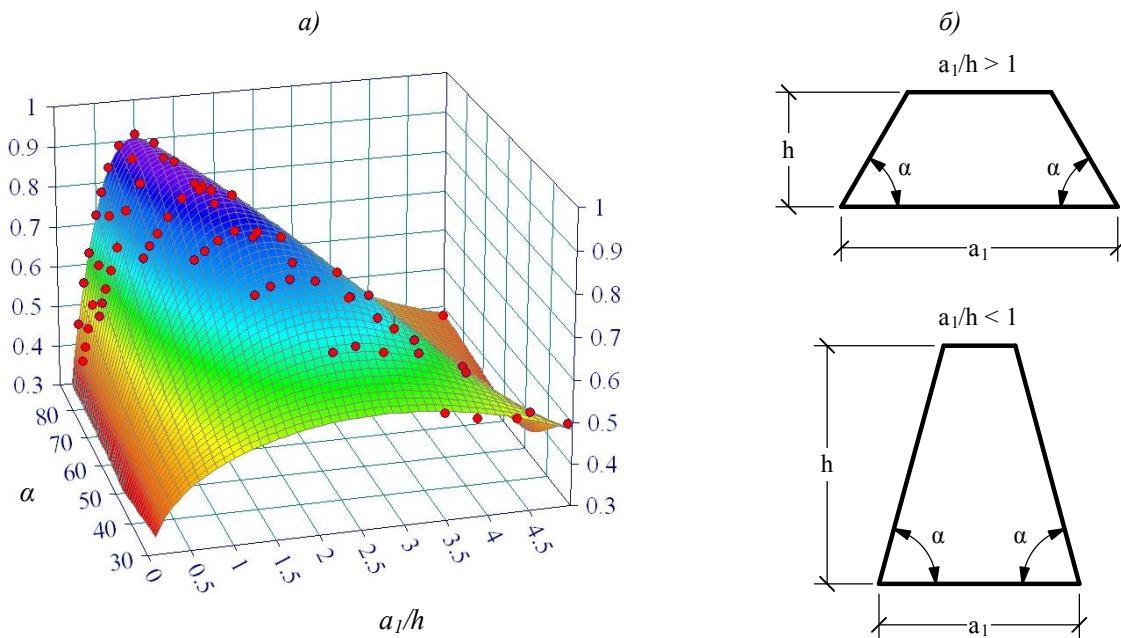


Рисунок 7 – График  $\dot{r}/\bar{r} = f(a_1/h; \alpha)$  для равнобедренных трапеций (а) и общий вид (б)

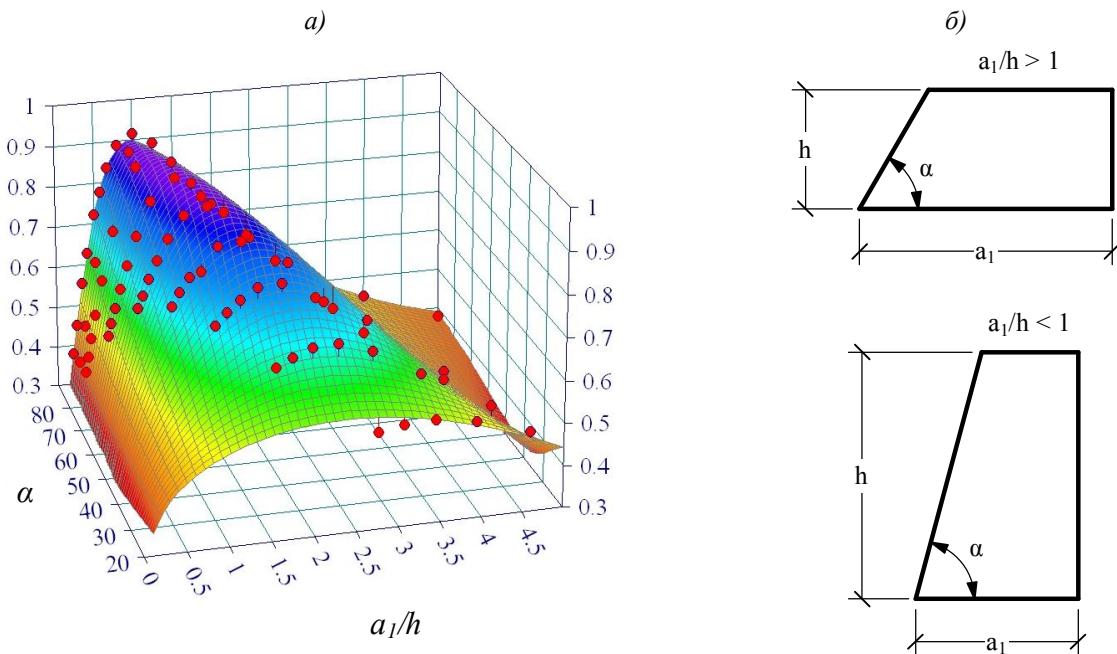


Рисунок 8 – График  $\dot{r}/\bar{r} = f(a_1/h; \alpha)$  для прямоугольных трапеций (а) и общий вид (б)

Для трапеций произвольного вида, а также произвольных четырехугольников определить отношение  $\dot{r}/\bar{r}$  можно аналогично, однако в этом случае построение аппроксимирующей функции затруднительно, поскольку количество независимых геометрических параметров, однозначно определяющих форму таких фигур, больше двух. Для таких областей предложенная методика будет реализована в разрабатываемом программном комплексе для решения задач технической теории пластинок с помощью отношения внутреннего к внешнему конформных радиусов  $\dot{r}/\bar{r}$ .

## Выводы

Получены приближенные расчетные формулы (9) и (10) для определению отношения

внутреннего к внешнему конформных радиусов  $\dot{r}/\bar{r}$  через изопериметрическое частное для трапециевидных областей. Эти отношения могут применяться для определения интегральных ФМХ трапециевидных пластиинок с использованием методики МИКФ.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в задачах устойчивости пластиинок [Текст] / В.И. Коробко, А.Н. Хусточкин. – Ростов-на-Дону: Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 1994. – 148 с.
2. Коробко, А.В. Расчет пластин на устойчивость с использованием отношения конформных радиусов [Текст] / В.И. Коробко, А.А. Черняев // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2010. – №6. – С. 31-38.
3. Коробко, А.В. Определение основной частоты свободных колебаний пластиинок с использованием конформных радиусов [Текст] / А.В. Коробко, А.А. Черняев // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2011. – №1. – С. 12-18.
4. Коробко, В.И. Решение задач поперечного изгиба пластиинок с использованием конформных радиусов [Текст] / В.И. Коробко, А.А. Черняев // Строительная механика и расчет сооружений. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство». – 2011. – №6. – С. 16-22.
5. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике. В 3 т. Т. 1. Теоретические основы изопериметрического метода [Текст] / В.И. Коробко. – М.: ACB, 1997. – 390 с.
6. Коробко, В.И. Количественная оценка симметрии [Текст] / В.И. Коробко, А.В. Коробко. – М.: ACB, 2008. – 128 с.
7. Полиа, Г Изопериметрические неравенства в математической физике [Текст] / Г. Полиа, Г. Сеге. – М.: КомКнига, 2006. – 336 с.
8. Казанцев, В.П. Электростатика на плоскости. Нормировка потенциала. Емкости уединенного проводника и линии относительно точки. Конформные радиусы [Текст] / В.П. Казанцев, О.А. Золотова, М.В. Долгополова. – Красноярск: КрасГУ, 2005. – №1. – С. 32-38.
9. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: ACB, 1999. – 320 с.
10. Иванов, В.И. Конформные отображения и их приложения [Текст] / В.И. Иванов, В.Ю. Попов. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 324 с.

**Коробко Андрей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: center\_epb@mail.ru

**Черняев Андрей Александрович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: center\_epb@mail.ru

---

KOROBKO A.V., CHERNYAEV A.A.

## **DEFINITION OF THE RELATION OF CONFORMAL RADIUSES FOR TRAPEZOID PLATES WITH THE HELP THE ISOPERIMETRIC PRIVATE**

*The relation internal to external conformal radiiuses for trapezoid areas is defined through the isoperimetric private. This relation is considered as new argument in geometrical methods of the decision of two-dimensional problems of the technical theory of plates and used for definition of integrated physic-mechanical characteristics of plates (critical force at loss of stability, the basic frequency of free fluctuations, the maximum deflection at a cross-section bend) by a technique of a method of interpolation on form factor.*

**Keywords:** The relation of conformal radiiuses, form factor, trapezoid areas, geometrical methods of the technical theory of plates, interpolation method on form factor, the isoperimetric private.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Korobko, V.I. Izoperimetricheskij metod v zadachah ustojchivosti plastinok [Text] / V.I. Korobko, A.N. Hustochkin. – Rostov-na-Donu: Izd-vo Severo-Kavkazskogo nauchnogo centra vysshej shkoly, 1994. – 148 s.
2. Korobko, A.V. Raschet plastin na ustojchivost' s ispol'zovaniem otnoshenija konformnyh radiusov [Text] / V.I. Korobko, A.A. Chernjaev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2010. – №6. – S. 31-38.
3. Korobko, A.V. Opredelenie osnovnoj chastoty svobodnyh kolebanij plastinok s ispol'zovaniem konformnyh radiusov [Text] / A.V. Korobko, A.A. Chernjaev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2011. – №1. – S. 12-18.
4. Korobko, V.I. Reshenie zadach poperechnogo izgiba plastinok s ispol'zovaniem konformnyh radiusov [Text] / V.I. Korobko, A.A. Chernjaev // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – M.: FGUP «NIC «Stroitel'stvo». – 2011. – №6. – S. 16-22.
5. Korobko, V.I. Izoperimetricheskij metod v stroitel'noj mehanike. V 3 t. T. 1. Teoreticheskie osnovy izoperimetricheskogo metoda [Text] / V.I. Korobko. – M.: ASV, 1997. – 390 s.
6. Korobko, V.I. Kolichestvennaja ocenka simmetrii [Text] / V.I. Korobko, A.V. Korobko. – M.: ASV, 2008. – 128 s.
7. Polia, G Izoperimetricheskie neravenstva v matematicheskoy fizike [Text] / G. Polia, G. Sege. – M.: KomKniga, 2006. – 336 s.
8. Kazancev, V.P. Jelektrostatika na ploskosti. Normirovka potenciala. Emkosti uedinennogo provodnika i linii otnositel'no tochki. Konformnye radiusy [Text] / V.P. Kazancev, O.A. Zolotova, M.V. Dolgopolova. – Krasnojarsk: KrasGU, 2005. – №1. – S. 32-38.
9. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernyh zadachah teorii uprugosti [Text] / A.V. Korobko. – M.: ASV, 1999. – 320 s.
10. Ivanov, V.I. Konformnye otobrazhenija i ih prilozhenija [Text] / V.I. Ivanov, V.Ju. Popov. – M.: Editorial URSS, 2002. – 324 s.

**Korobko Andrey Viktorovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Doctor of technical science, professor of department «Building designs and materials»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: center\_epb@mail.ru

**Chernyaev Andrey Aleksandrovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Post-graduate student of department «Building designs and materials»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-95  
E-mail: center\_epb@mail.ru

ОСОВСКИХ Е.В., КОЛЧУНОВ В.И., АФОНИН П.А.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МОДЕЛИ ФРАГМЕНТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СКЛАДЧАТОГО ПОКРЫТИЯ В ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ

*В работе приведены результаты экспериментально-теоретических исследований особенностей деформирования и разрушения модели фрагмента железобетонного складчатого покрытия и сравнение этих результатов с результатами испытаний натурного фрагмента эксплуатировавшегося железобетонного складчатого покрытия. Показано, что схемы разрушения таких конструктивных систем, полученные при статических испытаниях, могут быть обобщены на исследования складчатых покрытий в запредельных состояниях.*

**Ключевые слова:** железобетонные складчатые покрытия, запредельные состояния, деформирование, разрушение, конструктивная безопасность.

В условиях все увеличивающегося количества видов воздействий природного и техногенного характера решение проблемы конструктивной безопасности сооружений выходит за рамки традиционных представлений о предельных состояниях первой и второй групп. Подтверждением этому является и то, что в недавно принятом федеральном законе от 30.12.2009 №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» одним из требований обеспечения безопасности зданий и сооружений является, например, следующее: здание или сооружение на территории, на которой возможно проявление опасных природных процессов и явлений, а также техногенных воздействий, должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе эксплуатации здания или сооружения опасные природные процессы и явления, а также техногенные воздействия не вызывали таких последствий как: разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей; разрушения всего здания, сооружения или их части; иных событий, создающих угрозу причинения вреда жизни или здоровью людей. А это значит, что по существу вводится новая критерийная оценка безопасности – живучесть сооружений в условиях аварийных повреждений.

За последнее десятилетие в стране и за рубежом выполнен ряд исследований в этом направлении, касающихся в основном простейших статически неопределеных балочных и стержневых конструктивных систем [1-3]. Принято считать, чем выше степень статической неопределенности пространственной конструктивной системы, тем она менее чувствительна к внезапному разрушению отдельных элементов или локальных зон конструкции. Однако анализ аварий зданий и сооружений последнего десятилетия свидетельствует, что, несмотря на то, что в тонкостенных пространственных конструкциях, являющихся статически неопределенными, степень их статической неопределенности стремится к бесконечности, опасность прогрессирующего разрушения всей конструктивной системы в принципе снижается, но не исключается.

В связи с этим необходимость оценки степени и последовательности разрушений и особенно хрупких разрушений локальных зон тонкостенных железобетонных конструкций от запроектных воздействий требует их расчета как конструктивно и физически нелинейных систем и открывает новое направление теоретических и экспериментальных исследований и, в частности, оценки состояния таких конструкций после запроектных воздействий. Углубленные исследования в этом направлении должны рассматриваться во взаимосвязи анализа конструктивной системы с уточнением их расчетных схем и затем с разработкой методов оценки и расчета последовательности выключений из работы элементов конструкций, в том числе хрупкого, методами линейной и нелинейной строительной механики. К одному из первых экспериментально-теоретических исследований в этом направлении для тонкостенных кон-

структур в виде складчатых систем из сборных железобетонных индустриальных элементов, по-видимому, можно отнести работу [4]. В развитие этих исследований для более детального изучения отдельных вопросов живучести таких конструктивных систем в настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований деформирования и разрушения модели фрагмента железобетонного складчатого покрытия в запредельном состоянии. В качестве запроектного воздействия был рассмотрен вариант внезапного разрыва рабочей арматуры крайнего нижнего ребра, являющегося следствием накопления в арматурном стержне коррозионных повреждений. Моделирование процессов коррозии при испытании выполнялось уменьшением сечения рабочей арматуры на 50% (с  $12,57 \text{ mm}^2$  до  $6,3 \text{ mm}^2$ ) путем обработки ее механическим способом в месте планируемого обрыва, то есть сечение, по которому происходило разрушение от обрыва арматуры, фиксировалось. Это позволило контролировать глубину моделируемого коррозионного повреждения и провести испытания с заранее определенным запроектным воздействием.

Для сравнения результатов экспериментального исследования с теорией был произведен расчет фрагмента покрытия с использованием методики [5] и расчет одиночных плит как балочных элементов по двум группам предельных состояний.

Для возможного прямого сопоставления результатов настоящих экспериментальных исследований на моделях с ранее выполненными испытаниями натурных конструкций методика испытаний моделей складчатого покрытия была принята такой же, как и для натурных конструкций [4].

Испытания моделей конструкций были выполнены в два этапа. На первом этапе была испытана одиночная плита по схеме однопролетной балки для определения параметров ее деформативности, трещинообразования и несущей способности. На втором этапе была испытана конструкция, моделирующая фрагмент складчатого покрытия здания. Здесь изучались особенности пространственной работы конструкции, ее деформирование, трещинообразование и схема разрушения при проектных нагрузках и внезапном запроектном воздействии.

**В процессе экспериментальных исследований на первом и втором этапах решались следующие задачи:**

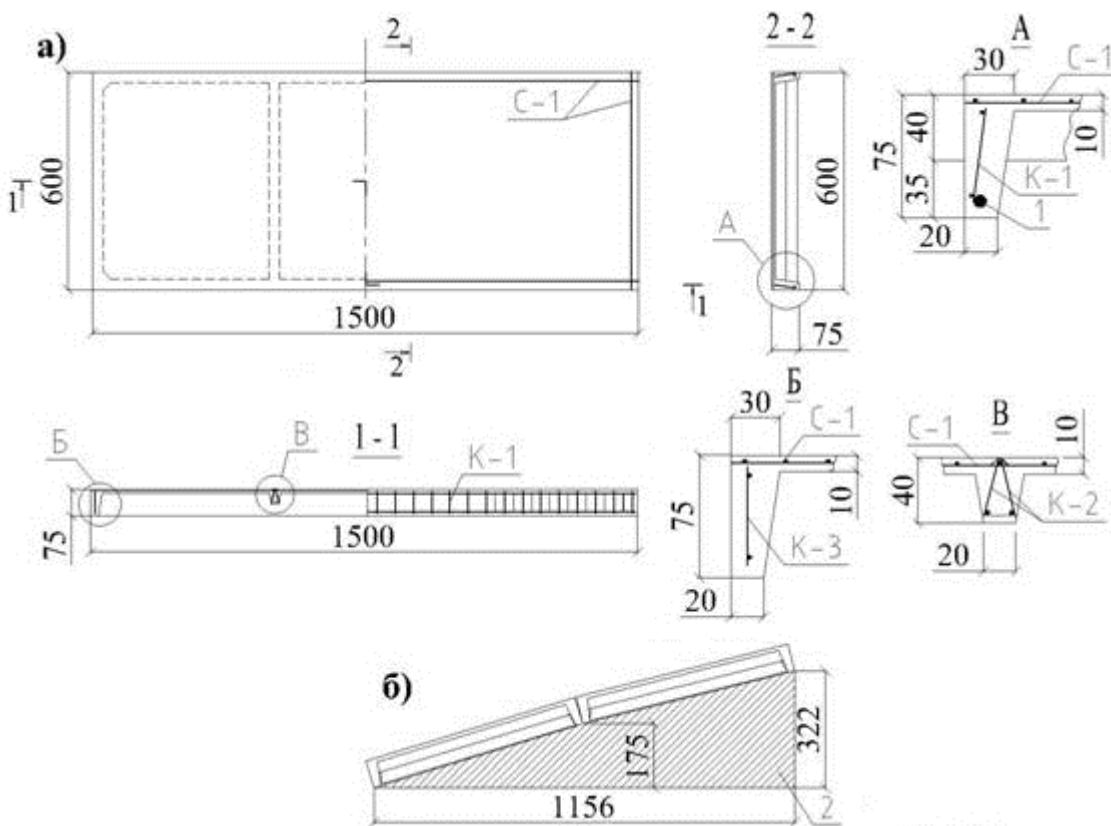
- экспериментальное определение деформаций и трещинообразования элементов модели отдельной плиты и плит в составе фрагмента складки на различных этапах их нагружения;
- экспериментальное определение опытных картин трещинообразования и разрушения модели складки при проектной нагрузке и созданном запроектном воздействии;
- определение количественных значений ширины раскрытия трещин, прогибов и разрушающих нагрузок для исследуемых конструкций.

В качестве объекта исследований были изготовлены модели ребристых железобетонных плит (рис. 1, а). Опытные плиты были спроектированы из пескобетона класса В25, рабочее армирование продольных ребер было выполнено арматурой диаметром 4 мм класса В500 (см. рис. 1, а). Ребра плит конструктивно армировались каркасами (К-1 – продольный, К-2 – поперечный, К-3 – торцевой), выполненными из стальной проволоки диаметром 1,6 мм по ГОСТ 3282-74. Полка плит армировалась стальной проволокой диаметром 1,5 мм (см. рис. 1, а, поз. С-1).

Испытания плит на первом этапе проводились на испытательном стенде по схеме однопролетной шарнирно-опертой балки. Стенд для испытаний представлял собой металлическую конструкцию, имеющую жесткое основание. Для проведения второго этапа испытаний был изготовлен специальный испытательный стенд с заданной геометрией опорных устройств (рис. 1, б, поз. 2).

Нагружение опытных конструкций на всех этапах испытаний осуществлялось тарированными грузами весом по 0,05 кН каждый.

До контрольных значений по образованию, ширине раскрытия трещин и по несущей способности конструкции нагружались ступенями по 10% от соответствующего значения контрольной нагрузки с 10-минутной выдержкой.



*Рисунок 1 – Конструкция опытных моделей плит (а) и геометрия поперечного сечения модели складки (б): 1 – рабочая арматура; 2 – испытательный стенд; К-1 – каркас продольный; К-2 – каркас поперечный; К-3 – каркас торцевой; С-1 – сетка*

В процессе испытаний измерялись вертикальные перемещения плит в пролете, средние относительные деформации бетона продольных ребер, поперечных ребер и полок плит, а также ширина раскрытия трещин. Возможный всплеск перемещений в ребрах плит модели фрагмента складки в момент запроектного воздействия фиксировался записью показаний индикаторов часового типа на видеокамеру, а так же оценивался по приращению ширины раскрытия трещин в неразрушенных ее элементах после запроектного воздействия. Для измерения прогибов и взаимных перемещений были использованы индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 и 0,001 мм. Ширину раскрытия трещин контролировали при помощи микроскопа МПБ-3М. Общий вид испытаний модели складки представлен на рисунке 2.

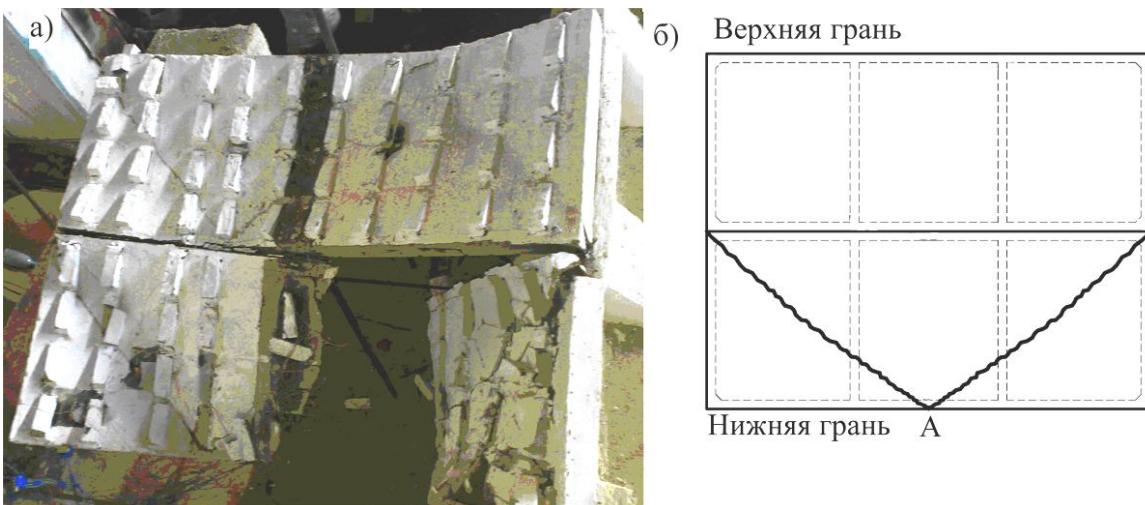
На первом этапе испытаний (одиночные плиты) при действии контрольной нагрузки по II группе предельных состояний 4,5 кПа прогиб для плиты составил 7,3 мм. Максимальная ширина раскрытия нормальных трещин составила 0,05 мм и не превысила нормируемых значений. Разрушение плиты произошло по нормальному сечению при нагрузке 9,35 кПа вследствие обрыва рабочей арматуры в растянутой зоне продольных ребер в середине пролета.

По результатам предварительного расчета модели фрагмента складки вариационным методом [5] за контрольную нагрузку по II группе предельных состояний для испытаний двугранной складки (второй этап) была принята нагрузка 5,0 кПа. На этом этапе нагружения прогиб крайнего нижнего ребра складки составил 2,45 мм, среднего ребра 2,49 мм, крайнего верхнего ребра 2,46 мм. Максимальная ширина раскрытия трещин для всех продольных ребер плит фрагмента не превысила 0,025 мм.

При нагрузке 9,23 кПа произошло разрушение по нормальному сечению нижней грани складки по рабочей арматуре на участке с заранее уменьшенным ее диаметром, это повлекло за собой разрушение всей нижней грани складки по пространственной схеме (рис. 3). Разрушение носило пластический характер. При этом после разрушения нижней крайней плиты произошло изменение расчетной схемы (границых условий) верхней плиты и последующее ее разрушение при этой же нагрузке через 2 минуты (рис. 3). Заметного динамического додружения в элементах верхней плиты от разрушения нижней плиты не зафиксировано.



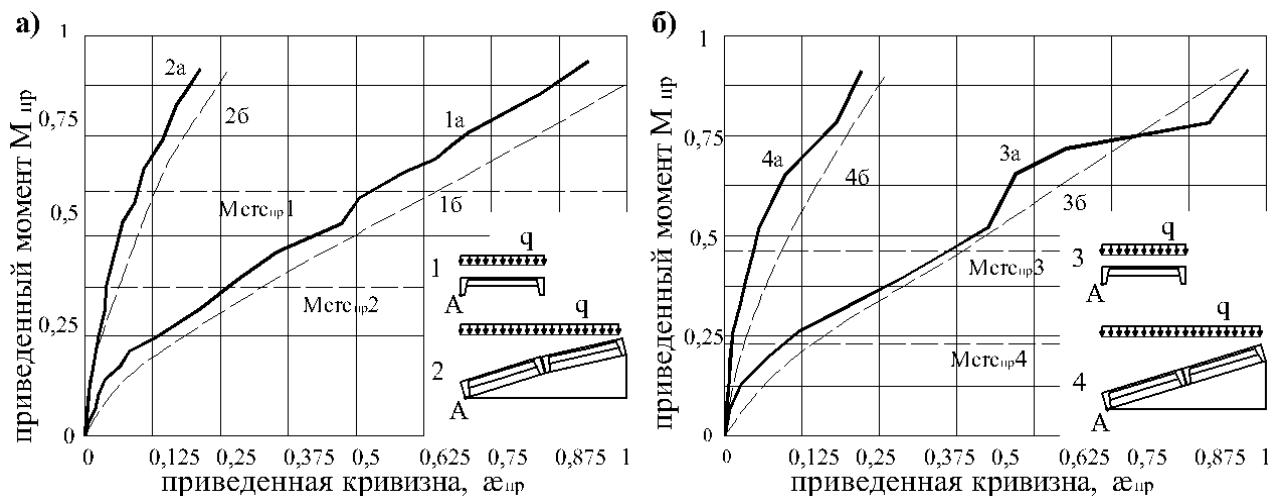
*Рисунок 2 – Испытание модели складки: а – общий вид испытания, контроль прогибов с помощью индикаторов часового типа; б – трещинообразование в крайнем нижнем ребре*



*Рисунок 3 – Общий вид разрушенной модели фрагмента складки (а) и ее схема разрушения (б); А – точка обрыва арматуры по уменьшенному сечению*

Анализ опытных и расчетных значений деформаций бетона и перемещений моделей конструкций плит позволил отметить следующее. На всех уровнях нагружения деформации бетона сжатой и растянутой зоны крайнего нижнего продольного ребра фрагмента складки носили нелинейный характер (рис. 4). При контрольной нагрузке по II группе предельных состояний разница между опытными значениями кривизн модели плиты в составе двугранной складки и отдельной модели плиты составила 4,4 раза (рис. 4, а). Из этого следует, что даже крайние, наиболее напряженные плиты в составе складки имеют значительный запас по жесткости. Это подтверждалось и характером трещинообразования и разрушения конструкций в составе складки. Если одиночная плита при испытании разрушалась по балочной схеме, то в составе фрагмента складчатого покрытия разрушение происходило по пространственной схеме (см. рис. 3). Полученные схемы трещинообразования при испытании складчатого покрытия на моделях и на натурных конструкциях [4] при действии равномерно распределенной проектной нагрузки и

при запроектном воздействии в виде внезапного выключения из работы крайнего нижнего продольного ребра от хрупкого разрушения при опорной зоны (при испытаниях натурных конструкций) или в виде разрыва арматурного стержня в середине пролета (при испытаниях моделей) согласуются со схемами разрушения, полученными ранее при статических испытаниях рассматриваемых конструктивных систем. Из этого следует, что при расчете рассматриваемых конструкций на запроектное воздействие могут быть использованы схемы разрушения, рекомендованные нормами [6] и пособиями для случаев статического приложения нагрузки.



**Рисунок 4 – Приведенная зависимость «момент-кривизна» для среднего поперечного сечения крайнего нижнего продольного ребра модели складки (а) и натурной складки (б) представленной в работе [4]; (кривые 1а, 2а, 3а, 4а – опытные, кривые 1б, 2б, 3б, 4б – расчетные).  $M_{\text{пр}} = M/M_u$ ,  $\alpha_{\text{пр}} = \alpha/\alpha_u$**

### Вывод

Результаты анализа проведенных численных и экспериментальных исследований железобетонных складчатых покрытий показали, что конструкции плит в составе складчатого покрытия обладают значительными резервами прочности, жесткости и трещиностойкости по сравнению с теми же плитами, работающими по балочной схеме. Дополнительными конструктивными мерами эти резервы могут быть задействованы при реконструкции покрытий, в том числе с коррозионными повреждениями. Установлено, что схемы разрушения таких конструктивных систем, полученные при статических испытаниях, могут быть обобщены на исследования складчатых покрытий в запредельных состояниях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гениев, Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях [Текст] / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева, А.И. Никулин, К.П. Пятикрестовский. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
- Клюева, Н.В. К расчету живучести железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем при внезапных запроектных воздействиях [Текст] / Н.В. Клюева, О.А. Ветрова // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №11. – С. 56.
- Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Клюева // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №1. – С. 4-12.
- Осовских, Е.В. Исследование железобетонных складчатых покрытий в запредельных состояниях [Текст] / Е.В. Осовских, В.И. Колчунов, П.А. Афонин // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. – №4. – С. 26-29.
- Осовских, Е.В. Особенности разрешающих уравнений железобетонных складчатых систем для расчета их живучести [Текст] / Е.В. Осовских // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2010. – №4. – С. 13-18.
- СП 52-117-2008. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование [Текст]. – Введ. 2008-08-01. – М.: ФГПУ НИЦ Строительство, 2008. – 150 с.

**Осовских Евгений Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
E-mail: jane\_wasp@mail.ru

**Колчунов Виталий Иванович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

**Афонин Павел Алексеевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Аспирант  
E-mail: pashy16@yandex.ru

---

OSOVSKIY E.V., KOLCHUNOV V.I., AFONIN P.A.

