

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 9 (693)
Сентябрь 2016 г.

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

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдинец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Тел./факс +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 26.09.16. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 9,98+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 2737

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Адищев В.В., Мальцев В.В. Численно-аналитический метод определения прогибов железобетонной балки с применением реальной нелинейной диаграммы деформирования бетона 5

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Дукарт А.В. Верхняя оценка максимального отклонения линейной системы при периодическом возмущении с ограниченной энергией. Часть 1. Система без затухания ... 18

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Ерофеев В.Т., Ликомаскина М.А., Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н. Исследование биостойкости модифицированных асфальтобетонов и изучение видового состава мицобиоты поверхности образцов, экспонированных в различных условиях влажного морского климата 25

Полубояров В.А., Коротаева З.А., Волоскова Е.В., Горбунов Ф.К., Жданок А.А., Булгаков В.В.,

Гусев К.П. Получение керамзита на основе золошлаковых отходов и силикатного вяжущего	41
Абдуллаев А.М., Межиев В.Х. Адгезия гипса на клинкере в процессе их размола	50
ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА.	
АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Герасимов В.В., Сафарян Г.Б., Светышев Н.В. Организационно-технологическая надежность ремонтно-строительных работ жилых объектов	60
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Гаврильчик Г.Р., Олзийбаяр Чоен, Романов К.Н., Кварцхалая Т.Р., Гвоздев В.А., Абраменков Э.А. Дроссельный пневмоударный механизм с частичным вытеснением воздуха из камеры рабочего хода посредством стержня	69
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Жаданов В.И., Нестеренко М.Ю., Столповский Г.А., Нестеренко А.М. Исследование поглощающих свойств материала строительных конструкций на примере железобетонной перемычки	76
Логанина В.И., Круглова А.Н. Оценка достоверности контроля качества строительной продукции	87
Шиляев М.И., Хромова Е.М., Кусенинов Б.Т., Болотов К.О. Конвективное осушение зернистого слоя	93
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Миряев Б.В., Толушов С.А., Сюзюмов Д.С. Экспериментальное исследование модели полусферического сетчатого купола	103
<hr/>	
Выдающийся ученый, инженер, педагог – В.А. Трулль, к 100-летию со дня рождения (08.09.1916–17.09.1996)	112

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF CONSTRUCTION
HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL
INSTITUTIONS

CONSTRUCTION

Scientific-theoretical journal
Published since March 1958
Monthly

No. 9 (693)
September 2016

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

Editorial Board:

A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS
Yu.P. Pravdivets, DSc (Eng), Prof.
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008
Phone number/fax +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS

Adishchev V.V., Mal'tsev V.V. The numerical-analytical method for determining the deflection of reinforced concrete beams with use real nonlinear stress-strain charts of concrete 5

THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Dukart A.V. Upper bound for the maximum amplitude of linear systems with periodic perturbation of limited energy. Part 1. System without damping 18

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Erofeev V.T., Likomaskina M.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N. Investigation of modified asphalt and to study the species composition of the mycobiota of surface of samples exposed in different conditions, moist maritime climate 25

Poluboyarov V.A., Korotaeva Z.A., Voloskova E.V., Gorbunov F.K., Zhданок А.А., Bulgakov V.V., Gysev K.P. Obtaining haydite based on ash-and-slag wastes and a silicate binder 41

Abdullaev A.M., Mezhidov V.K. Adhesion of plaster to the clinker in the process of grinding	50
ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY	
Gerasimov V.V., Safaryan G.B., Svetyshev N.V. Organizational and technological reliability of repair and construction works of residential facilities	60
BUILDING AND ROAD MACHINES	
Gavril'chik G.R., Olziybayar Choen, Romanov K.N., Kvartskhalaya T.R., Gvozdev V.A., Abramakov E.A. Throttle pneumoshock mechanism with partial displacement of air from the chamber of the stroke through the stem	69
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Zhadanov V.I., Nesterenko M.Yu., Stolpovskiy G.A., Nesterenko A.M. Study of absorbing properties of construction materials: concrete bulkhead case study.....	76
Loganina V.I., Kruglova A.N. Reliability assessment of quality control of construction products	87
Shilyaev M.I., Khromova E.M., Kuseinov B.T., Bolotov K.O. Convective drying of the granular layer	93
IN HIGHER SCHOOL LABS	
Miryaev B.V., Tolyshov S.A., Syuzumov D.S. Experimental research of model of hemispherical mesh dome	103

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



УДК 624.012

В.В. АДИЩЕВ, В.В. МАЛЬЦЕВ

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГИБОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА*

Разработан численно-аналитический метод определения прогибов железобетонной балки с применением реальной нелинейной диаграммы деформирования бетона. Метод основан на едином подходе к построению аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и арматуры, аппроксимаций функции кривизны, функции распределения высоты сжатой зоны. Продемонстрирована реализация метода на конкретном примере расчета шарнирно опертой железобетонной балки. Показано, что такие характеристики напряженно-деформированного состояния, как высота сжатой зоны бетона, кривизна нейтральной линии, существенно зависят от координаты по длине балки. Получены интересные особенности зависимостей функции прогиба от величины коэффициента армирования в состоянии предразрушения.

Ключевые слова: численно-аналитический метод, физическая нелинейность, диаграмма деформирования, прогиб, железобетон.

1. Введение. В соответствии с теорией В.И. Мурашова [1] с возрастанием нагрузок разрушающее сечение железобетонной балки проходит несколько стадий напряженно-деформированного состояния, качественно отличающихся друг от друга. При этом различаются так называемые предельные состояния, а методы расчета по двум группам предельных состояний базируются на противоречивых гипотезах и предположениях. Каждая стадия описывается уравнениями равновесия и соответствующими гипотезами, а изменение параметров сечения в процессах перехода из одного состояния в другое учитывается с помощью эмпирических коэффициентов. Расчет по двум группам предельных состояний практически игнорирует реальные физические свойства бетона, а также не учитывает особенности напряженно-деформированного состояния и физически адекватные условия перехода из одного состояния в другое. «Сквозной» расчет от начала нагружения до потери несущей способности железобетонного элемента в рамках этой теории невозможен. В действительности при образовании трещины происходит не только «катастрофическое» изменение напряженно-деформированного состояния в сечении с трещиной, но и собственно изменение самой конструкции.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-08-0097516).

В последние десятилетия сформировался альтернативный диаграммно-энергетический подход к расчету железобетонных элементов [2, 3], на основе которого стало возможно создание алгоритмов «сквозного» расчета, свободных от противоречий расчета по предельным состояниям. Алгоритм «сквозного» расчета предполагает расчет сечения железобетонной балки в следующих стадиях: 1) деформирование до образования трещины; 2) возникновение и стабилизация первичной трещины; 3) возникновение и стабилизация вторичных трещин; 4) подрастание и остановка первичной и вторичных трещин; 5) разрушение изгибающего элемента, которое может происходить по двум сценариям: «квазихрупкому» (разрушение сжатого бетона) и «квазипластическому» (разрыв арматуры). Разработаны математические модели для описания процесса деформирования на первой и второй стадиях [4, 5]. Условия перехода от одной стадии к другой имеют в своей основе уравнения энергетического баланса, в которые входит дополнительная работа внешних сил. Решение задачи определения прогибов балки и представление функции прогиба в виде аналитических аппроксимаций становятся одними из основных задач при разработке указанных выше математических моделей. В настоящей работе используется единый подход к построению аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и арматуры, аппроксимаций функции кривизны, высоты сжатой зоны и прогиба в зависимости от координаты по длине балки.

2. Численно-аналитический метод. Рассмотрим произвольную железобетонную балку прямоугольного сечения, армированную одним семейством арматуры (рис. 1). На рис. 1 изображено расчетное сечение, в котором действует изгибающий момент M , и эпюры деформаций и напряжений в сечении. На нейтральной линии ($y = 0$) напряжения и деформации равны нулю. Уравнения равновесия имеют вид [3]:

$$\int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y)b(y)dy + \sigma_s A_s = 0, \quad (1)$$

$$\int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y)yb(y)dy + \sigma_s A_s(h_0 - x) = M, \quad (2)$$

где $\sigma_b(y)$ – функция распределения напряжений по сечению;
 $b(y)$ – функция изменения ширины балки по сечению;

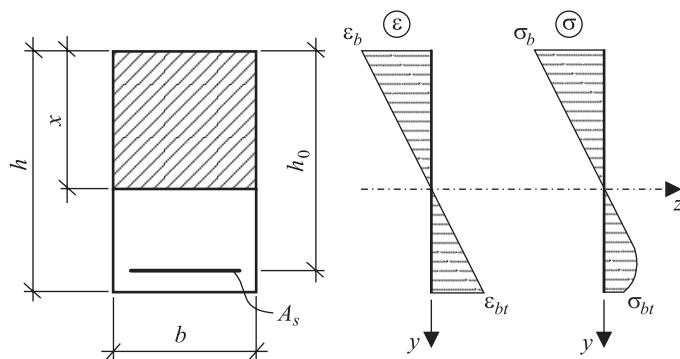


Рис. 1. Распределение деформаций и напряжений по высоте сечения балки

σ_s – напряжение в слое арматуры;

A_s – суммарная площадь сечения арматуры;

h – высота сечения;

x – высота сжатой зоны сечения;

h_0 – полезная высота сечения балки;

M – действующий в сечении изгибающий момент.

При образовании трещин в сжатой зоне напряжения, как правило, соответствуют линейно-упругому закону деформирования (см. рис. 1).

Считая, что сечение балки прямоугольное $b(y) = b$, преобразуем систему уравнений (1)–(2) следующим образом:

$$\begin{cases} b \int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y) dy + \sigma_s A_s = 0, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} b \int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y) y dy + \sigma_s A_s (h_0 - x) = M. \end{cases} \quad (4)$$

Согласно гипотезе плоских сечений запишем два кинематических соотношения (см. рис. 1):

$$\begin{cases} \varepsilon_b = \frac{x}{x-h_0} \varepsilon_s, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_{bt} = \frac{h-x}{h_0-x} \varepsilon_s, \end{cases} \quad (6)$$

где ε_b – деформация крайнего сжатого волокна сечения;

ε_{bt} – деформация крайнего растянутого волокна сечения;

ε_s – деформация растяжения арматуры.

Выполним следующую замену переменных: $y = \rho \varepsilon$, где ρ – радиус кривизны в сечении. Для каждого сечения $\rho = -x / \varepsilon_b$, откуда

$$y = -\frac{x}{\varepsilon_b} \varepsilon, \quad \sigma_b(y) = \sigma_b \left(-\frac{x}{\varepsilon_b} \varepsilon \right) = \psi_b(\varepsilon),$$

где $\psi(\varepsilon)$ – функция, аппроксимирующая диаграмму деформирования бетона (см. рис. 3).

Произведя замену переменных в (3)–(4), получим:

$$\begin{cases} b \left(-\frac{x}{\varepsilon_b} \right) \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) d\varepsilon + \sigma_s A_s = 0, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} b \left(-\frac{x}{\varepsilon_b} \right)^2 \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + \sigma_s A_s (h_0 - x) = M. \end{cases} \quad (8)$$

Введем безразмерные величины:

$\xi = x / h_0$ – относительная высота сжатой зоны;

$\zeta = z / h_0$ – безразмерная координата по длине балки;

$H = h / h_0$; $\mu_s = A_s / (bh_0)$ – коэффициенты армирования сечения;

$\bar{\varphi}(\varepsilon_s) = \varphi(\varepsilon_s) / \sigma_{02}$; $\bar{\psi}(\varepsilon) = \psi(\varepsilon) / \sigma_{02}$; $\bar{M} = M / (bh_0^2 \sigma_{02})$.

Функция $\sigma_s = \phi(\varepsilon_s)$ аппроксимирует диаграмму деформирования арматуры. Для обезразмеривания удобно выбрать значение напряжения σ_{02} для арматуры – напряжение, соответствующее остаточной деформации 0,2 %. Тогда в безразмерном виде уравнения равновесия (7)–(8) принимают вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\xi}{\varepsilon_b} \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\psi}(\varepsilon) d\varepsilon = \mu_s \bar{\phi}(\varepsilon_s), \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\xi}{\varepsilon_b} \right)^2 \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\psi}(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + (1-\xi) \mu_s \bar{\phi}(\varepsilon_s) = \bar{M}, \end{array} \right. \quad (10)$$

соответственно кинематические соотношения (5), (6) приводятся к виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_b = \frac{\xi}{\xi - 1} \varepsilon_s, \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{bt} = \frac{H - \xi}{1 - \xi} \varepsilon_s. \end{array} \right. \quad (12)$$

Наибольший интерес представляет состояние предразрушения расчетного сечения, когда деформация крайнего растянутого волокна достигает предельного значения ε_{bt}^{crc} . Выберем узловые значения $\varepsilon_{bt,i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) в интервале $0 < \varepsilon_{bt,i} < \varepsilon_{bt}^{crc}$, где $\varepsilon_{bt}^{crc} = \varepsilon_6$ – предельная деформация растяжения бетона согласно диаграмме деформирования бетона (см. рис. 3). Для каждого узлового значения деформаций растяжения бетона получаем систему уравнений (9)–(12), состоящую из четырех уравнений с четырьмя неизвестными $\varepsilon_{b,i}$, $\varepsilon_{s,i}$, ξ_i , \bar{M}_i . Из уравнений (9), (11), (12) определяются значения $\varepsilon_{b,i}$, $\varepsilon_{s,i}$, ξ_i . Затем из уравнения (10) определяется значение безразмерного изгибающего момента \bar{M}_i . Такая процедура существенно упрощает решение системы (9)–(12), кроме того, изгибающий момент, соответствующий возникновению трещины, вычисляется непосредственно.

Если известна зависимость изгибающего момента от координаты ζ по длине балки, то безразмерный изгибающий момент является функцией $\bar{M}(\zeta)$. Записав условия равенства момента значениям \bar{M}_i , получим уравнения для определения изначально неизвестных координат сечений ζ_i :

$$\bar{M}_i = \bar{M}(\zeta_i). \quad (13)$$

В каждом из этих сечений реализуется напряженно-деформированное состояние, соответствующее деформации растяжения нижнего волокна $\varepsilon_{bt,i}$.

Перемещение сечения с координатой z_0 определяется по известной формуле Мора

$$\Delta(z_0) = \int_0^l M_1(z) \chi(z) dz, \quad (14)$$

где $M_1(z)$ – распределение по длине балки изгибающего момента от действия единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения (в сечении с координатой z_0);

l – длина балки;

$\chi(z)$ – распределение по длине балки кривизны нейтральной линии вычисляется по формуле

$$\chi(z) = \frac{1}{\rho(z)} = -\frac{\varepsilon_b(z)}{x(z)}$$

или в безразмерном виде

$$\bar{\chi}(\zeta) = -\frac{\varepsilon_b(\zeta)}{\xi(\zeta)}. \quad (15)$$

Формула (14) в безразмерном виде принимает вид

$$\bar{\Delta}(\zeta_0) = \int_0^L \bar{M}_1(\zeta) \bar{\chi}(\zeta) d\zeta, \quad (16)$$

где $L = l/h_0$ – безразмерная длина балки, $\bar{\Delta}(\zeta_0) = \Delta(z_0)/h_0$, $\bar{M}_1(\zeta) = M_1(z)/(bh_0^2\sigma_{02})$.

Как будет показано ниже, вследствие физической нелинейности поведения бетона высота сжатой зоны по длине балки не является величиной постоянной, а зависит от координаты ζ . Воспользуемся нелинейной аппроксимацией функции $\bar{\chi}(\zeta)$, представив ее в каждом из интервалов (ζ_{i-1}, ζ_i) в виде следующих сплайн-функций:

$$\bar{\chi}_i(\zeta) = \bar{\chi}(\zeta_{i-1}) + A_{i-1}(\zeta - \zeta_{i-1}) + a_i(\zeta - \zeta_{i-1})^{b_i}, \quad (17)$$

где A_{i-1} – производная кривизны $\bar{\chi}'(\zeta_{i-1})$ в точке ζ_{i-1} ; a_i, b_i – коэффициенты, определяемые из условия «склейки» аппроксимирующих функций в узле с координатой в интервале (ζ_i, ζ_{i+1}) :

$$\begin{cases} \bar{\chi}_i(\zeta_i) = \bar{\chi}_{i+1}(\zeta_i), \\ \bar{\chi}'_i(\zeta_i) = \bar{\chi}'_{i+1}(\zeta_i). \end{cases}$$

Производную A_{i-1} удобно вычислять по формуле

$$A_{i-1} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{\chi}(\zeta_{i-1}) - \bar{\chi}(\zeta_{i-2})}{\zeta_{i-1} - \zeta_{i-2}} + \frac{\bar{\chi}(\zeta_i) - \bar{\chi}(\zeta_{i-1})}{\zeta_{i-1} - \zeta_i} \right). \quad (18)$$

Если рассмотреть два соседних участка эпюры кривизны, соответствующих двум интервалам $(\zeta_{i-2}, \zeta_{i-1})$, (ζ_{i-1}, ζ_i) , то первое слагаемое в правой части выражения (16) представляет собой «секущий модуль» на участке $(\zeta_{i-2}, \zeta_{i-1})$, а второе – «секущий модуль» на участке (ζ_{i-1}, ζ_i) . Тогда соотношение (18) означает, что тангенциальный модуль вычисляется как среднее арифметическое «секущих модулей».