**EXPERIMENTAL STUDY OF STRAIN AND FAILURE FEATURES  
OF REINFORCED CONCRETE FOLDED PLATE MODEL IN  
OUT-OF-LIMIT STATE**

*Study on model of concrete folded plate roof in out-of limit state at normal section. The paper presents some results of experimental and theoretical research on strain and failure features of concrete prismatic shell and comparing the results of the study to results of tests performed for similar structure of a real building. For tests, models of concrete ribbed slabs were designed as an object of study.*

**Keywords:** reinforced concrete folded-plate roofs, straining, failure, structural safety, out-of-limit state.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Geniev, G.A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnyh konstrukcij pri zaproektivah vozdejstvijah [Tekst] / G.A. Geniev, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva, A.I. Nikulin, K.P. Pjatikrestovskij. – M.: ASV, 2004. – 216 s.
2. Kljueva, N.V. K raschetu zhivuchesti zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevih konstruktivnyh sistem pri vnezapnyh zaproektivah vozdejstvijah [Tekst] / N.V. Kljueva, O.A. Vetrova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2006. – №11. – S. 56.
3. Bondarenko, V.M. K raschetu sooruzhenij, menjajuwih raschetnuju shemu vsledstvie korrozionnyh povrezhdenij [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Kljueva // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2008. – №1. – S. 4-12.
4. Osovskih, E.V. Issledovanie zhelezobetonnyh skladchatyh pokrytij v zapredel'nyh sostojanijah [Tekst] / E.V. Osovskih, V.I. Kolchunov, P.A. Afonin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2011. – №4. – S. 26-29.
5. Osovskih, E.V. Osobennosti razreshajuwih uravnenij zhelezobetonnyh skladchatyh sistem dlja rascheta ih zhivuchesti [Tekst] / E.V. Osovskih // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2010. – №4. – S. 13-18.
6. SP 52-117-2008. Zhelezobetonnye prostranstvennye konstrukcii pokrytij i perekrytij. Chast' 1. Metody rascheta i konstruirovaniye [Tekst]. – Vved. 2008-08-01. – M.: FGUP NIC Stroitel'stvo, 2008. – 150 s.

**Osovskyh Evgenie Vasilevich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Candidate of technical science, associate professor of department «Building designs and materials»  
E-mail: jane\_wasp@mail.ru

**Kolchunov Vitaly Ivanovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Doctor of technical science, professor, manager of department «Building designs and materials»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-49  
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

**Afonin Pavel Alekseevich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Post-graduate student  
E-mail: pashy16@yandex.ru

ПАХОМОВА Е.Г., КРЕТОВА В.М.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ

*Работа посвящена экспериментально-теоретическим методам оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном, работающих в агрессивных условиях и имеющих повреждения бетона и рабочей арматуры.*

**Ключевые слова:** работоспособность, несущая способность, железобетонные конструкции, коррозионные повреждения, бетон, арматура, сцепление, агрессивная среда.

Ежегодный рост числа техногенных и природных катастроф, значительный износ основных фондов в стране выдвигают проблему обеспечения безопасности зданий и сооружений в ряд важнейших на современном этапе. Большую часть существующих конструктивных систем зданий и сооружений составляют железобетонные конструкции с длительными сроками эксплуатации. Тем не менее, современная нормативная документация ограничивается лишь общими рекомендациями и не содержит конкретных указаний по оценке работоспособности поврежденных элементов вследствие коррозии. Методы решения задач работоспособности железобетонных конструктивных систем, которые учитывали бы средовые воздействия при изменениях расчетной и конструктивной схем конструкции, недостаточно совершенны.

Одним из основных факторов, влияющих на работоспособность строительных конструкций, зданий и сооружений, возведенных из железобетона, который может вызвать повреждения и даже выход из строя строительных конструкций, является агрессивная среда.

В настоящее время агрессивность среды нормируется по величине глубины поражения арматуры (табл. 1).

Таблица 1 – Степень агрессивности воздействия среды на углеродистую сталь

Степень агрессивности среды	Коррозионные повреждения, мм/год	Баллы по ГОСТ 13819-68	Снижение прочности в зоне коррозии, %
неагрессивная	0,1	1...3	0
слабая	0,01-0,05	4,5	до 5
средняя	0,05-0,5	6	до 10
сильная	>0,5	>7	>10

Совместная работа арматуры с бетоном, обеспечиваемая сцеплением, служит основной предпосылкой работы железобетона как конструкционного материала. Определение сцепления арматуры с бетоном играет важную роль в обеспечении прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных элементов.

Большой вклад в создание теории сцепления и в решение ее задач внесли такие ученые, как А.А. Гвоздев, Н.И. Карпенко, Ю.Ф. Кутин, Н.М. Мулин, А.А. Оатул, М.Г. Овчинникова, М.М. Холмянский и др. [2, 3, 4].

Верюжским Ю.В., Колчуновым В.И. были выполнены экспериментально-теоретические исследования сцепления арматуры с бетоном [1].

Нарушение сцепления арматуры с бетоном, вызванное внешней нагрузкой и другими причинами, изменяет условия работы армированных элементов. С ростом нагрузки и увеличением нарушения сцепления происходят непрерывные качественные изменения напряженного состояния элемента.

Сцепление зависит от многих факторов – вида арматуры и бетона, технологии изготовления, напряженного состояния бетона, скорости приложения, длительности действия нагрузки, изменения нагрузки в процессе эксплуатации конструкций и др.

Силы сцепления создают сложное напряженно-деформированное состояние и оказывают раскалывающее действие на бетон. Сцепление даже при полностью обеспеченной анкеровки, играет существенную роль в обеспечении прочности сечений. При отсутствии сцепления образование первой трещины влечет за собой возрастание удлинений на всем протяжении растянутой арматуры, что в свою очередь приводит к резкому раскрытию образовавшейся трещины, сокращению высоты сжатой зоны и, как правило, к преждевременному разрушению конструкций. От качества сцепления зависит расстояние между трещинами и ширина их раскрытия.

Установлено [1], что высокие напряжения, неупругие деформации бетона, образование внутренних трещин, депланация сечения бетона, нормальное давление, оказываемое арматурой на бетон, и опасность раскалывания, влияние вида и профиля арматурных элементов, прочности и состава бетона, его напряженного состояния, наличие, расположение и количество косвенного армирования – все это существенно влияет на природу сцепления.

Уравнение, на основе которого многие авторы [4] строят теорию сцепления, имеет вид:

$$\Delta_s = \Delta_e + g, \quad (1)$$

где  $\Delta_s$  – продольная деформация арматуры в сечении  $X$ ;  $\Delta_e$  – то же, бетона;  $g$  – продольное взаимное смещение арматуры и бетона.

Первоначальные попытки раскрытия этого соотношения основывались на законе Гука для бетона и гипотезе плоских сечений:

$$\Delta_e(x) = \int_0^x \frac{\sigma_e(x)}{E_e} dx; \Delta_s(x) = \int_0^x \frac{\sigma_s(x)}{E_s} dx, \quad (2)$$

а работа контакта описывалась линейной зависимостью:

$$\tau \approx kg, \quad (3)$$

где  $\tau$  – условные касательные напряжения сцепления на условной цилиндрической поверхности контакта.

Выражение (3) или в общем случае  $\tau = f(g)$ , называют основным законом сцепления.

С учетом условия равновесия элемента арматуры:

$$\tau(x) = \frac{A_s}{u} \cdot \frac{d\sigma_s(x)}{dx}, \quad (4)$$

где  $u$  – периметр арматурного стержня. Принимая во внимание соответствующие граничные условия из (2), (3) и (4), получают разрешающее дифференциальное уравнение.

А.А. Оатул, Ю.Ф. Кутин, В.В. Пасешник [4] предложили:

$$\Delta_s = \Delta_{ea} + g_k, \quad (5)$$

где  $g_k$  – смещение арматуры на уровне условной цилиндрической поверхности контакта пограничных волокон бетона; оно порождается, по-видимому, несовершенствами контакта, смятием бетонных консолей, а также частичным выходом выступов арматуры из зацепления с бетоном;  $\Delta_{ea}$  – удлинение (укорочение) крайнего внутреннего волокна бетонной оболочки как результат ее общей деформации под действием напряжений сцепления.

В работах [1] описаны опыты по выдергиванию арматурного стержня из призм, изготовленных из бетона М200 с глубиной заделки 100 и диаметром арматуры  $d= 20$  мм. Было отмечено, что чем выше уровень нагружения и ниже коэффициент асимметрии цикла, тем в большей степени падает жесткость в заделке при повторных нагрузках. Наблюдалось удлинение стержня в бетоне и увеличение смещения. Нарастание деформаций имеет затухающий характер, но полная стабилизация не наблюдалась даже при большом количестве циклов.

В [1] отмечается, что обычно железобетонные элементы подвергаются многократному воздействию внешней нагрузки. При этом ее характер может быть различным в зависимости от того, чем она вызвана: температурными деформациями, изменением временной нагрузки, сейсмическими явлениями и т.п. В соответствии с этим напряжения сцепления арматуры с бетоном могут изменяться в различных диапазонах и с разной скоростью.

Отмечено, что амплитуда смещений  $g_0$  с увеличением числа циклов не только не увеличивается, а даже несколько уменьшается по сравнению с первым нагружением, суммарная же величина амплитуды возрастает за счет остаточных смещений.

Проведенными ранее испытаниями натурных железобетонных балок, которые эксплуатировались на действующем объекте в условиях воздействия агрессивных сред, коррозионное повреждение бетона сжатой зоны привело к снижению несущей способности до 15%, а при коррозионном повреждении арматуры растянутой зоны изменился характер разрушения балок по растянутой арматуре с нарушением сцепления арматурных стержней с бетоном [1].

Проведенными испытаниями на внецентренное сжатие железобетонных призм в лаборатории Юго-западного государственного университета установлено, что сила сцепления при коррозионном повреждении арматурных стержней различного диаметра в теле железобетонного элемента при различных степенях коррозионного повреждения бетона снижается до 20%.

Расчет несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений выполнен с учетом предпосылок:

- прочностные и деформативные характеристики бетона при коррозионном повреждении (рис. 1) учитываются с учетом деструктивных процессов с сохранением основных зависимостей оценки напряженно-деформированного состояния [2].

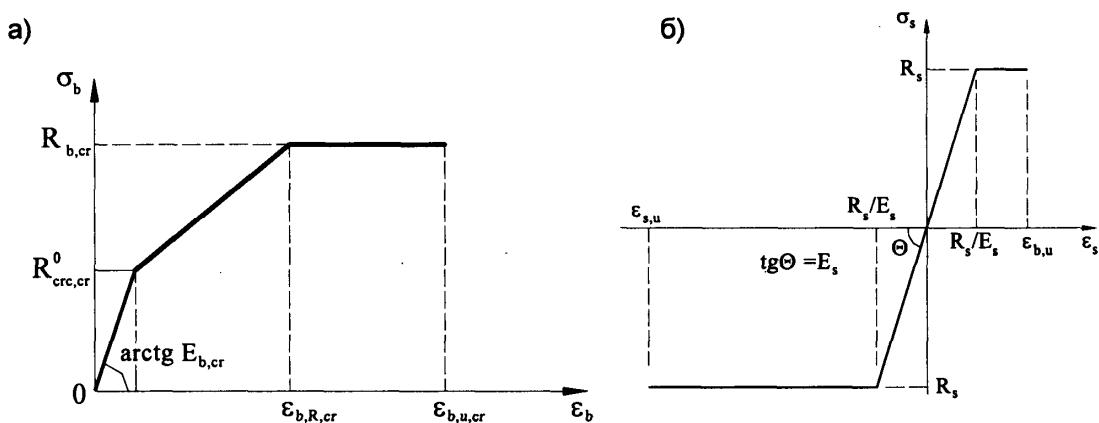


Рисунок 1 – Диаграмма деформирования « $\sigma$ - $\epsilon$ » бетона (а) и арматуры (б)

- коррозионное повреждение арматурных стержней учитывается снижением площади поперечного сечения:

$$A_{s,cr} = A_s \cdot \omega_{cr}; \quad (6)$$

$$\omega_{cr} = \frac{A_s - A_{s,cr}}{A_s}, \quad (7)$$

где  $\omega_{cr}$  – коэффициент, учитывающий снижение площади сечения арматурных стержней;  $A_s$  и  $A_{s,cr}$  – площадь сечения стержня (исходная и при коррозионном воздействии).

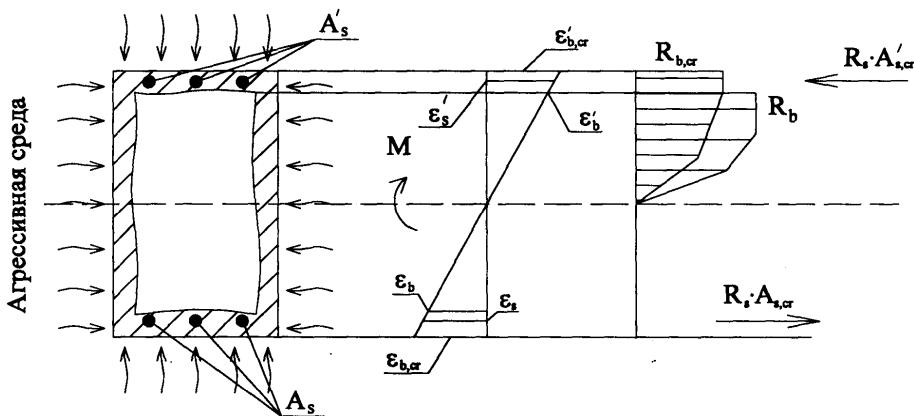
- нарушение сцепления арматуры с бетоном учитывается «условным снижением» расчетного сопротивления арматуры.

$$R_{s,cr} = \alpha_{cr} \cdot R_s; \quad (8)$$

- распределение напряжений и деформаций в соответствии с принятыми предпосылками приведено на рисунке 2.

Для рассматриваемого случая напряженного состояния главный момент для поврежденного коррозией изгибающего железобетонного элемента определяется по формуле [6]:

$$M = \int_{F_b} \sigma_b \cdot y_b dF + \int_{F_{b,cr}} \sigma_{b,cr} \cdot y_{b,cr} dF + \sum_{k=1}^i \sigma_{sc,i} A_{sc,i} y_{sc,i} + \sum_{k=1}^i \sigma_{s,i} A_{s,i} y_{s,i}. \quad (9)$$



*Рисунок 2 – Напряжено-деформированное состояние железобетонного элемента с коррозионными повреждениями*

Для поверочных расчетов железобетонных конструкций с учетом влияния агрессивных сред по СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» на основании выполненных экспериментальных исследований рекомендуются расчетные коэффициенты. С учетом степени агрессивности эксплуатационной среды по СНиП 2.03.11-85 «Задача строительных конструкций от коррозии» рекомендуются значения коэффициента условия работы бетона для слабоагрессивной среды 0,95, среднеагрессивной – 0,9, сильноагрессивной – 0,85 и коэффициент условия работы арматуры соответственно 1,0; 0,9; 0,8, учитывающий снижение сцепления арматуры с бетоном.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верюжский, Ю.В. Методы механики железобетона: учеб. пособ. [Текст] / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов. – Киев: Книжное изд-во НАУ, 2005. – 653 с.
2. Гвоздев, А.А. Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии [Текст] / А.А. Гвоздев, Н.И. Карпенко // Строительная механика и расчет сооружений. – 1965. – №2. – С. 20-23.
3. Гвоздев, А.А. Прочность, структурные изменения и деформации бетона [Текст] / А.А. Гвоздев, А.В. Яшин, К.В. Петрова и др. – М.: Стройиздат, 1978. – 299 с.
4. Оатул, А.А. сцепление арматуры с бетоном [Текст] / А.А. Оатул, Ю.Ф. Кутин, В.В. Пасешник // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1977. – №5. – С. 3-15.
5. Пахомова, Е.Г. Экспериментальные исследования прочности изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях [Текст] / Е.Г. Пахомова, А.В. Гордеев // Эффективные строительные конструкции: Теория и практика: сборник статей VII Международной научно-технической конференции. – Пенза: приволжский Дом знаний, 2008. – С. 107-109.
6. Пахомова, Е.Г. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионном повреждении бетона и арматуры [Текст] / Е.Г. Пахомова, Д.С. Меркулов, А.В. Гордеев // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел: ОрелГТУ. – 2008. – №3/19 (549). – С. 29-32.

### Пахомова Екатерина Геннадиевна

Юго-западный государственный университет, г. Курск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование, строительство зданий и линейных сооружений»  
Тел.: +7 (4712) 50-48-16, 8 915 517 75 04

E-mail: udfjinson@rambler.ru

### Кретова Валерия Михайловна

Юго-западный государственный университет, г. Курск

Кандидат биологических наук, доцент кафедры «Проектирование, строительство зданий и линейных сооружений»  
Тел.: +7 (4712) 50-48-16, 8 903 876 09 93

E-mail: 325573@mail.ru

PAHOMOVA E.G., KRETOVA V.M.

## RESEARCH OF WORKING CAPACITY OF FERRO-CONCRETE DESIGNS AT CORROSION DAMAGES

*Work is devoted experimentally-theoretical methods of an estimation of working capacity of ferro-concrete designs at infringement of coupling of armature with the concrete, working in aggressive conditions and having damages of concrete and working armature.*

**Keywords:** the working capacity bearing ability, ferro-concrete designs, corrosion damages, concrete, armature, coupling, an excited environment.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Verjuzhskij, Ju.V. Metody mehaniki zhelezobetona: ucheb. posob. [Text] / Ju.V. Verjuzhskij, V.I. Kolchunov. – Kiev: Knizhnoe izd-vo NAU, 2005. – 653 s.
2. Gvozdev, A.A. Rabota zhelezobetona s tressinami pri ploskom naprijazhennom sostojanii [Text] / A.A. Gvozdev, N.I. Karpenko // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 1965. – №2. – S. 20-23.
3. Gvozdev, A.A. Prochnost', strukturnye izmenenija i deformacii betona [Text] / A.A. Gvozdev, A.V. Jashin, K.V. Petrova i dr. – M.: Strojizdat, 1978. – 299 s.
4. Oatul, A.A. scepelenie armatury s betonom [Text] / A.A. Oatul, Ju.F. Kutin, V.V. Paseshnik // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1977. – №5. – S. 3-15.
5. Pahomova, E.G. Jeksperimental'nye issledovaniya prochnosti izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij pri korrozionnyh povrezhdenijah [Text] / E.G. Pahomova, A.V. Gordeev // Jeffektivnye stroitel'nye konstrukcii: Teoriya i praktika: sbornik statej VII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Penza: privolzhskij Dom znanij, 2008. – S. 107-109.
6. Pahomova, E.G. Prochnost' i deformativnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij pri korrozionnom povrezhdenii betona i armatury [Text] / E.G. Pahomova, D.S. Merkulov, A.V. Gordeev // Izvestija OrelGTU. Serija «Stroitel'stvo. Transport». – Orel: OrelGTU. – 2008. – №3/19 (549). – S. 29-32.

**Pahomova Ekaterina Gennadievna**

Southwest state university, Kursk

Candidate of technical science, associate professor of department «Designing, building of buildings and linear constructions»  
Ph.: +7 (4712) 50-48-16, 8 915 517 75 04

E-mail: udjinson@rambler.ru

**Kretova Valerya Mihajlovna**

Southwest state university, Kursk

Candidate of biological sciences, associate professor of department «Designing, building of buildings and linear constructions»  
Ph.: +7 (4712) 50-48-16, 8 903 876 09 93

E-mail: 325573@mail.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ С УЧЕТОМ МНОГОВАРИАНТНОСТИ НАГРУЖЕНИЯ

Разрабатывается генетический алгоритм оптимизации плоских железобетонных рам при рассмотрении нескольких схем нагружения конструкции. Осуществляется поиск рациональных решений на дискретных множествах параметров проектирования. В качестве функции цели рассматривается себестоимость рамы. Учитываются ограничения по прочности, жесткости и трещиностойкости конструкции. Методика расчета предусматривает последовательную корректировку областей допустимых значений параметров после реализации процедуры эволюционного моделирования для каждой комбинации нагрузок. Эффективность данного подхода иллюстрируется на примере оптимизации двухэтажной железобетонной рамы.

**Ключевые слова:** железобетонная рама, оптимизация, генетический алгоритм, многовариантное нагружение.

### ВВЕДЕНИЕ

Генетические итерационные схемы являются перспективным подходом к оптимальному синтезу строительных конструктивных систем. В работе [1] рассмотрен вопрос оптимизации с помощью генетического алгоритма железобетонных рам при одновариантном нагружении. Показана возможность получения практически важных решений экстремальных задач такого типа на дискретных множествах параметров. Эволюционный синтез железобетонных конструкций с учетом многовариантности нагружения существенно повышает трудоемкость расчетов, так как оценку прочности, жесткости и трещиностойкости нелинейно деформируемых систем требуется независимо проводить для каждой учитываемой нагрузки. В настоящей работе данная проблема решается путем последовательного сужения областей допустимых значений параметров при движении по вариантам нагружения. При этом итерационный процесс для одного нагружения предусматривает комбинированные схемы учета ограничений и проведения мутации, что расширяет возможности поиска рациональных проектов.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ

Пусть плоская железобетонная рама, изготавливаемая без предварительного напряжения арматуры, образуется ригелями и стойками прямоугольного поперечного сечения (рис. 1). Считаем, что ширина  $b$  для всех стержней рамы является одинаковой. Во всех элементах конструкции предусматривается введение двух рядов арматуры. Минимизируем себестоимость  $C_b$  рамы:

$$C_b(b, h_i, (d_t, n_t), K_b, K_s) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $h_i$  – высота сечения  $i$ -го участка или  $i$ -й группы участков стержней рамы ( $i=1, \dots, i_0$ );  $i_0$  – число независимо варьируемых высот;  $(d_t, n_t)$  – пара чисел, определяющая диаметр и количество прутков для  $t$ -го независимо варьируемого слоя или группы слоев арматуры ( $t=1, \dots, t_0$ );  $t_0$  – число таких пар;  $K_b, K_s$  – класс бетона и класс арматуры для рамы.

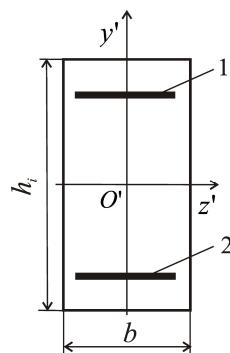


Рисунок 1 – Поперечное сечение ригеля или стойки: 1, 2 – ряды арматуры

Учитываем ограничения по прочности, жесткости и трещиностойкости конструкции [2, 3] для каждого  $k$ -го нагружения.

1. Требования по прочности:

$$\begin{aligned} p_{bu_k} &= \frac{|\varepsilon_{bu}|}{\Psi_b \varepsilon_{bu}} - 1 \leq 0; \quad \forall \varepsilon_{bu} > 0; \quad p_{sk_k} = \frac{\varepsilon_{sk}}{\Psi_s \varepsilon_{s,el}} - 1 \leq 0; \\ \forall \varepsilon_{sk} < 0; \quad p_{s,pl_k} &= \frac{|\varepsilon_{sk}|}{|\varepsilon_{s,pl}|} - 1 \leq 0 \quad (k=1,2,\dots,k_0), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $p_{bu_k}$ ,  $p_{sk_k}$ ,  $p_{s,pl_k}$  – параметры, используемые для характеристики выполнения или невыполнения условий прочности;  $\varepsilon_{bu}$ ,  $\varepsilon_{sk}$  – средние линейные деформации в сжатом бетоне и в растянутой или сжатой арматуре;  $\Psi_b$ ,  $\Psi_s$  – коэффициенты, вводимые для учета неравномерности распределения напряжений в сжатом бетоне и растянутой арматуре для сечений, расположенных на участках с трещинами в растянутом бетоне;  $\varepsilon_{bu}$  – относительная деформация предельной сжимаемости бетона при неравномерном сжатии;  $\varepsilon_{s,el}$ ,  $\varepsilon_{s,pl}$  – относительные деформации удлинения и сжатия арматуры при достижении напряжениями соответствующих расчетных сопротивлений;  $k_0$  – число рассматриваемых нагружений.

2. Требование по жесткости:

$$p_{f_k} = \frac{f_k}{f_{ult}} - 1 \leq 0 \quad (k=1, 2, \dots, k_0), \quad (3)$$

где  $p_{f_k}$  – параметр, используемый для оценки удовлетворения условий жесткости рамы;  $f_k$  – вертикальное перемещение;  $f_{ult}$  – предельно допустимое значение этого перемещения.

3. Требование по ширине раскрытия поперечных трещин:

$$p_{acrk} = \frac{a_{crck}}{a_{crck,ult}} - 1 \leq 0 \quad (k=1, 2, \dots, k_0), \quad (4)$$

где  $p_{acrk}$  – параметр, характеризующий удовлетворение условия трещиностойкости;  $a_{crck}$  – ширина раскрытия трещины в бетоне;  $a_{crck,ult}$  – предельно допустимая ширина раскрытия трещин в бетоне, зависящая от продолжительности действия нагрузки  $k$ .

4. Требование по условию отсутствия наклонных трещин:

$$Q \leq \varphi_{bi} R_b b h_i, \quad (5)$$

где  $Q$  – поперечная сила в нормальном сечении элемента;  $\varphi_{bi}$  – коэффициент, принимаемый равным 0,3;  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию.

## ПРОЦЕДУРА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Введем четырехуровневую пошаговую схему. На первом уровне выполняется движение по рассматриваемым вариантам нагружения. Второй уровень связан с подбором в соответствии с методикой работы [1] соотношения между массами поперечной и продольной арматуры рамы на основании учета ограничения (5). Третий уровень предусматривает выполнение генетического алгоритма оптимизации, четвертый – решение с помощью метода конечных элементов нелинейных задач для исследуемых вариантов конструкции на основе алгоритмов работы [1].

Дискретные множества допустимых значений параметров выстраиваются от меньшего к большему: в порядке увеличения размеров  $b$ ,  $h_i$  и площадей поперечных сечений слоев арматуры; повышения классов бетона и арматуры. Последовательно выполняется оптимальный поиск для каждого нагружения. При этом по результатам такого поиска корректируются множества допустимых значений путем удаления элементов с номерами, меньшими номеров значений, полученных для рассмотренного нагружения. После проведения процедуры оптимизации осуществляется итоговая проверка прочности, жесткости и трещиностойкости полученных

ных вариантов конструкции.

В генетической итерационной схеме принимается во внимание основная популяция  $\Pi_A$ , имеющая фиксированное число  $n$  особей, и вспомогательная популяция  $\Pi_B$  элитных особей, размер которой зависит от результатов работы генетического алгоритма, но не превышает  $n$ . Эволюционная процедура включает следующие основные действия.

**1. Выбор начальной популяции  $\Pi_A$ .** Формируется четное число  $n$  особей путем выбора наибольших допустимых значений параметров.

**2. Итерационный процесс.** Каждая итерация включает такие этапы.

**2.1. Проверка выполнения ограничений для особей популяции  $\Pi_A$ .** Выполняются расчеты напряженно-деформированного состояния вариантов конструкции данной популяции. При этом популяция разделяется на группы  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  особей. Если для какой-либо из особей группы  $\Pi_1$  не удовлетворяется хотя бы одно из ограничений (2)-(4), то она заменяется не используемой в основной популяции особью из популяции  $\Pi_B$  или вновь сформированным вариантом несущей системы. Если ограничения не удовлетворяются для особи из группы  $\Pi_2$ , то вводится штраф путем умножения значения целевой функции на коэффициент:

$$k_p = (1 + \alpha_{bu} \chi(p_{bu\max}) p_{bu\max}) (1 + \alpha_s \chi(p_{s\max}) p_{s\max}) (1 + \alpha_{s,pl} \chi(p_{s,pl\max}) p_{s,pl\max}) \times \\ \times (1 + \alpha_f \chi(p_{f\max}) p_{f\max}) (1 + \alpha_{acrc} \chi(p_{acrc\max}) p_{acrc\max}), \quad (6)$$

где  $\alpha_{bu}$ ,  $\alpha_s$ ,  $\alpha_{s,pl}$ ,  $\alpha_f$ ,  $\alpha_{acrc}$  – задаваемые положительные числа;  $\chi(x)$  – функция Хэвисайда от некоторого аргумента  $x$  ( $\chi(x)=0$ , если  $x < 0$ ;  $\chi(x)=1$ , если  $x \geq 0$ );  $p_{bu\max}$ ,  $p_{s\max}$ ,  $p_{s,pl\max}$ ,  $p_{f\max}$ ,  $p_{acrc\max}$  – максимальные значения величин  $p_{bu}$ ,  $p_s$ ,  $p_{s,pl}$ ,  $p_f$ ,  $p_{acrc}$  для проверяемой особи.

**2.2. Редактирование популяции  $\Pi_B$ .** Каждая из особей популяции  $\Pi_A$  проверяется по двум критериям: существует ли такая особь в популяции  $\Pi_B$ , и не превышает ли значение  $C_b$  рассматриваемой особи наибольшего значения целевой функции в данной популяции. При обоих отрицательных ответах особь помещается в популяцию  $\Pi_B$ . Если при этом число особей во вспомогательной популяции превысит  $n$ , то особь с наибольшим значением  $C_b$  из нее исключается.

**2.3. Мутация (случайное изменение параметров).** Случайным образом для части особей популяции  $\Pi_A$  может быть изменено несколько параметров. Вводится следующая схема выбора параметра. С помощью датчика случайных чисел, оперирующего на отрезке  $(0, 1)$  и имеющего равномерный закон распределения, находится значение  $m_a$ , которое сравнивается с управляющим числом мутации  $m$ . Если соблюдается неравенство  $m_a > m$ , то случайно с равной вероятностью выбирается любой из допустимых параметров. В противном случае на 1-2 единицы может увеличиваться или уменьшаться номер текущей позиции этого параметра во множестве его допустимых значений.

**2.4. Проверка выполнения ограничений для особей популяции  $\Pi_A$  и редактирование популяции  $\Pi_B$  (см. п.п. 2.1, 2.2).**

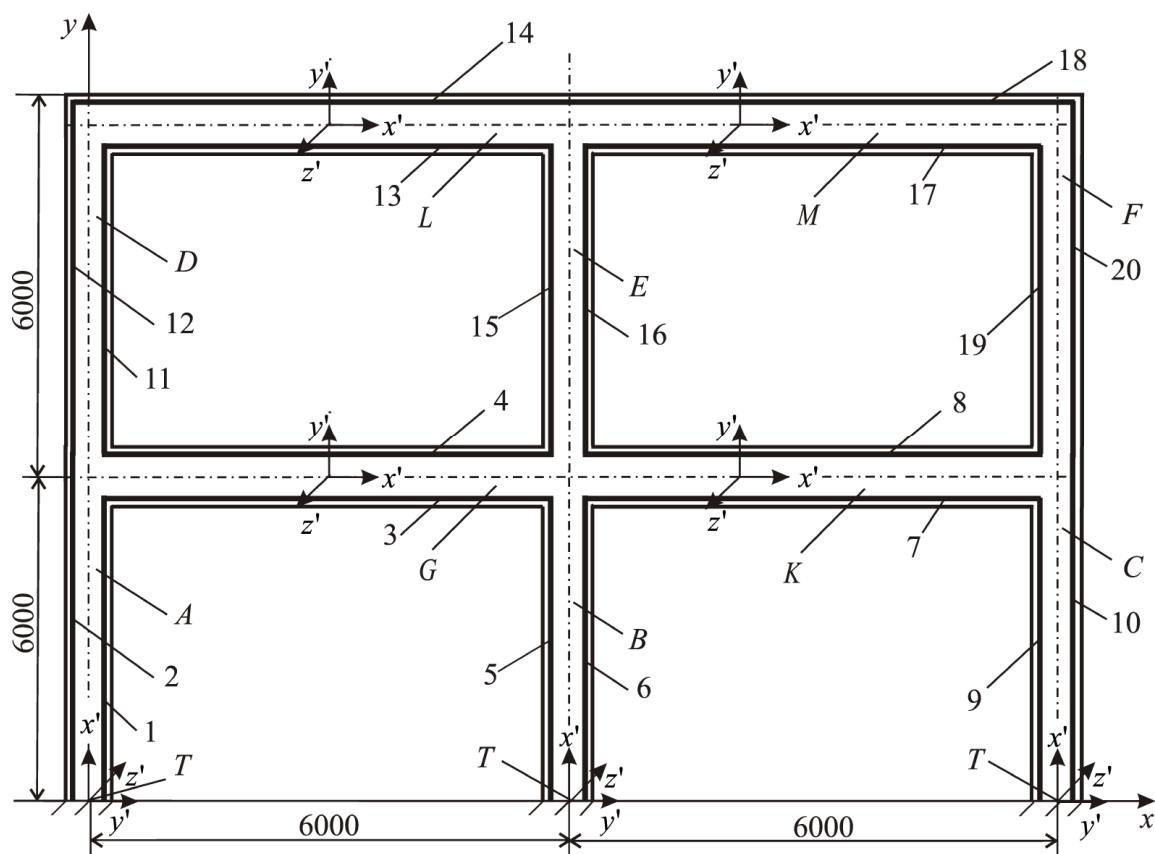
**2.5. Селекция и кроссинговер.** Для особей популяции  $\Pi_A$ , в соответствии с изложенной в работе [4] схемой, выполняется селекция по критерию значения целевой функции и реализуется процедура одноточечного кроссинговера (обмена параметрами). Особи, входящие в группы  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , участвуют в этих операциях на равных основаниях.

**2.6. Проверка удовлетворения критерию окончания итераций.** Расчеты показывают, что при оптимальном синтезе железобетонных рам с помощью рассматриваемой итерационной схемы отсутствие изменений в популяции  $\Pi_B$  в течение 300 поколений говорит о целесо-

образности остановки оптимизации. Дальнейшее продолжение итерационного процесса обычно не приводит к сколько-нибудь существенному изменению параметров для наиболее рациональных проектов. Этот критерий принят нами к реализации.

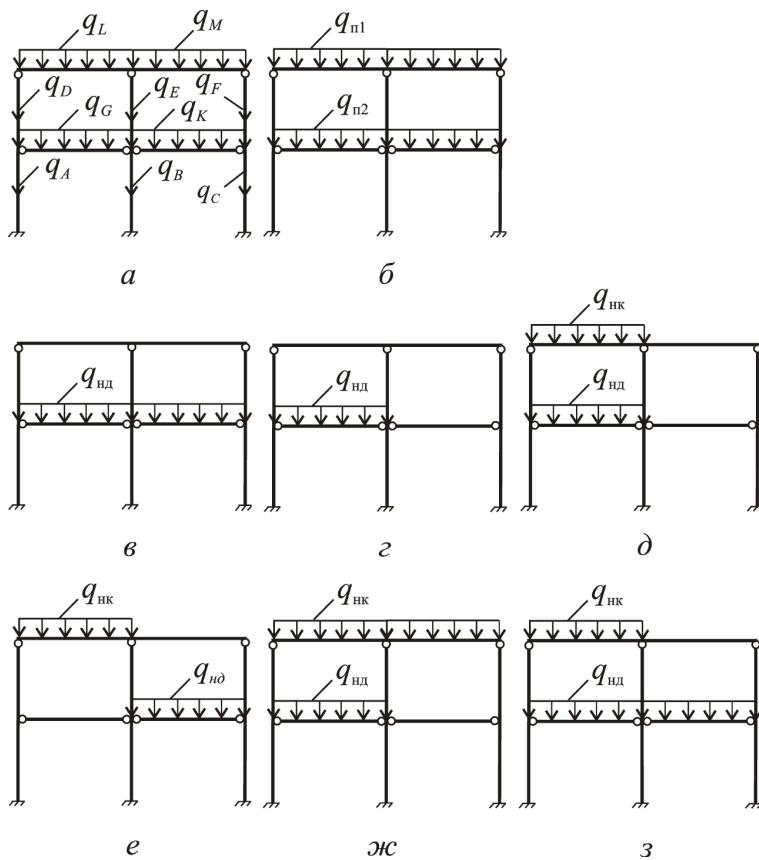
### ПРИМЕР

Проиллюстрируем особенности использования предлагаемой методики на примере оптимизации двухэтажной двухпролетной железобетонной рамы, показанной на рисунке 2. Рама имеет жесткие опорные связи  $T$ . Конструкция является сборной и состоит из шести колонн  $A, B, C, D, E, F$  и четырех ригелей  $G, K, L, M$ . Жесткими стыками соединены между собой ригели  $L$  и  $M$ , колонны  $A$  и  $D$ ,  $B$  и  $E$ ,  $C$  и  $F$ . Ригели устанавливаются на колонны без монтажной сварки, что учитывается шарнирными связями.



*Рисунок 2 – Железобетонная рама: 1-20 – слои арматуры; A, B, C, D, E, F – колонны; G, K, L, M – ригели*

Задаваемые в расчетной схеме связи и рассматриваемые нагрузки представлены на рисунке 3, где  $q_A, q_B, q_C, q_D, q_E, q_F, q_G, q_K, q_L, q_M$  – равномерно распределенные нагрузки от сил тяжести рамы;  $q_{\text{п1}}, q_{\text{п2}}$  – другие продолжительные нагрузки;  $q_{\text{нд}}, q_{\text{нк}}$  – непродолжительные длительные и непродолжительные кратковременные нагрузки. Последовательно принималось во внимание шесть сочетаний нагрузок. Каждое такое сочетание включало нагрузки  $a, b$  и одну из схем  $c, g, d, e, jk$  или  $z$ . При расчете конструкции на сочетания  $a+b+c$  и  $a+b+g$  учитывался эффект ползучести в соответствии с рекомендациями СНиП [3]. При переходе к каждой последующей схеме нагружения число допустимых значений параметров уменьшалось. В таблице 1 приведены результаты оптимизации и учитываемые значения параметров рамы для первого и шестого сочетаний нагрузок, где  $h_A, h_B, h_C, h_D, h_E, h_F, h_G, h_K, h_L, h_M$  – высоты поперечных сечений стоек и ригелей.



*Рисунок 3 – Составляющие нагрузений рассчитываемой стержневой системы:  
а – нагрузки от веса рамы; б – продолжительные нагрузки; в, г – непродолжительные  
длительные нагрузки; д-з – комбинации непродолжительных длительных  
и кратковременных нагрузок*

Таблица 1 – Результаты оптимизации

№ сочетания	Схема нагружения	Обозначения	Размерности	Допустимые значения	Результат
1	2	3	4	5	6
1	а+б+в	$h_A=h_B=h_C$	см	45; 48; 50; 55; 60; 65	45
		$h_D=h_E=h_F$		50; 55; 60; 70; 73; 85	85
		$h_G=h_K$		45; 50; 60; 65; 70; 73	60
		$h_L=h_M$		45; 50; 60; 65; 70; 73	45
		$b$		60; 62; 64; 70; 80; 85	60
		Класс бетона		B20; B25; B30; B35	B20
		Класс арматуры		AII; AIII; AIV; AV;	AIII
		$d_1, n_1$	мм, шт.	(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_2, n_2$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_3, n_3$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(25, 5)
		$d_4, n_4$		(25, 5); (25, 6); (28, 5); (28, 6); (32, 5); (32, 6)	(28, 6)
		$d_5, n_5$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_6, n_6$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_7, n_7$		(25, 5); (25, 6); (28, 5); (28, 6); (32, 5); (32, 6)	(32, 5)
		$d_8, n_8$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_9, n_9$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_{10}, n_{10}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_{11}, n_{11}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_{12}, n_{12}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_{13}, n_{13}$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_{14}, n_{14}$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_{15}, n_{15}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)

№ сочетания	Схема нагружения	Обозначения	Размерности	Допустимые значения	Результат
1	2	3	4	5	6
		$d_{16}, n_{16}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_{17}, n_{17}$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_{18}, n_{18}$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_{19}, n_{19}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
		$d_{20}, n_{20}$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(16, 3)
6	a+б+з	$h_A=h_B=h_C$	см	45; 48; 50; 55; 60; 65	45
		$h_D=h_E=h_F$		85	85
		$h_G=h_K$		60; 65; 70; 73	60
		$h_L=h_M$		45; 50; 60; 65; 70; 73	45
		$b$		60; 62; 64; 70; 80; 85	60
		Класс бетона		B20; B25; B30; B35	B20
		Класс арматуры		AIII; AIV; AV;	AIII
		$d_1, n_1$	мм, шт.	(20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_2, n_2$		(20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_3, n_3$		(25, 5)	(25, 5)
		$d_4, n_4$		(28, 6), (32, 5), (32, 6)	(28, 6)
		$d_5, n_5$		(20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_6, n_6$		(20, 3); (20, 4)	(20, 3)
		$d_7, n_7$		(32, 5), (32, 6)	(32, 5)
		$d_8, n_8$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_9, n_9$		(16, 3); (20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_{10}, n_{10}$		(20, 3); (20, 4)	(20, 4)
		$d_{11}, n_{11}$		(20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_{12}, n_{12}$		(18, 3); (20, 3); (20, 4)	(18, 3)
		$d_{13}, n_{13}$		(32, 2); (28, 3); (22, 5); (25, 4); (25, 5)	(32, 2)
		$d_{14}, n_{14}$		(25, 4); (25, 5)	(25, 4)
		$d_{15}, n_{15}$		(20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_{16}, n_{16}$		(18, 3); (20, 3); (20, 4)	(18, 3)
		$d_{17}, n_{17}$		(22, 5); (25, 4); (25, 5)	(22, 5)
		$d_{18}, n_{18}$		(22, 5); (25, 4); (25, 5)	(22, 5)
		$d_{19}, n_{19}$		(20, 2); (18, 3); (20, 3); (20, 4)	(20, 2)
		$d_{20}, n_{20}$		(18, 3); (20, 3); (20, 4)	(18, 3)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана эволюционная методика оптимизации плоских железобетонных рам, предусматривающая рассмотрение нескольких вариантов действия нагрузок на основе поэтапного сужения областей допустимых значений варьируемых параметров. Представленный пример оптимизации двухэтажной железобетонной рамы иллюстрирует работоспособность предложенного генетического алгоритма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серпик, И.Н. Генетический алгоритм оптимизации плоских железобетонных рам [Текст] / И.Н. Серпик, И.В. Мироненко, М.И. Смашнева // Бетон и железобетон. – 2011. – №4. – С. 17-21.
2. Верюжский, Ю.В. Методы механики железобетона [Текст] / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 653 с.
3. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст] / Госстрой РФ. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя РФ, 2004. – 29 с.
4. Серпик, И.Н. Структурно-параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций на основе эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексеевцев, Ф.Н. Левкович, А.И. Тютюнников // Известия вузов. Строительство. – 2005, №8. – С. 16-24.

**Серпик Игорь Нафтульевич**

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Механика»

Тел.: +7 (4832) 64-88-00

E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

**Мироненко Инна Вячеславовна**

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск

Аспирантка кафедры «Механика»

Тел.: +7 915 806 55 12

E-mail: mirinns@mail.ru

---

SERPICK I.N., MIRONENKO I.V.

## **OPTIMIZATION OF REINFORCED CONCRETE FRAMES WITH MULTICHOICE LOADING**

*The genetic algorithm for optimization of plane reinforced concrete frames with several schemes of loading is developed. The search of rational solutions is performed by discontinuous classes of variable parameters. As the criterion function is considered the cost value of the frame. It is taking into account the restrictions on the strength, stiffness and crack resistance of a structure. This means of analysis includes the successive correction of admitted regions of parameters for each combination of loadings after the procedure of the evolutionary. The effectiveness of such approach is illustrated by optimization of the two-story reinforced concrete frame.*

**Keywords:** reinforced concrete frame, optimal design, genetic algorithm, multichoice loading.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Serpik, I.N. Geneticheskij algoritm optimizacii ploskih zhelezobetonnyh ram [Text] / I.N. Serpik, I.V. Mironenko, M.I. Smashneva // Beton i zhelezobeton. – 2011. – №4. – S. 17-21.
2. Verjuzhskij, Ju.V. Metody mehaniki zhelezobetona [Text] / Ju.V. Verjuzhskij, V.I. Kolchunov. – K.: Knizh-kove vid-vo NAU, 2005. – 653 s.
3. SNiP 52-01-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Text] / Gosstroj RF. – M.: GUP NIIZhB Gosstroja RF, 2004. – 29 s.
4. Serpik, I.N. Strukturno-parametricheskaja optimizacija sterzhnevyyh metallicheskikh konstrukcij na osnove jevoljucionnogo modelirovaniya [Text] / I.N. Serpik, A.V. Aleksejcev, F.N. Levkovich, A.I. Tjutjunnikov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2005, №8. – S. 16-24.
1. Serpik, I.N. Geneticheskij algoritm optimizacii ploskih zhelezobetonnyh ram [Text] / I.N. Serpik, I.V. Mironenko, M.I. Smashneva // Beton i zhelezobeton. – 2011. – №4. – S. 17-21.
2. Verjuzhskij, U.V. Metody mehaniki zhelezobetona [Text] / U.V. Verjuzhskij, VI.I. Kolchunov. – K.: Knizhnoe vid-vo NAU, 2005. – 653 s.
3. SNiP 52-01-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Text] / Gosstroj RF. – M.: GUP NIIZhB Gosstroja RF, 2004. – 29 s.
4. Serpik, I.N. Strukturno-parametricheskaja optimizacija sterzhnevyyh metallicheskikh konstrukcij na osnove jevoljucionnogo modelirovaniya [Text] / I.N. Serpik, A.V. Aleksejcev, F.N. Levkovich, A.I. Tjutjunnikov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2005, №8. – S. 16-24.

**Serpik Igor Naftolevich**

Bryansk state technological academy of engineering, Bryansk

Doctor of technical science, head of department «Mechanics»

Ph.: +7 (4832) 64-88-00

E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

**Mironenko Inna Vyacheslavovna**

Bryansk state technological academy of engineering, Bryansk

Post-graduate student of department «Mechanics»

Ph.: +7 915 806 55 12

E-mail: mirinns@mail.ru

ТУРКОВ А.В., МАРФИН К.В.

## ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КРУГЛЫХ СОСТАВНЫХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН НА ПОДАТЛИВЫХ СВЯЗЯХ ПРИ РАЗЛИЧНОМ КОЛИЧЕСТВЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Рассматривается изотропная составная пластинка на податливых связях, разбитая на разное количество конечных элементов. Показано, что коэффициент K, зависящий от основной частоты свободных поперечных колебаний ω двухслойных изотропных круглых пластин в ненагруженном состоянии и их максимальных прогибов W<sub>0</sub> при действии равномерно распределенной нагрузки в зависимости от граничных условий слоев и жесткости связей сдвига, практически не зависит от количества конечных элементов. Построены кривые «Прогиб – жесткость связей сдвига», «Частота поперечных колебаний – жесткость связей сдвига» и «Коэффициент K – жесткость связей сдвига» для круглой пластины с разным числом конечных элементов. Погрешность при увеличении количества конечных элементов существенно не уменьшается. Наибольшая погрешность при определении коэффициента K составила при шарнирном опирании пластины по контуру – 1,58%, при защемлении пластины по контуру – 1,78%.*

**Ключевые слова:** составная пластина, связи сдвига, поперечные связи, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

В строительстве, наряду с проектированием, необходима комплексная оценка состояния конструкций и сооружений. Развитие вибрационных технологий в оценке несущей способности и жесткости составных стержней и пластин связано с обнаружением профессором В.И. Коробко нескольких фундаментальных закономерностей в строительной механике [1], одной из которых является взаимосвязь максимальных прогибов и частот собственных колебаний:

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}. \quad (1)$$

Для составных пластин применение этой закономерности еще изучено недостаточно полно.

В данной работе исследуется вопрос оценки точности получаемых численным методом (МКЭ) результатов при решении задачи определения прогибов и частот собственных колебаний составных круглых пластин на податливых связях с различными граничными условиями в зависимости от густоты сетки конечных элементов. Критерием точности является коэффициент K, связывающий частоту собственных поперечных колебаний пластины ω с распределенной массой m и максимальный прогиб W<sub>0</sub> при действии равномерно распределенной нагрузки q в формуле (1). Этот коэффициент для круглых пластин с жестким защемленным контуром составляет K = 1,629, а при шарнирно опертом контуре K = 1,579.

В работе [2] нами были исследованы методом конечных элементов составные пластины на податливых связях. Была принята 48-угольная пластина радиусом r = 500 мм, при этом общее количество конечных элементов составило 960. Были рассмотрены два условия закрепления пластин по контуру: шарнирное опирание и жесткое защемление. Погрешность при определении коэффициента K находилась в пределах 5,667% от аналитического. В данной работе сравниваются результаты исследования составных пластин радиусом r = 500 мм с разбиением

на 960 КЭ (48-угольная пластина) и на 240 КЭ (24-угольная пластина) для оценки точности численных расчетов (рис. 1).

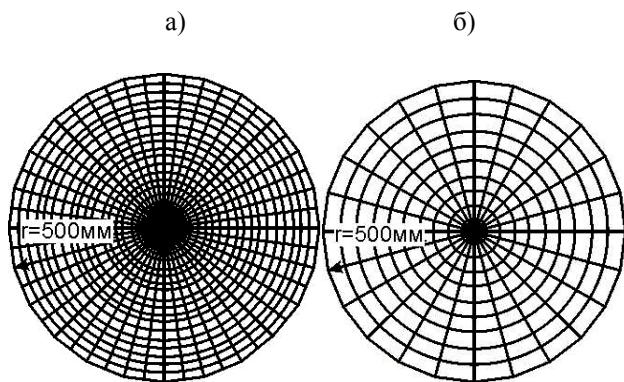


Рисунок 1 – Разбивка составных квадратных пластин на разное число конечных элементов: а – на 960 КЭ; б – на 240 КЭ

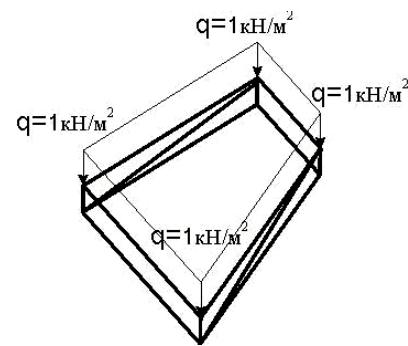


Рисунок 2 – Четырехугольные конечные элементы пластины с поперечными связями и связями сдвига

Слои составных пластин приняты постоянного сечения толщиной  $\delta = 8 \text{ мм}$  из древесностружечной плиты, расстояние между слоями принималось равным расстоянию между центрами тяжести слоев, средняя плотность которой по паспорту изделия составляет  $740 \text{ кг/м}^3$ , модуль упругости при изгибе  $E = 260\,000 \text{ МПа}$ . Между собой пластины соединены поперечными связями сдвига в виде стального нагеля диаметром 2 мм, при этом жесткость поперечных связей составляет  $EA_{nc} = 647199 \text{ Н}$  и при исследовании оставалась постоянной. Жесткость связей сдвига  $EA_{cc}$  для всех пластин изменялась в пределах от  $10^{-6}$  до  $10^8 \text{ кН}$  (рис. 2). При статическом расчете для определения максимального прогиба к верхнему слою прикладывалась равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $1 \text{ кН/м}^2$ , для динамического расчета были собраны массы в узлах в соответствии с объемным весом и грузовой площадью узла. Было рассмотрено два условия закрепления пластин по контуру – шарнирное опирание и жесткое защемление (рис. 3); опоры по контуру плиты располагались в узлах конечных элементов слоев, при этом их граничные условия были одинаковыми.

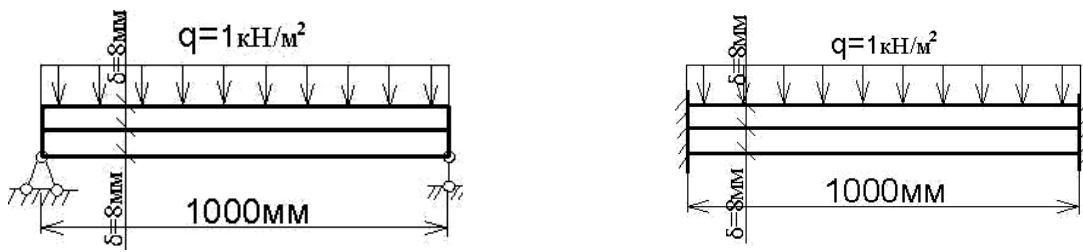


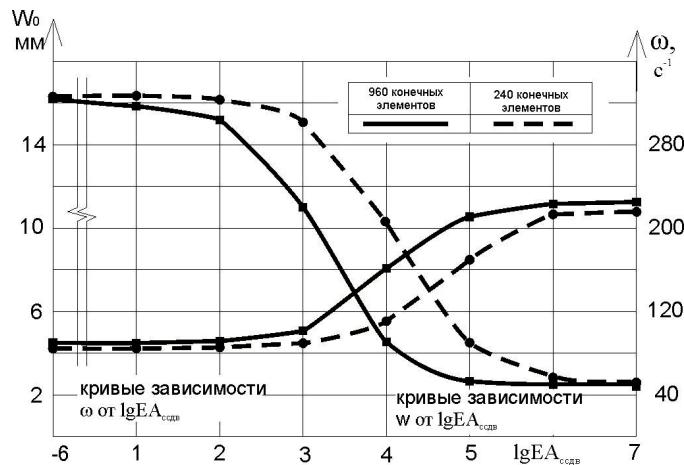
Рисунок 3 – Расчетные схемы шарнирно опертой и защемленной по контуру составной круглой пластины

При проведении исследований принят ряд ограничений, сужающих круг рассматриваемых в работе задач: пластиинки выполнены из изотропного материала; толщина и изгибная (цилиндрическая) жесткость пластинок постоянны.

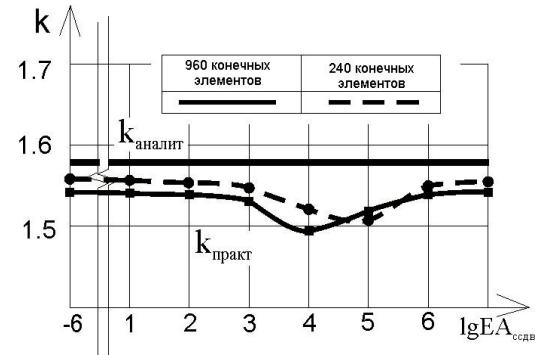
Расчет выполнялся в программном комплексе SCAD. В результате расчета определялся максимальный прогиб и частота основного тона поперечных колебаний. Результаты расчета и сравнения шарнирно опертой пластины с различным числом конечных элементов приведены в таблице 1. По данным таблицы 1 построены графики изменения прогибов и частот колебаний и коэффициента  $K$  в зависимости от жесткости связей сдвига  $EA_{cc}$  и сетке разбиения (рис. 4 и 5).

Таблица 1 – Результаты численных исследований составной круглой пластины радиусом  $r=500$  мм, шарнирно опертой по контуру

№п/п	$\lg EA_{\text{секущ}}$	Круговая частота основного тона, $\omega$ ( $\text{s}^{-1}$ ), при сетке разбиения:		Максимальный прогиб, $W_0$ (мм), при сетке разбиения:		$K=W_0 \omega^2/(q/m)$ , при сетке разбиения:		$K_{\text{аналит}}$	Отклонение $K$ от $K_{\text{аналит}}$ (%), при сетке разбиения:	
		24-угольная пластина	48-угольная пластина	24-угольная пластина	48-угольная пластина	24-угольная пластина	48-угольная пластина		24-угольная пластина	48-угольная пластина
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-6	89,16262	89,43915	16,30018	16,01235	1,56401	1,54594	-0,94906	-2,09363	
2	-5	89,16262	89,43915	16,30018	16,01235	1,56401	1,54594	-0,94906	-2,09363	
3	0	89,1656	89,46068	16,29905	16,00432	1,56401	1,54591	-0,94930	-2,09561	
4	1	89,1924	89,6539	16,28884	15,93248	1,56397	1,54563	-0,95184	-2,11361	
5	2	89,45942	91,53955	16,18765	15,25561	1,56357	1,54287	-0,97690	-2,28805	
6	3	92,04095	106,8494	15,25519	11,04587	1,55978	1,52204	-1,21742	-3,60718	
7	3,3	94,73559	119,0612	14,36368	8,815766	1,55588	1,50828	-1,46453	-4,47850	
8	3,7	101,9142	142,0739	12,33182	6,131919	1,54589	1,49385	-2,09674	-5,39250	
9	3,9	108,0261	155,8689	10,91899	5,092825	1,53788	1,49335	-2,60416	-5,42458	
10	4	111,6468	162,5525	10,19346	4,688677	1,53355	1,49527	-2,87864	-5,30257	
11	4,3	126,0015	182,4709	7,929912	3,752909	1,51951	1,50813	-3,76781	-4,48846	
12	4,7	150,8989	203,4761	5,49439	3,059154	1,50999	1,52866	-4,37043	-3,18811	
13	4,9	164,7653	211,135	4,619077	2,855252	1,51345	1,53620	-4,15107	-2,71061	
14	5	171,229	214,0658	4,286946	2,782424	1,51700	1,53887	-3,92659	-2,54179	
15	5,3	189,5362	220,7482	3,533558	2,625421	1,53207	1,54410	-2,97199	-2,21013	
16	5,7	207,2863	225,5675	2,988722	2,518728	1,54992	1,54674	-1,84164	-2,04313	
17	5,9	213,3461	226,9421	2,831597	2,489089	1,55555	1,54722	-1,48521	-2,01240	
18	6	215,6012	227,4248	2,776055	2,478747	1,55745	1,54736	-1,36502	-2,00399	
19	7	225,2239	229,3265	2,553716	2,438265	1,56345	1,54765	-0,98474	-1,98558	
20	8	226,3881	229,539	2,528144	2,433758	1,56384	1,54765	-0,96024	-1,98537	
21	9	226,5079	229,5871	2,525526	2,4333	1,56387	1,54801	-0,95807	-1,96274	

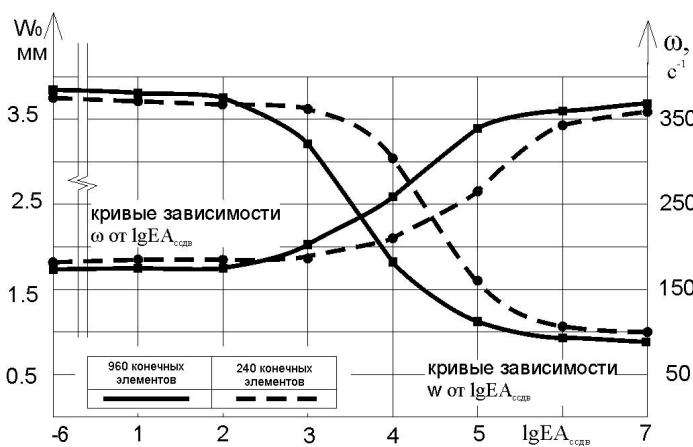


**Рисунок 4 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов в зависимости от жесткости связей сдвига и количества конечных элементов при шарнирном опирании по контуру**

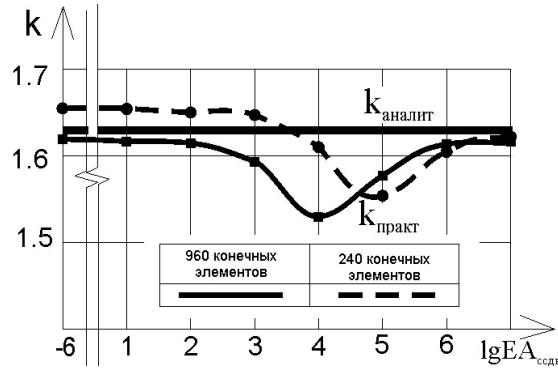


**Рисунок 5 – Изменение коэффициента  $K$  в зависимости от жесткости связей сдвига и количества конечных элементов при шарнирном опирании по контуру**

Результаты расчета жестко защемленной по контуру пластины приведены в таблице 2. По данным таблицы 2 построены графики изменения прогибов и частот колебаний и коэффициента  $K$  в зависимости от жесткости связей сдвига  $EA_{\text{cc}}$  (рис. 6 и 7).



**Рисунок 6 – Изменение частот собственных колебаний и прогибов в зависимости от жесткости связей сдвига и количества конечных элементов при жестком защемлении по контуру**



**Рисунок 7 – Изменение коэффициента  $K$  в зависимости от жесткости связей сдвига и количества конечных элементов при жестком защемлении по контуру**

Анализ данных показывает, что независимо от жесткости шва в составе пластин фундаментальная зависимость (1) выполняется, а количество разбиений незначительно влияет на точность расчета.

Таблица 2 – Результаты численных исследований составной круглой пластины радиусом  $r=500$  мм, жестко защемленной по контуру

№п/п	$\lg E A_{\text{свар}}$	Круговая частота основного тона, $\omega$ ( $\text{c}^{-1}$ ), при сетке разбиения:						$K_{\text{аналит}}$	Отклонение $K$ от $K_{\text{аналит}} (\%)$ , при сетке разбиения:	
		24-угольная круглая пла- стинка	48-угольная круглая пла- стинка	24-угольная круглая пла- стинка	48-угольная круглая пла- стинка	24-угольная круглая пла- стинка	48-угольная круглая пла- стинка		24-угольная круглая пла- стинка	48-угольная круглая пла- стинка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-6	188,3618	185,9263	3,835799	3,887632	1,64257	1,62199	0,83310	-0,43002	
2	-5	188,3618	185,9263	3,835799	3,887632	1,64257	1,62199	0,83310	-0,43002	
3	0	188,364	185,9427	3,835697	3,886872	1,64257	1,62196	0,83277	-0,43192	
4	1	188,3843	186,09	3,83478	3,880049	1,64253	1,62168	0,83040	-0,44917	
5	2	188,5865	187,5451	3,82564	3,813628	1,64213	1,61895	0,80612	-0,61717	
6	3	190,573	200,4591	3,737522	3,291021	1,63828	1,59612	0,56992	-2,01856	
7	3,3	192,7071	212,1507	3,646119	2,905102	1,63421	1,57809	0,32008	-3,12495	
8	3,7	198,6929	237,3967	3,406589	2,278157	1,62318	1,54959	-0,35717	-4,87501	
9	3,9	204,1355	254,4907	3,208466	1,969091	1,61368	1,53919	-0,94050	-5,51318	
10	4	207,5047	263,2965	3,09433	1,836586	1,60807	1,53668	-1,28478	-5,66713	
11	4,3	221,9215	291,6141	2,669443	1,501342	1,58673	1,54092	-2,59505	-5,40716	
12	4,7	250,816	324,999	2,053017	1,228405	1,55878	1,56599	-4,31042	-3,86816	
13	4,9	268,9973	338,0599	1,777184	1,145536	1,55207	1,58008	-4,72261	-3,00314	
14	5	277,9872	343,1604	1,663781	1,115918	1,55177	1,58602	-4,74070	-2,63828	
15	5,3	305,295	354,9019	1,388471	1,052686	1,56192	1,60029	-4,11784	-1,76254	
16	5,7	334,4859	363,2684	1,175629	1,01121	1,58748	1,61057	-2,54872	-1,13144	
17	5,9	345,0372	365,5728	1,11303	1,000215	1,59927	1,61333	-1,82513	-0,96180	
18	6	349,025	366,3646	1,090915	0,996473	1,60393	1,61427	-1,53869	-0,90445	
19	7	366,1851	369,3341	1,003611	0,98257	1,62424	1,61765	-0,29238	-0,69664	
20	8	368,2395	369,6436	0,993835	0,981127	1,62651	1,61798	-0,15263	-0,67622	
21	9	368,45	369,6748	0,992838	0,980982	1,62674	1,61802	-0,13872	-0,67414	

### Заключение

В результате численных исследований составных изотропных пластин на податливых связях было доказано, что число разбиений круглой пластины на различное количество конечных элементов практически не влияет на точность определения максимального прогиба  $W_0$  от действия равномерно распределенной нагрузки  $q$  и основной частоты колебаний в ненагруженном состоянии  $\omega$ , а следовательно и коэффициента  $K$  в фундаментальной зависимости (1). Расхождение для круглых пластин составило от 5,425% при шарнирном опирании пластины по контуру до 5,667% при жестком опирании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Об одной «замечательной» закономерности в теории упругих пластинок [Текст] / В.И. Коробко // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – №11. – С. 32-36.
2. Турков, А.В. Прогибы и частоты собственных колебаний составных круглых изотропных пластин с различными граничными условиями при изменении жесткости связей сдвига [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2011. – №5. – С. 47-51.