Из условий «склейки» следуют формулы для определения коэффициентов a_i, b_i :

$$b_i = \frac{A_{i-1} - A_i}{A_{i-1}(\zeta_{i+1} - \zeta_i) - (\bar{\chi}(\zeta_{i+1}) - \bar{\chi}(\zeta_i))},$$

$$a_i = \frac{(\bar{\chi}(\zeta_{i+1}) - \bar{\chi}(\zeta_i)) - A_{i-1}(\zeta_{i+1} - \zeta_i)}{(\zeta_{i+1} - \zeta_i)^{b_i}}.$$

После определения относительной кривизны $\bar{\chi}(\zeta)$ вычисляются прогибы в произвольной точке ζ_0 по формуле (16). Для аппроксимации функции распределения прогиба по длине балки используем сплайн-функции, аналогичные (17):

$$\bar{W}(\zeta) = \bar{W}(\zeta_{i-1}) + C_{i-1}(\zeta - \zeta_{i-1}) + c_i(\zeta - \zeta_{i-1})^{d_i}, \quad (19)$$

$$C_{i-1} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{W}(\zeta_{i-1}) - \bar{W}(\zeta_{i-2})}{\zeta_{i-1} - \zeta_{i-2}} + \frac{\bar{W}(\zeta_i) - \bar{W}(\zeta_{i-1})}{\zeta_{i-1} - \zeta_i} \right),$$

$$d_i = \frac{C_{i-1} - C_i}{C_{i-1}(\zeta_{i+1} - \zeta_i) - (\bar{W}(\zeta_{i+1}) - \bar{W}(\zeta_i))},$$

$$c_i = \frac{(\bar{W}(\zeta_{i+1}) - \bar{W}(\zeta_i)) - C_{i-1}(\zeta_{i+1} - \zeta_i)}{(\zeta_{i+1} - \zeta_i)^{d_i}}.$$

Значение $\bar{W}(\zeta_i)$ вычисляется по формуле (16)

$$\bar{W}(\zeta_i) = \bar{\Delta}(\zeta_i) = \int_0^L \bar{M}_{1i}(\zeta) \bar{\chi}(\zeta) d\zeta,$$

где $\bar{M}_{1i}(\zeta)$ – распределение по длине балки безразмерного изгибающего момента от действия единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения в точке с координатой ζ_i .

3. Пример использования численно-аналитического метода. В качестве примера применения предложенной выше методики рассмотрим задачу об изгибе однопролетной шарнирно опертой балки (рис. 2) длиной l , нагруженной равномерно распределенной нагрузкой q .

Примем следующие геометрические характеристики балки: высота поперечного сечения $h = 0,4$ м; полезная высота поперечного сечения $h_0 = 0,37$ м; ширина попереч-

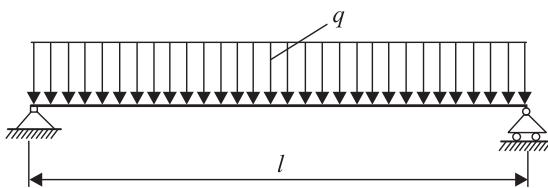


Рис. 2. Шарнирно опертая балка

ного сечения $b = 0,2$ м; длина пролета $l = 4$ м. Материал балки железобетон: условный класс бетона В20; класс арматурной стали А400. Коэффициент армирования μ_s варьируется. Армирование балки выполнено в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Способом аппроксимации диаграмм деформирования бетона посвящено значительное количество публикаций [6, 7]. Многие авторы пытаются аппроксимировать диаграмму одной аналитической функцией. Такой подход не позволяет адекватно отразить все особенности диаграммы. Наиболее проста и эффективна аппроксимация диаграммы с помощью сплайн-функций [8]. В рассматриваемом примере диаграмма растяжения –

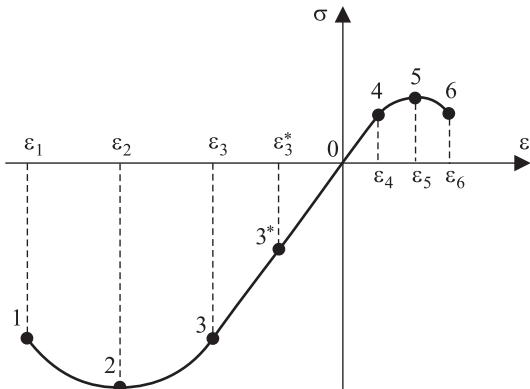


Рис. 3. Диаграмма деформирования бетона

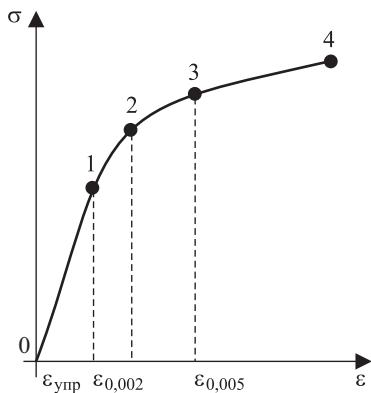


Рис. 4. Диаграмма деформирования арматуры

сжатия бетона (рис. 3) аппроксимируется на участках 1–6 следующими сплайн-функциями:

участок 1–2

$$\sigma_b(\varepsilon) = \sigma_2 + b_2(\varepsilon_2 - \varepsilon)^{m_2};$$

участок 2–3

$$\sigma_b(\varepsilon) = \sigma_3 + E_b(\varepsilon - \varepsilon_3) + b_3(\varepsilon_3 - \varepsilon)^{m_3};$$

участок 3–4

$$\sigma_b(\varepsilon) = E_b\varepsilon;$$

участок 4–5

$$\sigma_b(\varepsilon) = \sigma_4 + E_b(\varepsilon - \varepsilon_4) + b_4(\varepsilon - \varepsilon_4)^{m_4};$$

участок 5–6

$$\sigma_b(\varepsilon) = \sigma_5 + b_5(\varepsilon - \varepsilon_5)^{m_5},$$

где E_b – начальный модуль упругости бетона;

$b_2, m_2, b_3, m_3, b_4, m_4, b_5, m_5$ – коэффициенты сплайна.

Начальный модуль упругости бетона определяется по формуле

$$E_b = \frac{\sigma_4 - \sigma_3}{\varepsilon_4 - \varepsilon_3}.$$

Для ниспадающих участков 1–2, 5–6 примем $m_2 = 2, m_5 = 2$, в этом случае:

$$b_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^{m_2}} > 0, \quad b_5 = \frac{\sigma_6 - \sigma_5}{(\varepsilon_6 - \varepsilon_5)^{m_5}} < 0.$$

Коэффициенты b_3, m_3, b_4, m_4 находятся из условий сопряжения сплайнов в узлах интерполяции (непрерывность сплайнов и их первых производных):

$$b_3 = \frac{\sigma_2 - E_b \varepsilon_2}{(\varepsilon_3 - \varepsilon_2)^{m_3}} > 0, \quad m_3 = \frac{E_b}{\sigma_2 - E_b \varepsilon_2} (\varepsilon_3 - \varepsilon_2) > 1,$$

$$b_4 = \frac{\sigma_5 - E_b \varepsilon_5}{(\varepsilon_5 - \varepsilon_4)^{m_4}} < 0, \quad m_4 = \frac{E_b}{E_b \varepsilon_5 - \sigma_5} (\varepsilon_5 - \varepsilon_4) > 1.$$

Диаграмма растяжения стали (рис. 4) аппроксимируется на участках 0–4 следующими сплайн-функциями:

участок 0–1

$$\sigma_s(\varepsilon) = E_s \varepsilon;$$

участок 1–2

$$\sigma_s(\varepsilon) = \sigma_1 + E_{s2}(\varepsilon - \varepsilon_1) + a_1(\varepsilon - \varepsilon_1)^{n_1};$$

участок 2–3

$$\sigma_s(\varepsilon) = \sigma_2 + E_{s2}(\varepsilon - \varepsilon_2) + a_2(\varepsilon - \varepsilon_2)^{n_2};$$

участок 3–4

$$\sigma_s(\varepsilon) = \sigma_3 + E_{s3}(\varepsilon - \varepsilon_3),$$

где E_s – начальный модуль упругости стали;

E_{s2} – модуль упрочнения в узле 2;

E_{s3} – модуль упрочнения в узле 3;

a_1, a_2, n_1, n_2 – коэффициенты сплайна.

Модуль упрочнения стали в узле 2 E_{s2} принимается равным среднему арифметическому секущих модулей в интервалах 1–2, 2–3, т.е.

$$E_{s2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} + \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{\varepsilon_3 - \varepsilon_2} \right).$$

Модуль упрочнения в узле 3 E_{s3} находится из следующего условия:
 $\sigma_s(\varepsilon_4) = \sigma_4$, откуда

$$E_{s3} = \frac{\sigma_4 - \sigma_3}{\varepsilon_4 - \varepsilon_3}.$$

Коэффициенты сплайна a_1, a_2, n_1, n_2 найдем из условий сопряжений сплайнов в узлах интерполяции:

$$n_1 = \frac{E_s - E_{s2}}{E_s \varepsilon_2 - \sigma_2} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) > 1, \quad a_1 = \frac{\sigma_2 - E_s \varepsilon_2}{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^{n_1}} < 0,$$

$$n_2 = \frac{E_{s2} - E_{s3}}{E_{s2}(\varepsilon_3 - \varepsilon_2) - (\sigma_3 - \sigma_2)} (\varepsilon_3 - \varepsilon_2) > 1,$$

$$a_2 = \frac{(\sigma_3 - \sigma_2) - E_{s2}(\varepsilon_3 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_3 - \varepsilon_2)^{n_2}} < 0.$$

Табл. 1 содержит координаты узлов аппроксимации для построения диаграмм бетона класса B20 и арматуры A400.

Таблица 1. Узлы аппроксимации для построения диаграммы бетона и арматуры

№ узла	1	2	3	4	5	6
<i>Бетон класса B20</i>						
$\sigma, \text{МПа}$	-5,70	-15,00	-5,70	0,82	1,35	0,80
$\varepsilon, \text{м/м}$	$-4,80 \cdot 10^{-3}$	$-2,50 \cdot 10^{-3}$	$-0,20 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	$0,20 \cdot 10^{-3}$	$0,27 \cdot 10^{-3}$
<i>Арматура класса A400</i>						
$\sigma, \text{МПа}$	400	460	520	590	–	–
$\varepsilon, \text{м/м}$	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$2,48 \cdot 10^{-3}$	$5,51 \cdot 10^{-3}$	$58,04 \cdot 10^{-3}$	–	–

На первом шаге проводится расчет разрушаемого сечения. Принимаем $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}^{crc} = \varepsilon_6 = 0,27 \cdot 10^{-3}$ согласно диаграмме деформирования бетона (см. рис. 3). Три неизвестные ε_b , ε_s , ξ определяются как решение системы уравнений (9), (11), (12). Из уравнения (10) определяется значение безразмерного изгибающего момента \bar{M} , где \bar{M} в соответствии с выдвинутой гипотезой можно считать моментом трещинообразования, $\bar{M} = \bar{M}_{crc}$. В табл. 2 представлены результаты расчета разрушающего сечения, выполненные в программном комплексе Mathcad 15, при различных коэффициентах армирования.

Таблица 2. Результаты расчета НДС разрушающего сечения в состоянии предразрушения при различных коэффициентах армирования

Безразмерные физические величины	Значения величин при различных коэффициентах армирования			
	$\mu_s = 0,001$	$\mu_s = 0,0025$	$\mu_s = 0,005$	$\mu_s = 0,01$
$\varepsilon_b \cdot 10^{-4}$	-1,493	-1,561	-1,663	-1,875
$\bar{\psi}(\varepsilon_b)10^{-3}$	-9,252	-9,669	-10,01	-12,00
$\varepsilon_{bt} \cdot 10^{-4}$	2,700	2,700	2,700	2,700
$\bar{\psi}(\varepsilon_{bt})10^{-3}$	1,739	1,739	1,739	1,739
$\varepsilon_s \cdot 10^{-4}$	2,385	2,380	2,373	2,357
$\bar{\phi}(\varepsilon_s)$	0,104	0,103	0,103	0,102
ξ	0,385	0,396	0,412	0,443
$\bar{\chi} \cdot 10^{-4}$	3,879	3,941	4,035	4,231
$\bar{M} \cdot 10^{-3}$	1,157	1,277	1,473	1,864
$\bar{q} \cdot 10^{-5}$	7,917	8,742	10,08	12,76
$\bar{\Delta}$	0,025	0,027	0,029	0,032

В соответствии с описанной выше процедурой выбираем узловые значения $\varepsilon_{bt,i}$ ($i = 1, 2, \dots, 8$) в интервале $0 < \varepsilon_{bt,i} < \varepsilon_{bt}^{crc}$, где $\varepsilon_{bt}^{crc} = \varepsilon_6$ – предельная деформация растяжения бетона согласно диаграмме деформирования бетона (см. рис. 3). Интервал изменения деформаций на участке линейно-упругого деформирования 0–4 (рис. 3) не разбивался на подинтервалы, участок 4–5 разбивался на четыре равных интервала, участок 5–6 разбивался на два равных интервала. Из уравнений (9), (11), (12) определяются значения $\varepsilon_{b,i}$, $\varepsilon_{s,i}$, ξ_i . Затем из уравнения (10) определяется значение безразмерного изгибающего момента \bar{M}_i .

Зависимость изгибающего момента от координаты по длине шарнирно опертой балки (см. рис. 2) описывается известной формулой

$$M(z) = \frac{qz^2}{2} - \frac{qzl}{2}$$

или в безразмерном виде

$$\bar{M}(\zeta) = \frac{\bar{q}\zeta^2}{2} - \frac{\bar{q}\zeta L}{2}, \quad (20)$$

где относительная нагрузка $\bar{q} = q / (b\sigma_{02})$.

Из уравнений (13) и (20) определяется относительная координата ζ_i сечения, в котором изгибающий момент равен \bar{M}_i ($i = 1, 2, \dots, 8$). Затем находятся относительные величины кривизны и прогиба в узловых точках по формулам (15) и (16) соответственно и строятся аппроксимирующие функции для кривизны и прогиба.

По определенным узловым значениям $\varepsilon_{b,i}$, ξ_i , \bar{M}_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) с использованием аппроксимирующих функций вида (17), (19) строятся распределения для высоты сжатой зоны и изгибающего момента в состоянии предразрушения. На рис. 5, 6 приведены распределения относительных высот сжатой зоны ξ и относительных изгибающих моментов \bar{M} при различных значениях коэффициента армирования μ_s .

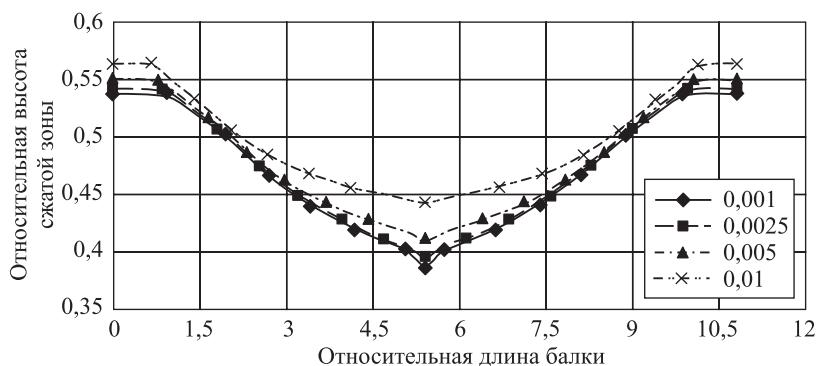


Рис. 5. Распределения относительных высот сжатой зоны при различных значениях коэффициента армирования μ_s

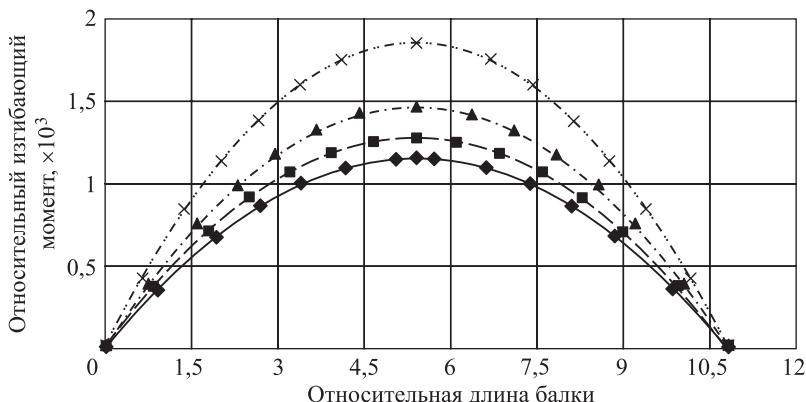


Рис. 6. Распределения относительных изгибающих моментов при различных значениях коэффициента армирования

Усл. обозн. см. на рис. 5

Вследствие физической нелинейности поведения бетона высота сжатой зоны по длине балки не является величиной постоянной (см. рис. 5), кроме приопорных участков, на которых выполняются соотношения закона Гука.

На рис. 7 представлены распределения относительных кривизн $\bar{\chi}$ по относительной длине балки L при различных значениях коэффициента армирования μ_s . Характерно резкое увеличение кривизны на участке в се-

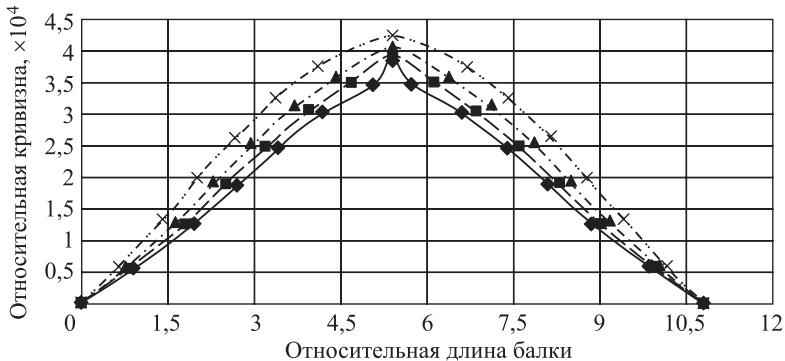


Рис. 7. Распределения относительных кривизн при различных значениях коэффициента армирования
Усл. обозн. см. на рис. 5

редине балки. На этом участке деформации растяжения крайнего нижнего волокна попадают на ниспадающую ветвь диаграммы деформирования бетона (см. рис. 2): $\varepsilon_5 < \varepsilon_{bt} < \varepsilon_6$.