**Турков Андрей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
E-mail: antur@orel.ru

**Марфин Кирилл Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Инженер  
E-mail: oantc@mail.ru

TURKOV A.V., MARFIN K.V.

### DEFLECTION AND NATURAL FREQUENCY COMPOSITESQUARE ISOTROPIC PLATES WITH VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS FOR CHANGE STIFFNESS SHEAR

*We consider the isotropic component of the plate on the compliant links, broken down into different units Number of finite elements. It is shown that the coefficient K, which depends on the fundamental frequency of free oscillations of transverse isotropic bilayer square plates in the unloaded state and of the maximal deflection  $W_0$  under the action of a uniformly distributed load, depending on the boundary conditions and stiffness layers shift is practically independent of number of finite elements. Curves «Deflection - displacement stiffness relations», «The frequency of transverse vibrations - stiffness relationship shift» and «K-Factor - stiffness relationship shift» for a square plate with a different number of finite elements. Error as the number of finite elements does not significantly decrease. Shai-greatest error in the determination of the coefficient K was at hinged support plate along the contour – 1,58%, while pinching the contour of the plate – 1,78%.*

**Keywords:** composite plate, communications shift, cross-linking, the natural frequency of oscillation, the maximum deflection.

### BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Ob odnoj «zamechatel'noj» zakonomernosti v teorii uprugih plastinok [Text] / V.I. Korobko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1989. – №11. – S. 32-36.
2. Turkov, A.V. Progiby i chastoty sobstvennyh kolebanij sostavnnyh kruglyh izotropnyh plastin s razlichnymi granichnymi uslovijami pri izmenenii zhhestkosti svjazej sdvigov [Text] / A.V. Turkov, K.V. Marfin // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2011. – №5. – S. 47-51.

**Turkov Andrey Viktorovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Doctor of technical science, professor of department «Building designs and materials»  
E-mail: antur@orel.ru

**Marfin Kirill Vasilevich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Engineer  
E-mail: oantc@mail.ru

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 69.003

ГОЛЕНКОВ В.А., КОЛЧУНОВ В.И.

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ И СОЦИАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМОГО ГОРОДА<sup>\*</sup>**

*Изложены некоторые концептуальные положения по обеспечению введения в хозяйственный оборот новых технологий безопасности городской среды и социальных стандартов качества жизни. В их основу положены новая парадигма и принципы биосферосовместимого города РААСН, реализация которых показана применительно к решению некоторых наиболее острых региональных проблем современного строительного комплекса.*

**Ключевые слова:** безопасность городской среды, инновационные технологии, количественная оценка баланса биотехносфера.

Несомненно, что важной задачей фундаментальной архитектурно-строительной науки является строгая качественная и количественная характеристика понятий «комфортной и безопасной пространственной среды». Эти характеристики действительно могут стать критерием комплекса тех условий, которые государство совместно с гражданским обществом и бизнесом должны создать для народа России. Но не менее, а может быть и более важной задачей является создание побудительных механизмов организации такой пространственной среды, чтобы через программы развития обеспечить поэтапный переход к комфортной и безопасной среде жизнедеятельности.

Такой механизм может быть построен на основе концепции и принципов биосферосовместимых поселений развивающих человека, сформулированных в последние годы в РААСН [1] и поддержанных РАН и другими государственными академиями. С позиции биосферосовместимых технологий под инновационными технологиями признаются лишь те, которые не уничтожают чистую биосферу. В рамках рассматриваемой темы уместно заметить, что концепция биосферосовместимости включает в себя и проблему обеспечения социальных стандартов качества жизни, поскольку одной из ключевых составляющих расчета, так называемых гуманитарных балансов, является человек.

Итак, если решение рассматриваемой проблемы лежит в плоскости реализации принципов биосферосовместимых технологий, то центральным в матрице В.А. Ильичева преобразований города в биосферосовместимый и развивающий человека лежит использование научных знаний. В рамках рассматриваемой проблемы безопасности городской среды и социальных стандартов качества жизни обратимся к некоторому ее анализу, так сказать, взглянем на эту проблему, акцентируя внимание на региональных особенностях ее решения.

Проблема безопасности в последние десятилетия в связи с ростом техногенных и природных опасностей предельно обострилась во всех сферах деятельности человека и в строительстве в частности [2, 3]. В России и особенно регионах эта проблема стоит особенно остро еще и потому, что, с одной стороны, имеет место беспрецедентный износ основных фондов, с другой, снижение уровня защиты объектов от всех видов угроз, начиная с их проектирования строительства и эксплуатации. Мы живем в то время, когда выполнение технических регламентов и нормативных документов, впрочем, как и выполнение самого проекта в полном объеме, стало необязательным. И на этом фоне, несмотря на предпринимаемые Правительством

\* По материалам содоклада на Общем собрании РААСН (25-27 мая 2011 г., Орел).

страны и другими органами государственного управления мерами проблемы безопасности проектирования, строительства и эксплуатации знаний и сооружений сохраняет свою остроту.

Проблема нигилизма к нормативной базе носит двойственный характер. С одной стороны, несовершенство и низкое качество самих нормативных документов, даже самого высокого уровня. Например, принятые ФЗ «О безопасности зданий и сооружений» и поправки к ФЗ «О техническом регулировании» не обеспечивают соответствующей нормативной базой, обеспечивающей выполнение этих законов. С другой стороны, степень нарушения норм, начиная от проектирования и заканчивая строительством, носит беспрецедентные масштабы. Поэтому одно из ключевых требований социальных стандартов - требование безопасности и прежде всего конструктивной, экологической и пожарной безопасности – почти повсеместно не выполняется.

Сегодня в объектах социального назначения, даже возводимых за счет средств региональных и федерального бюджетов, более 50% применяемых материалов не отвечает требованиям норм пожарной и экологической безопасности. Качество конструктивных разделов проектов таково, что вновь запроектированные и построенные объекты не только не отвечают многократно возросшим экологически агрессивным воздействиям и все возрастающим запроектным нагрузкам природного, техногенного и даже террористического характера, но иногда даже элементарным требованиям норм по обеспечению требований предельных состояний.

Примеры. Применяемая сегодня в ряде регионов России сборно-монолитная конструктивная система каркасов жилых зданий [4] не отвечает требованиям действующих норм к проектированию бетонных и железобетонных конструкций и соответственно названного Федерального закона. При высоте, так называемого, ригеля 220 мм процент армирования гибкой арматурой превышает установленный нормами более чем в два раза (рис. 1). В результате качественно изменяется характер разрушения таких элементов как переармированных. А ведь жилые здания с такой системой возведены в Белгороде, Орле, Смоленске и ряде других регионов центральной России. По-видимому, назрела необходимость возврата к типовым проектам жилых и гражданских объектов массового применения, в том числе возводимые на индустриальной основе.

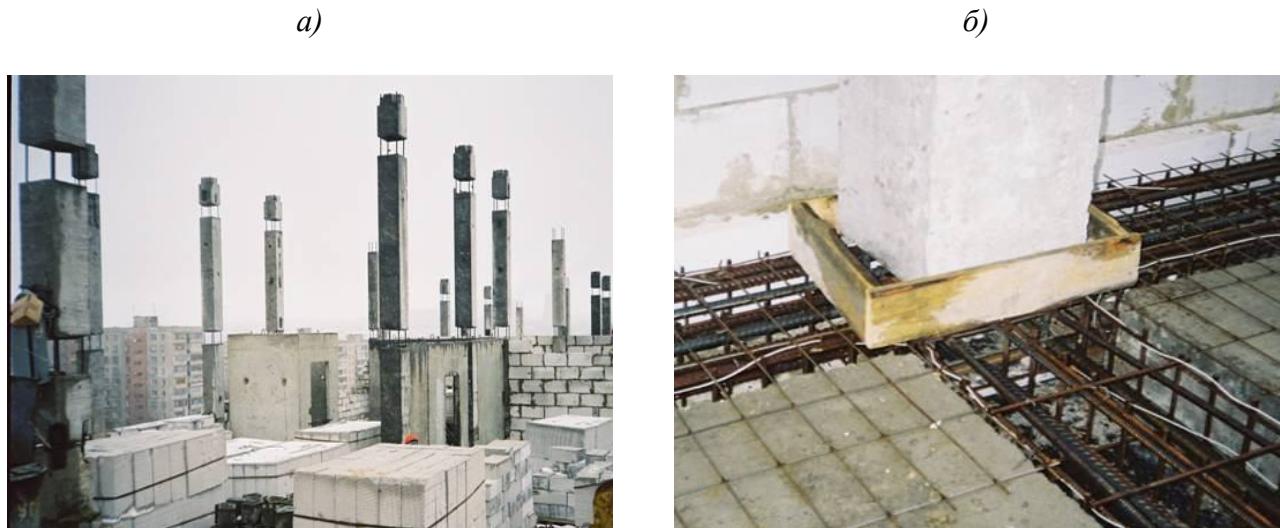


Рисунок 1 – Общий вид (а) и узел сопряжения ригелей (б) сборно-монолитного каркаса

Зaproектированный и возводимый в настоящее время в Советском районе г. Орла канализационный коллектор также выполнен с грубыми нарушениями действующих нормативных документов на такие инженерные сооружения. Например, несущие конструкции переходных колодцев коллектора выполнены в полкирпича, да еще и в зимних условиях (рис. 2).

В то же время согласно действующих нормативных документов такие конструкции, эксплуатируемые в агрессивной среде, должны возводиться, как правило, в железобетоне повышенной плотности.



*Рисунок 2 – Переходной колодец строящегося коллектора*

На одном из совещаний научно-технического совета Администрации Орловской области рассматривались инновационные предложения фирм по новым строительным технологиям, предлагаемым к внедрению в регионе. На вопрос где документ о техническом соответствии материала техническим нормам у авторов предложений вызовет удивление «Уже применяем, есть сертификаты, есть поддерживающие письма Минрегиона, какие могут быть вопросы о безопасности?».

Проблема подготовки профессиональных кадров напрямую связана с качеством проектирования и безопасностью объектов недвижимости и особенно это проявляется при подготовке инженеров-расчетчиков. Использование современных компьютерных технологий для расчета строительных конструкций без соответствующей подготовки создают иллюзию простоты получения решений и слепую веру в их правильность. И чем ниже уровень расчетчика, тем больше веры. Голод в квалифицированных кадрах в строительной отрасли, помимо других причин, делает не восприимчивость отрасли к инновациям. Правительство страны и Президент все чаще стали обращать внимание на недостаточный уровень подготовки профессиональных инженерных кадров (лозунг «кадры решают все» вновь на повестке дня). Но вот шаги, предпринимаемые Высшей школой в направлении изменения вектора в сторону повышения квалификации инженерных кадров, мягко говоря, неадекватны этим целям. Достаточно ознакомиться с вводимыми сегодня стандартами третьего поколения, которые плохо ориентированы на повышение качества профессиональной подготовки, в том числе, и специалистов архитектурно-строительной отрасли. Введение так называемых вариативных дисциплин как бы подстраивающихся под сегодняшние потребности экономики, а на деле – в каждом вузе дисциплин под имеющихся преподавателей – не способствует повышению ни качества, ни тем более мобильности образования, во-первых, а во-вторых, продолжающееся снижение аудиторной нагрузки и тем более числа курсовых проектов под дисциплины расчетного характера, несомненно, приведет к их поверхностному освоению, тем более в условиях двухступенчатой подготовки. В итоге благие намерения о повышении качества образования, отраслевой интеграции образовательных учреждений архитектурно-строительного профиля не подкреплены реальными механизмами действий и остаются лишь декларациями. Сегодня значительная часть выпускников вузов не могут без «разбега» приступить к работе в научных, проектных и даже производственных организациях отрасли. К сожалению можно констатировать, что профессиональное образование в стране так и не стало объектом стратегического планирования.

#### Проблема невостребованности инноваций архитектурно-строительным комплексом.

Рынок главным индикатором деятельности строительной компании (фирмы) сделал «прибыль любой ценой». А поскольку система технического регулирования отрасли крайне несовершенна и ответственность за нарушение технологических, экологических и других нормативных требований в действующих нормах совершенно неизмерима с ущербом, наносимым потребителю продукции отрасли и, тем более, общественным интересам социального города (поселения), то соблюдение этих требований повсеместно становится необязательным. Проведение исследований, направленных на повышение качества продукции, уровня ее без-

опасности, энергоэффективности и других показателей, и как результат введение инноваций в хозяйственный оборот, сегодня невыгодны, поскольку это достаточно затратные вещи и в отсутствии механизмов их стимулирующих.

Анализ более пятидесяти региональных программ развития из 11 регионов ЦФО развития архитектурно-строительного комплекса показал, что практически во всех программах и документах по их разработке [5] декларируется программно целевой подход, лишь как намерения. В реальности все сводится кциальному плану мероприятий и поручений неизвестно кому и по известному тезису: «хотели как лучше». Механизмы достижения сформулированных в этих программах благих пожеланий отсутствуют.

Некоторые вполне реальные предложения к созданию таких механизмов по обеспечению социальных стандартов качества жизни могут быть сформулированы исходя из принципов биосферосовместимого города. На первый взгляд концепция и парадигмы биосферосовместимого города [1] кажутся страшно далекими от реалий современной действительности в российских регионах и малоприменимыми к практическому использованию. Тем не менее, наш опыт [6] выстроить программы развития региона, опираясь на парадигму биосферосовместимых технологий, показал, что это не только возможно, но и пока безальтернативно.

Остановимся на некоторых конкретных реализованных предложениях в рамках вновь разрабатываемых программ развития. Параметры качества жизни, названные в генеральном докладе, *комфорт и безопасность* в действующих стандартах и нормативах сформулированы лишь по отдельным экологическим требованиям (ПДК для загрязнений воды, воздуха, грунта), требованиям к теплофизике, инсоляции, шуму и др. Требования к размещению производств и зонированию территории или требования в отношении новых вызовов и техногенного и природного характера носят пока более декларативный характер, и особенно, если речь идет о требованиях, так называемых общественной безопасности и общественного комфорта. Существует так называемые общественные интересы – неделимые и неконкурентные. Некоторые из них входят в систему интересов индивидуальных: чистая вода, воздух, личная безопасность и т.п., а некоторые выражаются в интересах всего общества: культурно-историческое наследие, архитектура, тишина в жилых кварталах, рекреационные зоны дворов и парки. Эта часть комфорта никак не регулируется рыночными институтами, интересы общества и бизнеса здесь разобщены, а вмешательство государства через инстанции наделенные правом принуждения пока обеспечить безопасность и комфорт не может.

Для регулирования и управления параметрами общественного комфорта и безопасности использование огромного количества разноплановых критериев среды жизнедеятельности неэффективно. Поэтому в рамках концепции и принципов биосферосовместимого города РААСН в качестве количественной оценки качества среды жизнедеятельности использован принцип расчета тройственных гуманитарных балансов биотехносферы (рис. 3).

Для количественной оценки баланса биотехносферы в рамках рассматриваемой концепции расширенного воспроизводства главной производительной силы – чистой биосферы, в условиях современного уровня урбанизации и обязательного условия реализации функций города по обеспечению социальных стандартов качества жизни в работе [7] предложено два интегральных показателя:

$\eta$  – относительный показатель биосферной совместимости территории;

$\xi$  – относительный показатель уровня реализации функций биосферно-совместимого поселения (функции города).

В показатель биосферной совместимости территории – города (микрорайона) включены относительные значения чистой лишенной загрязнений биосферы (зеленые рекреации, зоны лесопарков, парков, озеленения дворовых территорий и др.) и относительные показатели загрязнений от техносферы (мест удовлетворения потребностей населения) из расчета на одно рабочее место при реализации  $n$ -той функции города через систему коэффициентов приведения к однородности различных составляющих биосферы и загрязнений техносферы к одному источнику и др.

В показатель реализации функций биосферосовместимого города (поселения) включены относительные значения составляющей реализации  $n$ -ой функции города из расчета на од-

ного жителя, коэффициент доступности этой составляющей жителю города, параметр ее реализуемости в расчетный период (по возрастным группам, социальным и др. особенностям человеческого потенциала на рассматриваемой территории).



*Рисунок 3 – Структура составляющих для расчета тройственного баланса биотехносфера городской среды*

Апробация представленной методики была выполнена на примере данных по городу Орлу в целом и отдельно для вновь застраиваемых микрорайонов «Ботаника» (рис. 4), «Зареченский» (рис. 5), «Наугорский» (рис. 6).



*Рисунок 4 - Генеральный план микрорайона «Ботаника»*

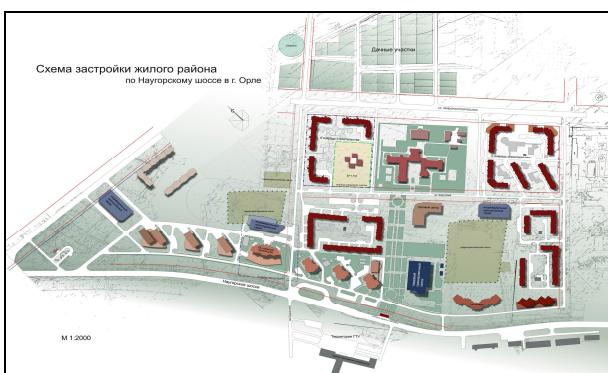


*Рисунок 5 - Генеральный план микрорайона «Зареченский»*

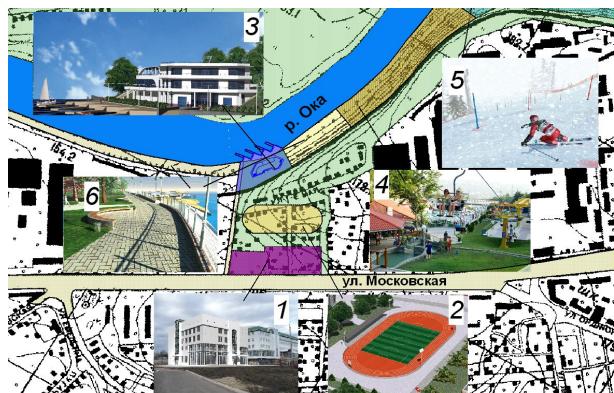
А так же при разработке проектных предложений реконструкции территории корпуса Архитектурно-строительного института с благоустройством набережной р. Оки (рис. 7).

Результаты расчета обобщенных параметров биосферосовместимости города и показателя уровня реализации функций биосферосовместимого города и названных микрорайонов приведены в таблице 1.

Уместно заметить, что все проекты прошли общественные слушания, экспертизу и, следовательно, должны отвечать требованиям действующих на сегодня нормативных документов. В то же время с позиции биосферосовместимого города вывод очевиден: проектирование жилых микрорайонов, только исходя из требований «съема» квадратных метров с территории микрорайона, без учета расширенного воспроизведения чистой части биосферы и тем более без механизмов реализации социальных стандартов в части обеспечения экономики общественных благ ведет к ухудшению экономической составляющей качества жизни и как следствие – к деградации (биологической, эмоциональной, материальной) городского поселения.



**Рисунок 6 - Генеральный план микрорайона «Наугорский»**



**Рисунок 7 - Реконструкция территории архитектурно-строительного института с благоустройством набережной р. Оки**

**Таблица 1 – Результаты расчета обобщенных параметров биосферосовместимого города (микрорайона)**

№ п/п	Наименование объекта	$\eta$	$\xi$	Примечание
1	г. Орел – генплан по проекту НПИ «ЭНКО» (Санкт-Петербург) и ООО «ЗЕМРЕСУРС» (Москва)	0,54	0,49	Проект 2008 г.
2	Микрорайон «Ботаника», схема застройки территории по проекту ЦНИИ градостроительства РААСН	0,24	0,74	Проект 2000-2001 гг.
3	Микрорайон «Ботаника» по проекту ОАО «Орелпроект»	0,18	0,54	Проект 2007-2008 гг.
4	Микрорайон «Зареченский» по проекту ОАО «Орелпроект»	0,44	0,62	Проект 2008-2009 гг.
5	Реконструкция территории АСИ с благоустройством набережной р. Оки	0,65	0,76	Проектные предложения 2010 г.

И не случайно, представляя перспективную программу развития региона Орловскому областному Совету народных депутатов, губернатор орловской области А.П. Козлов, говоря о строительстве детских садов, вынужден был напомнить о, казалось бы само собой разумеющихся, положениях в рамках действующего федерального законодательства: «Мы должны прийти к тому что, застройщик не должен приступать к строительству жилья без соответствующих законодательно установленных отчислений на развитие сети учреждений образования и здравоохранения». К сожалению, действующее «дырявое» и противоречивое в этой сфере законодательство и несовершенное ценообразование в строительстве оставляет широкие возможности для недобросовестных чиновников, инвесторов и застройщиков. Даже новые площадки под застройку целых микрорайонов позволяют так проводить тендера на земельные участки, что согласно генеральному плану можно застраивать жилье, торговые и развлекательные центры и другие объекты, приносящие быструю прибыль инвестору без возведения школ, детских садов, объектов здравоохранения, культуры и др. Значительное количество новых микрорайонов в ряде городов ЦФО и, к сожалению, в Орле возведены именно по такой схеме.

Госуниверситетом-УНПК и Орловским академцентром на использовании отдельных принципов программно-целевого управления или по-другому фоновых механизмов хозяйствования с ЗАО «Промстройэнергомонтаж», ОАО «Агропромстрой», ООО «Агростройинвест», РК «Таврида-электрик» и другими организациями выполнена реализация проектов жилых социально-ориентированных энерго-ресурсоэффективных быстровозводимых зданий и производственных зданий нового поколения. Результат – построено и запроектировано более двух десятков многоэтажных жилых домов и три производственных объекта. При их проектировании, строительстве и реконструкции из 9 принципов матрицы биосферосовместимых технологий В.А. Ильичева [7] реализовано в усеченном виде только первый, второй, четвертый, пятый, шестой и седьмой. В частности, принципы 1 и 2 – цель и выбор цели, принцип 5 – знания (получе-

ны патенты, работают лицензионные договора на право использования интеллектуальной собственности, разработки включены в проекты повторного применения), принцип 6 – (реализованы новые энергоресурсоэффективные технологии). Здесь, говоря об инновационных разработках нельзя не обратить внимание еще на одну проблему современной российской экономики и всего архитектурно-строительного комплекса – проблему защиты интеллектуальной собственности. Университетом накоплен печальный опыт практически полного отсутствия механизмов и несовершенства нормативно-правовой базы защиты интеллектуальной собственности в стране. Примером может служить почти трехлетнее прохождение в арбитражных судах г. Орла, г. Воронежа, г. Брянска исков к двум проектным институтам по нарушению патентного закона РФ в отношении патентов Госуниверситета-УНПК на новую ресурсо-энерго-эффективную конструктивную систему ширококорпусных жилых и гражданских зданий со смешенным каркасом. В начале отказ в иске суда г. Орла, и затем отказ в вышестоящем суде г. Воронежа, затем суд Федерального округа в г. Брянске вернул дело в суд г. Орла, который вынужден был изменить свое первоначальное решение и признать, что ответчики нарушили Закон РФ. Суд запретил использование запатентованных разработок без лицензионных договоров, но финансовые претензии Госуниверситет-УНПК к ответчикам по запроектированным и построенным объектам суд отклонил. Новый иск на эти же патенты, но к другой проектной организации суд г. Орла удовлетворил в полном объеме, включая финансовые претензии. Можно только констатировать, что это были первые и пока единственными судебные разбирательства по защите интеллектуальной собственности в Орловской и соседних областях.

Принципы биосферосовместимого города использованы ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» при разработке областной целевой Программы развития Орловской области до 2030 г. [6]. Предварительный анализ выполненных как в регионе, так и в соседних субъектах РФ программ развития показал, что главными непроработанными вопросами в этих программах является отсутствие реальных экономически обоснованных механизмов реализации программных мероприятий по введению в хозяйственный оборот инновационных технологий и четкого критериального экспертного анализа определения и роли конкретных инновационных технологий в достижении целей программ. Отсутствие на законодательном уровне механизмов финансового обеспечения реализации частно-государственного партнерства в строительстве и стройиндустрии не позволяет обеспечить реальное внедрение даже уже имеющихся разработок, не говоря уже об издании нового инновационного продукта мирового уровня. В проекты программы должно быть включено не все то, что называют инновационным и рекламируется разработчиком, а в качестве инновационных технологий приняты лишь те, которые увеличивают потенциал чистой биосфера, те проекты, реализация которых увеличивает потенциал чистой природы, не ухудшают экология региона, города, поселения) и (или) позволяют превратить «патологии» в ресурс развития, увеличить эффективность использования природных ресурсов, тем самым уменьшить их потребление, заниматься ресурсосбережением.

Из названной парадигмы и принципов биосферосовместимых технологий вытекают все другие составляющие предложенной Программы развития: задачи для достижения целей программы, четкая последовательность программных мероприятий и индикаторов их контроля, основные этапы и ожидаемые результаты, обоснование объемов и источников финансирования и софинансирования, принципы экспертизы проектов программы.

Концепция биосферосовместимого города была принята нами и при разработке Программы «Разработка концепции устойчивого биосферно-совместимого функционирования объектов системы высшего профессионального образования и целевой программы предупреждений и защиты от чрезвычайных и кризисных ситуаций. Принципы биосферосовместимых технологий экстраполированы здесь для целей, задач и индикаторов этой Программы. Апробация концепции в проекте этой программы выполнена в региональных управлениях МЧС РФ, а так же при обсуждениях проекта отдельными специалистами.

К числу наиболее социально-значимых программ Орловской области, несомненно, относится и Программа по подготовке к празднованию в 2016 году 450-летия основания г. Орла. Здесь в рамках уже принятой концепции повышения качества жизни горожан и прежде всего качества социальных стандартов предстоит большая работа по подготовке проектов реконструкции городской среды, по сохранению и восстановлению объектов города. Многие здания, определявшие облик и архитектурный образ Орла, были утрачены.

## Безопасность зданий и сооружений

К сожалению, в Программу мероприятий по подготовке к 450-летию Орла многие из действительно значимых объектов архитектурного наследия и вовсе в нее не включены.

Остается надеяться, что эта досадная ошибка будет в ближайшее время исправлена. Архитектурно-строительный институт ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» вместе со специалистами Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) может не только оказать консультативное участие в проведении экспертизы и инвентаризации таких объектов, но и в разработке проектов их реконструкции или восстановления.



**Рисунок 8 – Концепция развития музейно-рекреационного комплекса «Дворянское гнездо» (а) генплан, (б) дом Лизы Калитиной**

Примерами могут служить уже выполненные предпроектные предложения по дому Лизы Калитиной в Советском районе г. Орла (рис. 8), проект по воссозданию Орловской крепости [8], по сохранению кинотеатра «Родина» и его современному использованию и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость: Технологии внедрения инноваций. Города развивающего человека [Текст] / В.А. Ильичев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
2. Бондаренко, В.М. Конструкционная безопасность каркасов жилых зданий [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов и др. // БСТ. – №1. – 2004. – С. 8-11.
3. Колчунов, В.И. Некоторые направления развития конструктивных решений жилых зданий и обеспечение их безопасности [Текст] / В.И. Колчунов // Научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство». – М.: ООО «Издательство ПГС». – 2007. – №4.
4. Мордич А.И. Многоэтажные здания по серии Б1.020.1-7 со сборно-монолитными каркасами и плоскими перекрытиями из многопустотных плит / А.И. Мордич, Р.И. Вигдорчик, В.Н. Белевич // Сб. «Современные архитектурно-конструктивные системы зданий и сооружений, новые строительные материалы и технологии». – Минск: НПООО «Стринко», 2000. – С. 3-22.
5. Постановление правительства г. Москвы от 04.03.2011 №56-ПП «Об утверждении порядка разработки, реализации и оценка эффективности государственных программ г. Москвы [Текст].
6. Долгосрочная областная целевая программа «развития базы» строительной индустрии и промышленности строительных материалов Орловской области до 2030 года.
7. Ильичев, В. А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенев, А.Л. Поздняков. – М.: Академия. – 2009. – №1. – С. 74-81.
8. Волчок, Ю.П. Кинотеатр «Родина» в Орле. Пять доводов в пользу его сохранения [Текст] / Ю.П. Волчок // Архитектура и строительство в России. – №8. – 2011. – С. 8-37.

**Голенков Вячеслав Александрович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, ректор

Тел.: +7 (4862) 42-00-24

**Колчунов Виталий Иванович**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

---

GOLENKOV V.A., KOLCHUNOV V.I.

**INNOVATION TECHNOLOGIES AND SAFETY MECHANISMS  
OF THE URBAN ENVIRONMENT AND SOCIAL STANDARDS  
OF LIFE QUALITY IN BIOSPHERE COMPATIBLE CITY**

*The paper presents some conceptual provisions for introduction of new technologies of urban environment safety and social standards of life quality into economic circulation. The provisions are based on a new paradigm and the principles of biosphere compatible city proposed by Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), implementation of which is shown as applied to solving some of the most acute regional problems of contemporary construction industry.*

**Keywords:** safety of the city environment, innovative technologies, quantitative estimation of balance of a biotechnosphere.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Il'ichev, V.A. Biosfernaja sovmestimost': Tehnologii vnedrenija innovacij. Goroda razvivajuwego cheloveka [Text] / V.A. Il'ichev. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2011. – 240 s.
2. Bondarenko, V.M. Konstrukcionnaja bezopasnost' karkasov zhilyh zdanij [Text] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov i dr. // BST. – №1. – 2004. – S. 8-11.
3. Kolchunov, V.I. Nekotorye napravlenija razvitiya konstruktivnyh reshenij zhilyh zdanij i obespechenie ih bezopasnosti [Text] / V.I. Kolchunov // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo». – M.: OOO «Izdatel'stvo PGS». – 2007. – №4.
4. Mordich A.I. Mnogojetazhnye zdaniya po serii B1.020.1-7 so sborno-monolitnymi karkasami i ploskimi perekrytijami iz mnogopustotnyh plit / A.I. Mordich, R.I. Vigdorchik, V.N. Belevich // Sb. «Sovremennye arhitektурно-konstruktivnye sistemy zdanij i sooruzhenij, novye stroitel'nye materialy i tehnologii». – Minsk: NPOOO «Strinko», 2000. – S. 3-22.
5. Postanovlenie pravitel'stva g. Moskvy ot 04.03.2011 №56-PP «Ob utverzhdenii porjadka razrabotki, realizacii i ocenka jeffektivnosti gosudarstvennyh programm g. Moskvy [Text].
6. Dolgosrochnaja oblastnaja celevaja programma «razvitija bazy» stroitel'noj industrii i promyshlen-nosti stroitel'nyh materialov Orlovskoj oblasti do 2030 goda.
7. Il'ichev, V. A. Nekotorye voprosy proektirovaniya poselenij s pozicij koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Text] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, A.V. Bersenev, A.L. Pozdnjakov. – M.: Akademija. – 2009. – №1. – S. 74-81.
8. Volchok, Ju.P. Kinoteatr «Rodina» v Orle. Pjat' dovodov v pol'zu ego sohranenija [Text] / Ju.P. Volchok // Arhitektura i stroitel'stvo v Rossii. – №8. – 2011. – S. 8-37.

**Golenkov Vyacheslav Aleksandrovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Doctor of technical science, professor, rector  
Ph.: +7 (4862) 42-00-24

**Kolchunov Vitaly Ivanovich**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Doctor of technical science, professor, manager of department «Building designs and materials»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-49  
E-mail: skimkafedra@yandex.ru

УДК 377.6

КАЛИНКИНА Н.А.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*В статье рассмотрены вопросы необходимости изменения планировочной структуры средних профессиональных учебных заведений под влиянием модернизации системы образования. В настоящее время в процессе обучения происходят многократные смены форм и методов подачи материала, для реализации которых требуются иные, нежели существующие сегодня учебные пространства. В постоянно изменяющихся условиях остро встает вопрос создания функционально-насыщенной образовательной среды, отвечающей многогранным требованиям и потребностям каждого индивида, что создает предпосылки для пересмотра принципов организации учебных пространств и их дифференциации.*

**Ключевые слова:** среднее профессиональное образование, индивидуализация образования, дифференциация учебного пространства, мобильность среды.

Наметившаяся интеграция России с мировым сообществом, выражается в единых подходах во многих областях общественной жизни, профессиональной и экономической деятельности. Одним из аспектов интеграции является включение России в единое образовательное пространство. Во всем мире наблюдается тенденция роста потребности в специалистах со средней профессиональной квалификацией и, как следствие, востребованности среднего профессионального образования. В соответствии с международными тенденциями специалисты со средним профессиональным образованием должны стать ведущим звеном в практической профессиональной деятельности [1]. Развивающаяся рыночная экономика и новая социокультурная система требуют высокой общей и профессиональной грамотности, экономических знаний, социально-психологической устойчивости. Достижения мирового сообщества в развитии науки и производства способствуют увеличению объема знаний, необходимых человеку, требуют его постоянного профессионального роста.

В рамках традиционной системы, опирающейся на принцип «конечного образования», возникли сложности с удовлетворением дифференцированных запросов людей разных возрастов. Произошло отставание образования от требований развивающегося социума, девальвация его общественной значимости. Постепенно создалась потребность в новой стратегии, соответствующей особенностям экономической и социокультурной систем, которые «...требуют постоянного изменения и обновления характера и направленности образовательной и профессиональной подготовки» [2].

Успех учебного заведения как места для получения специальности и реализации познавательных интересов зависит от его способности создавать и поддерживать современные возможности образования. С момента постройки основной массы существующих средних профессиональных учебных заведений виды изучения и подачи материала существенно изменились. Данный на лекции или прочитанный в читальном зале материал уже не являются достаточными средствами получения знаний. Полученная информация не гарантирует ее изучения. Изучение подразумевает обработку полученной информации, но все делают это по-разному: некоторые слыша, другие – видя, касаясь, чувствуя, испытывая... . Все эти пути возможны, когда процесс изучения преобладает над обучением. Учащиеся должны осуществлять связь между информацией и знанием. Они нуждаются в практических опытах, междисциплинарном совместном и индивидуальном обучении. Для его реализации возможно множество путей, каждый из которых или их комбинация приведут к разностороннему развитию личности сов-

местно с получением специальности. Поэтому образовательная среда в изменившихся условиях требует новых отношений, достигаемых через изменение объемно-планировочных решений, связанных с распределением и перераспределением штата, студентов, учебных комнат, мебели, средств информации и т.д.

Традиционный проект среднего профессионального учебного заведения был определен в соответствии с числом и возрастом студентов, числом учебных аудиторий, их размерами и месторасположением – результат – эффективная группировка студентов во времени, но невозможность их эффективного перемещения в пространстве. Традиционно классно-урочная форма обучения имеет статичную форму (в основном фронтальную, когда ученики размещаются за расположенным рядами столами), которая сегодня сочетается с показом большого количества наглядных пособий, демонстрацией фильмов и телепередач, проведением дискуссий, докладов, включением в учебный процесс игр и т.д. В связи с развитием методов обучения, когда активно внедряется процесс индивидуализации образования, идея учебной комнаты для студентов исчезает. Преподаватель уже не сможет обучать всю учебную группу в одном направлении и в однородной манере. Обучение теперь должно происходить в индивидуальной манере в малых группах студентов. Роль преподавателя меняется от наставника и поставщика информации к наблюдателю, который способствует развитию студентов. В современной образовательной концепции большой упор делается на самообразование, а не на лекционный материал, общий для всех. Образовательный процесс, проявляя гибкость в подходах к данной проблеме, требует различных действий и, как следствие, различных мест, что влечет за собой переосмысление вместимости учебных помещений. Группы, включающие от двух до шести человек, собирающиеся формально, требуют комфортных мест и обстановки, соответствующего масштаба, цвета и структуры, объединяющих элементов, которые дадут ощущения комфорта и безопасности. Внедрение новых методов и форм обучения требует дифференцированного состава учебных помещений. В традиционных комнатах существует трудность в параллельном действии нескольких групп. В помещениях с рядовой расстановкой столов создаются визуальные и звуковые помехи. Для реализации групповых форм обучения необходима возможность свободного деления учебного пространства на зоны с размещением в них групп учащихся, осуществление взаимосвязи между ними, учебными досками и экспозициями, перемещение групп по периметру учебного помещения. Индивидуальная работа учащихся требует организации обособленной зоны для самостоятельной работы. Активные формы работы требуют увеличения размеров учебных помещений. Альтернативой так же является создание больших пространств, которые бы позволили комфортно разместиться и большой, и малой группам. При этом множество обучающих программ делают акцент на междисциплинарное обучение на основе проекта развития, который требует новую конфигурацию мест в учебном пространстве. Многократная оценка способов изложения материала показала, что большая часть обучения может происходить максимально эффективно без сформированных в ряды столов, а зачастую и без преподавателей, до сих пор являвшихся единственными проводниками информации [3].

Современное образование стало ориентироваться и включать в себя большое количество экспериментирования, для которого не подходят традиционные типы обстановки, оборудования и технологии. Активные методы обучения на базе информационных, компьютерных и телекоммуникационных технологий способствуют интенсификации и качеству обучения. Аппаратные средства и программное обеспечение стали ресурсом и используются как необходимый базис образовательного процесса. В современных учебных заведениях необходим широкий доступ к аудио-видео и интернет сетям, для максимального удовлетворения студенческих потребностей в технологическом оснащении помещений.

Еще одной особенностью традиционных проектов средних профессиональных учебных заведений является разделение пространственных областей для академических и профессионально-технических предметов, что вносит противоречия в их взаимодействие. Интеграция и модернизация этих областей должна создать новые пространственные отношения. Производство будет включать в себя набор мастерских плюс места для формальных и неформальных групп, а также места для демонстрации. Гибкая структура освободит организацию простран-

ства от физических ограничений, учитывая полную интеграцию профессионально-технических и академических предметов. При этом обеспечивается большое число обучающихся процессов, которые признают индивидуальность познания студентов.

Переход образования на обучение в малых группах, работающих с междисциплинарной командой преподавателей, повлечет за собой переход на учебные заведения меньшей вместимости. Исследования данного вопроса выявили, что небольшие комплексы будут более дороги в работе с одним учеником, но более дешевы в подготовке дипломированного специалиста. Будущая стоимость реконструкции – важная составляющая такого перехода. Отказ от стандартных учебных аудиторий, гибкая планировка позволят длительное время достаточно легко изменять внутреннюю конфигурацию помещений, приспосабливаясь к инновационным программам, которые делают образование более результативным. Таким образом, будет продлен эффективный срок службы этих учебных заведений.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что современная система образования претерпевает значительные изменения, требующие новой функционально – планировочной структуры учебного заведения. Появление новых образовательных систем, позволяющих за короткий срок овладеть большим объемом информации, невозможно без изменения внутренней структуры и создания информационной зоны на базе персональных компьютеров. Внедрение групповых и индивидуальных форм обучения создают предпосылки для пересмотра догматических принципов организации учебного пространства и его дифференциации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов, П.Ф. Среднее профессиональное образование в социально-экономическом развитии регионов. Образование в социально-гуманитарной сфере Российской Федерации [Текст] / П.Ф. Анисимов // Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ, 2003. – №2 (195). Режим доступа: <http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2003/vestniksf195-02/vestniksf195-02070.htm>.
2. Аношкина, В.Л. Социокультурные предпосылки инновационных процессов в непрерывном образовании [Текст] // Среднее профессиональное образование, 1999. №6 – С. 2.
3. МГСН 4.06-96, ТСН 31-306-96 г. Москвы. Система нормативных документов в строительстве. Московские городские строительные нормы. Общеобразовательные учреждения [Текст]. 18.09.1996 г.

**Калинкина Надежда Александровна**

Самарский государственный архитектурно-строительный университет, г. Самара  
Ассистент кафедры «Архитектура жилых и общественных зданий»  
Тел.: +7 (846)265-01-88, 8 904 749 20 00  
E-mail: nad\_si@mail.ru

---

KALINKINA N.A.

### CHANGES PLANNING STRUCTURE OF SECONDARY VOCATIONAL SCHOOLS UNDER THE INFLUENCE OF THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL SYSTEMS

*The article discusses the need to change the planning structure of secondary vocational schools under the influence of modernization of the education system. Currently, there are multiple learning changing forms and methods of presentation for the implementation of which requires different than today's existing training space. In a constantly changing environment poses a very relevant issue of creating a functionally-rich learning environment that meets the requirements of multi-faceted and needs of each individual, which creates prerequisites for the revision of the principles of training spaces and their differentiation.*

**Keywords:** vocational education, individualization of education, differentiation of educational space, the mobility of the medium.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Anisimov, P.F. Srednee professional'noe obrazovanie v social'no-ekonomiceskem razvitiu regionov. Obrazovanie v social'no-gumanitarnoj sfere Rossijskoj Federacii [Text] / P.F. Anisimov // Analiticheskij vestnik Soveta Federacii FS RF, 2003. – №2 (195). Rezhim dostupa: <http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2003/vestniksf195-02/vestniksf195-02070.htm>.
2. Anoshkina, V.L. Sociokul'turnye predposylki innovacionnyh processov v nepreryvnom obrazovanii [Text] // Srednee professional'noe obrazovanie, 1999. №6 – S. 2.
3. MGSN 4.06-96, TSN 31-306-96 g. Moskvy. Sistema normativny dokumentov v stroitel'stve. Moskovskie gorodskie stroitel'nye normy. Obweobrazovatel'nye uchrezhdenija [Text]. 18.09.1996 g.

**Kalinkina Nadezhda Aleksandrovna**

Samara state architecturally-building university, Samara

Assistant of department «Architecture of inhabited and public buildings»

Ph.: +7(846) 265-01-88, 8 904 749 20 00

E-mail: nad\_si@mail.ru

ШИШКИНА И.В.

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМОГО ГОРОДА ОТ ВКЛАДА ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ АВТОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Предложена методика оценки вклада составляющих территориальной автотранспортной инфраструктуры в реализацию функций биосферосовместимого города. Представлен алгоритм расчета показателя реализации функции «Жизнеобеспечение» от составляющей «Автотранспортные предприятия и предприятия дорожного сервиса». Расчетным путем получены коэффициенты реализации и доступности функций города исходя из анализа состояния производственной среды станций технического обслуживания автомобилей отдельно взятой территориальной автотранспортной системы.

**Ключевые слова:** биосферосовместимый город, функции города, реализуемость, доступность, транспортная инфраструктура, автотранспортные составляющие, обобщенный критерий, интегральный показатель.

Транспортная инфраструктура является одной из важнейших функциональных подсистем городского хозяйства, осуществляющей транспортные процессы. Автомобильный транспорт занимает ведущее положение по объему транспортной работы и пассажирообороту. Автотранспортная система через свои составляющие (грузовые и пассажирские предприятия, автотранспортные средства, автомобильные дороги и др.) играет важную роль в реализации функций биосферосовместимого города [1].

Термин «биосферосовместимый город» определяется парадигмой биосферной совместимости городов и поселений, предложенной Российской академией архитектуры и строительных наук, в основе которой лежит императив: «Единство поселения (от хутора до мегаполиса) и окружающей Природы, единство сознания, ибо человек – часть Природы и без нее не может существовать» [2]. Этот постулат, от которого зависит дальнейшее прогрессивное развитие, может рассматривать как основополагающий при жизнедеятельности человека и функционировании различных организационно-технических структур в системе жизнеобеспечения поселений, в т.ч. и автотранспортных на конкретной территории.

В основу методологии оценки реализуемости функций биосферосовместимого города положена гипотеза о равнозначности территориальной, временной и персональной доступности их человеку. Оценка строится на применении в качестве обобщенных критериев, отражающих баланс биотехносферы в границах определенной городской территории, следующих двух показателей [3]:

- показателя реализации функций города  $\zeta$ ;
- показателя биосферной совместимости в отношении территории  $\eta$ .

В работе [4] для оценки вклада транспортной инфраструктуры в реализацию функций биосферосовместимого города предложена методика, позволяющая вести расчет интегральных показателей оценки состояния территориальной автотранспортной системы (ТАТС) в его структуре. Методика устанавливает вклад конкретных автотранспортных составляющих в реализацию функций города, который, с позиции парадигмы биосферной совместимости, определяет уровень развития человеческого потенциала на урбанизированной территории. Методика позволяет рассчитать параметры реализуемости и доступности функций городскому населению через составляющие ТАТС.

Согласно предложенной методике, показатель реализации функций биосферосовместимого города с учетом вклада составляющих ТАТС определяется по формуле:

$$\xi^{TATC} = \sum_{n=1}^N \xi_{\phi_n}^{TATC} = n \cdot \xi_{\phi_n}^{TATC}, \quad (1)$$

где  $\xi_{\Phi_n}^{TATC}$  – показатель реализации  $\Phi_n$ -ой функции города с учетом вклада составляющих ТАТС;  $n$  – количество функций города, принятых при оценке ( $\Phi_n, n=1 \dots N, N=7$ ).

Показатель реализации  $\Phi_n$ -ой функции города с учетом составляющих ТАТС  $\xi_{\Phi_n}^{TATC}$  можно определить по формуле:

$$\xi_{\Phi_n}^{TATC} = \sum_{i=1}^{i=i} c_{in} \alpha_{in} \beta_{in} \left/ \sum_{i=1}^{i=i} c_{in}^* \alpha_{in}^* \beta_{in}^* \right., \quad (2)$$

где  $c_{in}$  – относительное значение  $i$ -ой составляющей в  $\Phi_n$ -ой функции города из расчета на одного потребителя услуг ТАТС;  $\alpha_{in}$  – коэффициент доступности  $i$ -ой составляющей;  $\beta_{in}$  – коэффициент реализуемости  $i$ -ой составляющей;  $c_{in}^*$  – минимально необходимое с точки зрения развития человека в биосферосовместимом городе относительное значение параметра;  $\alpha_{in}^*$  – нормируемое (максимально возможное или рациональное) значение коэффициента доступности;  $\beta_{in}^*$  – нормативное (установленное нормами, гарантируемое законодательством и администрацией поселения, продиктованное рыночными отношениями, рациональное или оптимальное расчетное) значение параметра реализуемости  $\beta_{in}$ .

Учитывая, что не все показатели, входящие в формулу (2), регламентированы в действующих документах стратегического и территориального планирования, полагаем, что для возможности численной реализации все  $i$ -ые составляющие ТАТС каждой  $\Phi_n$ -ой функции биосферосовместимого города также равнозначны и составляют значение, определяемое как:

$$c_{in}^* = c_{in} = 1/i_n.$$

В результате формула (2) примет вид:

$$\xi_{\Phi_n}^{TATC} = \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in} \beta_{in} \left/ \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in}^* \beta_{in}^* \right., \quad (3)$$

а показатель реализации функций биосферосовместимого города с учетом вклада составляющих ТАТС  $\xi^{TATC}$  можно определить исходя из выражения:

$$\xi^{TATC} = \sum_{n=1}^{n=n} \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in} \beta_{in} \left/ \sum_{n=1}^{n=n} \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in}^* \beta_{in}^* \right.. \quad (4)$$

Значения показателей  $\xi^{TATC}$ ,  $\xi_{\Phi_n}^{TATC}$  являются относительными величинами, и находятся в интервале:  $0 \leq \xi^{TATC} \leq 1$ ;  $0 \leq \xi_{\Phi_n}^{TATC} \leq 1/n$ . При этом максимально возможные значения параметров  $\alpha_{in}$ ,  $\alpha_{in}^*$ ,  $\beta_{in}$ ,  $\beta_{in}^*$  составят:

$$\xi_{\Phi_n, \max}^{TATC} = \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in}^{\max} \beta_{in}^{\max} \left/ \sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in}^{*,\max} \beta_{in}^{*,\max} \right. = 1/n. \quad (5)$$

Параметры  $\alpha_{in}$ ,  $\beta_{in}$  отражают текущие, реальные показатели, а  $\alpha_{in}^*$ ,  $\beta_{in}^*$  – нормативные, т.е. минимально необходимые с точки зрения развития человека или рациональные, максимально возможные значения которых равны 1. Это допущение справедливо, т.к. при введении в расчет  $\alpha_{in}^* < 1$ ,  $\beta_{in}^* < 1$  будет наблюдаться эффект необоснованного повышения параметра  $\xi_{\Phi_n}^{TATC}$ . Таким образом:

$$\sum_{i=1}^{i=i} \alpha_{in}^{\max} \beta_{in}^{\max} \left/ i_n \right. = 1/n \text{ или } \alpha_{in}^{\max} \beta_{in}^{\max} = 1/n. \quad (6)$$

В рамках принятой гипотезы о равнозначности территориальной, временной и персональной доступности функций города для численного анализа полагаем:  $\alpha_{in}^{\max} = \beta_{in}^{\max}$ . Тогда получим, что  $\alpha_{in}^{\max} = \beta_{in}^{\max} = 1/\sqrt{n}$ . В свою очередь, нормативному уровню ( $\alpha_{in}^* = 1$ ,  $\beta_{in}^* = 1$ ) соответствуют значения  $\alpha_{in} = 1/\sqrt{n}$ ,  $\beta_{in} = 1/\sqrt{n}$ .

Исходя из этой же гипотезы, в работе [5] предложена алгоритмизация нахождения уровней оцениваемых коэффициентов: реализуемости  $\beta_{in}$  – по наличию (в принципе) и качественности реализации, а также  $\alpha_{in}$  – по территориальной, временной и персональной доступности.

Реализуемость  $\beta_{in}$  безотносительно к качеству: полное отсутствие – 0; обеспеченность до 25% –  $0,25/\sqrt{n}$ ; обеспеченность до 50% –  $0,50/\sqrt{n}$ ; обеспеченность до 75% –  $0,75/\sqrt{n}$ ; наличие 100% –  $1/\sqrt{n}$ .

Реализуемость  $\beta_{in} = \beta_{in}^H + \beta_{in}^k$  с оценкой характеристик по наличию –  $\beta_{in}^H$ : полное отсутствие – 0; обеспеченность до 25% –  $0,175/\sqrt{n}$ ; обеспеченность до 50% –  $0,35/\sqrt{n}$ ; обеспеченность до 75% –  $0,525/\sqrt{n}$ ; наличие 100% –  $0,70/\sqrt{n}$  и по качеству –  $\beta_{in}^k$ : низкое качество – 0; удовлетворительное качество –  $0,1/\sqrt{n}$ ; хорошее качество –  $0,2/\sqrt{n}$ ; высокое качество –  $0,3/\sqrt{n}$ .

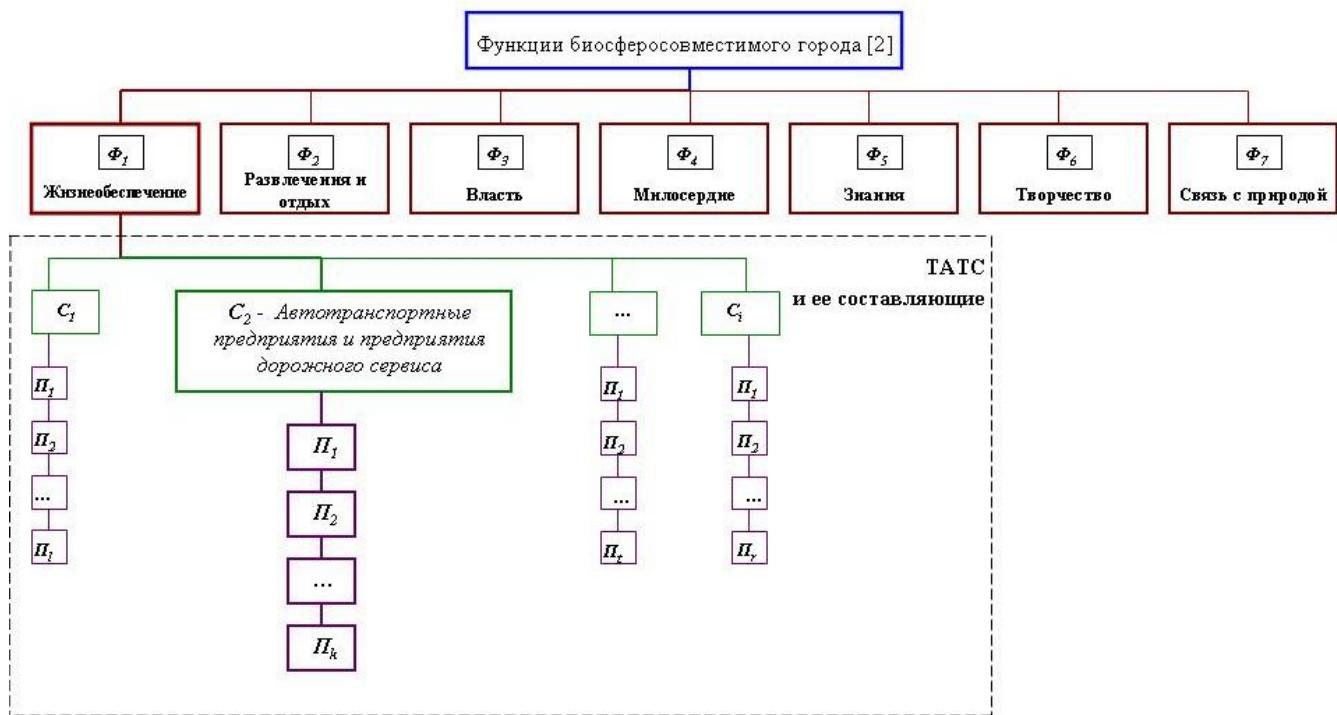
Доступность с полной оценкой характеристик:  $\alpha_{in} = \alpha_{in}^{mep} + \alpha_{in}^{sp} + \alpha_{in}^{nep}$ . Территориальная доступность  $\alpha_{in}^{mep}$ : территориально доступ невозможен – 0; территориально доступ возможен, но запрещен –  $0,1/\sqrt{n}$ ; территориально доступ ограничен –  $0,2/\sqrt{n}$ ; территориально доступ неограничен –  $0,4/\sqrt{n}$ . Временная доступность  $\alpha_{in}^{sp}$ : по времени доступ ограничен постоянно – 0; по времени доступ ограничен –  $0 \div 0,2/\sqrt{n}$ ; по времени доступ неограничен –  $0,3/\sqrt{n}$ . Персональная доступность  $\alpha_{in}^{nep}$ : доступ невозможен для всех участников транспортного процесса – 0; доступ ограничен, возможен не для всех заинтересованных участников транспортного процесса –  $0,1/\sqrt{n}$ ; доступ ограничен, возможен для всех заинтересованных участников транспортного процесса –  $0,2/\sqrt{n}$ ; доступ возможен для всех участников транспортного процесса –  $0,3/\sqrt{n}$ .

Возможен вариант упрощенной оценки доступности  $\alpha_{in}$  по схеме: доступ невозможен – 0; доступность ограничена –  $0,1/\sqrt{n} \div 0,9/\sqrt{n}$ ; доступ обеспечен в полном объеме –  $1/\sqrt{n}$ .

Численная реализация разработанной методики выполнена применительно к функции города «Жизнеобеспечение» с учетом вклада такой составляющей ТАТС как «Автотранспортные предприятия и предприятия дорожного сервиса». В работе [6] предложена система оценочных показателей состояния ТАТС, увязывающая в единую иерархию функции города, и отражающая вклад автотранспортных составляющих в реализацию последних. Иерархия функций биосферосовместимого города с учетом вклада составляющих ТАТС и предлагаемой системы оценочных показателей представлена на рисунке 1.

Автотранспортные предприятия вносят значительный вклад в жизнеобеспечение города: перевозки пассажиров и грузов, техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств, оказание услуг по их хранению, продаже, заправке топливом и необходимыми расходными ма-

териалами, организации отдыха водителей и других назначений. К ним относятся следующие подсоставляющие (компоненты): автосалоны, предприятия автотехобслуживания, магазины по продаже запасных частей и материалов, стоянки, автозаправочные станции, мотели, кемпинги, станции периодического технического освидетельствования и другие.



*Рисунок 1 – Иерархия, обеспечивающая реализацию функций  
биосферосовместимого города через систему оценочных показателей ТАТС  
(применительно к функции  $\Phi_1$  – «Жизнеобеспечение» с учетом вклада составляющей  
 $C_2$  – «Автомобильные предприятия и предприятия дорожного сервиса»)*

Основные группы показателей состояния автотранспортных предприятий, в основном, их производственной среды, были выделены в результате структурирования требований национальных стандартов [7], положений и рекомендаций технических регламентов [8], закрепленных на сегодняшний день законодательно и носящих проектный вариант, а также с учетом анализа рынка транспортных услуг и услуг технического сервиса. В рамках представленной иерархии необходимая информация по группам показателей состояния и их параметрам была получена в ходе аудита и нескольких экспертиз, реализованных для станций технического обслуживания автомобилей (СТОА) в разных районах города Орла. Кроме того, в формировании массива данных были использованы данные, полученные по результатам инспекционного контроля СТОА территориальными органами Роспотребнадзора, Ростехнадзора, Росприроднадзора, сведения о декларировании услуг по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, предоставленные центром сертификации и менеджмента качества ФГУ «Орловский ЦСМ». Часть показателей состояния системы, описываемых количественными параметрами, получены регистрационными методами. Другая часть параметров не поддается измерению, т.е. является информацией качественного характера, и оценивалась экспертно. Обработка полученных значений параметров производилась по известным расчетным зависимостям, при этом в итоге учитывались все комбинации значений оценок по количественным и качественным параметрам, а также количество значений оценок по каждому из этих параметров.

В ходе исследования была выполнена декомпозиция системы критериев. В результате получена система критериев и соответствующих им декомпозиционных множеств оценочных показателей, являющихся основой для комплексной оценки городской среды с учетом вклада составляющих территориальной автотранспортной инфраструктуры в реализацию функций биосферосовместимого города. В соответствии с иерархией (см. рис. 1), для упорядочивания

массива информации о показателях состояния производственной среды автотранспортных предприятий, а также выявления их значимости был реализован алгоритм ранжирования, в ходе которого были получены девять групп значимых показателей ( $P_k$ ,  $k=1 \dots K$ ,  $K=9$ ), каждая группа которых характеризуется следующими параметрами.

Группа  $B$  – «Производственно-техническая база (ПТБ)» включает пять значимых параметров  $B = \{B_1; B_2; B_3; B_4; B_5\}$ :  $B_1$  – производственная мощность;  $B_2$  – производственная площадь и соответствие ее нормативу;  $B_3$  – уровень технической оснащенности элементами ПТБ;  $B_4$  – уровень физического и морального износа основных фондов;  $B_5$  – уровень использования основных фондов.

Группа  $T$  – «Технологии»  $T = \{T_1; T_2; T_3; T_4\}$ :  $T_1$  – уровень выполнения рекомендаций и нормативов завода-изготовителя;  $T_2$  – уровень внедрения прогрессивных технологий, ноу-хау, ИТ – технологий;  $T_3$  – уровень специализации реализуемых технологий;  $T_4$  – уровень внедрения организационно-производственных структур и структур управления технологическими процессами.

Группа  $K$  – «Конкурентоспособность»  $K = \{K_1; K_2; K_3\}$ :  $K_1$  – фактическая номенклатура услуг и возможность расширения номенклатуры услуг;  $K_2$  – уровень реализации сертификационных требований к услугам;  $K_3$  – уровень предоставления гарантий на выполненные работы, в т.ч. и сверх регламентированного законодательством срока.

Группа  $TO$  – «Технологическое и контрольно-диагностическое оборудование, оснастка и инструмент»  $TO = \{TO_1; TO_2; TO_3; TO_4\}$ :  $TO_1$  – количество технологического оборудования и уровень соответствия его нормативу;  $TO_2$  – уровень механизации;  $TO_3$  – уровень специализации или универсальности оборудования, его адаптивность;  $TO_4$  – уровень внедрения системы технического обслуживания и ремонта технологического оборудования.

Группа  $Z$  – «Запасные части, расходные материалы»  $Z = \{Z_1; Z_2; Z_3\}$ :  $Z_1$  – уровень внедрения системы материально-технического обеспечения;  $Z_2$  – уровень удовлетворения спроса на запасные части;  $Z_3$  – уровень реализации системы управления запасами.

Группа  $P$  – «Персонал»  $P = \{P_1; P_2; P_3; P_4; P_5\}$ :  $P_1$  – численность исполнителей и соответствие ее нормативу;  $P_2$  – уровень реализации квалификационных требований к персоналу;  $P_3$  – уровень внедрения системы повышения квалификации персонала;  $P_4$  – уровень соблюдения технологической и трудовой дисциплины;  $P_5$  – уровень стабильности трудового коллектива (текущесть кадров).

Группа  $H$  – «Нормативно-правовое обеспечение»  $H = \{H_1; H_2; H_3\}$ :  $H_1$  – уровень обеспечения нормативно-правовой документацией;  $H_2$  – уровень реализации рекомендаций и положений технического регулирования;  $H_3$  – уровень соблюдения требований нормативно-правой базы по всем видам производственной деятельности (защита прав клиентов, работников).

Группа  $UK$  – «Качество»  $UK = \{UK_1; UK_2; UK_3\}$ :  $UK_1$  – уровень внедрения системы управления качеством, в т.ч. планирования и прогнозирования качества;  $UK_2$  – уровень стандартизации технологических процессов;  $UK_3$  – уровень реализации контроля качества.

Группа  $KB$  – «Комплексная безопасность»  $KB = \{KB_1; KB_2; KB_3; KB_4; KB_5; KB_6; KB_7\}$ :  $KB_1$  – уровень реализации ресурсосберегающих технологий;  $KB_2$  – уровень внедрения очистки воздуха от источников выбросов в атмосферу;  $KB_3$  – уровень внедрения очистных сооружений и оборотного водоснабжения на посту мойки автомобилей;  $KB_4$  – уровень обеспечения санитарно-гигиенических условий труда;  $KB_5$  – уровень обеспечения безопасных условий труда на рабочих местах (выполнения аттестационных требований рабочих мест);  $KB_6$  – уровень обеспечения пожарной безопасности;  $KB_7$  – уровень обеспечения конструктивной безопасности.

В соответствии с предложенной методикой показатель реализуемости  $\Phi_n$ -ной функции города с учетом вклада составляющих ТАТС определяется по формуле (3), в которой коэффициенты реализуемости и доступности представляют собой комплексные параметры.