Распределения относительных прогибов $\bar{\Delta}$ по относительной длине балки L при различных значениях коэффициента армирования μ_s показаны на рис. 8. Среднее сечение находится в состоянии предразрушения. Интересно, что большему коэффициенту армирования соответствует большее значение максимальных прогибов. Этот факт объясняется тем, что при увеличении коэффициента армирования соответственно увеличивается изгибающий момент, соответствующий образованию трещины.

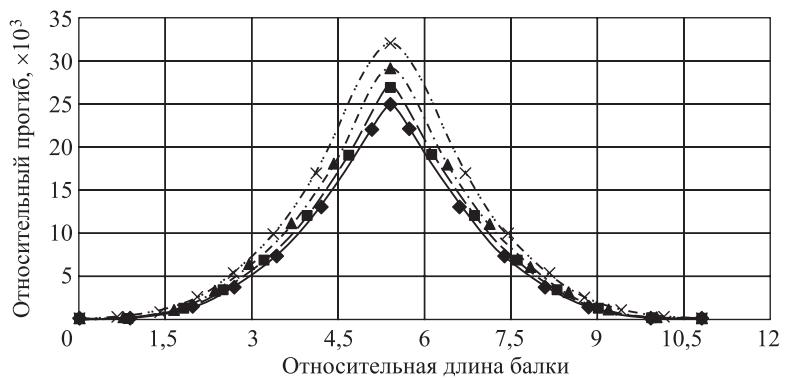


Рис. 8. Распределения относительных прогибов при различных значениях коэффициента армирования
Усл. обозн. см. на рис. 5

Представленные выше результаты расчетов получены для разбиения интервала $0 < \varepsilon_{bt,i} < \varepsilon_{bt}^{crc}$ ($i = 1, 2, \dots, 8$) на семь подинтервалов. Расчеты, проведенные для большего количества подинтервалов (15 и более), показали, что аппроксимации всех величин изменяются незначительно.

4. Заключение. Вычисления показали, что высота сжатой зоны существенно изменяется вдоль балки. Постоянное значение высота сжатой зоны имеет только на участке линейно-упругого деформирования (в приведенном примере на двух припорных участках балки).

Наличие ниспадающего участка на диаграмме бетона выражается в том, что вблизи разрушающего сечения наблюдается резкое увеличение кривизны нейтральной линии. Как следствие, резко возрастают прогибы балки в окрестности разрушающего сечения. Наибольшему значению коэффициента армирования соответствуют и наибольшие прогибы. Это объясняется тем, что все распределения строятся для случая, когда деформации растяжения в разрушающем сечении достигают предельного значения. При наибольшем коэффициенте армирования в разрушающем сечении реализуется наибольший момент.

Использованный единый подход к построению аппроксимирующих зависимостей в виде сплайн-функций позволяет строить аналогичные зависимости при решении других задач деформирования железобетонных элементов с учетом реальных свойств материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М у р а ш о в В.И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона. М.: Машстройиздат, 1950. 268 с.
2. M it a s o v V.M., A d i s h c h e v V.V. New calculation techniques for reinforced concrete // Application of codes, design and regulations. Dandy. 2005. Pp. 655–663.
3. М и т а с о в В.М., А д и щ е в В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 6. С. 3–7.
4. А д и щ е в В.В., М и т а с о в В.М., Р о о т В.В., Ш м а к о в Д.С. Динамический эффект при образовании трещины нормального отрыва в изгибающихся железобетонных элементах // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 2. С. 3–14.
5. А д и щ е в В.В., Д е м е ш к и н А.Г., Р о о т В.В., Ш у л ь г а В.К. Построение и экспериментальная апробация математических моделей образования и роста трещин в изгибающихся железобетонных элементах // Деформирование и разрушение структурно неоднородных сред и конструкций: тез. докл. II Всерос. конф. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 5.
6. К а р п е н к о Н.И. К построению обобщенной зависимости для диаграмм деформирования бетона // Строит. конструкции. Минск, 1983. С. 164–173.
7. М и т а с о в В.М., А д и щ е в В.В., Ф е д о р о в Д.А. Развитие теории сопротивления железобетона // Пром-сть строит. материалов. Сер. 3. Промышленность сборного железобетона. Аналит. обзор. 1990. Вып. 4. 45 с.
8. З а в ь я л о в Ю.С., К в а с о в Б.И., М и р о ш н и ч е н к о В.Л. Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980. 352 с.

Адищев Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Мальцев Виктор Васильевич, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 24.08.16

Adishchev Vladimir Vasil'evich, DSc, Professor

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

Mal'tsev Viktor Vasil'evich, Post-graduate Student

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

THE NUMERICAL-ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE DEFLECTION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH USE REAL NONLINEAR STRESS-STRAIN CHARTS OF CONCRETE

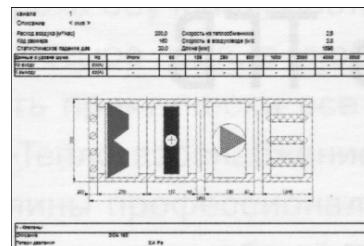
We propose a method constructing approximations of functions deflection of reinforced concrete beams. Uses a single approach to the construction of approximations of deformation diagrams of concrete and reinforcement, by means of approximations of the curvature function, the distribution function the height of the compressed zone. Numerical-analytical method for determining the deflection of reinforced concrete beams with real concrete stress-strain charts was developed. The method was implemented by a concrete example of calculation of simply supported reinforced concrete beam. It is shown that such characteristics of the stress-strain state, as the height of the compressed zone of the concrete, the curvature of the neutral line substantially independent of the coordinate along the length of the beam. Interesting features of dependencies deflection function of the value of reinforcement ratio in a state of pre-fracture were obtained.

Key words: numerically-analytical method, the physical nonlinearity, charts of deformation, bending, concrete.

REFERENCES

1. M u r a s h o v V.I. Treshchinoustoychivost', zhestkost' i prochnost' zhelezobetona [Resistance to cracking, stiffness and strength of the concrete]. Moscow, Mashstroyzdat, 1950. 268 p. (in Russian)
2. M i t a s o v V.M., A d i s h c h e v V.V. New calculation techniques for reinforced concrete. Application of codes, design and regulations. Dandy. 2005. Pp. 655–663.
3. M i t a s o v V.M., A d i s h c h e v V.V. Osnovnye polozheniya energeticheskoy teorii sопротивлениya zhelezobetona [Main regulations of energy theory of reinforced concrete strength]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 6. Pp. 3–7. (in Russian)
4. A d i s h c h e v V.V., M i t a s o v V.M., R o o t V.V., S h m a k o v D.S. Dinamicheskiy effekt pri obrazovanii treshchiny normal'nogo otryva v izgibaemykh zhelezobetonnykh elementakh [Dynamic effects in cracking normal lead in the bending of reinforced concrete elements]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 2. Pp. 3–14. (in Russian)
5. A d i s h c h e v V.V., D e m e s h k i n A.G., R o o t V.V., S h u l ' g a V.K. Postroenie i eksperimental'naya aprobatziya matematicheskikh modeley obrazovaniya i rosta treshchin v izgibaemykh zhelezobetonnykh elementakh [The construction and experimental testing of mathematical models of the formation and growth of cracks in flexural reinforced concrete elements]. Deformirovanie i razrushenie strukturno neodnorodnykh sred i konstruktsiy: tez. dokl. II Vseros. konf. [Deformation and fracture of structurally inhomogeneous media and designs: theses and reports of II All-Russia. conf.]. Novosibirsk, Publishing house of Novosibirsk State Technical University, 2011. P. 5. (in Russian)
6. K a r p e n k o N.I. K postroeniyu obobshchennoy zavisimosti dlya diagramm deformirovaniya betona [Construction of generalized dependence for concrete deformation diagrams]. Stroitel'nye konstruktsii [Building construction]. Minsk, 1983. Pp. 164–173. (in Russian)
7. M i t a s o v V.M., A d i s h c h e v V.V., F e d o r o v D.A. Razvitie teorii sопротивлениya zhelezobetona [Development of the theory of resistance of reinforced concrete]. Promyshlennost' stroitel'nykh materialov. Seriya 3. Promyshlennost' sbornogo zhelezobetona. Analiticheskiy obzor [Building materials industry. Series 3. Industry precast concrete. Analytical Review]. 1990. Iss. 4. 45 p. (in Russian)
8. Z a v ' y a l o v Yu.S., K v a s o v B.I., M i r o s h n i c h e n k o V.L. Metody splayn-funktsiy [Spline-functions methods]. Moscow, Nauka, 1980. 352 p. (in Russian)

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



УДК 534.014

А.В. ДУКАРТ

ВЕРХНЯЯ ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗМУЩЕНИИ С ОГРАНИЧЕННОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Часть 1. СИСТЕМА БЕЗ ЗАТУХАНИЯ

Рассматриваются установившиеся колебания линейного осциллятора без демпфирования при T -периодических возмущающих нагрузках, удовлетворяющих интегральному ограничению. Используя неравенство Коши–Буняковского, найдено максимальное отклонение системы и соответствующее возмущающее воздействие. Предложенный подход может быть обобщен на линейные системы с произвольным числом степеней свободы.

Ключевые слова: линейная система, периодическая нагрузка, интегральное ограничение, максимальное отклонение.

В практике проектирования и динамического анализа различных машин, измерительных приборов и строительных конструкций, систем амортизации и виброизоляции, автоматического регулирования и управления и других технических приложениях зачастую точное выражение возмущающей нагрузки $p(t)$ не задано; известны лишь некоторые ограничения, которым она должна удовлетворять. В таких ситуациях для оценки величин наиболее важных характеристик колебательных систем (отклонений, скоростей и ускорений при различных режимах колебаний, времени установления стационарных режимов движения, времени успокоения колебаний и др.) могут быть использованы методы теории накопления возмущений [1–4], требующие весьма малой исходной информации о действующих на систему возмущающих нагрузках. В частности, в задачах о накоплении периодических возмущений при определении верхней границы отклонения системы обычно задается максимальная по модулю величина (амплитуда) и период возмущающей нагрузки, т.е. $p(t) \equiv p(t+T), |p(t)| \leq p_0$ [1, 2, 5]. В остальном функции $p(t)$, описывающие возмущающую нагрузку, могут быть любыми однозначными функциями времени, удовлетворяющими так называемым условиям Дирихле [6].

В настоящей статье при решении аналогичной задачи определения наибольшего отклонения линейной системы в установившемся режиме предполагается, что функции $p(t) \equiv p(t+T)$, описывающие возмущающую нагрузку, удовлетворяют интегральному ограничению

$$\frac{1}{p_0^2 T} \int_0^T p^2(\tau) d\tau \leq R, \quad (1)$$

где R – заданная безразмерная величина;

p_0 – максимальное значение возмущающей нагрузки.

Входящий в (1) интеграл от квадрата функции может, в частности, выражать энергию возмущающей нагрузки или общую колебательную энергию системы [7]. Такие интегралы используются также при вычислении дисперсии перемещений и усилий дискретных и континуальных систем, при определении средней квадратической ошибки при аппроксимации некоторой функции, при вычислении обобщенных масс колебательных систем с распределенными массами и других величин.

Пусть функция $x(t)$ представляет собой периодическое решение периода T , описывающее стационарные колебания некоторой линейной системы, соответствующее возмущающей нагрузке $p(t)$. Она может выражать отклонение массы осциллятора, абсолютное или относительное перемещение одной из масс дискретной многомассовой системы и др.

Так как рассматриваемая система линейна, то задачу определения верхней границы ее максимального отклонения в установившемся режиме можно сформулировать следующим образом. Среди функций $p(t)$, описывающих периодическую возмущающую нагрузку и принадлежащих множеству $P(t)$, отвечающему ограничению (1), найти такую, которая доставляет максимум функционалу

$$J = \int_0^T x^2(\tau) d\tau. \quad (2)$$

Отметим, что в такой постановке задача оценки верхнего предела отклонения линейных колебательных систем в известной нам литературе не рассматривалась, поэтому, как и в [2], найдем ее решение отдельно для консервативной и неконсервативной систем.

В первой части статьи рассмотрим решение задачи на примере простейшей механической системы – линейном осцилляторе без демпфирования (рис. 1), колебания которого описываются дифференциальным уравнением

$$\ddot{x}(t) + \omega^2 x(t) = \frac{p(t)}{m}. \quad (3)$$

Здесь $x(t)$ – абсолютное отклонение массы m ;

$\omega = \sqrt{c/m}$ – частота собственных колебаний;

c – жесткость упругой связи системы.

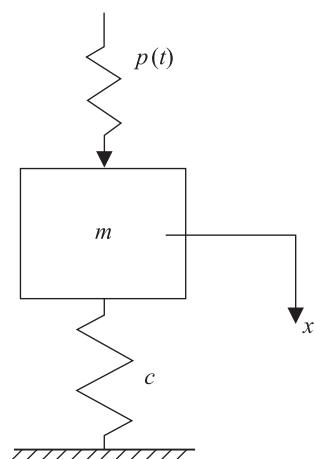


Рис. 1. Консервативная система с одной степенью свободы

Стационарное решение уравнения (3), отвечающее произвольной периодической нагрузке $p(t)$, может быть представлено в виде [8]

$$\begin{aligned} x(t) = & \frac{1}{2m\omega} \left[(\operatorname{ctg} 0,5\omega T \cos \omega t - \sin \omega t) \int_0^T p(\tau) \cos \omega \tau d\tau + \right. \\ & \left. + (\operatorname{ctg} 0,5\omega T \sin \omega t + \cos \omega t) \int_0^T p(\tau) \sin \omega \tau d\tau \right] + \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \sin \omega(t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

Отметим, что в качестве исходной функции отклонений $x(t)$ могут быть использованы отличные по форме от (4) выражения для реакции линейного осциллятора на периодическое воздействие произвольного вида (см., например, [2, 9, 10]).

Совместим начало отсчета времени ($t = 0$) с точкой максимума функции $x(t)$ в интервале $0 \leq t \leq T$. Очевидно, что вследствие периодичности функции $x(t)$ она достигает максимума также при $t = T$.

Используя (4), найдем отклонение системы на концах интервала $0 \leq t \leq T$:

$$x(T) = x(0) = \frac{1}{2m\omega} \left[\operatorname{ctg} 0,5\omega T \int_0^T p(\tau) \cos \omega \tau d\tau + \int_0^T p(\tau) \sin \omega \tau d\tau \right]. \quad (5)$$

С другой стороны, вследствие линейности системы отклонение $x(T)$ может быть представлено в виде [2, 10]

$$x(T) = \int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau. \quad (6)$$

Из условия эквивалентности выражений (5) и (6) найдем функцию $s(T, t)$:

$$s(T, t) = \frac{\cos \omega(t - 0,5T)}{2m\omega \sin 0,5\omega T}. \quad (7)$$

Внесем решение $x(T)$, определяемое выражением (6), в функционал (2) при $\tau = T$:

$$J = \int_0^T \left[\int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau \right]^2 d\tau. \quad (8)$$

Преобразуем функционал (8), воспользовавшись известным неравенством Коши–Буняковского [6]:

$$\left[\int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau \right]^2 \leq \int_0^T p^2(\tau) d\tau \cdot \int_0^T s^2(T, \tau) d\tau. \quad (9)$$

Учитывая исходное ограничение (1), из (9) следует очевидное неравенство

$$\left[\int_0^T p(\tau) s(T, \tau) d\tau \right]^2 \leq p_0^2 T R \varphi(T), \quad (10)$$

где функция $\varphi(T)$ определяется выражением

$$\varphi(T) = \int_0^T s^2(T, \tau) d\tau. \quad (11)$$

Подставляя функцию $s(T, \tau)$ (формула (7)) в (11), найдем значение функции $\varphi(T)$, не зависящее от вида внешнего периодического воздействия $p(t)$:

$$\varphi(T) = \frac{1}{(2m\omega \sin 0,5\omega T)^2} \int_0^T \cos^2 \omega(\tau - 0,5T) d\tau = \frac{\omega T + \sin \omega T}{8m^2 \omega^3 \sin^2 0,5\omega T}. \quad (12)$$

С учетом (12) из условия равенства в (10) найдем максимум функции отклонения системы

$$x(T) = p_0 \sqrt{TR\varphi(T)} = \frac{p_0}{2m\omega \sin 0,5\omega T} \sqrt{\frac{TR(\omega T + \sin \omega T)}{2\omega}}. \quad (13)$$

Определим функцию $p(t)$, доставляющую функционалу (8) полученный максимум $x(T)$. Для этого учтем, что в неравенстве Коши–Буняковского (9) равенство выполняется, если функция возмущающей нагрузки $p(t)$ пропорциональна функции $s(T, t)$, т.е.

$$p(t) = ks(T, t). \quad (14)$$

При этом условии в соотношении (1) имеет место равенство, из которого найдем величину коэффициента пропорциональности

$$k = p_0 \sqrt{\frac{TR}{\varphi(T)}}. \quad (15)$$

Внося (15) и (7) в (14), получим функцию возмущающей нагрузки

$$p(t) = p_0 \sqrt{\frac{2TR\omega}{\omega T + \sin \omega T}} \cos \omega(t - 0,5T). \quad (16)$$

Некоторые результаты расчетов, характеризующих зависимость максимального отклонения от частоты внешнего воздействия в интервале $0,4 \leq \lambda \leq 1,6$, приведены на рис. 2, где $X = x(T)/x_0$; $x_0 = p_0/c$ – статическое перемещение массы системы при максимальной возмущающей нагрузке p_0 ; $\lambda = \theta/\omega$ – безразмерная частота; $\theta = 2\pi/T$ – частота возмущающей нагрузки. Как видно (см., например, кривые $X(\lambda)$ при $\lambda = 0,5$), резонанс имеет место не только при равенстве частот собственных и вынужденных колебаний, но и в тех случаях, когда собственная частота кратна частоте возмущающей нагрузки (при этом знаменатель формулы (13) равен нулю).

Сопоставление резонансных кривых, отвечающих различным значениям параметра R в ограничении (1), свидетельствует о том, что при фиксированной величине частоты возмущения с ростом параметра R отклонение массы системы увеличивается, причем оно происходит пропорционально квадратному корню из величины отношения соответствующих значений па-

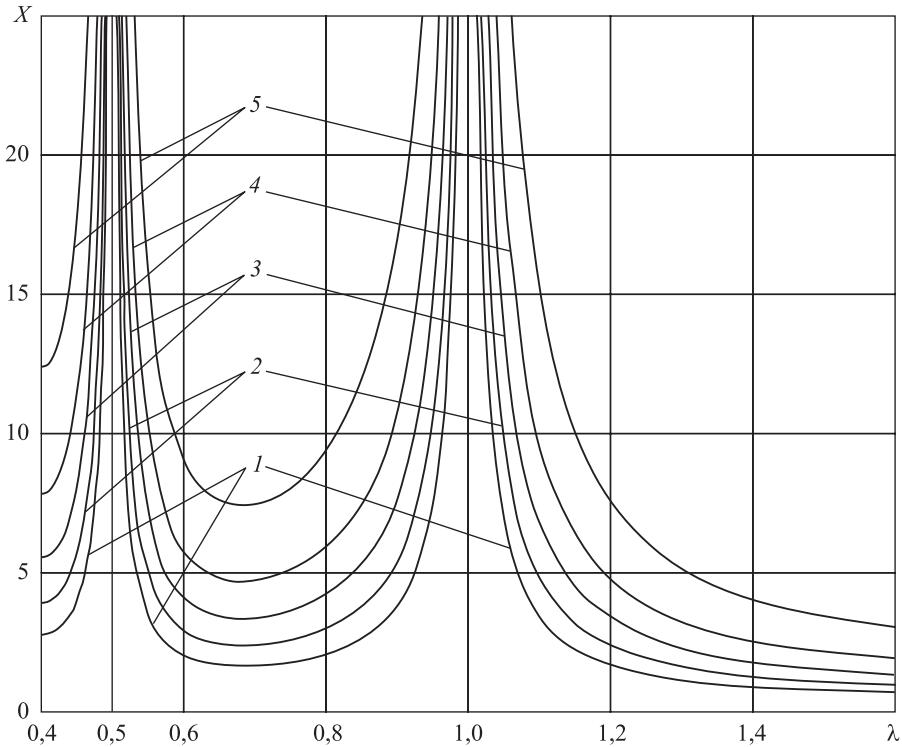


Рис. 2. Резонансные кривые колебаний массы системы при некоторых значениях величины R
 $1 - R = 0,25; 2 - R = 0,5; 3 - R = 1; 4 - R = 2; 5 - R = 5$

метра R . В общем случае для любого значения λ между величинами отклонений масс системы имеет место соотношение

$$X_k(\lambda) = \sqrt{R_k / R_i} X_i(\lambda), \quad (17)$$

где индексами i и k обозначены номера сопоставляемых резонансных кривых. Так, например (см. рис. 2), для ординат резонансных кривых 2 и 4 согласно (17) справедливы соотношения

$$X_2(\lambda) = \sqrt{0,5 / 2} X_4(\lambda) = 0,5 X_4(\lambda),$$

а для кривых 1 и 5 — соотношения

$$X_1(\lambda) = \sqrt{0,25 / 5} X_5(\lambda) = 0,2236 X_5(\lambda).$$

Сравнивая приведенные на рис. 2 резонансные кривые с амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) колебаний массы при гармонической нагрузке [8], можно сделать заключение, что в диапазоне частот основного резонанса ($0,8 \leq \lambda \leq 1,2$) наиболее близка к АЧХ кривая 2, соответствующая значению параметра $R = 0,5$.

Отметим, что предлагаемый в настоящей статье подход к оценке максимального отклонения линейных систем при периодических возмущениях произвольного вида может быть использован также для решения аналогичных задач о колебаниях неконсервативных систем (см. вторую часть настоящей статьи), в том числе с произвольным числом степеней свободы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булгаков Б.В. Колебания. М.: ГИТГЛ, 1954. 891 с.
2. Израилович М.Я. Оценки – задачи о накоплении отклонений в прикладной теории колебаний. М.: ЛКИ, 2010. 144 с.
3. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Кн. 2. Анализ и синтез линейных непрерывных и дискретных систем автоматического регулирования / под ред. В.В. Соловникова. М.: Машиностроение, 1967. 682 с.
4. Уланов Г.М. Динамическая точность и компенсация возмущений в системах автоматического управления (накопление и компенсация возмущений). М.: Машиностроение, 1970. 260 с.
5. Троицкий В.А. О накоплении периодических возмущений // Механика твердого тела. 1966. № 5. С. 168–170.
6. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т.II. М.: Наука, 1974. 656 с.
7. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. М.: Мир, 1971. 558 с.
8. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Политехника, 1990. 272 с.
9. Дукарт А.В. К определению установившихся колебаний линейной системы при произвольной периодической возмущающей нагрузке // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 8. С. 5 –12.
10. Розенвассер Е.Н. Колебания нелинейных систем. Метод интегральных уравнений. М.: Наука, 1969. 576 с.

Дукарт Адам Вилебальдович, д-р техн. наук, проф.
Московский государственный строительный университет

Получено 11.08.16

Dukart Adam Vilebał'dovich, DSc, Professor
Moscow State University of Civil Engineering, Russia

UPPER BOUND FOR THE MAXIMUM AMPLITUDE F LINEAR SYSTEMS WITH PERIODIC PERTURBATION OF LIMITED ENERGY

Part 1. SYSTEM WITHOUT DAMPING

We consider the steady-state oscillations of a linear system with no damping at T -periodic exciting force, satisfying integral constraint. Using the Cauchy-Schwarz inequality, we found the maximum amplitude of the system and the corresponding excitation. The proposed approach can be generalized to linear systems with an arbitrary number of degrees of freedom.

Keywords: linear system, periodic excitation, integral constraint, maximum amplitude.

REFERENCES

1. Bulgakov B.V. Kolebaniya [Oscillations]. Moscow, GITTL, 1954. 891 p. (in Russian)
2. Izrailevich M.Ya. Otsenki – zadachi o nakoplenii otkloneniy v prikladnoy teorii kolebaniy [Bounds for the problem of accumulation of deviations in the applied oscillation theory]. Moscow, LKI, 2010. 144 p. (in Russian)
3. Tekhnicheskaya kibernetika. Teoriya avtomaticheskogo regulirovaniya. Kniga 2. Analiz i sintez lineynykh nepreryvnykh i diskretnykh system avtomaticheskogo regulirovania; pod red. V.V. Solodovnikova [Technical cybernetics. The theory of automatic control. Book 2. Analysis and synthesis of linear continuous and discrete automatic control systems; ed. by V.V. Solodovnikov]. Moscow, Mashinostroenie, 1967. 682 p. (in Russian)

4. U l a n o v G.M. Dinamicheskaya tochnost' i kompensatsiya vozmushcheniy v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya (nakoplenie i kompensatsiya voz-mushcheniy) [Dynamic accuracy and compensation of disturbances in automatic control systems (accumulation and compensation of disturbances)]. Moscow, Mashinostroenie, 1970. 260 p. (in Russian)
 5. T r o i t s k i y V.A. O nakoplenii periodicheskikh vozmushcheniy [On the accumulation of periodic perturbations]. Mekhanika tverdogo tela [Mechanics of Solids]. 1966. No. 5. P. 168–170. (in Russian)
 6. S m i r n o v V.I. Kurs vysshey matematiki. T. II [Treatise on higher mathematics. Vol. II]. Moscow, Nauka, 1974. 656 p. (in Russian)
 7. S k u c h i k E. Prostye i slozhnye kolebatel'nye sistemy [Simple and complex vibratory systems]. Moscow, Mir, 1971. 558 p. (in Russian)
 8. P a n o v k o Ya.G. Osnovy prikladnoy teorii kolebaniy i udara [Basics of applied theory of vibrations and impact]. Leningrad, Politekhnika, 1990. 272 p. (in Russian)
 9. D u k a r t A.V. K opredeleniyu ustannovivshikhsya kolebaniy lineynoy sistemy pri proizvol'noy periodicheskoy vozmushchayushchey nagruzke [Determination of steady state vibrations of linear system under periodic excitation]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 8. Pp. 5–12. (in Russian)
 10. R o z e n w a s s e r E.N. Kolebaniya nelineynykh sistem. Metod integral'nykh uravneniy [Oscillations in nonlinear systems. The method of integral equations]. Moscow, Nauka, 1969. 576 p. (in Russian)
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.31 : 666.964.3

В.Т. ЕРОФЕЕВ, М.А. ЛИКОМАСКИНА, В.Ф. СМИРНОВ,
О.Н. СМИРНОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСТОЙКОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ И ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ, ЭКСПОНИРОВАННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО МОРСКОГО КЛИМАТА

Представлены результаты лабораторных исследований биостойкости модифицированных асфальтобетонов и изучения видового состава мицелиальных грибов, заселяющих образцы при выдерживании их в климатических условиях Черноморского побережья в районе Абрау-Дюрсо. Выявлено, что введение в состав асфальтобетонов специальных добавок изменяет их гибостойкость. Показано, что значительное влияние на разнообразие видового состава микроорганизмов оказывают условия экспозиции образцов и состав асфальтобетонной смеси. Изучено влияние предварительного старения модифицированных асфальтобетонов в морской воде на обрастаемость образцов мицелиальными грибами. Выявлены наиболее стойкие к воздействию мицелиальных грибов составы асфальтобетона.

Ключевые слова: асфальтобетон, модифицированный асфальтобетон, микроорганизмы, биостойкость, долговечность.

Во время эксплуатации здания и сооружения подвержены негативному воздействию различных агрессивных сред: физических, химических, биологических. Биологические среды представляют собой продукты жизнедеятельности различных макро- и микроорганизмов. Среди последних наиболее часто встречаются бактерии, мицелиальные грибы, актиномицеты [1]. Степень разрушительного воздействия микроорганизмов определяется различными факторами. Поражение строительных материалов наиболее интенсивно идет при повышенной влажности, относительно высоких температурах, обилии загрязнений органической и неорганической природы. При благоприятных для развития микроорганизмов условиях разрушительные процессы начинаются с переноса их на поверхность изделий, адсорбции, образовании и роста колоний за счет прорастания спор и разрастания гиф микромицетов, сопровождающегося выделением продуктов метаболизма, их накоплением, коррозионным и деструктивным воздействием [2].

© Ерофеев В.Т., Ликомаскина М.А., Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н., 2016

Содержание воды в материале является одним из решающих факторов предельного накопления биомассы и скорости роста микроорганизмов. Большинство грибов, вызывающих повреждение и биокоррозию, обладают огромной энергией размножения. Грибы размножаются спорами (конидиями), образующимися в количестве, исчисляемом сотнями тысяч и миллионами на малую поверхность субстрата. Они способны распространяться потоком воздуха, оседать на частицах органической и минеральной пыли, а затем и на различных поверхностях [3].

Известно, что микроорганизмы наиболее быстро и эффективно развиваются на твердых углеводородах и медленнее – на жидких и газообразных. Достаточно легко окисляются в присутствии микроорганизмов алканы нормального строения, алкены и циклоалканы, медленнее ароматические углеводороды с образованием различных окси- и кетокислот [4]. Все указанные углеводороды в различных соотношениях входят в состав битумов. Кроме твердых углеводородов нефти, биологическому воздействию могут подвергаться неорганические компоненты асфальтобетона – гравий, щебень, песок, минеральный порошок, так как для развития микроорганизмов необходимо наличие не только углерода, но и минеральных солей, содержащих различные элементы.

Если исходить из специфиности грибов к тем или иным субстратам, то в качестве микроконструкторов выступают главным образом неспецифические сапротрофы, способные заселять разные субстраты. Это представители видов родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, причем преобладают первые три рода. Источником заражения этой группой грибов являются почва, органические остатки, воздух [5–7].

Жизнедеятельность бактерий и микроскопических грибов на различных строительных материалах, в том числе на дорожном асфальтобетоне, связана со свойством микроорганизмов приспособливаться к самым разнообразным условиям существования и использовать различные вещества в качестве источников питания [4].

Кроме разрушений различных строительных материалов, микроорганизмы могут вызывать заболевания людей и животных. Микробы, содержащиеся в воздухе и на поверхности строительных материалов и изделий, могут оседать на коже или попадать в организм человека. По статистическим данным в 20 % случаев больные умирают от микоза и поражения грибковой инфекцией, 50 % заболеваний бронхиальной астмой связано с поражением микромицетами. Они же вызывают пенициллез, часто сопровождающийся воспалением суставов и костей [8].

Целью настоящих исследований является исследование грибостойкости модифицированных асфальтобетонов в лабораторных условиях и определение видового состава микроскопических грибов, выделенных с образцов при испытаниях их в натурных условиях (влияние повышенной влажности, ультрафиолетового облучения, солевого тумана, морской воды) в течение 36 месяцев.

При проведении исследований использовались следующие материалы: в качестве крупного заполнителя – щебень гранитный фракции 3–10 мм по ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строитель-

ных работ. Технические условия» с насыпной плотностью – 1,59 г/см³ (ООО «Иссинский комбинат строительных материалов», п.г.т. Илса), в качестве мелкого заполнителя – природный песок карьера Смольный по ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» (песок мелкий I класса) с истинной плотностью – 2,6 г/см³ и насыпной плотностью – 1,28 г/см³ (Республика Мордовия, п. Смольный), песок из отсевов дробления по ГОСТ 8735–88 (песок крупный II класса) с истинной плотностью – 2,81 г/см³ и насыпной плотностью – 1,67 г/см³ (ООО «Иссинский комбинат строительных материалов», п.г.т. Илса), неактивированный минеральный порошок МП-1 из карбонатных пород с истинной плотностью – 2,71 г/см³ и средней плотностью – 1,71 г/см³ по ГОСТ Р 52129–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия» (ООО «Иссинский комбинат строительных материалов», п.г.т. Илса), битум марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245–90 (ОАО «Лукойл-Нижегороднефтегазинтез», г. Кстово). В качестве модификатора использовалось поверхностно-активное вещество «Телаз» марок Л1-Л3, Л5, Л6, синтезированное по специально разработанной технологической схеме (ООО «Интерпромсервис», г. Саров).

Было исследовано четыре основных типа асфальтобетона (1 – щебеночный плотный тип А, 2 – щебеночный плотный тип Б, 3 – песчаный плотный тип Г, 4 – песчаный плотный тип Д), наиболее часто применяемых в дорожном строительстве, и их модифицированные производные с различными марками добавки «Телаз» (+ 2 % в вяжущем). Для каждого типа асфальтобетона изготавливались шесть составов, пять из которых содержали добавки (1–5), а один – контрольный, без добавок (0). В результате было получено четыре серии составов: 4 контрольных (А-0, Б-0, Г-0, Д-0), 18 с добавками (А-1...А-5, Б-1...Б-5, Г-1...Г-4, Д-1...Д-4), итого 22 состава. Процентный состав компонентов каждой асфальтобетонной смеси подбирался в соответствии с ГОСТ 9128–97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». Содержание компонентов в составах приведено в табл. 1.

Грибостойкость и фунгицидность модифицированных асфальтобетонов оценивали в соответствии с ГОСТ 9.049–91 «Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов», методы 1 и 3 в лаборатории микробиологического анализа НИИХ ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород). Метод 1 устанавливает грибостойкость материалов и их компонентов при отсутствии минеральных и органических загрязнений. Сущность метода заключается в том, что очищенный от внешних загрязнений материал заражают спорами плесневых грибов в воде. Плесневые грибы растут только на питательных веществах, содержащихся в материале. Материал считается выдержавшим испытания, если интенсивность грибов на его поверхности или характерные показатели свойств соответствуют требованиям, установленным в НТД, или требованиям, предъявляемым к изделиям (материалам), в которых испытуемый материал используют. Однако при наличии внешних загрязнений, поддерживающих рост грибов-дест-

Таблица 1. Составы асфальтобетонов

Тип асфальтобетона	№ состава	Содержание составляющих в составах, масс. %									
		щебень фр. 3–10 мм	отсыпь дробления	минеральный порошок	БНД 60/90, сверх 100 %	природный песок	«Телаз» 1 – 2,0 % (в связующем)	«Телаз» 2 – 2,0 % (в связующем)	«Телаз» 3 – 2,0 % (в связующем)	«Телаз» 5 – 2,0 % (в связующем)	«Телаз» 6 – 2,0 % (в связующем)
А	0	60	32	8	4,7	–	–	–	–	–	–
	1	60	32	8	4,6	–	0,1	–	–	–	–
	2	60	32	8	4,6	–	–	0,1	–	–	–
	3	60	32	8	4,6	–	–	–	0,1	–	–
	4	60	32	8	4,6	–	–	–	–	0,1	–
	5	60	32	8	4,6	–	–	–	–	–	0,1
Б	0	45	50	5	5,0	–	–	–	–	–	–
	1	45	50	5	4,9	–	0,1	–	–	–	–
	2	45	50	5	4,9	–	–	0,1	–	–	–
	3	45	50	5	4,9	–	–	–	0,1	–	–
	4	45	50	5	4,9	–	–	–	–	0,1	–
	5	45	50	5	4,9	–	–	–	–	–	0,1
Г	0	–	69	6	9,0	25	–	–	–	–	–
	1	–	69	6	8,82	25	0,18	–	–	–	–
	2	–	69	6	8,82	25	–	0,18	–	–	–
	3	–	69	6	8,82	25	–	–	0,18	–	–
	4	–	69	6	8,82	25	–	–	–	0,18	–
Д	0	–	34	6	10	60	–	–	–	–	–
	1	–	34	6	9,8	60	0,20	–	–	–	–
	2	–	34	6	9,8	60	–	0,20	–	–	–
	3	–	34	6	9,8	60	–	–	0,20	–	–
	4	–	34	6	9,8	60	–	–	–	0,20	–

рукторов на материале, последний может быть использован грибами в качестве источника питания, т.е. потерять свои гибостойкие свойства.