Коэффициент реализуемости находится по формуле:

$$\beta_{in} = \left( \sum_{m=1}^M (\beta_{in}^h + \beta_{in}^k) \right) / m, \quad (7)$$

где  $i$  – порядковый номер составляющей (для нашего примера  $i=2$ );  $n$  – порядковый номер функции ( $n=1$ );  $m$  – количество параметров (в зависимости от значимости);  $\beta_{in}^h$  – реализуемость по наличию;  $\beta_{in}^k$  – реализуемость по качеству.

Полученные в ходе эксперимента значения оценок параметров переведем в нечеткий формат и интерпретируем в лингвистические переменные. Например, при оценке параметров реализуемости по группе  $B$  – «Производственно-техническая база (ПТБ)» были использованы лингвистические переменные «малая», «средняя», «большая», «очень большая». Расчетные значения критериев могут быть получены на основании алгоритмов нахождения уровней оцениваемых коэффициентов (см. выше). Например, при оценке параметра реализуемости « $B_1$  – производственная мощность (количество рабочих постов)» были получены следующие значения критериев оценки:

$$\begin{aligned}\text{«малая»} - \beta_{2,1}^1 &= 0,175/\sqrt{n} = 0,175/\sqrt{7} = 0,066; \\ \text{«средняя»} - \beta_{2,1}^1 &= 0,35/\sqrt{n} = 0,35/\sqrt{7} = 0,132; \\ \text{«большая»} - \beta_{2,1}^1 &= 0,525/\sqrt{n} = 0,525/\sqrt{7} = 0,198; \\ \text{«очень большая»} - \beta_{2,1}^1 &= 0,7/\sqrt{n} = 0,7/\sqrt{7} = 0,265.\end{aligned}$$

Значения возможных коэффициентов реализуемости с учетом различных критериев оценки по группе  $B$  – «Производственно-техническая база (ПТБ)» приведены ниже.

Производственная мощность (количество рабочих постов)  $B_1$  для оценки по критерию «малая» равна  $\beta_{2,1}^1 = 0,175/\sqrt{n} = 0,175/\sqrt{7} = 0,066$ ; по критерию «средняя» –  $\beta_{2,1}^1 = 0,35/\sqrt{n} = 0,35/\sqrt{7} = 0,132$ ; по критерию «большая» –  $\beta_{2,1}^1 = 0,525/\sqrt{n} = 0,525/\sqrt{7} = 0,198$ ; по критерию «очень большая» –  $\beta_{2,1}^1 = 0,7/\sqrt{n} = 0,7/\sqrt{7} = 0,265$ .

Производственная площадь  $B_2$  для оценки по критерию «ниже нормы» равна  $\beta_{2,1}^2 = 0,35/\sqrt{n} = 0,35/\sqrt{7} = 0,132$ ; по критерию «выше нормы» –  $\beta_{2,1}^2 = 0,525/\sqrt{n} = 0,525/\sqrt{7} = 0,198$ ; по критерию «норма» –  $\beta_{2,1}^2 = 0,7/\sqrt{n} = 0,7/\sqrt{7} = 0,265$ .

Уровень технической оснащенности элементами ПТБ  $B_3$  для оценки по критерию «крайне низкий» равен  $\beta_{2,1}^3 = 0,03/\sqrt{n} = 0,03/\sqrt{7} = 0,011$ ; по критерию «низкий» –  $\beta_{2,1}^3 = 0,06/\sqrt{n} = 0,06/\sqrt{7} = 0,023$ ; по критерию «средний» –  $\beta_{2,1}^3 = 0,1/\sqrt{n} = 0,1/\sqrt{7} = 0,038$ ; по критерию «высокий» –  $\beta_{2,1}^3 = 0,2/\sqrt{n} = 0,2/\sqrt{7} = 0,076$ ; по критерию «очень высокий» –  $\beta_{2,1}^3 = 0,3/\sqrt{n} = 0,3/\sqrt{7} = 0,113$ .

Уровень физического и морального износа основных фондов  $B_4$  для оценки по критерию «низкий» равен  $\beta_{2,1}^4 = 0,1/\sqrt{n} = 0,1/\sqrt{7} = 0,038$ ; по критерию «средний» –  $\beta_{2,1}^4 = 0,2/\sqrt{n} = 0,2/\sqrt{7} = 0,076$ ; по критерию «высокий» –  $\beta_{2,1}^4 = 0,3/\sqrt{n} = 0,3/\sqrt{7} = 0,113$ .

Уровень использования основных фондов  $B_5$  для оценки по критерию «крайне низкий» равен  $\beta_{2,1}^5 = 0,06/\sqrt{n} = 0,06/\sqrt{7} = 0,020$ ; по критерию «низкий» –  $\beta_{2,1}^5 = 0,1/\sqrt{n} = 0,1/\sqrt{7} = 0,038$ ; по критерию «средний» –  $\beta_{2,1}^5 = 0,2/\sqrt{n} = 0,2/\sqrt{7} = 0,076$ ; по критерию «высокий» –  $\beta_{2,1}^5 = 0,3/\sqrt{n} = 0,3/\sqrt{7} = 0,113$ .

Аналогичным образом произведем оценку параметров реализуемости по другим группам показателей состояния производственной среды СТОА.

Другой комплексный параметр – коэффициент территориальной, временной и персональной доступности жителям города составляющих ТАТС определяем по формуле:

$$\alpha_{in} = \alpha_{in}^{mep} + \alpha_{in}^{sp} + \alpha_{in}^{nep}. \quad (8)$$

Значения критериев оценки вычисляются на основании вышеприведенного алгоритма. Для нашего примера полученные расчетные значения коэффициентов территориальной, временной и персональной доступности, отражающих доступность автовладельцам СТОА, представлены ниже.

Ограничение по территориальной доступности определяется следующими параметрами: территориально доступ возможен  $\alpha_{2,1}^1=0$ ; территориально доступ возможен, но запрещен –  $\alpha_{2,1}^1=0,1/\sqrt{n}=0,1/\sqrt{7}=0,377$ ; территориально доступ ограничен –  $\alpha_{2,1}^1=0,2/\sqrt{n}=0,2/\sqrt{7}=0,075$ ; территориально доступ неограничен –  $\alpha_{2,1}^1=0,4/\sqrt{n}=0,4/\sqrt{7}=0,151$ .

Ограничение по временной доступности определяется следующими параметрами: по времени доступ ограничен постоянно –  $\alpha_{2,1}^2=0$ ; по времени доступ ограничен –  $\alpha_{2,1}^2=0,2/\sqrt{n}=0,2/\sqrt{7}=0,075$ ; по времени доступ неограничен –  $\alpha_{2,1}^2=0,3/\sqrt{n}=0,3/\sqrt{7}=0,113$ .

Ограничение по персональной доступности определяется следующими параметрами: доступ невозможен для всех участников транспортного процесса -  $\alpha_{2,1}^3=0$ ; доступ ограничен, возможен не для всех участников транспортного процесса –  $\alpha_{2,1}^3=0,1/\sqrt{n}=0,1/\sqrt{7}=0,377$ ; доступ ограничен, возможен для всех участников транспортного процесса –  $\alpha_{2,1}^3=0,2/\sqrt{n}=0,2/\sqrt{7}=0,075$ ; доступ возможен для всех участников транспортного процесса –  $\alpha_{2,1}^3=0,3/\sqrt{n}=0,3/\sqrt{7}=0,113$ .

В ходе эксперимента было обследовано 78 предприятий четырех территориальных районов г. Орла (22 – в Железнодорожном, 11 – в Советском, 21 – в Северном, 24 – в Заводском). Так, например, для СТОА Железнодорожного района коэффициент реализуемости  $\beta_{2,1}$ , найденный по формуле (7), по группам показателей состояния производственной среды имеет следующие значения.

Группа Б:  $\beta_{2,1} = (0,198 + 0,265 + 0,038 + 0,076 + 0,113) / 5 = 0,138$ .

Группа Т:  $\beta_{2,1} = (0,076 + 0,038 + 0,038 + 0,038) / 4 = 0,048$ .

Группа К:  $\beta_{2,1} = (0,113 + 0,113 + 0,076) / 3 = 0,101$ .

Группа ТО:  $\beta_{2,1} = (0,132 + 0,076 + 0,038 + 0,076) / 4 = 0,081$ .

Группа З:  $\beta_{2,1} = (0,038 + 0,038 + 0,076) / 3 = 0,051$ .

Группа П:  $\beta_{2,1} = (0,198 + 0,076 + 0,076 + 0,076 + 0,076) / 5 = 0,100$ .

Группа Н:  $\beta_{2,1} = (0,076 + 0,076 + 0,076) / 3 = 0,076$ .

Группа УК:  $\beta_{2,1} = (0,038 + 0,076 + 0,038) / 3 = 0,051$ .

Группа КБ:  $\beta_{2,1} = (0,020 + 0,113 + 0,076 + 0,076 + 0,076 + 0,076 + 0,076) / 7 = 0,073$ .

Коэффициент доступности СТОА:

$$\alpha_{2,1} = \alpha_{2,1}^1 + \alpha_{2,1}^2 + \alpha_{2,1}^3 = 0,075 + 0,113 + 0,113 = 0,301.$$

Аналогичным образом определили параметр реализуемости  $\beta_{2,1}$  и параметр доступности  $\alpha_{2,1}$  для остальных территориальных районов г. Орла.

В итоге определили показатель реализации функции «Жизнеобеспечение» от вклада СТОА для четырех территориальных районов г. Орла (см. формулу (6)). В расчетах принимали во внимание значимость групп оценочных показателей на основе мнения экспертов, выраженную весовыми коэффициентами. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Показатель реализации функции «Жизнеобеспечение»  $\xi_{\Phi_n}^{TATC}$  от вклада СТОА различных районов г. Орла

Группы показателей и весовой коэффициент $i$ -ой группы показателей $p_i$	Значения показателя реализации функции «Жизнеобеспечение» $\xi_{\Phi_n}^{TATC} = \frac{\sum_{i=1}^{i=i} p_i \alpha_{in} \beta_{in}}{i_n}$			
	Железнодорожный район	Советский район	Северный район	Заводской район
Производственно-техническая база (ПТБ) $p_1=0,20$	0,008	0,005	0,005	0,008
Технологии $p_2=0,18$	0,003	0,003	0,003	0,003
Конкурентоспособность $p_3=0,02$	0,001	0,000	0,001	0,001
Технологическое и контрольно-диагностическое оборудование, оснастка и инструмент $p_4=0,13$	0,001	0,003	0,003	0,004
Запасные части, расходные материалы $p_5=0,04$	0,001	0,000	0,001	0,001
Персонал $p_6=0,16$	0,005	0,003	0,004	0,005
Нормативно-правовое обеспечение $p_7=0,11$	0,001	0,002	0,002	0,003
Управление качеством $p_8=0,09$	0,001	0,001	0,001	0,001
Комплексная безопасность $p_9=0,07$	0,002	0,001	0,001	0,001
$\xi_{\Phi_n}^{TATC}$	0,021	0,019	0,022	0,027

На рисунке 2 представлена диаграмма численного распределения вклада СТОА в реализацию функции «Жизнеобеспечение».

Полученные в ходе исследования результаты (на примере четырех районов г. Орла) наглядно иллюстрируют вклад такого компонента составляющей «Автоматранспортные предприятия и автодорожная инфраструктура» как станции технического обслуживания автомобилей в реализацию функции «Жизнеобеспечение». Этот вклад обусловлен различным состоянием производственной среды предприятий, а именно уровнем: развития ПТБ, внедрения современных технологий, подготовки персонала, реализации требований и рекомендаций нормативно-правовой базы и других показателей.

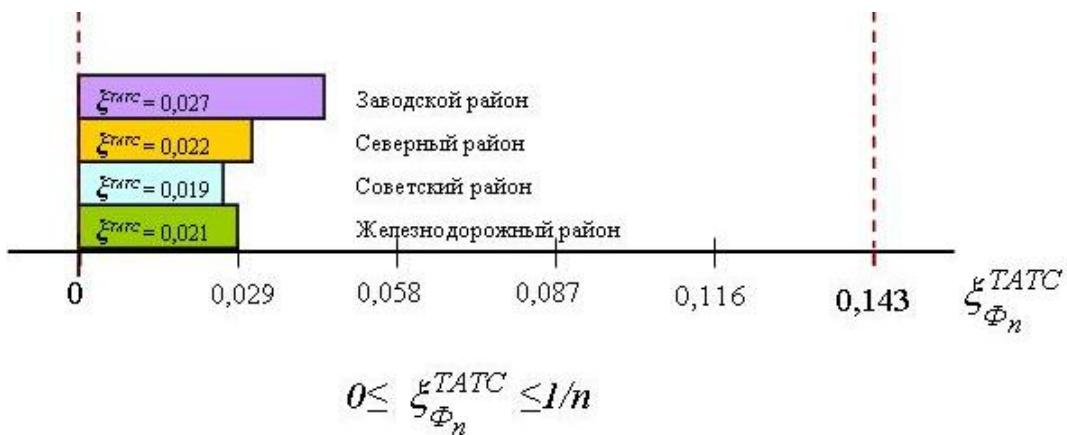


Рисунок 2 – Диаграмма численного распределения вклада СТОА четырех территориальных районов г. Орла в реализацию функции «Жизнеобеспечение»

Детальный анализ полученных результатов позволит выполнить рейтинговую оценку качества городской среды с учетом вклада территориальной автотранспортной системы при реализации функций биосферосовместимого города, установить соответствующие ей интервалы значений показателей комплексной оценки и выработать критериальные (пороговые, граничные) значения такой оценки. Критериальными значениями оценки качества городской среды следует считать значения, определяющие развитие автотранспортной инфраструктуры, полноценное удовлетворение потребностей человека в транспортных услугах, и самое главное, инновационное развитие на основе биосферосовместимых технологий, не наносящих вреда окружающей среде и обеспечивающих безопасность на транспорте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? [Текст] / В.А. Ильичев // Архитектура и строительство Москвы. – 2009. – №2 (544). – С. 8-13.
2. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев // Научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство». – М.: ООО «Издательство ПГС», 2010. – №6. – С. 3-13.
3. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместности [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенев, А.Л. Поздняков. – Academia, 2009. – №1. – С. 50-57.
4. Бакаева, Н.В. Методика расчета обобщенных критериев оценки состояния территориальной автотранспортной системы на основе концепции биосферной совместности [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Academia, 2011. – №4. – С. 115-121.
5. Бакаева, Н.В. Прогнозирование уровня безопасности образовательной среды учреждений высшего профессионального образования [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Строительство и реконструкция, 2010. – №5/31. – С. 60-66.
6. Бакаева, Н.В. Оценка состояния системы технического сервиса автотранспортных средств [Текст] / Н.В. Бакаева // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №3. – С. 50-56.
7. Москвичев, Е.С. Законодательное обеспечение в области автомобильного транспорта и дорожного хозяйства [Текст] / Е.С. Москвичев // Транспорт Российской Федерации. – 2008. – №5 (18). – С. 16-18.
8. Федеральный закон от 27.12.2002 г № 184-ФЗ «О техническом регулировании», Постановления Правительства РФ от 12.10.2005 г № 609 г «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ» и от 27.02.2008 г № 118 г «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», проекты технических регламентов «О безопасности автотранспортных средств» и «О требованиях к конструктивной безопасности автотранспортных средств».

Шишкина Ирина Викторовна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс»

Ассистент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: schunuya87@yandex.ru

## **CALCULATION OF THE INDICATOR OF REALIZATION OF FUNCTIONS OF THE BIOSPHERE COMPATIBLE CITY FROM THE CONTRIBUTION OF TERRITORIAL MOTOR TRANSPORTATION SYSTEM**

*The technique of an estimation of the contribution of components of territorial motor transportation infra-structure in realization of functions biospheric compatibility cities is offered. The algorithm of calculation of an indicator of realization of function «Life-support» from a component «the Motor transportation enterprises and the enterprises of road service» is presented. The settlement way receives factors of realization and availability of functions of a city proceeding from the analysis of a condition of the industrial environment of car repair shops of cars of separately taken territorial motor transportation system.*

**Keywords:** biospheric compatibility city, city functions, realizability, availability, transport infrastructure, the motor transportation components, the generalized criterion, integrated indicato.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Il'ichev, V.A. Mozhet li gorod byt' biosferosovmestimym i razvivat' cheloveka? [Tekst] / V.A. Il'ichev // Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy. – 2009. – №2 (544). – S. 8-13.
2. Il'ichev, V.A. Principy preobrazovanija goroda v biosferosovmestimyj i razvivajuwiy cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichev // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo». – M.: OOO «Izdatel'stvo PGS», 2010. – №6. – S. 3-13.
3. Il'ichev, V.A. Nekotorye voprosy proektirovaniya poselenij s pozicij koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, A.V. Bersenev, A.L. Pozdnjakov. – Academia, 2009. – №1. – S. 50-57.
4. Bakaeva, N.V. Metodika rascheta obobwennyh kriteriev ocenki sostojanija territorial'noj avtotransportnoj sistemy na osnove koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Academia, 2011. – №4. – S. 115-121.
5. Bakaeva, N.V. Prognozirovanie urovnja bezopasnosti obrazovatel'noj sredy uchrezhdenij vysshego professional'nogo obrazovaniya [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Stroitel'stvo i rekonstrukcija, 2010. – №5/31. – S. 60-66.
6. Bakaeva, N.V. Ocenka sostojanija sistemy tehnicheskogo servisa avtotransportnyh sredstv [Tekst] / N.V. Bakaeva // Avtotransportnoe predpriyatiye. – 2010. – №3. – S. 50-56.
7. Moskvichev, E.S. Zakonodatel'noe obespechenie v oblasti avtomobil'nogo transporta i dorozhnogo hozjajstva [Tekst] / E.S. Moskvichev // Transport Rossijskoj Federacii. – 2008. – №5 (18). – S. 16-18.
8. Federal'nyj zakon ot 27.12.2002 g № 184-FZ «O tehnicheskem regulirovaniyu», Postanovlenija Pravitel'stva RF ot 12.10.2005 g № 609 g «O trebovaniyah k vybrosam avtomobil'noj tekhnikoj, vypuskaemoj v obravenie na territorii Rossijskoj Federacii, vrednyh (zagrjaznjajuwih) vewestv» i ot 27.02.2008 g № 118 g «O trebovaniyah k avtomobil'nomu i aviacionnomu benzinu, dizel'nomu i sudovomu toplivu, toplivu dlja reaktivnyh dvigatelej i topochnomu mazutu», proekty tehnicheskikh reglamentov «O bezopasnosti avtotransportnyh sredstv» i «O trebovaniyah k konstruktivnoj bezopasnosti avtotransportnyh sredstv».

**Shishkin Irina Viktorovna**

State university – educational-science-production complex, Orel

Assistant to chair «Building of highways»

Ph.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: schunya87@yandex.ru

УДК 691, 691.618.93

КАНАЕВ А.Ю., ХРИСТОФОРОВА И.А., ХРИСТОФОРОВ А.И.

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ПЕНОАЛЮМОСИЛИКАТ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ОТХОДАМИ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*В статье рассмотрены современные способы получения пористых строительных теплоизоляционных материалов с применением промышленных отходов. Предложено введение алюмотермического шлака в технологический процесс изготовления пенополиалюмосиликата. На основе методов математического моделирования показано влияние температурного режима изготовления на характер изменения таких свойств полученного материала, как плотность, водопоглощение и диаметр пор. Предложены основные сферы применения, разработанного теплоизоляционного пенополиалюмосиликата.*

**Ключевые слова:** теплоизоляция, промышленные отходы, пенополиалюмосиликат, математическое моделирование.

На сегодняшний день строительство новых зданий и сооружений требует применения не только современных стеновых материалов, но и высококачественных теплоизоляционных материалов.

Ведущее место в общем балансе теплоизоляционных материалов занимают неорганические или минеральные материалы. К ним относятся вспученные перлит и вермикулит, керамзит и его изделия, ячеистые бетоны, пеностекло и др.

Теплоизоляция из пеностекла обладает высокой огнестойкостью, она экологически безопасна, что позволяет использовать ее во внутренних помещениях. Теплоизоляция из пеностекла имеет отличную адгезию к цементному вяжущему, легко обрабатывается и монтируется в стековую панель. Используя данный тип теплоизоляции, возможно существенное снижение энергозатрат на эксплуатацию здания. Однако существенным недостатком пеностекла является достаточно высокая стоимость, не позволяющая ему эффективно конкурировать с другими теплоизоляционными материалами, представленными на современном рынке. Технологическим недостатком является значительное (до 30-40%) образование отходов при получении блоков из пеностекла (отходы опиловки).

В связи с этим возникает необходимость создания новых теплоизоляционных материалов, не уступающих пеностеклу по эксплуатационным свойствам, но в то же время более дешевых.

Литературные данные [2-5] показывают, что применение промышленных отходов позволяет удешевить технологию производства теплоизоляционного материала за счет снижения себестоимости и уменьшения трудоемкости приготовления исходных материалов. Также использование отходов производств в некоторых случаях дает улучшение основных физико-механических свойств получаемых изделий, таких как прочность, пористость, плотность, водопоглощение и др., а также решает экологические проблемы утилизации отходов и снижение загрязнения окружающей среды.

Известен способ получения пористых материалов на основе стекольного связующего из шлаков, который заключается в следующем: массовое соотношение  $\text{SiO}_2/\text{CaO}$  в шлаке доводят до 0,9, вводят до 3 мас. % углерода, плавят в восстановительной среде и охлаждают силикатную часть расплава отливом в воду. Технический результат изобретения – снижение содержания сероводорода в пеноматериале до «следов» без использования химреактива и получение дополнительного продукта [3].

Получение пористых стекломатериалов из нефелиновых шламов, состоящих из оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и металлов (платины, палладия, золота и серебра) состоит в том, что в нефелиновый шлам добавляют оксид кремния и плавят в восстановительной среде. Затем силикатную часть расплава охлаждают отливом в воду, а металлическую часть, концентрирующую драгоценные металлы, выливают в изложницу. Предлагаемый способ позволяет получать не только пеносиликатные материалы с насыпной плотностью 100-300  $\text{kg/m}^3$ , но и попутно выделить концентрат драгоценных металлов [4].

Способ получения из марганцевых шлаков пористых стекломатериалов с насыпной плотностью 45-100  $\text{kg/m}^3$  включает составление шихты, доведение содержание  $\text{SiO}_2$  до массового отношения  $\text{SiO}_2/\text{CaO}$ , равного 1-2 [5]. После этого происходит плавление полученной смеси в восстановительной среде и охлаждение силикатной части расплава в режиме термудара. Благодаря этому удается достигнуть расширения возможности применения марганцевых шлаков в качестве строительных и фильтрующих материалов.

На кафедре химической технологии стекла и керамики Владимирского государственного университета были разработаны способы получения теплоизоляционного пеносиликатного материала с применением различных модифицирующих добавок [6], в том числе с использованием алюмотермических шлаков.

Основным требованием, предъявляемым к шлаку, является наличие значительного количества оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – более 30% от массы всего количества шлака.

Состав шлака представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Массовая доля оксидов в алюмотермическом шлаке марки А

Наименование показателя	Оксиды								
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{FeO}$	$\text{MnO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{ZnO}$
Массовая доля, %	50-85	16-30	4-16	до 5	0,5-2,5	до 0,5	до 0,3	до 0,3	до 0,1

Основные этапы получения вспененного ячеистого материала сходны с операциями при производстве пеностекла в промышленности: совместный помол компонентов; подготовка полученной шихты (увлажнение); прессование заготовки для вспенивания; сушка заготовки до постоянной массы; вспенивание в муфельной печи; извлечение из формы и механическая обработка вспененной заготовки; испытания основных эксплуатационных свойств полученного изделия.

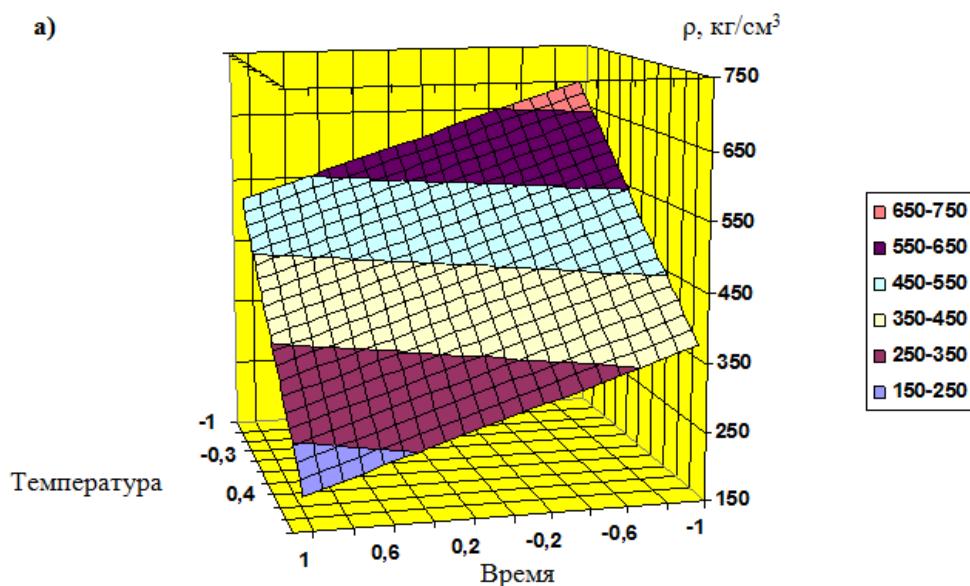
При совместном помоле компонентов помимо диспергирования и перемешивания происходит механоактивация частиц стеклообразующих компонентов, интенсифицирующая процессы взаимной диффузии при размягчении порошка и переходе его в расплав. Увлажнение требуется для придания шихте необходимых технологических свойств (формуемость при прессовании, отсутствие пыления), кроме того, вода является необходимым реагентом при порообразовании. Вспенивание проводилось в лабораторной высокотемпературной печи с программным управлением СНОЛ-12/15.

В процессе получения образцов пеносиликата на их качественные характеристики оказывали влияние концентрация шлака, температура и время вспенивания. Технологические и композиционные параметры производства пеностекольного материала при этом были стабилизированы. При постановке эксперимента использовался активный эксперимент по плану Бокс-Бенкина.

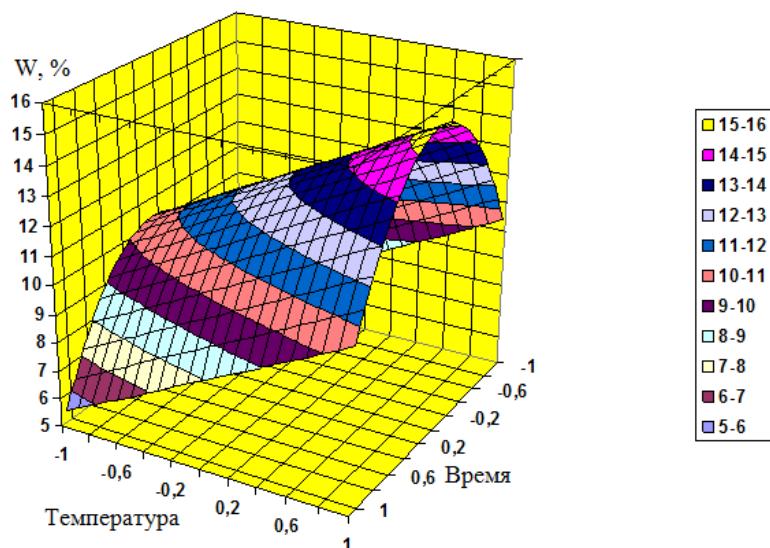
Остывшие образцы извлекались из печи, обрабатывались с помощью абразивного инструмента и подвергались физико-механическим испытаниям в соответствии с ГОСТ 17177-94 [1].

После проведения эксперимента были рассчитаны коэффициенты регрессии по расчетной матрице. С помощью методов математического моделирования на основании уравнений регрессии были получены поверхности отклика, характеризующие комплекс свойств получаемого изделия в широком интервале изменения состава шихты, и определены оптимальные составы. На рисунке 1 температура и время вспенивания представлены в кодированных значениях.

а)



б)



в)

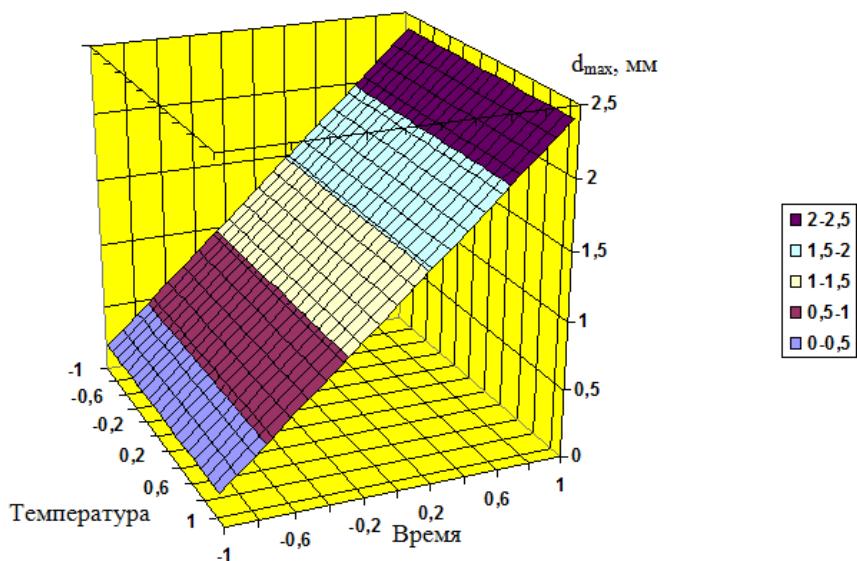


Рисунок 1 – Зависимость плотности (а), водопоглощения (б) и максимального диаметра пор (в) от температуры и времени вспенивания при стабилизированной концентрации шлака на нулевом уровне

На рисунке 1 представлена зависимость свойств образцов от температуры и времени вспенивания. Из полученных данных можно сделать следующие выводы: повышение температуры вспенивания от [-1] до [+1] ведет к снижению плотности от 750 до 150 кг/м<sup>3</sup>, увеличению диаметра пор от 0,5 до 2,5 мм и водопоглощения образцов до 16%. С повышением времени вспенивания от [-1] до [+1] происходит снижение плотности и увеличение максимального диаметра пор, а зависимость водопоглощения носит экстремальный характер.

Минимальное значение кажущейся плотности составило 150 кг/м<sup>3</sup>, максимальный диаметр пор – 2,8 мм, водопоглощение – 5,5%. Коэффициент теплопроводности составил 0,082 Вт/м·К.

Разработанный пеноалюмосиликатный материал возможно применять для теплоизоляции стен жилых, коммерческих и социальных строительных объектов, а также теплоизоляции систем коммуникаций водо- и теплоснабжения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 40 с.
2. Баженов, Ю.М. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов [Текст] / Ю.М. Баженов, П.Ф. Шубенкин, Л.И. Дворкин. – М.: Стройиздат, 1986. – 54 с.
3. Пат. 2192397 Россия, МПК С 03C 11/00, С 04 В 5/06. Способ получения пористых стекломатериалов из шлаков [Текст] / В.Ф. Шабанов, В.Ф. Павлов, И.В. Павлов, Н.А. Павлова. Опубл. 10.11.2002.
4. Пат. 2146234 Россия, МПК С 03C 11/00. Способ получения пористых стекломатериалов из нефелиновых шламов [Текст] / В.Ф. Павлов, А.М. Погодаев, А.В. Прошкин, В.И. Моисеенко, А.Ф. Симурин, В.Ф. Шабанов. Опубл. 10.03.2000.
5. Пат. 2132306 Россия, МПК С 03C 11/00. Способ получения пористых стекломатериалов из марганцевых шлаков [Текст] / В.Ф. Павлов. Опубл. 27.06.1999.
6. Канаев, А.Ю. Регулирование структуры пеносиликатов, получаемых из отходов промышленных предприятий [Текст] // XII Всеукраїнська студентська наукова конференція: Актуальні проблеми природничих та гуманітарних наук у дослідженнях студентської молоді «Родзинка – 2010». – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2010. – С. 33-37.

**Канаев Андрей Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир  
Аспирант кафедры «Химическая технология стекла и керамики»  
Тел.: +7(960)724-80-83  
E-mail: kanaev.aj@gmail.com

**Христофорова Ирина Александровна**

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир  
Доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология стекла и керамики»  
Тел.: +7 (910) 774-54-26  
E-mail: khristoforova-i@mail.ru

**Христофоров Александр Иванович**

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химическая технология стекла и керамики»  
Тел.: +7 (920) 929-01-82  
E-mail: khristoforov@mail.ru

---

KANAEV A.Y., KHRISTOFOROVA I.A., KHRISTOFOROV A.I.

### HEAT-INSULATED FOAM ALUMINOSILICATE, MODIFICATED BY THE WASTE OF METALLURGY INDUSTRY

*Present-day methods production of porous construction heat-insulating materials with application of industrial waste is considered in article. Introduction of aluminothermal slag to the process technology of production of foam aluminosilicate is suggested. Influence of temperature regime of*

*foaming on behavior properties of obtained material for example density, water absorption and diameter of pore is showed on the basis of mathematical models approach. Main spheres of application of obtained heat-insulating foam aluminosilicate is suggested.*

**Keywords:** heat-insulation; industrial waste; foam aluminosilicate; mathematical modeling.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. GOST 17177-94. Materialy i izdelija stroitel'nye teploizoljacionnye. Metody ispytanij [Text]. – M.: Izd-vo standartov, 1994. – 40 s.
2. Bazhenov, Ju.M. Primenenie promyshlennyh othodov v proizvodstve stroitel'nyh materialov [Text] / Ju.M. Bazhenov, P.F. Shubenkin, L.I. Dvorkin. – M.: Strojizdat, 1986. – 54 c.
3. Pat. 2192397 Rossija, MPK S 03S 11/00, C 04 B 5/06. Sposob poluchenija poristyh steklomaterialov iz shlakov [Text] / V.F. Shabanov, V.F. Pavlov, I.V. Pavlov, N.A. Pavlova. Opubl. 10.11.2002.
4. Pat. 2146234 Rossija, MPK S 03S 11/00. Sposob poluchenija poristyh steklomaterialov iz nefelinovyh shlamov [Text] / V.F. Pavlov, A.M. Pogodaev, A.V. Proshkin, V.I. Moiseenko, A.F. Simurin, V.F. Shabanov. Opubl. 10.03.2000.
5. Pat. 2132306 Rossija, MPK S 03S 11/00. Sposob poluchenija poristyh steklomaterialov iz martenovskih shlakov [Text] / V.F. Pavlov. Opubl. 27.06.1999.
6. Kanaev, A.Ju. Regulirovanie struktury penosilikatov, poluchaemyh iz othodov promyshlennyh predpriyatiij [Text] // XII Vseukraïns'ka students'ka naukova konferencija: Aktual'ni problemi prirodnykh ta gumanitarnih nauk u doslidzhennyah students'koi molodi «Rodzinka – 2010». – Cherkasi: Vid. vid. ChNU imeni Bogdana Hmel'nic'kogo, 2010. – S. 33-37.

**Kanaev Andrey Yurevich**

Vladimir state university of A.G. and N.G. Stoletovyh, Vladimir  
Post-graduate student of department «Chemical technology of glass and ceramics»  
Phone: +7 (960) 724-80-83  
E-mail: kanaev.aj@gmail.com

**Khristoforova Irina Aleksandrovna**

Vladimir state university of A.G. and N.G. Stoletovyh, Vladimir  
Doctor of technical science, professor of department «Chemical technology has flown down also ceramics»  
Ph.: +7 910 774 54 26  
E-mail: khristoforova-i@mail.ru

**Khristoforov Alexander Ivanovich**

Vladimir state university of A.G. and N.G. Stoletovyh, Vladimir  
Doctor of technical science, professor, head of department «Chemical technology has flown down also ceramics»  
Ph.: +7 920 929 01 82  
E-mail: khristoforov@mail.ru

КОБЕЛЕВА С.А.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЗДАНИЙ

*При производстве строительных материалов, возведении зданий, их эксплуатации расходуются различные виды топливных ресурсов (газ, мазут, уголь и т.п.), а также тепловая и электрическая энергия. Под полной энергоемкостью здания понимается величина потребления топливно-энергетических ресурсов на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления строительной продукции, выполнение работ, эксплуатацию зданий. При оценке энергоемкости зданий существенное значение приобрели показатели топливно-энергетических ресурсов на производство, транспортирование строительных материалов и конструкций, определяющие проектную стратегию их выбора в направлении снижения массы и энергоемкости строительных объектов. Удельным численным выражением энергоемкости здания является показатель, представляющий собой отношение энергии, потребляемой зданием, к величине, характеризующей результат функционирования технической системы.*

**Ключевые слова:** полная энергоемкость, производство строительных материалов, строительство, эксплуатация зданий, потребление топливных и энергетических ресурсов.

Под полной энергоемкостью здания понимается величина потребления топливно-энергетических ресурсов на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления строительной продукции, выполнение работ, эксплуатацию зданий. Удельным численным выражением энергоемкости здания является показатель, представляющий собой отношение энергии, потребляемой зданием, к величине, характеризующей результат функционирования технической системы, например, общей площади здания.

При производстве строительных материалов, возведении зданий, их эксплуатации расходуются различные виды топливных ресурсов (газ, мазут, уголь и т.п.), а также тепловая и электрическая энергия. Для определения полной энергоемкости зданий на всех стадиях жизненного цикла строительной продукции все виды топлива и энергии необходимо привести в сопоставимый вид, который мог бы объективно учесть их особенности.

В качестве сопоставимой единицы можно использовать условное топливо (у.т) с теплотой сгорания 29300 кДж/кг. Перерасчет электрической, тепловой энергии и топлива на условное топливо производится по их физическим (энергетическим) характеристикам на основании следующих соотношений [1]:

- 1 кг у.т. = 29,30 МДж = 7000 ккал;
- 1 кВт·ч = 3,6 МДж = 0,12 кг у.т.

Учитывая, что строительство является одним из главных потребителей топливно-энергетических ресурсов в экономике Российской Федерации, целесообразно проводить все вычисления на тонну условного топлива (т.у.т.).

В рамках строительного и функционального подходов [2] полная энергоемкость здания в натуральных измерителях (т.у.т.) определяется по формуле (1):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{произ.}} + \mathcal{E}_{\text{смр}} + \mathcal{E}_{\text{эксп.}} \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – полная энергоемкость здания, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{произ.}}$  – энергоемкость при производстве строительных материалов, изделий конструкций, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{смр}}$  – энергоемкость при возведении здания т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{эксп.}}$  – энергоемкость при эксплуатации здания, т.у.т.

Промышленность строительных материалов является одной из наиболее топливо- и энергоемких (более 16% в структуре затрат), а также грузоемких отраслей экономики Российской Федерации. В общем объеме грузоперевозок железнодорожным, автомобильным и водным транспортом перевозки строительных грузов составляют около 25%. Отрасль потребляет 20 видов минерального сырья, охватывающего свыше 100 наименований горных пород, и относится к крупнейшим горнодобывающим отраслям в экономике России. На производство строительных материалов и конструкций ежегодно расходуется около 50 млн. т.у.т. [3].

Расчетная энергоемкость при производстве строительных материалов, изделий конструкций определяется по формуле (2):

$$\mathcal{E}_{\text{произ.}} = \mathcal{E}_e + \mathcal{E}_m + \mathcal{E}_\phi + \mathcal{E}_y - \mathcal{E}_o, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_e$  – суммарная энергоемкость топливно-энергетических ресурсов, необходимых для производства строительных материалов, изделий, конструкций, т.у.т.;  $\mathcal{E}_m$  – суммарная энергоемкость исходного сырья, веществ, материалов, комплектующих изделий, необходимых для производства строительной продукции, т.у.т.;  $\mathcal{E}_\phi$  – суммарная энергоемкость основных производственных фондов, амортизованных при производстве строительных материалов, изделий, конструкций, т.у.т.;  $\mathcal{E}_y$  – суммарная энергоемкость топливно-энергетических ресурсов, расходуемых при транспортировании исходного сырья, веществ, материалов, комплектующих изделий, т.у.т.;  $\mathcal{E}_o$  – снижение полной энергоемкости строительных материалов, изделий, конструкций за счет повторного использования горючих отходов, сбросов и выбросов, отходов других отраслей промышленности, т.у.т.

Таким образом, потребность топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на производство строительных материалов, изделий, конструкций должна учитывать все энергетические затраты на производство сырья, полуфабрикатов, их транспорт, а также расходы ТЭР на заводе-изготовителе строительных конструкций.

На строительной площадке при возведении зданий и сооружений выполняется комплекс строительно-монтажных работ, включающий подготовительные, основные, вспомогательные, транспортные технологические процессы. Современное строительство невозможно без широкого применения машин и механизмов. Эффективность механизации определяется не только совершенством применяемых технических средств, но и рациональностью их подбора применительно к конкретным условиям строительства. Транспортные процессы – это подвоз строительных материалов, конструкций, подъем их к рабочему месту и т.д. Сбалансированный выбор мощности и производительности применяемой строительной техники и оборудования определяет снижение энергоемкости строительно-монтажных работ. Расчетная энергоемкость при возведении зданий определяется по формуле (3):

$$\mathcal{E}_{\text{смр}} = \mathcal{E}_{\text{тр.}} + \mathcal{E}_{\text{тех.}} \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{тр.}}$  – суммарная энергоемкость транспортирования с предприятий-изготовителей на строительную площадку строительных материалов, изделий, конструкций, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{тех.}}$  – суммарная энергоемкость технологических процессов при возведении зданий, т.у.т.

Суммарную энергоемкость технологических процессов при возведении зданий можно определить по статистическим данным [3], основываясь на данных об объемах работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» и расходе ТЭР для производства работ.

$$\mathcal{E}_{\text{тех.}} = O_{\text{СМР}} \cdot \mathcal{E}_c : OC \cdot (1 - \Delta M), \quad (4)$$

где  $O_{\text{СМР}}$  – объем строительно-монтажных работ, выполненный при возведении конкретного объекта, млн. руб.;  $OC$  – объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млн. руб.;  $\Delta M$  – доля материальных затрат в общей структуре затрат на производство строительных работ, доли. ед.;  $\mathcal{E}_c$  – энергоемкость строительной продукции на 1 млн. руб. (в базисных сметных ценах по состоянию на 01.01.2000) объема работ по виду экономической деятельности «Строительство», т.у.т./млн. руб.

Расчеты, выполненные по формуле (4), показали, что за 2005-2010 годы энергоемкость технологических процессов при возведении зданий составила 438-426 т.у.т. на один млн. руб. строительно-монтажных работ (в базисных сметных ценах по состоянию на 01.01.2000).

В настоящее время деятельность жилищно-коммунального хозяйства сопровождается весьма большими потерями ресурсов, как потребляемых самими коммунальными предприятиями, так и предоставляемых потребителям воды, тепловой и электрической энергии. Уменьшение энергопотребления в жилищно-коммунальном секторе связано, прежде всего, с мероприятиями, проведение которых необходимо выполнять непосредственно в местах конечного потребления, где происходит до 38% потерь тепловой энергии. Поскольку 20-25% сжигаемого

топлива расходуется на отопление и горячее водоснабжение жилых домов и общественных зданий, от энергетической эффективности их работы зависит в первую очередь решение вопросов по сбережению ТЭР.

Таким образом, энергоемкость зданий и сооружений на стадии эксплуатации определяется по формуле (5):

$$\mathcal{E}_{\text{эксп.}} = \sum_{(1;T)} (\mathcal{E}_{\text{от}} + \mathcal{E}_{\text{вен.}} + \mathcal{E}_{\text{гв}} + \mathcal{E}_{\text{эс}} + \mathcal{E}_{\text{пр}} + \mathcal{E}_{\text{тр}} + \mathcal{E}_{\text{кр}}), \quad (5)$$

где Т – период времени, за который учитываются эксплуатационные потребности в ТЭР, принимаемый равным сроку службы конструкций (зданий), лет (в книге [4] рекомендовано при сроке службы больше, чем 25 лет, принимать равным 25 годам);  $\mathcal{E}_{\text{от}}$  – суммарный расход энергоресурсов на отопление здания, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{вен.}}$  – суммарный расход энергоресурсов на вентиляцию здания, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{гв}}$  – суммарный расход энергоресурсов на горячее водоснабжение здания, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{эс}}$  – суммарный общий расход энергоресурсов на электроосвещение здания и силовые потребители (лифт, обеспечение работы индивидуальной блочной котельной и т.п.), т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{пр}}$  – суммарный расход энергоресурсов на прочие эксплуатационные нужды (техническое содержание, обслуживание и пр.), т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{тр}}$  – суммарный расход энергоресурсов на текущие ремонты здания, т.у.т.;  $\mathcal{E}_{\text{кр}}$  – суммарный расход энергоресурсов на капитальные ремонты здания, т.у.т.

В связи с тем, что расход энергоресурсов на прочие эксплуатационные нужды, текущие и капитальные ремонты в течение расчетного периода (25 лет) не велик, их иногда не учитывают в расчетах [4].

По формулам (1)-(5) выполнен расчет полной энергоемкости здания – десятиэтажного жилого дома, шифр проекта №38-12-2006, №02-01-2008, разработанного Автономной некоммерческой организацией «Орловский академический научно-творческий центр Российской академии архитектуры и строительных наук», имеющий следующие технические характеристики и виды работ:

- конструктивная схема здания – несущий внутренний железобетонный каркас из стелловых панельных элементов с поэтажным опиранием наружных стен из энергоэффективных материалов;

- фундамент – свайный; ригели – индивидуального изготовления L-образного поперечного сечения с перфорацией полки для утеплителя;

- наружные стены – кирпичная кладка с поэтажным опиранием толщиной 120 мм (силикатный кирпич), утеплитель из минеральной ваты толщиной 300 мм с облицовочным слоем из силикатного кирпича (120 мм); внутренние стены – сборные железобетонные плоские панели толщиной 200 мм;

- оконные блоки – ПВХ с двойным стеклопакетом;

- балконы, лоджии – сборные железобетонные плиты с ограждением; остеклены алюминиевыми витражами с одинарным остеклением;

- отопление – водяное центральное, система однотрубная, регулируемая с верхней разводкой, попутная; приборы отопления – радиаторы МС 140, температура теплоносителя 95-70°C; горячее водоснабжение – централизованное, трубы стальные диаметром 65 мм;

- вентиляция – приточно-вытяжная с естественным побуждением;

- электроснабжение – от внешней сети, напряжение 380 / 220 В, электроплит нет; лифт – грузопассажирской грузоподъемностью 630 кг;

- общая площадь здания – 5127,21 кв. м, общая площадь квартир – 3091,9 кв. м.

В полной энергоемкости здания (таблица 1) суммарная энергоемкость основных строительных материалов, изделий, конструкций составляет 21%, суммарная энергоемкость здания на стадии возведения – 31%, суммарная энергоемкость здания на стадии эксплуатации – 48%.

## Строительные материалы и технологии

Таблица 1 – Определение полной энергоемкости десятиэтажного жилого здания

№ п/п	Элементы энергоемкости здания	Единица измерения	Количество на объект	Энергоемкость единицы измерения, т.у.т.	Полная энер- гоемкость зда- ния, т.у.т.
1	Суммарная энергоемкость основных строительных материалов, изделий, конструкций				
-	цемент, приведенный к марке М400	т	53,4	0,251	13
-	сталь в натуральном исчислении, т	т	16,35	1,7	28
-	бетон монолитный	м <sup>3</sup>	213,4	0,136	29
-	бетон сборный тяжелый	м <sup>3</sup>	3215,2	0,314	1010
-	пиломатериалы	м <sup>3</sup>	12,5	0,108	1
-	кирпич силикатный	тыс.шт.	253	0,207	52
-	стекло оконное	1000 м <sup>2</sup>	1,53	3,11	5
-	плитка керамическая	1000 шт.	23,76	12,55	298
-	минераловатные плиты	м <sup>3</sup>	1812	0,425	770
-	раствор товарный	м <sup>3</sup>	4898,4	0,093	456
-	мягкая кровля	1000 м <sup>2</sup>	2,1	2,4	5
-	трубы стальные	т	42,6	0,229	10
-	радиаторы чугунные	т	38,76	9,2	357
-	алюминиевые конструкции	т	11,34	9,8	111
-	нерудные материалы	м <sup>3</sup>	336	0,003	1
	Итого по разделу 1				3146
2	Суммарная энергоемкость здания на стадии возведения				
-	строительно-монтажные работы в базисных сметных ценах по состоянию на 01.01.2000	млн. руб.	10,51	426	4477
-	энергоемкость транспортирования с предприятий-изготовителей строительных материалов, изделий	%	5		224
	Итого по разделу 2				4701
3	Суммарная энергоемкость здания на стадии эксплуатации (в течение 25 лет)				
-	суммарный расход энергоресурсов на отопление здания	кВт·ч	28728000	0,00012	3447
-	суммарный расход энергоресурсов на горячее водоснабжение здания	кВт·ч	11232000	0,00012	1348
-	суммарный общий расход энергоресурсов на электросвещение здания и силовые потребители	кВт·ч	19617120	0,00012	2354
	Итого по разделу 3				7149
4	Полная энергоемкость здания	т.у.т.			14996
5	Полная энергоемкость здания на 1 кв.м общей площади	т.у.т.			2,92

В современных условиях, характеризующихся тенденцией к неизбежному росту стоимости энергоносителей, при оценке энергоемкости зданий существенное значение приобрели

показатели ТЭР на производство, транспортирование строительных материалов и конструкций, определяя проектную стратегию их выбора в направлении снижения массы и энергоемкости строительных объектов. «Отложенный» во времени эффект энергосбережения проявляется также и на стадии эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51750-2001 Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах [Текст]. – М.: ФГУ «Российское агентство энергоэффективности» Минэнерго России, 2001. – 24 с.
2. Кобелева, С.А. Методические подходы проектирования ресурсо- и энергоэффективных зданий [Текст] / С.А. Кобелева // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2011. – №5 (37). – С. 18-20.
3. Российский статистический ежегодник «Россия в цифрах – 2011 год» [Электронный ресурс]: Росстат. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/bgd/regl>. Дата обращения 08.09.2011.
4. Исакович, Г.А. Экономия топливно-энергетических ресурсов в строительстве [Текст] / Г.А. Исакович, Ю.Б. Слуцкий – М.: Стройиздат, 1988. – 214 с.

**Кобелева Светлана Анатольевна**

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
E-mail: ksa92@ya.ru

---

KOBELEVA S.A.

### DEVELOPMENT OF METHODOLOGY OF DETERMINATION OF COMPLETE ENERGY CAPACITY OF BUILDING

*At the production of build materials, erection of building, the different types of fuel resources (gas, fuel oil, coal etc.), and also thermal and electric energy, are expended their exploitation. Under complete energy capacity of building the size of consumption of fuel and energy resources is understood on the basic and auxiliary technological processes of making of building products, implementation of works, exploitation of building. At the estimation of energy capacity of building a substantial value was purchased by the indexes of fuel and energy resources on a production, portage of build materials and constructions qualificatory project strategy of their choice in the direction of decline of mass and energy capacity of building objects. Specific numeral expression of building energy capacity is an index, being a relation of the energy consumed by building, to the size, characterizing the result of functioning of the technical system.*

**Keywords:** complete energy capacity, production of build materials, building, exploitation of building, consumption of fuel and power resources.

### BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 51750-2001 Jenergosberezhenie. Metodika opredelenija jenergoemkosti pri proizvodstve produkci i okazanii uslug v tehnologicheskikh jenergeticheskikh sistemah [Text]. – M.: FGU «Rossijskoe agentstvo jenergoeffektivnosti» Minjenergo Rossii, 2001. – 24 s.
2. Kobeleva, S.A. Metodicheskie podhody proektirovaniya resurso- i jenergoeffektivnyh zdanij [Text] / S.A. Kobeleva // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2011. – №5 (37). – S. 18-20.
3. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik «Rossija v cifrah – 2011 god» [Jelektronnyj resurs]: Rosstat. – Rezhim dostupa: <http://www.gks.ru/bgd/regl>. Data obrawenija 08.09.2011.
4. Isakovich, G.A. Jekonomija toplivno-jenergeticheskikh resursov v stroitel'stve [Text] / G.A. Isakovich, Ju.B. Sluckij – M.: Strojizdat, 1988. – 214 s.

**Kobeleva Svetlana Anatolevna**

State university – educational-science-production complex, Orel  
Candidate of technical science, associate professor of department «Building constructions and materials»  
E-mail: ksa92@ya.ru

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., БАРАНОВ И.А.

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ УНИРЕМ-001 НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО И ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

*Определены свойства асфальтовяжущего оптимальной структуры с добавками УНИРЕМ-001 и СД-3. Приведены зависимости показателей свойств асфальтовяжущего от количества битума в смеси, при этом дана оценка битумоудеоживающей способности добавок. Определены физико-механические показатели свойств нескольких партий образцов ЩМАС-15 по данным лабораторных испытаний. Обобщены выводы по результатам проведенных исследований УНИРЕМ-001 в щебеноочно-масличной асфальтобетонной смеси с добавлением волокнистой и адгезионной добавок, объяснен механизм взаимодействия добавок в битуме.*

**Ключевые слова:** стабилизирующие добавки, структура, щебеноочно-масличный асфальтобетон.

Для изучения микроструктуры асфальтобетонов в работе использовалась модельная система битум + минеральный порошок, т.е. асфальтовяжущее. Исследуя зависимости физико-механических свойств асфальтовяжущего от количества битума в нем, сравнивая между собой свойства асфальтовяжущего оптимальной структуры с различными добавками, можно предварительно оценить, в каком направлении будут изменяться свойства ЩМАС при введении добавок.

В асфальтовяжущем для сравнения использовалась волокнистая добавка СД-3, которая аналогична исследованной ранее Viatop 66 [1-3]. СД-3 представляет собой гранулы диаметром 6-7 мм светло-коричневого цвета, изготовленные из волокон сульфатной небеленой целлюлозы с добавлением вяжущего [4], а УНИРЕМ-001 представляет собой композиционный материал на основе активного резинового порошка [5].

Для приготовления асфальтовяжущего использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ и известняковый минеральный порошок ОАО «Гурово-бетон». Было изготовлено три партии образцов асфальтовяжущего с различным содержанием битума и добавок в смеси. В первых двух партиях количество минерального порошка составляло 96%, УНИРЕМ-001 – 4% или СД-3 – 4%, в третьей партии количество минерального порошка составляло 92%, УНИРЕМ-001 – 4% и СД-3 – 4%.

Приготовление асфальтовяжущего производилось в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Добавки УНИРЕМ-001 и Viatop 66 вводились в разогретый до 150-160°C битум и перемешивались в нем до однородного распределения. Минеральный порошок нагревался до 160°C и засыпался в смеситель, затем вводился битум и проводилось перемешивание в течение 40-60 секунд до однородного распределения битума в минеральном порошке. Образцы асфальтовяжущего изготавливались с использованием форм для асфальтобетона  $d=50,5$  мм по технологии приготовления асфальтобетонных образцов. Далее определяли физико-механические свойства асфальтовяжущего.

Следует сказать о характере распределения добавок в битуме при перемешивании. С введением резинового порошка УНИРЕМ-001 в битум при температуре 160-170°C полное распределение происходит в течении 5-10 минут, при этом повышалась вязкость битума. Т.к. добавка УНИРЕМ-001 находится в сыпучем состоянии, при ее введении требуется интенсивное перемешивание, чтобы избежать комкования скоплений частиц резины при обволакивании их битумом.

Смешивание УНИРЕМ-001 и Viatop 66 с целью облегчения процесса распределения добавки производилось последовательно, т.е. в начале, в течение 30-40 минут, основная масса гранул Viatop 66 расплавлялась в битуме, затем вводилась добавка УНИРЕМ-001, и ее распределение в битуме длилось 5-10 минут, при этом смесь превращалась в кашеподобную однородную подвижную массу.

Готовая смесь асфальтовяжущего с недостаточным количеством битума для обволакивания минеральных зерен представляла собой рыхлый порошок серого цвета, а свойства асфальтовяжущего характеризовались повышенным водонасыщением и пониженной средней плотностью и прочностью. Готовая смесь асфальтовяжущего с избыточным количеством битума представляет собой подвижную массу с черным жирным блеском. В асфальтовяжущем с оптимальным количеством битума имеет место оптимальное соотношение битум/минеральный порошок, что характеризуется максимально возможной средней плотностью и прочностью асфальтовяжущего.

Зависимости показателей свойств асфальтовяжущего от количества битума в смеси с различными добавками приведены на рисунках 1-3.

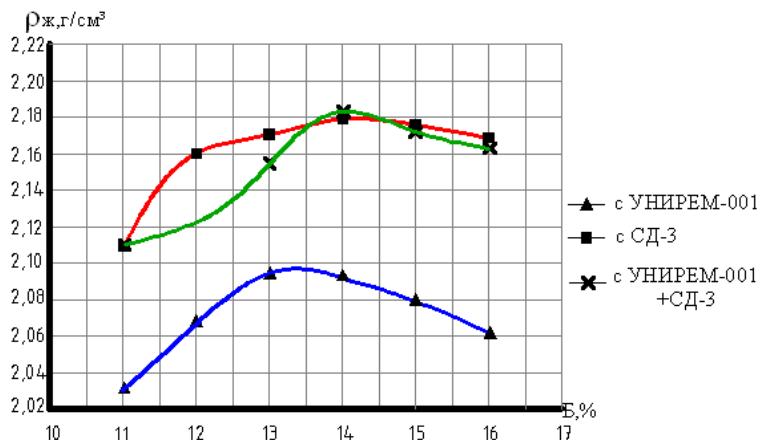


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего  $\rho_{ж}$  от количества битума  $B$

Из рисунка 1 видно, что средняя плотность асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 ниже, чем с добавкой СД-3 или с двумя добавками, и достигает максимальной величины 2,095 г/см<sup>3</sup> при количестве битума 13,5% от массы минеральной части. В асфальтовяжущем с добавкой СД-3 и с двумя совместно введенными добавками СД-3 и УНИРЕМ-001 средняя плотность достигает максимальной величины 2,18 г/см<sup>3</sup> при количестве битума 14% от массы минеральной части.

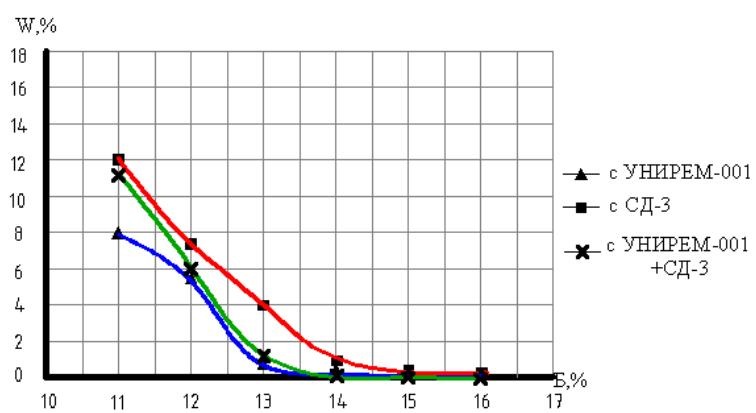


Рисунок 2 – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего  $W$  от количества битума  $B$

Из рисунка 2 видно, что водонасыщение асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 уже при 13% битума в асфальтовяжущем составляет 1,1%, а для асфальтовяжущего с добавкой СД-3 и с двумя добавками при 14% битума в асфальтовяжущем составляет соответственно 1,22% и 0,11%, т.е. битумоемкость и битумоудерживающая способность добавки СД-3 и двух добавок совместно введенных выше, чем у УНИРЕМ-001.

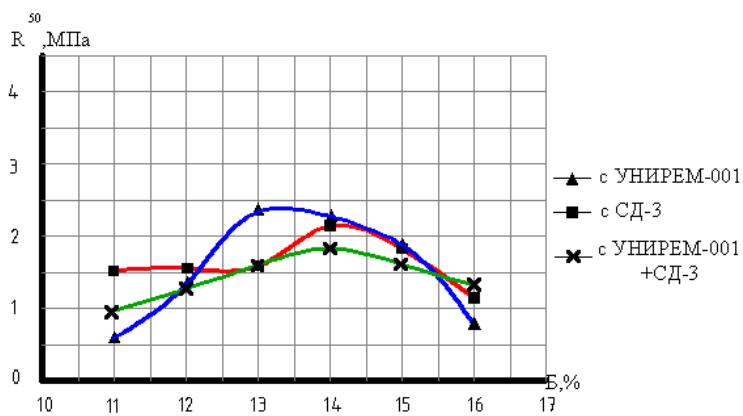


Рисунок 3 – Зависимость прочности при сжатии при 50°C асфальтовяжущего  $P_{50}$  от количества битума  $B$

Из рисунка 3 видно что максимальная прочность при 50°C асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 достигается при количестве битума в смеси 13%, а для асфальтовяжущего с добавкой СД-3 и двух добавок совместно введенных достигается при 14% битума в смеси.

Физико-механические показатели свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры, т.е. с максимальной средней плотностью и прочностью при 50°C приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические показатели свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры с добавками

№ п/п	Физико-механические показатели	Состав асфальтовяжущего, %		
		Минеральный порошок – 96%; УНИРЕМ-001 – 4%; битум – 13% от массы минеральной части	Минеральный по- рошок – 96%; СД-3 – 4%; битум – 14% от массы мине- ральной части	Минеральный порошок – 92%; УНИРЕМ-001-4%; СД-3 – 4%; битум – 14% от массы мине- ральной части
1	Средняя, плотность, г/см <sup>3</sup>	2,09	2,18	2,18
2	Водонасыщение в % по объему	1,1	1,22	0,11
3	Предел прочности при сжа- тии (МПа) при 20°C в во- донасыщенном состоянии при 20°C при 50°C	6,71 7,08 2,49	6,14 6,41 2,34	6,24 6,56 1,93
4	Водостойкость	0,95	0,96	0,95

При приготовлении щебеноочно-мастичной асфальтобетонной смеси кроме добавок УНИРЕМ-001 и СД-3 для улучшения качества смеси применялась адгезионная азотсодержащая добавка АМДОР-10 [6].

Введение адгезионной азотсодержащей добавки в битум изменяет растворяющую способность углеводородной дисперсионной среды битумной дисперсной системы. Молекулы и мицеллы азотсодержащих ПАВ частично адсорбируются на поверхности дисперсных битумных частиц (асфальтенов и их ассоциатов), частично находятся в углеводородной дисперсионной среде. В процессе перемешивания УНИРЕМ-001 и волокнистой добавки с битумом часть молекул и мицелл азотсодержащих ПАВ, а также битумные частицы с адсорбированным слоем ПАВ будет адсорбироваться на поверхности резиновых частиц УНИРЕМ-001 и на поверхности волокон стабилизирующей (битумоудерживающей) добавки, блокируя полярные группы. Это приведет к уменьшению межмолекулярного взаимодействия и облегчит распределение резиновых частиц «УНИРЕМ-001» и волокон в битуме.