Метод 3 устанавливает наличие фунгицидных и фунгистатических свойств и гибостойкость материалов и их компонентов в условиях, имитирующих минеральные и органические загрязнения. Сущность метода заключается в том, что материал заражают спорами плесневых грибов в растворе минеральных солей с добавлением сахара (среда Чапека-Докса). Материал обладает фунгицидными свойствами, если вокруг образца на питательной среде наблюдается ингибиторная зона (зона отсутствия развития грибов) или на поверхности и краях образца обнаружены грибы, интенсивность развития которых оценивается не более 1 балла по шестибалльной шкале ГОСТ 9.048–89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов».

Для определения биологической стойкости песчаных асфальтовых составов были сформированы образцы-балочки размером 1,0×1,0×3,0 см в специально изготовленной форме [9]. В лабораторных условиях определить грибостойкость и фунгицидность щебеночных асфальтобетонов не представлялось возможным, так как имелись ограничения по высоте чашки Петри – сосуда для выдерживания образцов и специальной формы для изготовления образцов 1,0×1,0×3,0 см по сравнению с крупностью и формой щебня, применяемого при изготовлении щебеночных асфальтов. В качестве тест-культур использовались следующие виды микроскопических грибов: *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*. Данные виды грибов получены из Всероссийской коллекции микроорганизмов.

Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2. Устойчивость асфальтобетонных образцов с добавками «Телаз» к воздействию микроорганизмов

Тип асфальтобетона	№ состава	Степень роста грибов, в баллах		Характеристика по ГОСТ 9.049–91
		по методу 1	по методу 3	
Г	1	2	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	2	2	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	3	2	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	4	2	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	5	3	5	Негрибостойкий
Д	1	2	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	2	1	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	3	1	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	4	1	5	Грибостойкий, нефунгицидный
	5	3	5	Негрибостойкий

Результаты испытаний, представленные в табл. 2, показали, что введение в асфальтовую смесь модифицированных добавок оказывает неоднозначное влияние на ее грибостойкость. Так, введение специальных добавок марок «Телаз» Л2 в составы Г-2 и Д-2, «Телаз» Л3 и Л5 в составы Д-3 и Д-5 обеспечивает им устойчивость к действию микромицетов, рост которых на поверхности образцов получил оценку 1 балл (под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий), т. е. на материалах происходит незначительное развитие грибов. Введение добавок марок «Телаз» Л1 в составы Г-1 и Д-1, «Телаз» Л2, Л3 и Л5 в составы Г-2, Г-3, Г-4 и Д-2, Д-3, Д-4 обеспечивает им устойчивость к действию микромицетов, рост которых на поверхности образцов получил оценку 2 балла (под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение). Следует отметить, что введение в состав асфальтобетона добавки марки «Телаз» Л6 приводит к снижению грибостойких свойств (составы Г-5 и Д-5). Результаты испытаний также показали, что все испытанные образцы модифицированных асфальтобетонов

не обладают фунгицидной активностью по отношению к смеси используемых тест-культур грибов.

В условиях эксплуатации в различных климатических зонах строительные материалы и изделия из них подвергаются негативному воздействию факторов внешней среды, которые оказывают влияние как на жизнедеятельность биоагентов, так и на изменение химического состава и структуры материала, что в конечном счете оказывает влияние на степень их разрушения [10].

В этой связи были проведены натурные исследования в условиях влажного морского климата. Полученные образцы асфальтобетонов на чистом битуме и модифицированных специальными добавками типа «Телаз» (см. табл. 1) выдерживали в натурных условиях морского климата в районе Абрау-Дюрсо (Краснодарский край). Образцы асфальтобетона были помещены в морскую воду и на пирс – в условиях переменной влажности на границе раздела сред вода/воздух. Срок экспозиции составлял 36 месяцев. Затем образцы, выдержаные в морской воде, извлекали из нее и помещали в воздушную среду (пирс) на один месяц. Результаты физико-механических испытаний асфальтобетонов на чистом битуме и модифицированных добавкой типа «Телаз» различных марок после воздействия климатических факторов представлены в ранее опубликованной статье авторов [11]. После выдерживания в вышеуказанных условиях образцы были исследованы в лаборатории микробиологического анализа НИИ химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород) с целью определения видового состава микроскопических грибов, заселяющих их. Идентификацию микроскопических грибов проводили на основании их морфолого-культуральных особенностей, используя определители: К.Б. Рейпер, С.А. Том (Raper, Thorn, 1949); К.Б. Рейпер, Д.И. Феннел (Raper, Fennel, 1965); Н.П. Пидопличенко (1971); М.А. Литвинов (1967); А.А. Милько (1974); Т.С. Кириленко (1977); К. Донш, В. Гаме (Donch, Gams, 1980); А.Ю. Лугаускус, А.Н. Микульскене, Д.Ю. Шляужене (1987); В.И. Билай, Э.З. Коваль (1988). Результаты испытаний приведены в табл. 3, 4.

Испытания показали, что условия экспозиции и состав асфальтобетона влияют на видовой состав микроскопических грибов. Так, для большинства образцов, экспонированных на пирсе в условиях переменной влажности на границе сред вода/воздух, наблюдается значительно большее видовое разнообразие микромицетов, по сравнению с образцами, выдержанными в морской воде. Это, по-видимому, связано с тем, что асфальтобетоны после агрессивного разрушающего действия переменной влажности на границе сред вода/воздух становятся более доступным субстратом для грибов.

С образцов, выдержанных в условиях пирса, было выделено 20 видов микроскопических грибов (род *Chaetomium* – 2 вида; *Alternaria* – 2; *Paecilomyces* – 1; *Cladosporium* – 2; *Aspergillus* – 4; *Mucor* – 1; *Fusarium* – 2; *Penicillium* – 5; *Trichoderma* – 1 вид). Такой вид микроскопических грибов, как *Alternaria brassicae*, выделен со всех исследуемых составов, выдержанных на пирсе в течение 36 месяцев, кроме щебеночного асфальтобетона типа Б с добавками «Телаз» Л2 и Л5 (составы Б-2 и Б-4); *Alternaria alternata* встречается на всех песчаных составах типа Г и Д за исключением чистых (состав Г-0, Д-0) и с добавкой «Телаз» Л3 (состав Г-3), на щебеночных асфальтобето-

нах с добавками «Телаз» Л3 и Л5 (составы А-3, Б-3, А-4, Б-4) и на щебеночных с добавками «Телаз» Л1 и Л6 (составы А-1, Б-5); *Aspergillus niger* также выделен практически со всех составов, кроме щебеночного типа А и Б с добавкой «Телаз» Л2 и бездобавочный соответственно (составы А-2 и Б-0); *Aspergillus oryzae* обнаружен на чистых щебеночных (составы А-0, Б-0), щебеночном типе А и Б с добавками «Телаз» Л6 и Л2 соответственно (составы А-5 и Б-2) и песчаном типе Г с добавкой «Телаз» Л1 (состав Г-1); *Aspergillus ustus* встречается в основном на песчаных асфальтах с добавками «Телаз» Л1, Л2, Л5 (составы Г-1, Г-2, Г-5, Д-1, Д-2, Д-5); *Aspergillus terreus* обнаружен только на щебеночных асфальтобетонах типа А с добавкой «Телаз» Л5 (состав А-4) и типа Б с добавками «Телаз» Л1 и Л2 (составы Б-1, Б-2). Микроскопические грибы видов *Chaetomium dolichorhizum* и *Fusarium toniliforme* выделены со всех исследуемых составов, выдержанных на пирсе в течение 36 месяцев, кроме щебеночного типа А с модификатором «Телаз» Л1 (состав А-1) и бездобавочного песчаного асфальта типа Д (состав Д-0) соответственно; *Chaetomium globosum* обнаружен в щебеночных асфальтобетонах типа А с добавками «Телаз» Л3, Л5, Л6 (составы А-3...А-6) и типа Б с добавками «Телаз» Л1, Л2, Л5, Л6 (составы Б-1, Б-2, Б-4, Б-5); *Cladosporium elatum* встречается на всех образцах щебеночных асфальтов и практически на всех песчаных, кроме «чистого» типа Г (состав Г-0) и модифицированного добавкой «Телаз» Л1 типа Д (состав Д-1); *Mucor corticola* выделен со всех щебеночных составов с добавками «Телаз» Л1–Л3 и Л5 (составы А-1...А-5, Б-1...Б-5) и на всех песчаных, кроме песчаного типа Г с добавкой «Телаз» Л2 (состав Г-2) и типа Д с добавками «Телаз» Л1 и Л5 (составы Д-1, Д-5); *Raeciliomyces variotii* встречается на всех составах с добавкой «Телаз» Л6 (составы А-5, Б-5, Г-5, Д-5); *Penicillium nigricans* обнаружен на образцах щебеночных асфальтов с добавками «Телаз» Л5, Л6 (составы А-4, Б-4, А-5, Б-5) и на песчаных в составах с «Телаз» Л3 (составы Г-3, Д-3).

Результаты исследований показали, что введение модификаторов «Телаз» в битум приводит к увеличению видового разнообразия микроскопических грибов, заселяющих асфальтобетоны на основе этих битумов. Так, введение в щебеночный асфальтобетон типа А модификаторов «Телаз» Л3 и Л5 (составы А-3, А-4) приводит к максимальному увеличению разновидностей микроскопических грибов (11 видов), а введение модификатора «Телаз» Л2 (состав А-2), наоборот, способствует уменьшению количества видов микроскопических грибов (8 видов) по сравнению с бездобавочным составом на чистом битуме (состав А-0 – 10 видов). Микробиота, выделенная с образцов щебеночного асфальтобетона типа Б, модифицированного специальными добавками типа «Телаз» (составы Б-1...Б-5), представлена большим количеством видов микроскопических грибов (8–9 видов) по сравнению с бездобавочным составом на чистом битуме (состав Б-0 – 7 видов). Введение в песчаный асфальт типа Г модификатора «Телаз» Л3 (состав Г-3) приводит к уменьшению встречающихся на нем видов микроскопических грибов (7 видов), а введение «Телаз» Л5 (состав Г-4) – к увеличению разнообразия микроскопических грибов (11 видов) по сравнению с контрольным составом на чистом битуме (состав Г-0 – 9 видов). Микробиота песчаного асфальтобетона типа Д, модифицированного специальными добавками типа «Телаз» Л2, Л5 (составы

Таблица 3. Видовой состав микромицетов, выделенных с испытуемых образцов после старения на пирсе в течение 36 месяцев

	A	Б	Г	Д
0	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium lanosum,</i> <i>Penicillium tardum,</i> <i>Trichoderma viride,</i>	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium lanosum,</i> <i>Penicillium tardum,</i> <i>Trichoderma viride.</i>	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Fusarium elatum,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium lanosum,</i> <i>Penicillium nigrans</i>	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium lanosum,</i> <i>Penicillium nigrans</i>
1	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus terreus,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Cladosporium herbarum,</i> <i>Fusarium avenaceum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i>	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus terreus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigrans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigrans</i>
2	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium avenaceum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Penicillium nigrans</i>	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Aspergillus terreus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium nigrans,</i> <i>Penicillium notatum</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium herbarum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Penicillium notatum</i>

3	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustiny,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Cladosporium herbarum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>
4	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus terreus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus ustiny,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Cladosporium herbarum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustiny,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Cladosporium herbarum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustiny,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Cladosporium herbarum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium cyclopium</i>
5	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium nigricans</i>	<i>–</i>	<i>–</i>

Таблица 4. Видовой состав микромицетов, выделенных с испытуемых образцов после старения в морской воде в течение 36 месяцев

	A	Б	Г	Д
0	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus terreus,</i> <i>Aspergillus usnus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Trichoderma viride,</i>	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Много бактерий Незначительное количество бактерий	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Penicillium notatum,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Много бактерий	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus usnus,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium cyclopium,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Большое количество бактерий
1	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Большое количество бактерий	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium cyclopium,</i> <i>Penicillium nigricans,</i> <i>Penicillium notatum,</i> Большое количество бактерий	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Aspergillus usnus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium cyclopium,</i> Большое количество бактерий	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Aspergillus usnus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium notatum,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> Много бактерий
2	<i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Незначительное количество бактерий	<i>Aspergillus niger</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium cyclopium,</i> <i>Penicillium notatum,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Много бактерий	<i>Aspergillus niger</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Penicillium nigricans,</i> <i>Penicillium notatum,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> Много бактерий	<i>Alternaria alternata,</i> <i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Aspergillus usnus,</i> <i>Chaetomium dolichotrichum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Penicillium notatum,</i> <i>Penicillium tardum,</i> Много бактерий

3	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Penicillium notatum,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> <i>Penicillium nigricans,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Большое количество бактерий	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus ustus,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> Много бактерий	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Penicillium cyclopium,</i> Большое количество бактерий
4	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> Много бактерий	<i>Alternaria brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Chaetomium dolichothrichum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Незначительное количество бактерий	<i>Aspergillus brassicae,</i> <i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Chaetomium dolichothrichum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Penicillium tardum,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Большое количество бактерий
5	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Chaetomium globosum,</i> <i>Mucor corticola,</i> <i>Trichoderma koningii,</i> Незначительное количество бактерий	<i>Aspergillus niger,</i> <i>Aspergillus oryzae,</i> <i>Cladosporium elatum,</i> <i>Fusarium moniliforme,</i> <i>Paecilomyces variotii,</i> <i>Trichoderma viride,</i> Большое количество бактерий	—

Д-2, Д-4), представлена большим разнообразием микроскопических грибов (10 видов) по сравнению с бездобавочным составом на чистом битуме (состав Д-0 – 8 видов), а введение модификатора «Телаз» Л1 (состав Д-1), наоборот, способствует уменьшению количества выделенных с него видов микроскопических грибов (7 видов).

С образцов, выдержаных на воздухе в течение одного месяца после старения, в условиях морской воды в течение 36 месяцев, было выделено 19 видов микроскопических грибов (род *Alternaria* – 2 вида; *Aspergillus* – 4; *Chaetomium* – 2; *Cladosporium* – 1; *Fusarium* – 1; *Mucor* – 1; *Paecilomyces* – 1; *Penicillium* – 5; *Trichoderma* – 2 вида). На всех исследуемых составах обнаружено достаточно большое количество бактерий, этот факт обусловлен агрессивной спецификой среды, в которой были выдержаны составы асфальтобетона. Такой вид микроскопических грибов, как *Aspergillus niger*, выделен со всех исследуемых составов, выдержанных в морской воде, кроме щебеночного асфальтобетона типа А с добавкой «Телаз» Л2 (состав А-2); *Fusarium moniliforme* также обнаружен практически на всех составах асфальта, кроме щебеночного типа А с добавками «Телаз» Л2, Л5, Л6 (составы А-2, А-4, А-5) и с добавкой «Телаз» Л3 щебеночного асфальтобетона типа Б и песчаного типа Г (составы Б-3, Г-3) соответственно; *Cladosporium elatum* встречается почти на всех образцах щебеночных асфальтобетонов, кроме типа А с добавками «Телаз» Л5, Л6 (составы А-4, А-5) и типа Б с добавками «Телаз» Л3, Л5 (составы Б-3, Б-4) и обнаружен на некоторых песчаных асфальтобетонах, таких как тип Г, модифицированный специальными добавками «Телаз» Л1, Л3 (составы Г-1, Г-3), и тип Д, модифицированный добавкой «Телаз» Л3 (состав Д-3).

Микроскопические грибы вида *Mucor corticola* выделены с щебеночных составов типа А с добавками «Телаз» Л2, Л3 и Л6 (составы А-2, А-3, А-5) и типа Б на чистом битуме и с модификатором «Телаз» Л3 (составы Б-0, Б-3) и на песчаных типа Г с добавкой «Телаз» Л2 (состав Г-2) и бездобавочного на чистом битуме (состав Г-0), типа Д с добавкой «Телаз» Л3 (состав Г-3); *Penicillium cyclopium* обнаружен в основном на образцах песчаного асфальтобетона типа Д на чистом битуме (состав Д-0) и с добавками «Телаз» Л1, Л3, Л5 (составы Д-1, Д-3, Д-4); *Penicillium notatum* встречается как на щебеночных составах типа Б с добавками «Телаз» Л2, Л3 (составы Б-2, Б-3), так и на песчаных типа Г на чистом битуме (состав Г-0) и с добавками «Телаз» Л1, Л2 (составы Г-1, Г-2) и на асфальтобетоне типа Д с добавками «Телаз» Л2, Л5 (составы Д-2, Д-4); *Trichoderma koningii* выделен в основном с щебеночных асфальтов с добавками «Телаз» Л3, Л5, Л6 (составы А-3...А-5, Б-3, Б-4), а *Trichoderma viride* обнаружен абсолютно на всех чистых бездобавочных составах асфальтобетона (составы А-0, Б-0, Г-0, Д-0) и у щебеночных с добавками «Телаз» Л2, Л3, Л5, Л6 (составы А-2, А-3, Б-1, Б-2, Б-4, Б-5).

С образцов щебеночного асфальтобетона типа А, модифицированного специальными добавками типа «Телаз», выделено большое разнообразие микроскопических грибов. Так, например, «Телаз» Л3 (состав А-3) приводит к максимальному увеличению разновидностей микроскопических грибов (8 видов), также как и у состава, выдержанного на пирсе, а введение добавки «Телаз» Л5 (состав А-4), наоборот, способствует значительному уменьше-

нию количества видов микроскопических грибов (2 вида) по сравнению с бездобавочным составом на чистом битуме (состав А-0 – 10 видов). Введение в щебеночный асфальтобетон типа Б специальной добавки «Телаз» Л5 (состав Б-4) приводит к увеличению разнообразия микроскопических грибов на нем (7 видов) по сравнению с составом без добавок на чистом битуме (состав Б-0 – 5 видов). Введение в песчаный асфальт типа Г добавки «Телаз» Л3 (состав Г-3) приводит к уменьшению видового разнообразия данного состава (7 видов), так же как и у аналогичного состава, выдержанного на пирсе, в сравнении с контрольным составом на чистом битуме (состав Г-0 – 9 видов). Введение добавки «Телаз» Л5 (состав Г-4), наоборот, способствует увеличению количества видов микроскопических грибов (8 видов) по сравнению с контрольным составом без добавок на чистом битуме (состав Г-0 – 6 видов). Песчаный асфальтобетон типа Д, модифицированный специальной добавкой «Телаз» Л1 (состав Д-1), обладает соизмеримым количеством микроскопических грибов (8 видов) по сравнению с составом без добавок на чистом битуме (состав Д-0 – 7 видов), а введение добавки «Телаз» Л3 (состав Д-3), наоборот, способствует уменьшению количества видов микроскопических грибов (5 видов).

Среди выделенных из композитов грибов-деструкторов встречаются условно-патогенные штаммы, способные вызывать различные заболевания человека. Например, *Paecilomyces variotii* являются возбудителями глубоких микозов человека, а споры *Alternaria* оказывают высокое аллергенное воздействие на органы дыхания человека. Обнаруженный на исследуемых составах микроскопический гриб *Aspergillus niger* вызывает вторичные поражения при ослабленном иммунитете после операции, тяжелой болезни, химиотерапии.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены биостойкость асфальтобетонов на чистом битуме и модифицированных специальными добавками типа «Телаз», а также изучен видовой состав микробиоты, выделенной с материалов, экспонированных в условиях влажного морского климата и после старения в морской воде в течение 36 месяцев.

Выводы. 1. В основном введение добавки «Телаз», а именно марок Л1–Л3, Л5 в состав асфальтобетонов обеспечивает им устойчивость к действию микромицетов и повышает грибостойкость. Исключением стали песчаные асфальтобетоны, в составах которых содержится добавка «Телаз» Л6.

2. Анализ видового состава микробиоты, выделенной с образцов после выдерживания в климатических условиях Черноморского побережья, позволил установить:

– видовой состав микроскопических грибов, выделенных с образцов асфальтобетонов на чистом битуме и модифицированных специальными добавками типа «Телаз», зависит от их состава и условий экспозиции;

– характерные виды микроскопических грибов, заселяющих асфальтобетонные составы при их экспозиции в климатических условиях влажного морского климата. На образцах обнаружены грибы 3 классов: *ZYgomycetes*, *Ascomycetes*, *Deuteromycetes*; 4 семейств: *Melanoporaceae*, *Moniliaceae*, *Dematiaceae*, *Tuberculariaceae*; 9 родов: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*;

– выявлено уменьшение количества видов микроскопических грибов, выделенных с составов с добавками типа «Телаз» после выдерживания на пирсе в условиях переменной влажности на границе сред вода/воздух, по сравнению с результатами исследований микрофлоры данных образцов после старения в морской воде;

– микроскопический гриб *Aspergillus niger* выделен со всех исследуемых составов, выдержаных в морской воде, кроме щебеночного асфальтобетона типа А с добавкой «Телаз» Л2 (состав А-2);

– микроскопический гриб *Trichoderma viride* обнаружен на всех чистых (без добавок) составах асфальтобетона (составы А-0, Б-0, Г-0, Д-0), выдержаных в морской воде;

– микроскопические грибы видов *Chaetomium dolichorrichum* и *Fusarium moniliforme* выделены со всех исследуемых составов, выдержаных на пирсе в течение 36 месяцев, кроме щебеночного типа А с добавкой «Телаз» Л1 (состав А-1) и песчаного асфальта типа Д на чистом битуме (состав Д-0) соответственно;

– микроскопические грибы *Fusarium avenaceum*, *Cladosporium herbarum*, обнаруженные на составах, выдержаных на пирсе, отсутствуют на всех составах, выдержаных в морской воде Черноморского побережья;

– микроскопические грибы вида *Trichoderma koningii*, обнаруженные на составах, выдержаных в условиях переменной влажности на пирсе, отсутствуют на всех составах, выдержаных в морской воде Черноморского побережья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Калгин Ю.И. и др. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность): монография / под ред. Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 276 с.
2. Каневская И.Т. Биологическое повреждение промышленных материалов. Л.: Наука, 1984. 132 с.
3. Ванин С.И. Домовые грибы, их биология, диагностика и меры борьбы. Л.: Наука, 1991. 112 с.
4. Вешнякова Т.П., Голубева И.А., Крылов И.Ф., Лыков О.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив. М., 1990. 192 с.
5. Анисимова А.А., Фельдман М.С., Высокая Л.Б. Ферменты мицеллярных грибов как агрессивные метаболиты // Биоповреждения в промышленности. Горький, 1985. С. 8–19.
6. Могильницкий Г.А. Микробиологическая коррозия магистральных трубопроводов и методы, предотвращающие ее развитие // Биоповреждения в строительстве. М., 1984. 319 с.
7. Горленко М.В. Некоторые биологические аспекты биодеструкции материалов и изделий // Биоповреждения в строительстве. М., 1984. 319 с.
8. Покровская Е.Н., Шестерикова Н.В. Разработка биоцидных составов нового поколения // Биоповреждение и биокоррозия в строительстве: материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. 288 с.
9. Пат. 2593065, МПК B22C9/0, G01N33/38. Форма для изготовления асфальтобетонных образцов / В.Т. Ерофеев, А.И. Сальникова, А.И. Ликомаскин и др. Заявитель и патентообладатель: МГУ им. Н.П. Огарева. 2014151065/02; заявл. 16.12.2014; опубл. 27.07.2016.

10. Ерофеев В.Т., Лазарев А.В., Богатов А.Д. и др. Видовой состав микрофлоры, выделенной с полимерных композитов на основе полимерных смол в условиях влажного морского климата // Изв. Казан. ГАСУ. 2013. № 2 (24). С. 233–237.
11. Ерофеев В.Т., Ликомаскина М.А. Исследование стойкости модифицированных асфальтобетонов в климатических условиях Черноморского побережья // Строительство и реконструкция. 2016. № 6 (68). С. 233–243.

Ерофеев Владимир Трофимович, д-р техн. наук, проф.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Ликомаскина Майя Алексеевна, асп.; E-mail: chakichevama@list.ru

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Смирнов Василий Филиппович, д-р биол. наук, проф.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Смирнова Ольга Николаевна, канд. биол. наук, доц.; E-mail: biodeg@mail.ru

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Получено 08.08.16

Erofeev Vladimir Trofimovich, DSc, Professor

National Research Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

Likomaskina Mayya Alexeevna, Post- graduate Student;

E-mail: chakichevama@list.ru

National Research Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

Smirnov Vasilii Filippovich, DSc, Professor

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia

Smirnova Ol'ga Nikolaevna, PhD, Ass. Professor; E-mail: biodeg@mail.ru

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia

INVESTIGATION OF MODIFIED ASPHALT AND TO STUDY THE SPECIES COMPOSITION OF THE MYCOBIOTA OF SURFACE OF SAMPLES EXPOSED IN DIFFERENT CONDITIONS, MOIST MARITIME CLIMATE

The results of laboratory studies the biological stability of the modified asphalt and studying the species composition of filamentous fungi inhabiting samples when exposed them to the climatic conditions of the Black Sea coast in an area. Abrau-Durso. It was found that the introduction of the asphalt special additives alters their fungal resistance. It has been shown that a significant impact on the diversity of species composition of microorganisms have the samples exposure conditions and the composition of bituminous mixture. The effect of the pre-modified asphalt aging in seawater samples at obrastaemost filamentous fungi. Revealed the most resistant to filamentous fungi asphalt concrete compositions.

К e y w o r d s: asphalt, modified asphalt, micro-organisms, biological stability, durability.

REFERENCES

1. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Калгин Ю.И. et al. Dorozhnye bitumomineral'nye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov (tekhnologiya, svoystva, dolgovechnost') [Road bituminous materials based on modified bitumen (technology, properties, durability)]. Saransk, 2009. 276 p. (in Russian)

2. K a n e v s k a y a I.T. Biologicheskoe povrezhdenie promyshlennykh materialov [Biological damage industrial materials]. Leningrad, Nauka, 1984. 132 p. (in Russian)
3. V a n i n S.I. Domovye grify, ikh biologiya, diagnostika i mery bor'by [Brownies mushrooms, their biology, diagnosis and control measures]. Leningrad, Nauka, 1991. 112 p. (in Russian)
4. V e s h n y a k o v a T.P., G o l u b e v a I.A., K r y l o v I.F., L y k o v O.P. Stabilizatory i modifikatory neftyanykh distillyatnykh topliv [Stabilizers and modifiers of petroleum distillate fuels]. Moscow, 1990. 192 p. (in Russian)
5. A n i s i m o v a A.A., F e l'd m a n M.S., V y s o t s k a y a L.B. Fermenty mitsellyarnykh gribov kak agressivnye metabolity [Enzymes micellar fungi how aggressive metabolites]. Biopovrezhdeniya v promyshlennosti [Biodeterioration in industry]. Gor'kiy, 1985. Pp. 8–19. (in Russian)
6. M o g i l'n i t s k i y G.A. Mikrobiologicheskaya korroziya magistral'nykh truboprovodov i metody, predotvrazhchayushchie ee razvitiye [Microbiological corrosion of trunk pipelines wires and methods of preventing its development]. Biopovrezhdeniya v stroitel'stve [Biodeterioration in industry]. Moscow, 1984. 319 p. (in Russian)
7. G o r l e n k o M.V. Nekotorye biologicheskie aspekty biodestruktsii materialov i izdelyi [Some biological aspects of biodegradation mothers and fishing products]. Biopovrezhdeniya v stroitel'stve [Biodeterioration in industry]. Moscow, 1984. 319 p. (in Russian)
8. P o k r o v s k a y a E.N., S h e s t e r i k o v a N.V. Razrabotka biotsidnykh sostavov novogo pokoleniya [Development of a new generation of biocide]. Biopovrezhdenie i biokorroziya v stroitel'stve: materialy Vtoroy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Biodamage and biocorrosion to construction: materials of the second international scientific and technical conference]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2006. 288 p. (in Russian)
9. Pat. 2593065, MPK V22S9/0, G01N33/38. Forma dlya izgotovleniya asfal'tobetonnykh obraztsov [Form for the production of asphalt samples]. V.T. Erofeev, A.I. Sal'nikova, A.I. Likomaskin et al. Zayavitel' i patentoobladatel': MGU im. N.P. Ogareva. 2014151065/02; appl. 16.12.2014; publ. 27.07.2016. (in Russian)
10. E r o f e e v V.T., L a z a r e v A.V., B o g a t o v A.D. et al. Vidovoy sostav mikroflory, vydelennoy s polimernykh kompozitov na osnove polimernykh smol v usloviyakh vlazhnogo morskogo klimata [The species composition of microflora selected from polymer composites based on polymer resins in a humid maritime climate]. Izvestiya Kazanskogo GASU [News of the Kazan State Architectural and Construction University]. 2013. No. 2 (24). Pp. 233–237. (in Russian)
11. E r o f e e v V.T., L i k o m a s k i n a M.A. Issledovanie stoykosti modifitsirovannykh asfal'tobetonov v klimaticeskikh usloviyakh Chernomorskogo poberezh'yia [Research of firmness of the modified asphalt in the climatic conditions of the Black Sea coast]. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2016. No. 6 (68). Pp. 233–243. (in Russian)

УДК 691.4 : 666.31

**В.А. ПОЛУБОЯРОВ, З.А. КОРОТАЕВА, Е.В. ВОЛОСКОВА,
Ф.К. ГОРБУНОВ, А.А. ЖДАНОК, В.В. БУЛГАКОВ, К.П. ГУСЕВ**

**ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМЗИТА
НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ
И СИЛИКАТНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Исследована возможность использования золошлаковых отходов металлургических предприятий и теплоэлектростанций для изготовления теплоизолирующего материала – керамзита. Показано, что свойства керамзита можно варьировать в широких пределах (кажущаяся плотность гранул составляет 0,43–1,13 г/см³, прочность при раскалывании гранул – 8,0–76,8 МПа), изменения технологические условия его получения: продолжительность предварительной сушки, температуру обжига, дисперсность золошлаковых материалов, продолжительность механохимической обработки. Установлено, что полученный керамзит на основе золошлаковых отходов не уступает по прочностным показателям промышленному керамзиту (согласно ГОСТ 9757–90) и имеет аналогичную мелкопористую структуру.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, кажущаяся плотность, керамзит, силикат натрия, прочность при раскалывании, оксид кремния.

В России при сжигании твердого топлива – углей, сланцев, торфа – образуется около 25 млн т в год отвалов золошлаковых смесей. Уровень их утилизации в России составляет примерно 8 % [1]. Наиболее распространенным направлением переработки золошлаковых отходов (ЗШО) является использование их в технологии строительных материалов в качестве добавок [2]. На основе ЗШО металлургических предприятий и теплоэлектростанций (ТЭС) можно получать гранулированный теплоизолирующий материал – керамзит, а в качестве вяжущего компонента, способного всучиваться при термообработке, применять жидкое стекло [3–5].

Экспериментальная часть. Исходным сырьем для получения керамзита послужили:

- 1) зола гидроудаления металлургического предприятия «Завод ферросплавов», г. Новокузнецк;
- 2) шлак топливный из котельной, работающей на угле Кузнецкого бассейна.

Характеристики ЗШО (фракционный состав, величина удельной поверхности, рН) представлены в табл. 1.

На рис. 1 показаны дифрактограммы топливного шлака (1) и исходной золы гидроудаления (2). Исходная зора гидроудаления Z1 является аморфным продуктом, а топливный шлак имеет кристаллическую фазу, принадлежащую оксиду кремния (кварцу).

Таблица 1. Свойства золошлаковых материалов

Материал	Условное обозначение	Фракционный состав		Удельная поверхность, м ² /г	pH
		размер частиц, мм	мас. %		
Зола гидроудаления гранулированная	Z1	0,8–0,4	30	27,1	6
		0,4–0,1	65		
		0,1–0,08	4		
		Менее 0,08	1		
Зола гидроудаления	Z2	Менее 0,056	100	22,9	7
Зола Z1, подвернутая МО в течение 30 с	Z3	Менее 0,056	100	18,1	–
Зола Z1, подвернутая МО в течение 3 мин	Z4	Менее 0,056	100	21,7	–
Шлак топливный	SH	Менее 0,056	100	79,5	5

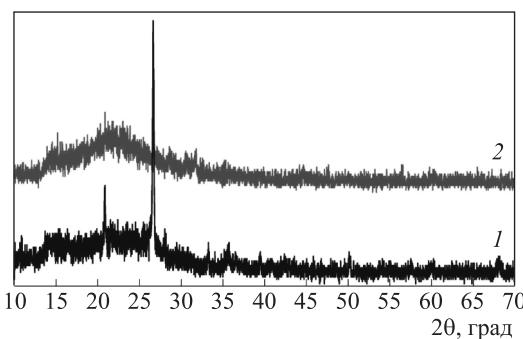


Рис. 1. Дифрактограммы топливного шлака SH (1) и золы гидроудаления Z1 (2)

нетарной мельнице-активаторе АГО-2. Шлак механохимической обработке не подвергали ввиду его высокой удельной поверхности. Фракционный состав золошлаковых отходов определяли по массам фракций, оставшихся на ситах с ячейкой соответствующего размера, а удельную поверхность исходных и обработанных материалов — методом тепловой десорбции аргона (БЭТ) (см. табл. 1).

Рентгенофазовый анализ осуществляли на дифрактометре ДРОН-4 с использованием монохроматизированного CuK_α -излучения в интервале углов 10–70°.

Обработку рентгенограмм и их расшифровку проводили с помощью программы Crstalligraphica Seach-Match Version 2.1.1.0 Copyright 1996–2003, Oxford Cryosystems.

Гранулы керамзита изготавливали в лабораторных условиях из исходных и механически обработанных порошков золы и шлака по следующей методике:

1) исходные компоненты (золошлаковый наполнитель и жидкое стекло) смешивали и гомогенизировали до тестообразной консистенции. Отношение

В качестве вяжущего был выбран водный раствор силиката натрия ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, натриевое стекло жидкое) с силикатным модулем (M), т.е. отношением числа молекул диоксида кремния к числу молекул оксида натрия, равным 2,5. Плотность раствора и массовая доля силиката натрия 1,46 г/см³ и 30 % соответственно.

Механохимическую обработку (МО) золы гидроудаления проводили в центробежно-пла-

массы ЗШО к массе жидкого стекла составляло 0,70–1,05 для золы гидроудаления и 0,8 для топливного шлака;

2) формовали гранулы диаметром 9–12 мм; для дальнейших исследований одну часть гранул подвергали предварительной сушке при комнатной температуре (22–24 °С) в течение 2 и 48 ч, затем – обжигу (вспучиванию), другую часть подвергали обжигу без сушки; температура обжига – 300–700 °С;

3) у полученных гранул керамзита определяли кажущуюся плотность и прочность при раскалывании.

Влажность гранул керамзита определяли их сушкой при температуре 105 °С в сушильном шкафу до постоянной массы, кажущуюся плотность – весовым методом, т.е. рассчитывали отношение массы гранулы к ее объему.

Определение прочности при раскалывании отдельных гранул керамзита проводили на гидравлическом лабораторном прессе ПЛГ-20 по ГОСТ 9758–2012¹.

Результаты и их обсуждение. По полученным экспериментальным данным установлено, что свойства керамзита на основе ЗШО варьируются в очень широких пределах: прочность при раскалывании гранул – 8,0–76,8 МПа; кажущаяся плотность гранул – 0,43–1,13 г/см³ в зависимости от продолжительности предварительной сушки, температуры обжига, продолжительности МО, фракционного и фазового состава. Размер гранул керамзита составил 10–15 мм.

Аналогичными методами были изучены свойства промышленного керамзита, соответствующего ГОСТ 9757–90²: прочность при раскалывании гранул – 42,1–85,2 МПа; кажущаяся плотность гранул – 0,76–1,17 г/см³. В качестве образца сравнения была выбрана фракция 10–20 мм. Марка данного керамзита по насыпной плотности согласно ГОСТ 9757–90 составляет 600.

1. *Влияние продолжительности предварительной сушки гранул керамзита на их свойства.* Кажущаяся плотность керамзитовых гранул из золы гидроудаления, подвергнутых обжигу без предварительной сушки и после 2 ч предварительной сушки, находится в пределах 0,40–0,60 г/см³ (табл. 2).