Для приготовления двух партий щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС №1 и ЩМАС №2 использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ, известняковый минеральный порошок ОАО «Гурово-бетон», щебень гранитный фракции 10-15 мм, щебень гранитный фракции 5-10 мм и отсев гранитный фракции 0-5 мм. Состав ЩМАС-15 был подобран с использованием вышеназванных материалов. Зерновой состав минеральной части ЩМАС-15 соответствует ГОСТ 31015-2002. Состав смеси следующий: гранитный щебень фр. 10-15 мм – 56%, гранитный щебень фр. 5-10 мм – 18%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 13%, известняковый минеральный порошок – 13%, СД-3 – 0,42%, УНИРЕМ-001 – 0,62%, битум – 6% от массы минеральной части, а содержание адгезионной добавки «АМДОР-10» составляло 1,5% от массы битума.

Приготовление ЩМАС-15 с использованием лабораторного смесителя производилось следующим образом. Отдозированные компоненты смеси, за исключением минерального порошка и добавок нагревались до требуемых температур: щебень и отсев до  $t=175^{\circ}\text{C}$ , битум до  $t=155^{\circ}\text{C}$ . Внутренняя поверхность лабораторного смесителя прогревалась до температуры  $155^{\circ}\text{C}$ .

Для получения ЩМАС №1 щебень и отсев загружали вручную в смеситель и перемешивали, далее загружали минеральный порошок и перемешивали, вводили битум и перемешивали 30 секунд, затем вводили УНИРЕМ-001, и перемешивание продолжалось в течение 3 минут до образования однородной смеси. Общее время перемешивания составляло 4,5 минуты.

При получении ЩМАС №2 щебень и отсев загружали вручную в смеситель и перемешивали, далее загружали минеральный порошок и перемешивали, затем одновременно вводили добавки УНИРЕМ-001 и СД-3 перемешивали 30 секунд, далее вводили битум, и перемешивание продолжалось в течение 3 минут, до образования однородной смеси. В разогретый до  $155^{\circ}\text{C}$  битум предварительно было добавлено требуемое количество АМДОР-10. Общее время перемешивания составляло 4,5 минуты. Далее ЩМАС выдерживалось перед изготовлением образцов в течение 30 минут при температуре  $160^{\circ}\text{C}$ .

Образцы из ЩМАС-15 были изготовлены в соответствии с ГОСТ 12801-98. Испытания образцов проводилось по ГОСТ 12801-98 и ГОСТ 31015-2002. Результаты испытаний образцов приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Физико-механические показатели свойств ЩМАС-15**

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей		
		Для ЩМАС №1	Для ЩМАС №2	По СТО 61595504-003- 2010
1	Средняя плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	2,44	2,47	-
2	Водонасыщение, в % по объему	3,0	2,15	1,0-4,0
3	Пористость минеральной части, %	18,4	17,6	15-19
4	Остаточная пористость, %	3,7	3,5	1,5-4,0
5	Предел прочности при сжатии, МПа при температуре $20^{\circ}\text{C}$		3,6	3,8
	при температуре $50^{\circ}\text{C}$		1,30	1,40
6	Сдвигостойчивость: коэффициент внутреннего трения		0,93	0,97
	сцепление при сдвиге при температуре $50^{\circ}\text{C}$ , МПа		0,36	0,38
7	Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре $0^{\circ}\text{C}$ , МПа	4,2	4,5	2,5-6,0
8	Водостойкость при длительном водонасыщении	0,94	1,03	не более 0,9
9	Стекание вяжущего, % по массе	1,08	0,14	не более 0,15
10	Однородность смеси: коэффициент вариации предела прочности при сжатии при температуре $50^{\circ}\text{C}$ , МПа	0,16	0,13	-

Из данных таблицы 2 следует, что стекание вяжущего для ЩМАС №1 с добавкой УНИРЕМ-001 значительно превосходит допустимые значения. Введение в эту смесь добавок СД-3 (ЩМАС №2) и АМДОР-10 приводит к снижению показателя стекания до допустимых пределов, увеличению водостойкости при длительном водонасыщении и позволяет повысить однородность ЩМАС.

Таким образом, введение волокнистых стабилизирующих добавок позволяет получить значения показателя стекания, соответствующие требованиям ГОСТ 31015-2002. А введение адгезионной азотсодержащей добавки позволяет улучшить однородность распределения в битуме УНИРЕМ-001 и волокнистой добавки, получить однородные битумные пленки, и более однородную структуру щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси и щебеночно-мастичного асфальтобетона.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Соломенцев, А.Б. Исследование свойств асфальтовяжущего, модифицированного добавками Viatop 66 и Хризотоп [Текст] / А.Б. Соломенцев, И.А. Баранов // Известия ОрелГТУ. – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – №2/22(554). – С. 77–80.
2. Соломенцев, А.Б. Оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона в асфальтовяжущем [Текст] / А.Б. Соломенцев, И.А. Баранов // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2010. – №4 (30). – С. 53-58.
3. Соломенцев А.Б. Оценка влияния стабилизирующих добавок на физико-механические показатели свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] / А.Б. Соломенцев, И.А. Баранов // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2010. – №5 (31). – С. 45-51.
4. СТО 77142802-003-2011. Стабилизирующая добавка СД-3 ГБЦ для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Стандарт организации [Текст].
5. СТО 61595504-002-2010. Материал композиционный «УНИРЕМ-001» на основе активного резинового порошка. Технические условия [Текст].
6. ТУ 0257-003-35475596-96 Присадка адгезионная дорожная «АМДОР». Технические условия [Текст].

**Соломенцев Александр Борисович**

ФГБОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: oantc@ostu.ru

**Баранов Игорь Александрович**

ФГБОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Ассистент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: IGBaranow@yandex.ru

---

SOLOMENTSEV A.B., BARANOV I.A.

## **THE INFLUENCE OF «УНИРЕМ-001 (UNIREM-001)» ADDITIVE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ASPHALT BOUNDING AGENT AND CRUSHED STONE AND MASTIC ASPHALT CONCRETE**

*Properties asphalt the knitting optimum structure with additives Unirem-001 and SD-3 are defined. Dependences of indicators of properties asphalt the knitting from quantity of bitumen in a mix are resulted, the estimation bitumen the keeping is thus given ability of additives. Physic mechanical indicators of properties of several sample parties SMA-15 according to laboratory researches are defined. Conclusions by results of spent researches Unirem-001 in stone mastic asphalt mixes with addition of fibrous and adhesive additives are generalized, the mechanism of interaction of additives in bitumen is explained.*

**Keywords:** stabilizing additives, structure, stone mastic asphalt.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Solomencev, A.B. Issledovanie svojstv asfal'tovjazhuwego, modificirovannogo dobavkami Viatop 66 i Hrizotop [Text] / A.B. Solomencev, I.A. Baranov // Izvestija OrelGTU. – Orel: OrelGTU. – 2009. – №2/22(554). – S. 77-80.
2. Solomencev, A.B. Ocenna bitumouderzhivajuwej sposobnosti stabilizirujuwih dobavok dlja webenochno-mastichnogo asfal'tobetona v asfal'tovjazhuwem [Text] / A.B. Solomencev, I.A. Baranov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2010. – №4 (30). – S. 53-58.
3. Solomencev A.B. Ocenna vlijanija stabilizirujuwih dobavok na fiziko-mehanicheskie pokazateli svojstv webenochno-mastichnogo asfal'tobetona [Text] / A.B. Solomencev, I.A. Baranov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2010. – №5 (31). – S. 45-51.
4. STO 77142802-003-2011. Stabilizirujuwaja dobavka SD-3 GBC dlja webenochno-mastichnyh asfal'tobetonyh smesej. Standart organizacii [Text].
5. STO 61595504-002-2010. Material kompozicionnyj «UNIREM-001» na osnove aktivnogo rezinovogo polroshka. Tehnicheskie uslovija [Text].
6. TU 0257-003-35475596-96 Prisadka adgezionnaja dorozhnaja «AMDOR». Tehnicheskie uslovija [Text].

**Solomentsev Alexander Borisovich**

State University – Educational-Science-Production Complex, Orel  
Candidate of technical science, senior lecturer of department «Building of highways»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-67  
E-mail: oantc@ostu.ru

**Baranov Igor Aleksandrovich**

State University – Educational-Science-Production Complex, Orel  
Assistant to department «Building of highways»  
Ph.: +7 (4862) 73-43-67  
E-mail: Igbaranow@yandex.ru

ФЕДОСОВ С.В., АКУЛОВА М.В., ПОТЕМКИНА О.В.,  
ЕМЕЛИН В.Ю., ВЕТОШКИН А.А.

## **ПЕНОБЕТОН ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ**

*В работе приведены результаты проведенных исследований по подбору состава и исследования свойств нового теплоизоляционного материала на базе пенобетона с добавкой жидкого стекла и стеклобоя для изоляции строительных объектов и технологического оборудования от высоких температур. Для получения оптимального состава использовались уравнения регрессии по методу многофакторного планирования эксперимента. Построены поверхности, являющиеся графическим представлением зависимости данного отклика от двух факторов при фиксированном значении третьего фактора. Приведены данные по сравнительному анализу теплостойкости разработанного состава с пенобетоном традиционного состава.*

**Ключевые слова:** пенобетон, пожаробезопасность, стеклобой, жидкое стекло.

В последние годы на территории Российской Федерации участились случаи пожаров и возгораний жилых, общественных и производственных зданий, поэтому весьма актуальной в настоящее время является проблема разработки новых материалов и изделий теплозащитного и огнеупорного назначения, которые могли бы использоваться в качестве защитных конструкций и преград распространению огня.

Наиболее перспективными в настоящее время являются неорганические пеноматериалы. Уступая по теплоизолирующей способности органическим материалам с ячеистой и волокнистой структурой, неорганические пеноматериалы по химической и пожарной безопасности при производстве и дальнейшей их эксплуатации более предпочтительны. К основным преимуществам пенобетона относятся: надежность, теплота, экологичность, пожаробезопасность, высокие теплоизоляционные свойства, прочность, огнестойкость, долговечность [1].

Неорганические пеноматериалы изготавливают из экологического безопасного сырья. В процессе службы они не выделяют токсичных и канцерогенных веществ, а при нагревании и контакте с открытым огнем – не воспламеняются и не горят [2]. К сожалению, большинство из применяемых неорганических ячеистых материалов термоустойчивы.

При высокотемпературном нагревании пенобетонов продукты твердения входящих в их состав вяжущих, дегидратируются, что снижает механическую прочность ячеистого материала и приводит к разрушению. При резком охлаждении средствами пожаротушения процесс разупрочнения материала усугубляется, вызывая частичное или даже полное разрушение изготовленных из него изделий и конструкций.

К одним из огне- и термостойким ячеистым материалам относятся материалы на основе жидкостекольных композиций, которые хорошо себя зарекомендовали при производстве огнеупорных и жаростойких тяжелых бетонов [3, 4]. Это объясняется тем, что продукты их твердения при дегидратации не претерпевают существенных структурно-объемных изменений; сохраняют первоначальную прочность, мало изменяющуюся при резких сменах температуры. Поэтому разработка пенобетонных материалов с добавлением в их состав жидкого стекла и других модифицирующих добавок является актуальной.

В данной работе приведены результаты проведенных исследований по подбору состава и исследования свойств нового теплоизоляционного материала на базе пенобетона с добавкой жидкого стекла и стеклобоя для изоляции строительных объектов и технологического оборудования от высоких температур.

В работе использовались следующие материалы: вяжущее – портландцемент Мордовского завода, М 500; заполнитель – песок кварцевый Храмцовского карьера; вода водопроводная, отвечающая требованиям ГОСТ 23732-79; пенообразователь – ПБ-2000 производства ОАО «Ивхимпром»; натриевое жидкое стекло, плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup> с силикатным модулем - 2,8-3,0; бой оконного стекла.

Пенобетонную массу получали следующим образом. Бой стекла, предварительно размалывали на дисковой мельнице. Для получения пенобетона использовали фракции песка и боя стекла меньше 1,25 мм. Необходимое количество вяжущего, песка и стеклобоя смешивали в отдельной емкости до однородности. В другой емкости взбивали пену из 1%-го рабочего раствора пеноконцентрата ПБ-2000 с добавлением жидкого стекла. Водотвердое отношение (В/Т) принимали постоянным (В/Т = 1/3). После приготовления пены в нее постепенно вводили смесь из сухих компонентов, продолжая постоянно взбивать пеномассу.

Пенобетонную массу заливали в формы и получали образцы-кубы с длиной стороны равной 10 см. В возрасте 28 суток, определялись физико-механические характеристики полученного пенобетона – прочность при сжатии (ГОСТ 10180-90), водопоглощение (ГОСТ 12730.3-78) и теплостойкость (ГОСТ 20910-90).

Для получения оптимального состава использовались уравнения регрессии по методу многофакторного планирования эксперимента (в соответствии с матрицей трехфакторного плана второго порядка). В качестве факторов выбирались: песко-цементное отношение (П/Ц), количество стеклобоя (в % от массы песка) и количество жидкого стекла (в % от массы цемента) в пенобетонной массе (таблица 1).

Таблица 1 – Диапазоны изменения выбранных факторов

Фактор	Нижний уровень	Среднее значение	Верхний уровень	Обозначение
Песко-цементное отношение	0,285	0,33	0,385	X <sub>1</sub>
Количество стеклобоя (в % от массы песка)	10	30	50	X <sub>2</sub>
Количество жидкого стекла (в % от массы цемента)	1	3	5	X <sub>3</sub>

Уравнение регрессии для этого случая имеет вид:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=2, j>i}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j ,$$

где  $b_i$ ,  $b_{ij}$  – искомые коэффициенты;  $x_i$  и  $x_j$  – факторы;  $y$  – отклик;  $k$  – число независимых переменных.

По результатам математической обработки данных были построены поверхности, являющиеся графическим представлением зависимости данного отклика от двух факторов при фиксированном значении третьего фактора. Графики зависимостей предела прочности при сжатии, водопоглощения по объему и массе представлены на рисунках 1-3.

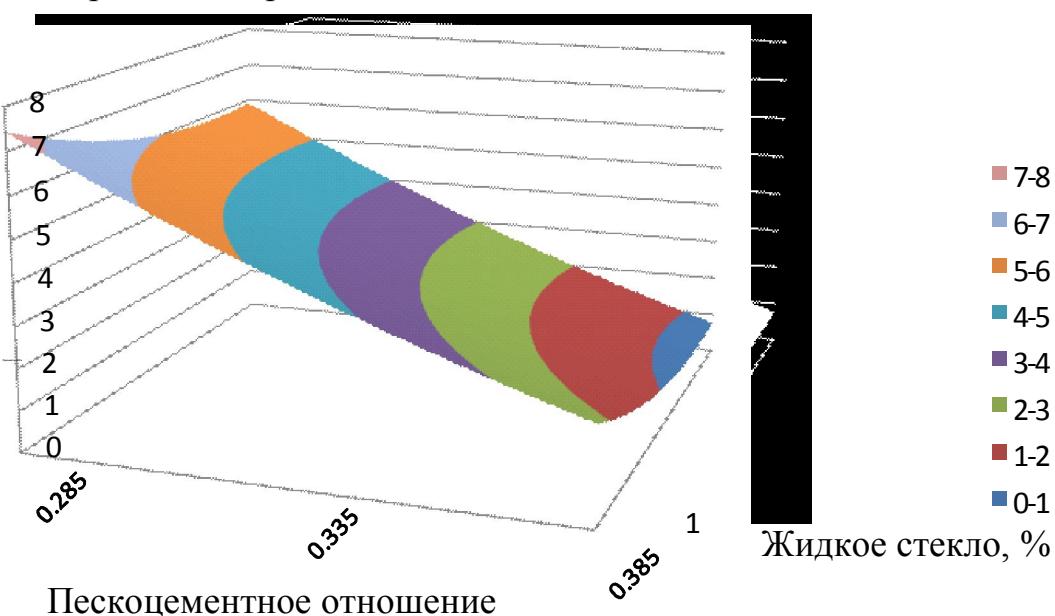
Как видно из приведенных данных (рис. 1) наибольшие значения прочности достигаются при наименьших значениях всех выбранных факторов, т.е. при песко-цементном отношении 0,285, количество стеклобоя равном 10% и жидкому стеклу – 1%. Однако прочностные характеристики для всех испытуемых составов лежали в области нормативных значений.

Водопоглощение пенобетонов является характеристикой их пористости, что в свою очередь является косвенной характеристикой их теплопроводности. На рисунках 2 и 3 представлены зависимости водопоглощения пенобетона по массе и по объему от содержания стеклобоя, жидкого стекла и пескоцементного соотношения.

Как видно из приведенных данных водопоглощение по объему с уменьшением песко-цементного отношения возрастает при большом и среднем значениях содержания жидкого стекла и убывает при малом его содержании. Влияние содержания стеклобоя проявляется незначительно и нелинейно, причем при наибольшем содержании жидкого стекла стеклобой способствует уменьшению водопоглощения по объему, а при наименьшем содержании жидкого стекла – увеличению водопоглощения по объему.

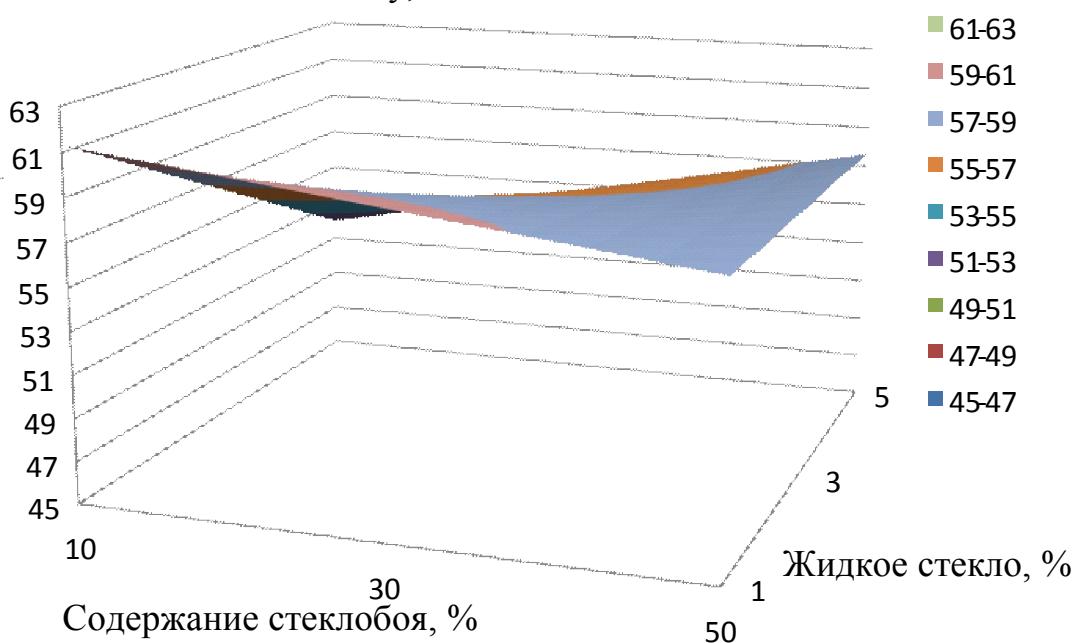
Наименьшие значения водопоглощения по массе соответствуют среднему значению пескоцементного отношения с небольшим смещением в сторону увеличения (П/Ц – 0,34-0,35).

Предел прочности при сжатии, МПа

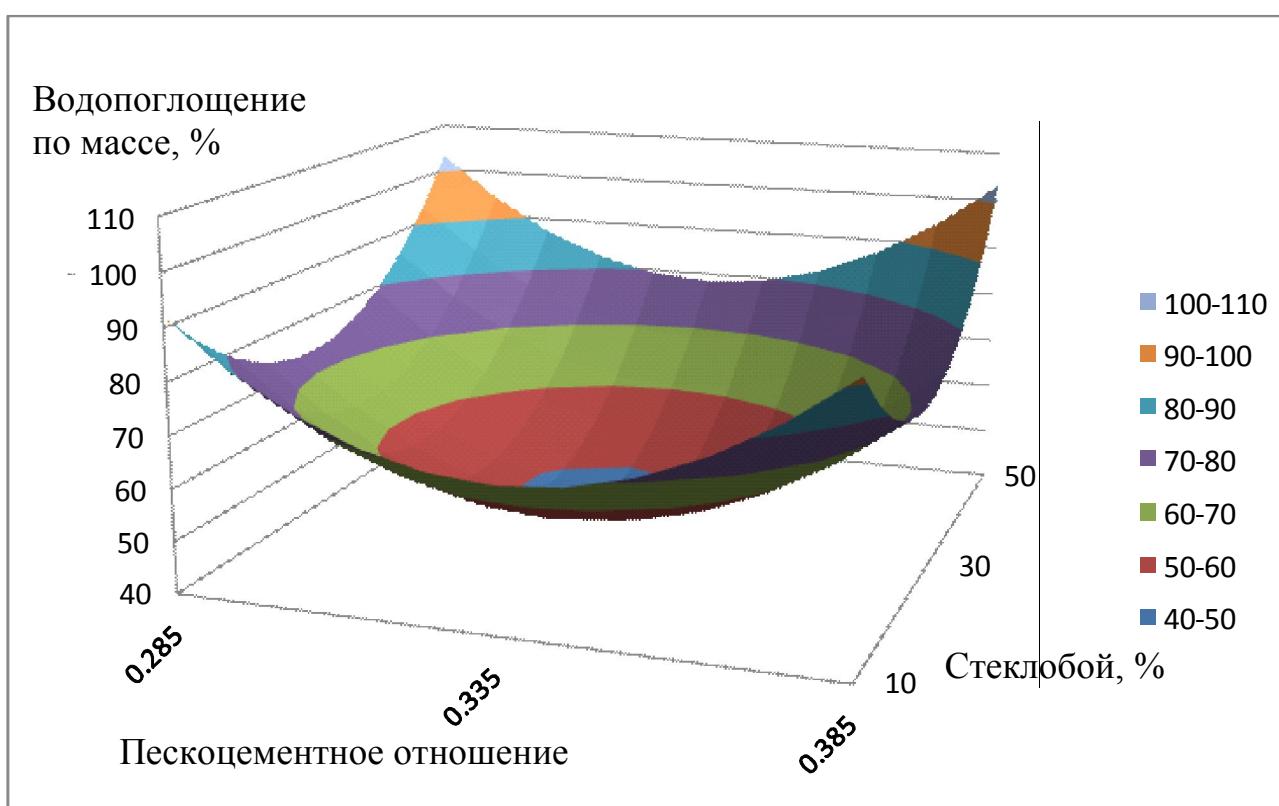


*Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при сжатии пенобетона от пескоцементного отношения и процентного содержания жидкого стекла при содержании стеклобоя 10%*

Водопоглощение по объему, %

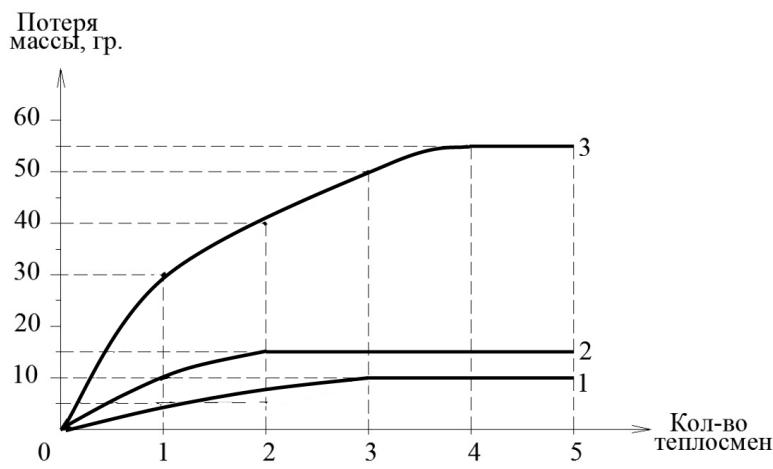


*Рисунок 2 – Зависимость водопоглощения пенобетона по объему от процентного содержания стеклобоя и жидкого стекла при пескоцементном соотношении 0,385*



*Рисунок 3 – Зависимость водопоглощения по массе пенобетона от пескоцементного отношения и процентного содержания стеклобоя при содержании жидкого стекла 3% от массы цемента*

Для изучения поведения пенобетона разработанного состава в условиях высоких температур исследовалась его теплостойкость. Термостойкость определялась по потере массы и увеличению дефектов на поверхности образца в результате повторяющегося нагрева в течении 20 минут и охлаждения образцов пенобетона – теплосмен – при температуре 500-520°C. Зависимость потери массы образцов пенобетона от количества теплосмен представлена на рисунке 4.



*Рисунок 4 – Потеря массы образцов пенобетона в зависимости от количества теплосмен:*  
 1 – при пескоцементном отношении 0,385, стеклобое – 10%, жидким стекле – 1%;  
 2 – при пескоцементном отношении 0,335, стеклобое – 30%, жидким стекле – 1%;  
 3 – при пескоцементном отношении 0,385 без жидкого стекла и стеклобоя

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 4 с увеличением содержания стеклобоя в пенобетонной массе увеличивается теплостойкость, улучшается трещиностойкость при резких перепадах температуры (определяли посредством внешнего осмотра образцов после

каждой теплосмены), а также снижаются интенсивность потери массы и общая потеря в весе испытуемых образцов при высокотемпературном нагревании. По сравнению с пенобетоном на обычных компонентах – песке и цементе пенобетон с добавлением жидкого стекла и стеклобоя в 3,7 раза устойчивее к воздействию высоких температур в диапазоне 500-520°C, выделяет большее количество теплосмен, поэтому может использоваться для тепловой защиты строительных конструкций.

Анализируя полученные данные, были найдены оптимальные параметры термостойкого состава: пескоцементное соотношение 0,335; количество стеклобоя – 10% (от массы песка), количество жидкого стекла – 1% (от массы цемента) При данных показателях наблюдается повышенная прочность на сжатие, а также значительное увеличение теплостойкости по отношению к образцам без добавок. В настоящее время на данный состав подана заявка в Роспатент на предполагаемое изобретение.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что исследуемый пенобетон с добавками стеклобоя и жидкого стекла обладает лучшими физико-механическими характеристиками по сравнению с пенобетонами, которые широко используются в настоящее время. Это должно способствовать применению его в качестве защитных перегородок и изоляции конструкций от воздействия высоких температур, возникающих при пожарах, авариях на производстве и при сбоях в работе технологического оборудования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махамбетова, У.К. Современные пенобетоны [Текст] / У.К. Махамбетова, Т.К. Солтанбеков, З.А. Естемесов. – СПб.: ГУПС, 1999. – 161 с.
2. Пискунов, А.А. Пожаростойкий пенобетон на жидкостекольной композиции [Текст] / А.А. Пискунов // Информационная среда вуза: Мат-лы XII Междунар. Науч.-техн. конф. – Иваново: ИГАСУ, 2005. – С. 624-628.
3. Корнеев, В.И. Жидкое и растворимое стекло [Текст] / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – С.-Петербург: Стройиздат, 1996. – 216 с.
4. Зайцева, Е.И. Пенобетон на основе стеклобоя – решение проблемы утилизации техногенного отхода [Текст] / Е.И. Зайцева, Д.А. Черников // Современные стройматериалы. – №56. – 2008. – С. 24-25.

**Федосов Сергей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново  
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное материаловедение и специальные технологии»  
Тел.: +7 (4932) 32-85-40  
E-mail: rector@igasu.ru

**Акулова Марина Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново  
Советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных материалов»  
Тел.: +7 (4932) 32-66-33  
E-mail: m.akylova@mail.ru

**Потемкина Ольга Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново  
Докторант  
Тел.: +7 (4932) 32-66-33

**Емелин Владимир Юрьевич**

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново  
Аспирант  
Тел.: +7 (4932) 39-75-30  
E-mail: emelin78@mail.ru

**Ветошкин Анатолий**

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново  
Аспирант  
Тел.: +7 (4932) 32-66-33

FEDOSOV S.V., AKULOVA M.V., POTYOMKINA O.V.,  
EMELIN V.U., VETOSHKIN A.A.

## **FOAM CONCRETE OF ENHANCED HEAT RESISTANCE**

*This article summarizes data of scientific researches done in order to compose the stuff of new heat-insulating foam concrete with addition of liquid glass and glass debris and to analyze its properties for insulation of structures and technological equipment from high temperatures. To obtain optimal stuff composition regression equations by method of multiple-factor planning of experiment were used. Surfaces have been constructed that are graphic expression of dependence of the given response on two factors while there is specified value of the third factor. Both a newly developed and the traditional foam concrete compositions were compared on heat resistance and data of comparative analysis are generalized.*

**Keywords:** foam concrete, fire safety, glass debris, liquid glass.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Mahambetova, U.K. Sovremennye penobetony [Text] / U.K. Mahambetova, T.K. Soltanbekov, Z.A. Estemesov. – SPb.: GUPS, 1999. – 161 s.
2. Piskunov, A.A. Pozharostojkij penobeton na zhidkostekol'noj kompoziciji [Text] / A.A. Piskunov // Informacionnaja sreda vuza: Mat-ly XII Mezhdunar. Nauch.-tehn. konf. – Ivanovo: IGASU, 2005. – S. 624-628.
3. Korneev, V.I. Zhidkoe i rastvorimoe steklo [Text] / V.I. Korneev, V.V. Danilov. – S.-Peterburg: Strojizdat, 1996. – 216 s.
4. Zajceva, E.I. Penobeton na osnove stekloboja – reshenie problemy utilizacii tehnogennogo othoda [Text] / E.I. Zajceva, D.A. Chernikov // Sovremennye strojmaterialy. – №56. – 2008. – S. 24-25.

**Fedosov Sergey Viktorovich**

Ivanovo state architecture and construction university, Ivanovo

Doctor of technical science, professor, manager of department «Building materials technology and special technologies»

Ph.: +7 (4932) 32-85-40

E-mail: rector@igasu.ru

**Akulova Marina Vladimirovna**

Ivanovo state architecture and construction university, Ivanovo

Doctor of technical science, professor of department «Manufacture of building materials»

Ph.: +7(4932) 32-66-33

E-mail: m.akulova@mail.ru

**Potyomkin Olga Vladimirovna**

Ivanovo state architecture and construction university, Ivanovo

Doctoral candidate

Ph.: +7 (4932) 32-66-33

**Vetoshkin Anatoly**

Ivanovo state architecture and construction university, Ivanovo

Post-graduate student

Ph.: +7 (4932) 39-75-30

E-mail: emelin78@mail.ru

**Уважаемые авторы!**

**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями к оформлению  
научных статей**

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**В тексте статьи** не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
  - для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
  - произвольные словообразования;
  - сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

**С полной версией требований к оформлению научных статей  
Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)**

*Адрес учредителя журнала*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)  
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29  
+7 (4862) 42-00-24  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [unpk@ostu.ru](mailto:unpk@ostu.ru)

*Адрес редакции*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)  
302020, г. Орел, ул. Московская, 77.  
+7 (4862) 73-43-49  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [oantc@mail.ru](mailto:oantc@mail.ru)

Технический редактор С.В. Солопов  
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 29.12.2011 г.  
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 5,75.  
Тираж 400 экз.  
Заказ №\_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической  
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.