Плотность гранул керамзита, подвергнутых обжигу после предварительной сушки в течение 48 ч, примерно в 2 раза больше и составляет 0,78 г/см³. Такая же закономерность наблюдается и в изменении прочности. Наименьшей прочностью при раскалывании (10–20 МПа) обладают гранулы керамзита, полученные обжигом сырцовых гранул без и после 2 ч предварительной сушки. Прочность гранул керамзита, обожженных после предварительной сушки в течение 48 ч, составляет 35,2–46,5 МПа.

Аналогичные зависимости свойств (кажущаяся плотность, прочность при раскалывании) от времени предварительной сушки имеют гранулы керамзита и на основе топливного шлака (см. табл. 2).

¹ ГОСТ 9758–2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2014. 67 с.

² ГОСТ 9757–90. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2007. 8 с.

Таблица 2. Свойства гранул керамзита

Вид ЗШО	Кажущаяся плотность, г/см ³			Прочность при раскалывании, МПа		
	Продолжительность предварительной сушки, ч					
	0	2	48	0	2	48
Z1	0,82±0,01	0,94±0,15	1,13±0,25	11,6±0,5	12,4±0,5	16,2±0,6
Z2	0,44±0,01	0,43±0,01	0,76±0,02	18,6±0,7	9,9±0,4	45,6±1,8
Z3	0,54±0,01	0,69±0,02	0,67±0,02	15,0±0,6	21,7±0,9	38,3±1,5
Z4	0,94±0,15	0,92±0,02	0,91±0,03	12,8±0,5	13,9±0,6	28,1±1,1
SH	0,50±0,01	0,60±0,01	0,68±0,15	26,2±1,0	26,0±1,0	50,6±2,0
Керамзит ГОСТ 9757-90	0,97±0,21			63,7±21,6		

Различные плотность и прочность гранул керамзита, подвергнутых обжигу, без и после 2 и 48 ч предварительной сушки объясняются различной морфологией гранул (рис. 2).

Как видно из рис. 2, а, морфология сколов керамзита, полученного обжигом сырцовых гранул без предварительной сушки, отличается большим количеством крупных пор, распределенных по всему объему гранулы, и практически отсутствием поверхностной «корки».

На сколах гранул, полученных обжигом после предварительной сушки в течение 2 ч, наблюдаются крупные поры в центре, а в приповерхностном слое – мелкие (рис. 2, б). Такая внутренняя структура керамзита не является однородной, что может быть причиной их невысокой прочности (см. табл. 2).

В процессе обжига гранул керамзита после длительной предварительной сушки (в течение 48 ч) образуется большое количество мелких пор, а крупные поры могут присутствовать в самом центре гранулы (рис. 2, в). Мелкопористая структура является более плотной и однородной. Этим, скорее всего, и объясняется высокая прочность гранул керамзита, подвергнутых обжигу после продолжительной предварительной сушки (см. табл. 2).

Аналогичное изменение морфологии от продолжительности предварительной сушки наблюдается и на сколах гранул керамзита, полученных на основе других ЗШО (см. табл. 1) и силиката натрия.

Мелкопористая структура, которая получается обжигом гранул керамзита после продолжительной их сушки в течение 48 ч, аналогична структуре керамзита промышленного производства (рис. 2, г). При этом керамзит, полученный на основе ЗШО и жидкого стекла, и керамзит промышленного производства имеют схожие свойства (см. табл. 2).

Повышение прочности гранул керамзита в процессе предварительной сушки и обжига может быть связано с протеканием химических реакций при этом.

Подтверждением протекания химических реакций между компонентами ЗШО и жидким стеклом является оживление смеси, которое наблюдали во

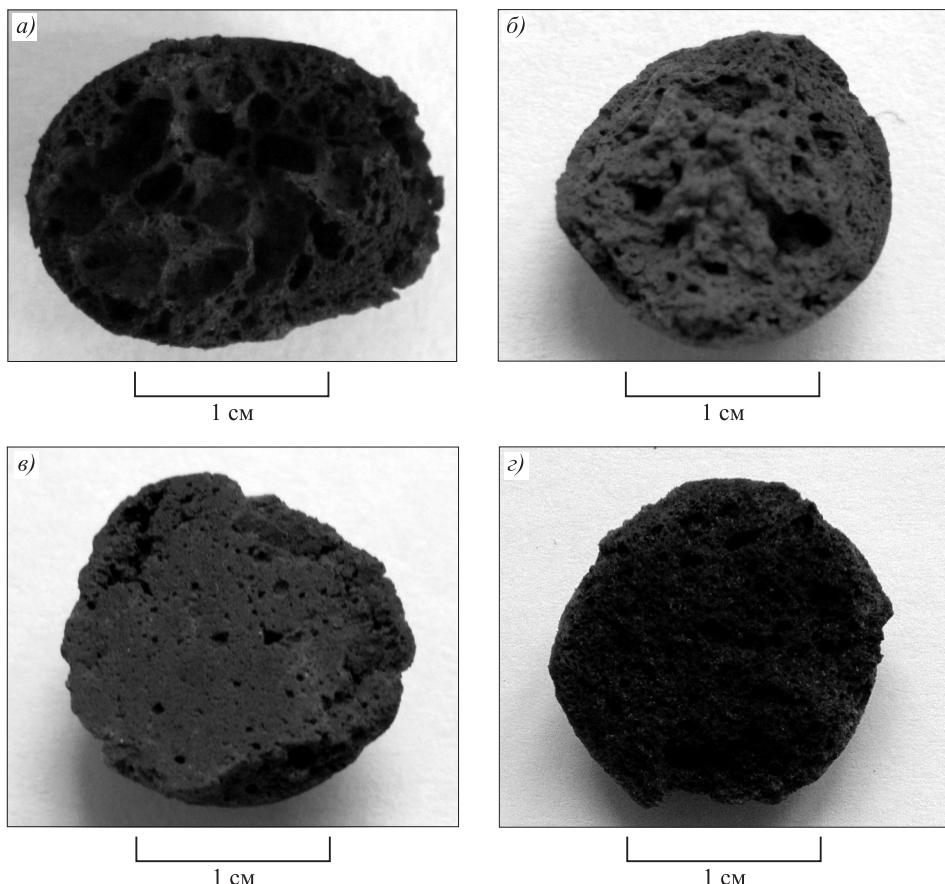


Рис. 2. Сколы гранул керамзита на основе золы (Z1) и силиката натрия, полученных обжигом при 300°C без (а) и после предварительной сушки в течение 2 ч (б); 48 ч (в) и гранул керамзита промышленного изготовления (г)

всех случаях получения керамзита, что, скорее всего, является результатом реакции нейтрализации (применяемые ЗШО имеют слабокислый характер (см. табл. 1), а жидкое стекло – щелочной). Образующаяся при этом вода способствует более медленной сушке гранул, так как после 2 ч предварительной сушки влажность гранул незначительно отличается от влажности свежескатанных гранул.

Таким образом, кажущаяся плотность и прочность при раскалывании гранул керамзита зависят от продолжительности предварительной сушки перед термической обработкой. При этом гранулы керамзита на основе ЗШО и силиката натрия, полученные обжигом после продолжительной предварительной сушки, имеют мелкопористую структуру, аналогичную гранулам керамзита промышленного производства. В процессе предварительной сушки и последующего обжига гранул протекает химическая реакция между основными компонентами ЗШО и жидкого стекла.

2. Влияние температуры обжига гранул керамзита на их свойства. Зависимости влияния температуры обжига на изменение кажущейся плот-

ности и прочности при раскалывании гранул керамзита (после предварительной сушки в течение 48 ч) представлены на рис. 3.

При увеличении температуры обжига с 300 до 700 °C происходит уменьшение плотности керамзита (рис. 3, а) на основе всех исследованных ЗШО (см. табл. 1).

В случае керамзита на основе Z1 и Z2 повышение температуры обжига гранул способствует понижению прочности при раскалывании (рис. 3, б, кривые 1 и 2).

Керамзит на основе Z3, Z4 и топливного шлака SH (см. табл. 1) отличается экстремальным поведением зависимости прочности при раскалывании гранул от температуры обжига. Максимумы прочности при раскалывании гранул наблюдаются при температуре обжига 400 °C (рис. 3, б, кривые 2 и 3). Гранулы керамзита на основе шлака SH имеют экстремум прочности, равный 76,8 МПа (рис. 3, б, кривая 5), после обжига при температуре 500 °C.

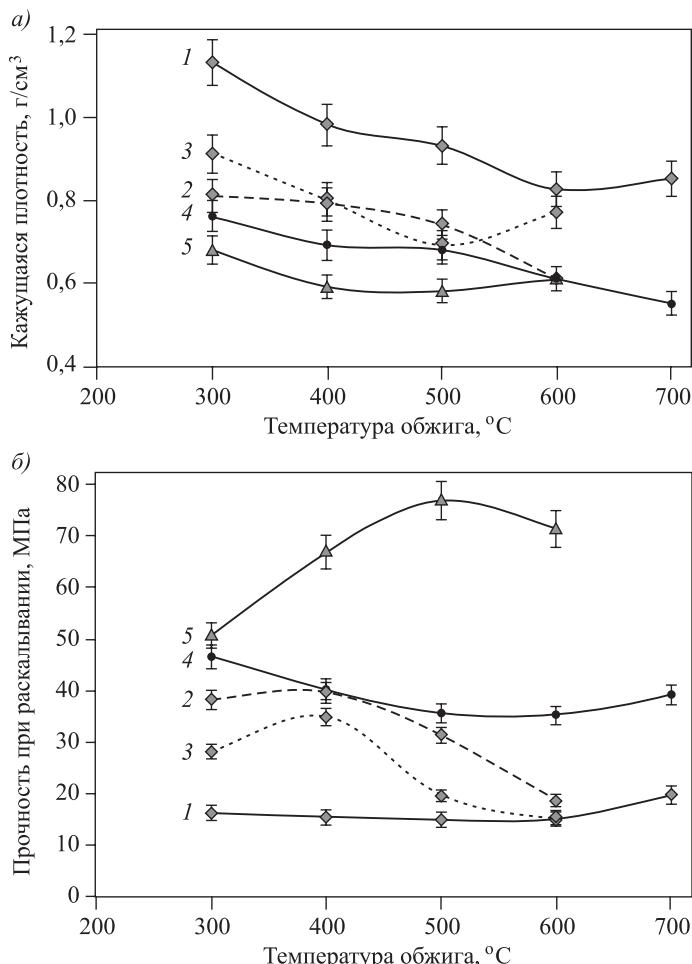


Рис. 3. Зависимости кажущейся плотности (а) и прочности при раскалывании (б) гранул керамзита на основе

1 – Z1; 2 – Z3; 3 – Z4; 4 – Z2; 5 – SH и жидкого стекла от температуры обжига

На дифрактограммах керамзита из зол гидроудаления при увеличении температуры обжига гранул наблюдали уменьшение интенсивности гало, соответствующего аморфным формам оксида кремния (IV). После обжига при температуре 700 °C появляется новая кристаллическая фаза SiO_2 – кристобалит.

На дифрактограммах керамзита на основе шлака после обжига в интервале температур 400–700 °C также наблюдается уменьшение интенсивности гало, и остается кристаллическая фаза SiO_2 – кварц.

3. Влияние фракционного состава (дисперсности) ЗШО на свойства керамзита. Как видно из табл. 2, кажущаяся плотность гранул керамзита, полученных из золы с более крупными частицами (Z1), выше практически в 2 раза, чем у керамзита, полученного из мелкодисперсной золы (Z2), при одинаковых условиях. А прочность, наоборот, ниже. Такое соотношение свойств сохраняется и при других температурах обжига сырцовых гранул (рис. 3, кривые 1 и 4).

Это является вполне естественным, так как рост объема спекаемых тел наблюдается при образовании закрытой пористости и объеме пор более 7 % (когда расширение газов в закрытых порах вызывает увеличение объема). Пленки оксидов вокруг каждой частицы тормозят процессы диффузии газа, препятствуя усадке. Вследствие этого чем мельче частицы материала в процессе обжига, тем большего объема формируются гранулы керамзита, а значит, они имеют меньшую плотность (см. табл. 2, Z1 и Z2).

Высокая прочность гранул керамзита из мелкодисперсной золы Z2 объясняется тем, что частицы дисперсной фазы меньшего размера укладываются более плотно друг относительно друга и имеют больше точек контакта. Следовательно, прочность такого материала выше почти в 3 раза: 16,0 МПа для Z1 и 45,6 МПа для Z2 (см. табл. 2).

Аналогично объясняется высокая прочность гранул керамзита на основе топливного шлака SH. Таким образом, прочность гранул керамзита зависит от дисперсного состава ЗШО: чем меньше размер частиц, тем ниже кажущаяся плотность гранул керамзита и выше их прочность при раскалывании.

4. Влияние механохимической обработки ЗШО на свойства керамзита. Зола, подвергнутая механохимической обработке в течение 30 с (Z3), имеет наименьшую удельную поверхность (см. табл. 1). Но гранулы керамзита на ее основе обладают наибольшей прочностью (39,6 МПа) при прочих равных условиях. Зола, подвергнутая механохимической обработке в течение 3 мин (Z4), имеет удельную поверхность немногим выше, чем у золы Z3. Однако прочность гранул керамзита на основе золы Z4 не превышает 34,9 МПа. Исходная зола гидроудаления Z1 имеет наибольшую удельную поверхность, но прочность гранул керамзита на ее основе не выше 19,8 МПа (рис. 3, б, кривая 1).

Повышение прочности гранул керамзита на основе зол, подвергнутых МО, может быть связано с более полным протеканием реакции между компонентами золы и жидким стеклом. Кроме того кратковременная обработка в активаторе способствует уплотнению материала, лучшей его смачиваемости, что ведет к уменьшению количества влаги, необходимого для формования гранул и улучшению условий сушки (уменьшению дефектов), и в конечном итоге увеличению прочности гранул.

Таким образом, выявлено, что МО золы гидроудаления влияет на физико-механические свойства керамзита на ее основе.

Выводы. 1. Физико-механические свойства керамзита можно варьировать в широких пределах, изменяя технологические условия его получения: продолжительность предварительной сушки гранул, температуру обжига, дисперсность и продолжительность механохимической обработки золошлаковых отходов.

2. Установлено, что полученный керамзит на основе золошлаковых отходов не уступает по прочностным показателям промышленному керамзиту (согласно ГОСТ 9757–90) и имеет аналогичную мелкопористую структуру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новоселова О.А., Целковский Ю.К. Образование и накопление золошлаковых отходов на тепловых угольных электростанциях Российской Федерации // «ALITInform» междунар. аналит. обозрение. 2013. № 1. С. 68.
2. Бернацкий А.Ф., Себелев И.М. Области применения золошлаковых отходов в строительной отрасли // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 1. С. 25–32.
3. Баранчиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия. М.: Изд. центр «Академия», 2008. 368 с.
4. Денисов Д.Ю., Абдрахимов В.З. К вопросу использования жидкостекольных композиций в производстве теплоизоляционных материалов // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 11. С. 32–37.
5. Абдрахимов В.З., Семенчев В.К., Kovkov И.В., Денисов Д.Ю., Куликов В.А., Вдовина Е.В. Использование жидкого стекла и техногенного сырья в производстве огнеупорных водостойких теплоизоляционных материалов // Огнеупоры и техн. керамика. 2011. № 3. С. 26–35.

Полубояров Владимир Александрович, д-р хим. наук, проф.;
E-mail: v.a.poluboyarov@ngs.ru

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет

Коротаева Зоя Алексеевна, канд. хим. наук; E-mail: z.korotaeva@ngs.ru

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

Волоскова Елена Владимировна, канд. хим. наук; E-mail: lenavoloskova@ya.ru

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

Горбунов Федор Константинович, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: f1123723@yandex.ru

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет

Жданок Александр Александрович, инж.; E-mail: aleksandr-jdanok@rambler.ru

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

Булгаков Виктор Владимирович, ведущий инж.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск

Гусев Кирилл Петрович, ст. препод.; E-mail: k.gusev@corp.nstu.ru

Новосибирский государственный технический университет

Получено 10.08.16

Poluboyarov Vladimir Alexandrovich, DSc, Professor; E-mail: v.a.poluboyarov@ngs.ru
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk

Novosibirsk State Technical University, Russia

Korotaeva Zoya Alexeevna, PhD; E-mail: z.korotaeva@ngs.ru

Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

Voloskova Elena Vladimirovna, PhD; E-mail: lenavoloskova@ya.ru
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
Gorbunov Fedor Konstantinovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: f1123723@yandex.ru
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk
Novosibirsk State Technical University, Russia
Zhdanok Aleksandr Alexandrovich, Engineer; E-mail: aleksandr-jdanok@rambler.ru
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
Bulgakov Viktor Vladimirovich, Senior Engineer
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
Gysev Kirill Petrovich, Senior Lecturer; E-mail: k.gusev@corp.nstu.ru
Novosibirsk State Technical University, Russia

OBTAINING HAYDITE BASED ON ASH-AND-SLAG WASTES AND A SILICATE BINDER

The possibility to use ash-and-slag wastes from metallurgical plants and heat and power stations to manufacture heat-insulating material (haydite) is investigated in the work. It is demonstrated that the properties of haydite may be varied within a broad range by changing the technological conditions of its preparation: the time of preliminary drying, roasting temperature, the dispersity of ash-and-slag materials, the duration of mechanochemical treatment (the apparent density of the granules is 0,43–1,13 g/cm³, granule cleavage strength is 8,0–76,8 MPa). It is established that resulting haydite based on ash-and-slag wastes is highly competitive in strength characteristics with commercial haydite (according to State Standard 9757–90) and has a similar finely porous structure.

К e y w o r d s: apparent density, ash-and-slag wastes, haydite, granule cleavage strength, silicon oxide, sodium silicate.

REFERENCES

1. Novoselova O.A., Tselikovskiy Yu.K. Obrazovanie i nakoplenie zoloshlakovykh otkhodov na teplovykh ugol'nykh elektrostantsiyakh Rossiyskoy Federatsii [Formation and accumulation of ash and slag wastes at heat coal electric power stations of the Russian Federation]. «ALITInform» mezhdunarodnoe analiticheskoe obozrenie [«ALITInform» International Analytical Review]. 2013. No. 1. 68 p. (in Russian)
2. Bernatskiy A.F., Sobelev I.M. Oblasti primeneniya zoloshlakovykh otkhodov v stroitel'noy otrassli [Areas of the application of ash and slag wastes in construction]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 1. Pp. 25–32. (in Russian)
3. Barabanshchikov Yu.G. Stroitel'nye materialy i izdeliya [Construction materials and hardware]. Moscow, Publishing house «Academy», 2008. 368 p. (in Russian)
4. Denisov D.Yu., Abdurakhimov V.Z. K voprosu ispol'zovaniya zhidkostekol'nykh kompozitsiy v proizvodstve teploizolyatsionnykh materialov [On the use of liquid glass compositions in the production of heat insulating materials]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2011. No. 11. Pp. 32–37. (in Russian)
5. Abdurakhimov V.Z., Semenichev V.K., Kovkov I.V., Denisov D.Yu., Kulikov V.A., Vdovina E.V. Ispol'zovanie zhidkogo stekla i tekhnogenennogo syr'ya v proizvodstve ogneupornykh vodostoykikh teploizolyatsionnykh materialov [The use of liquid glass and technogenic raw material in the production of refractory water-resistant heat-insulating materials]. Ogneupory i tekhnicheskaya keramika [Refractory and technical ceramics]. 2011. No. 3. Pp. 26–35. (in Russian)

УДК 691.542 : 666.913

А.М. АБДУЛЛАЕВ, В.Х. МЕЖИДОВ

АДГЕЗИЯ ГИПСА НА КЛИНКЕРЕ В ПРОЦЕССЕ ИХ РАЗМОЛА

Показано, что в процессе совместного размола клинкера и природного гипсового камня в шаровой мельнице происходит адгезия гипса на поверхности частиц клинкера. Этому способствуют кристаллы гипса мягкие, вязкие, слоистые, содержащие воду, которые легко разрушаются и расслаиваются, понижая трение между частицами в мельнице, подобно твердой смазке. В этих условиях в процессе размола обнаруживаются новые шероховатые поверхности клинкера, обладающие в течение короткого времени большой каталитической активностью для физической и химической адсорбции, с которых обычно начинается адгезия. В данной работе представлены результаты экспериментов, которые показывают, что добавление к клинкеру 4–8 % природного гипсового камня слабо влияет ввиду адгезии на изменение его удельной поверхности в процессе размола.

Ключевые слова: клинкер, гипс, размол, портландцемент, адгезия, удельная поверхность.

Гипс в портландцементе замедляет схватывание теста, он взаимодействует с алюминатом кальция, образуя гидросульфоалюминат, влияет также на скорость твердения, прочность и другие свойства. Установлено, что в процессе размола в шаровой мельнице с клинкером гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) обезвоживается полностью или частично до полугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, который растворяется в воде в 3–4 раза быстрее, чем двуводный [1–3]. Оптимальная концентрация гипса исследована для цементов в зависимости от их минерального и химического состава, скорости и условий твердения цемента, реакционной способности клинкера, типа и состава добавок, водных и фазовых составов гипса [4–8]. В работах [9, 10] обсуждается влияние гранулометрии гипса на удельную поверхность цемента. Отмечается, что совместный помол гипса и добавок с высокопрочными минералами клинкера завышает удельную поверхность цемента за счет тонкого измельчения компонентов низкой прочности. При этом увеличение удельной поверхности не приводит к повышению прочности цементного камня, и актуальной является задача определения содержания клинкера, гипса и добавок в различных фракциях. Поэтому в данной работе ставится задача определить вклад природного гипсового камня в удельную поверхность цемента в условиях совместного размола клинкера и гипса в шаровой мельнице.

Материалы и методы исследования. В опытах использованы портландцементы заводов № 1 (Чири-Юртовский цементный завод Чеченской Республики) и № 2 (Новороссийский цементный завод), а клинкер и природный гипсовый камень (ПГК) – завода № 1. Их размалывали в мельнице по отдельности и совместно при различной влажности. ПГК имел плотность 2300 кг/м³ и содержал 46,5 % SO₃. Размол производили на шаровой мельнице РМ 100 (Германия). В ходе измельчения через различные промежутки

времени извлекали весь образец весом 150 г и ситовым методом определяли его фракционный и гранулометрический состав. Удельную поверхность в процессе помола определяли на приборе ПСХ-12СП. Гранулометрический состав портландцемента (ПЦ) и его компонентов для крупных фракций определяли ситовым методом, тонкодисперсные образцы исследовали лазерным анализатором субмикронных частиц Horiba LB 550 (Япония). При этом пробы для анализа готовили в глицерине и этиленгликоле. Гранулометрический состав цемента и морфологию его частиц изучали также растровым электронным микроскопом (РЭМ) Quanta 3D 200i (США). Химический состав компонентов сырья, цемента и его фракций определяли на РЭМ дисперсионно-энергетическим спектрометром от EDAX.

Обсуждение. Если в мелкодисперсной фракции цемента концентрация гипса выше, чем в крупных, это должно проявиться при анализе химического состава фракций ПЦ. С целью проверки вышесказанного были выбраны портландцементы двух крупных производителей № 1, 2. Для каждого из указанных цементов ситовым методом получали пять фракций и определяли их химический состав. Результаты представлены в таблице.

Химический состав фракций портландцементов заводов № 1, 2 (в % веса)

Оксиды	№ 1					№ 2				
	Меньше 40 мкм	40–60 мкм	60–80 мкм	80–100 мкм	100 мкм и больше	Меньше 40 мкм	40–60 мкм	60–80 мкм	80–100 мкм	100 мкм и больше
MgO	1,31	1,20	1,40	1,21	1,44	0,56	0,87	0,84	0,91	0,74
Al ₂ O ₃	3,84	4,10	4,42	3,97	4,09	3,65	3,79	4,12	4,10	4,25
SiO ₂	15,59	16,12	15,29	16,35	16,88	18,53	17,89	19,38	17,40	23,01
SO ₃	3,81	3,44	3,70	4,15	3,76	4,50	4,20	3,20	4,50	2,99
K ₂ O	1,26	1,46	1,51	1,40	1,51	1,16	1,28	1,19	1,32	2,19
CaO	68,19	66,43	65,88	65,41	66,48	67,07	68,73	66,91	68,30	63,44
Fe ₂ O ₃	3,89	3,97	4,12	3,20	4,10	4,53	4,23	4,36	3,42	3,39

Из таблицы следует, что у цементов обоих производителей сходный химический состав с отклонениями, которые, вероятно, связаны с месторождением используемого сырья.

Природный гипсовый камень имеет низкую твердость, он легко размалывается и по существующим представлениям его концентрация должна расти по мере уменьшения размеров частиц фракций. Соответственно должна расти концентрация оксида серы (SO₃), составляющего 46,5 % от двуводного гипса. Однако в таблице не наблюдается зависимость концентрации SO₃ от размеров частиц фракций в достаточно широком интервале их изменения: от меньше 40 мкм до больше 100 мкм. Так, например, концентрация SO₃ в самой мелкой фракции (40 мкм и меньше) для завода № 1 отличается от среднего значения для фракций на 1 %, а для завода № 2 – на 16 %. Эти изменения лежат в пределах отклонений концентрации SO₃ фракций от их средних значений по заводам № 1, 2. Это указывает на отсутствие предполагаемого роста концентрации гипса в тонкодисперсных фракциях ПЦ.

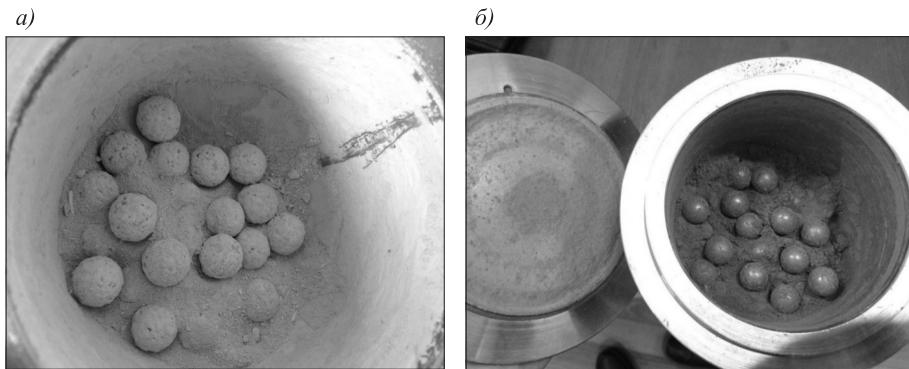


Рис. 1. Результаты размоля в шаровой мельнице в течение 12 мин 150 г природного гипсового камня (а) и клинкера с 8 % ПГК (б)

Наблюдения за состоянием стенок помольной камеры и шаров в процессе размоля ПГК показывают наличие на их поверхностях более 50 % прилипшего слоя гипса от внесенного веса (рис. 1, а). Подобная адгезия не наблюдается в камере мельницы после совместного помола клинкера с 8 % ПГК (рис. 1, б).

Здесь вес компонентов, прилипших к поверхностям шаров и камеры мельницы, составляет около 2 % от внесенного образца. Поэтому появилась необходимость исследовать адгезию (прилипание) цемента и его компонентов в процессе размоля к поверхностям внутри мельницы.

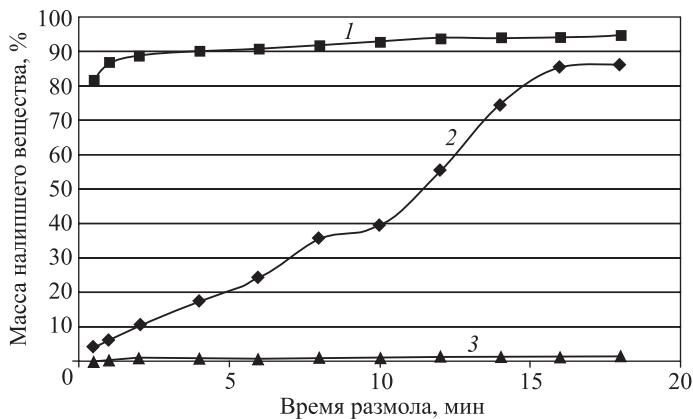


Рис. 2. Зависимость веса компонента (% от 150 г), прилипшего на поверхности в камере мельницы, от продолжительности размоля для ПГК 3 % влажности (1), не увлажненного ПГК (2) и клинкера с 8 % ПГК (3)

На рис. 2 представлено изменение весовой доли компонентов (%), прилипших к поверхностям в шаровой мельнице, в зависимости от продолжительности помола при различных условиях. В процессе размоля природного гипсового камня (кривая 2) непрерывно растет доля прилипшего ПГК ко всем внутренним поверхностям мельницы, достигая за 17 мин 86 % от веса образца.

Увеличение скорости этого процесса после 10 мин помола, вероятно, вызвано повышением температуры в камере мельницы и ростом при этом влажности за счет испарения воды.

Повышение влажности ПГК на 3 % (кривая 1) резко увеличивает прилипание. За первые пять минут оно достигает 90 % от веса образца. При размоле клинкера с 8 % ПГК доля компонентов, прилипших к шарам и поверхностям мельницы, резко снижается и составляет не более 2 % от веса образца в камере мельницы. Следовательно, в заводских условиях в процессе совместного размола клинкера и 5–7 % гипсового камня практически весь гипс прилипает на твердые поверхности частиц клинкера, что согласуется с данными таблицы.

На это указывают также наши опыты по поиску отдельных частиц природного гипсового камня в фракциях заводского цемента. Очевидно, что в процессе размола и адгезии не сохраняется мягкая, легко размалываемая частица гипса размерами десятки микрон, поэтому их нет среди частиц крупных фракций зерен портландцемента. Поиск отдельных частиц гипса начали с фракции ПЦ завода № 1 размерами частиц 40–60 мкм (рис. 3, а, увеличение 500). На липкий углеродный скотч наносили слой частиц исследуемой фракции и потоком воздуха удаляли те, что не прилипли. Так получали слой одиночных частиц фракции ПЦ. Небольшая часть частиц клинкера имеет характерные мелкобугристые поверхности, образованные в процессе фазового перехода в печи. Поэтому определяли химический состав около 50 частиц, которые, по мнению оператора, могли оказаться зернами ПГК с содержанием SO_3 около 46,5 %. При этом не была найдена ни одна такая частица. Обнаружены лишь 3 % частиц с концентрацией SO_3 до 20 %.

Аналогичный поиск частиц ПГК проводили на фракции частиц размерами 40 мкм и менее (рис. 3, б, увеличение 10 000). Также не удалось обнаружить искомые частицы ПГК, хотя исследуемые фракции имели тот же химический состав, что приведен в таблице.

После помола в шаровой мельнице в течение 10–12 мин ПГК не удается разделить на фракции, так как он представляет из себя слипшиеся агрегаты, состоящие из множества частиц (рис. 4).

Суспензии на их основе в различных средах показывают наличие частиц со средним диаметром в интервале от 160 до 400 нм. На рис. 4 при увеличении 20 000 трудно указать отдельную частицу, так как их границы размыты. Большие и маленькие агрегаты имеют округлые формы с размытыми границами. Видно, что даже гранулы размерами менее одного микрона состоят из слипшихся более мелких частиц.

На рис. 5 представлены гистограммы суспензий, полученных при легком встряхивании пробирок с дисперсионной средой и порошком природного гипсового камня, полученного после размола. Если слить верхний тонкодисперсный слой суспензии порошка гипсового камня и залить новые чистые порции этиленгликоля и глицерина, при слабом встряхивании вновь получаются те же значения размеров частиц в интервале от 160 до 400 нм. Гистограммы 1 и 2 получены через 10 мин после образования суспензий. Здесь, вероятно, имеет место самопроизвольное диспергирование гипса, обусловленное снижением свободной энергии его поверхности дисперсионными средами [11].

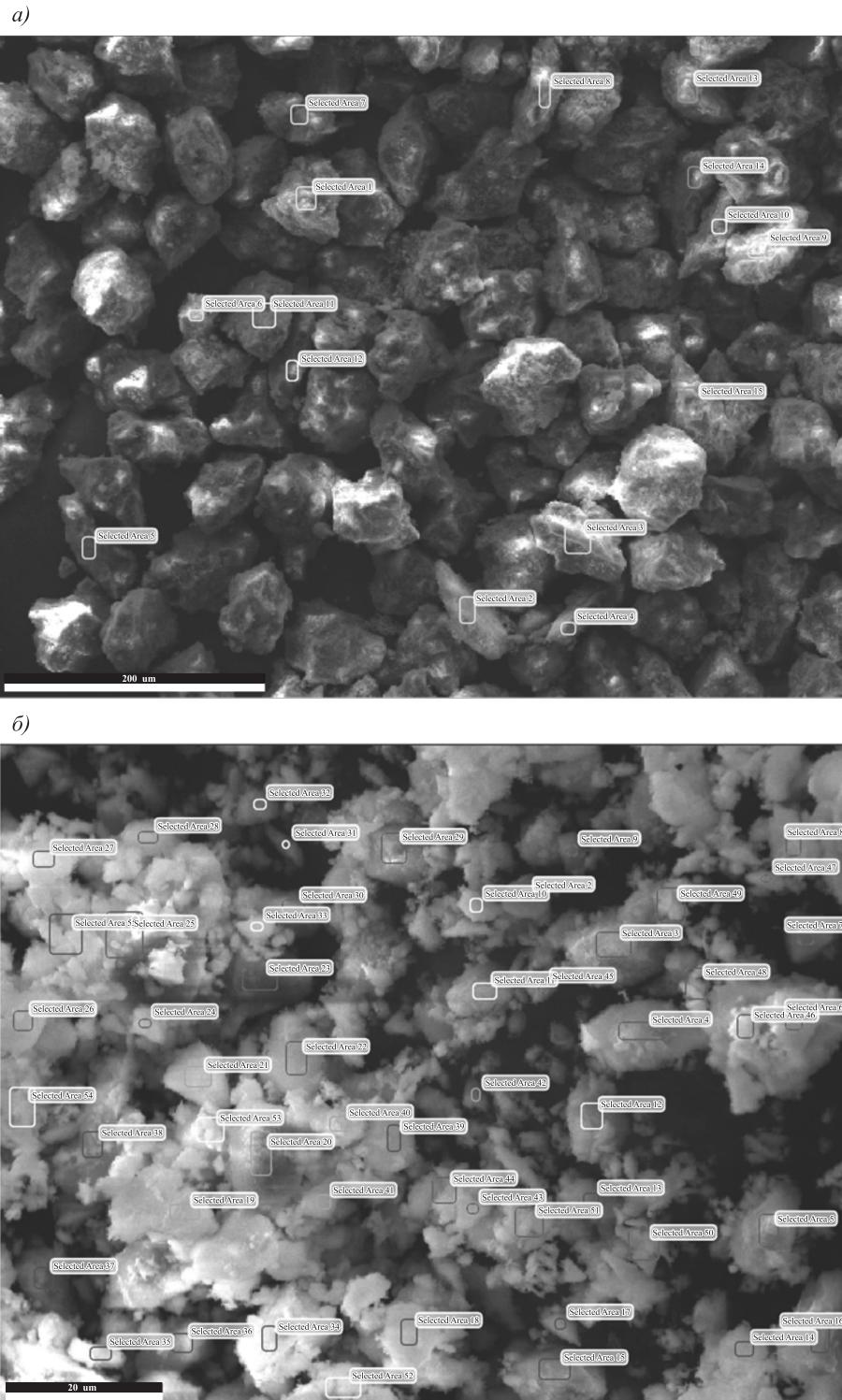


Рис. 3. Фракции и зерна портландцемента 40–60 мкм (а) и 40 мкм и менее (б), для которых определяли химический состав

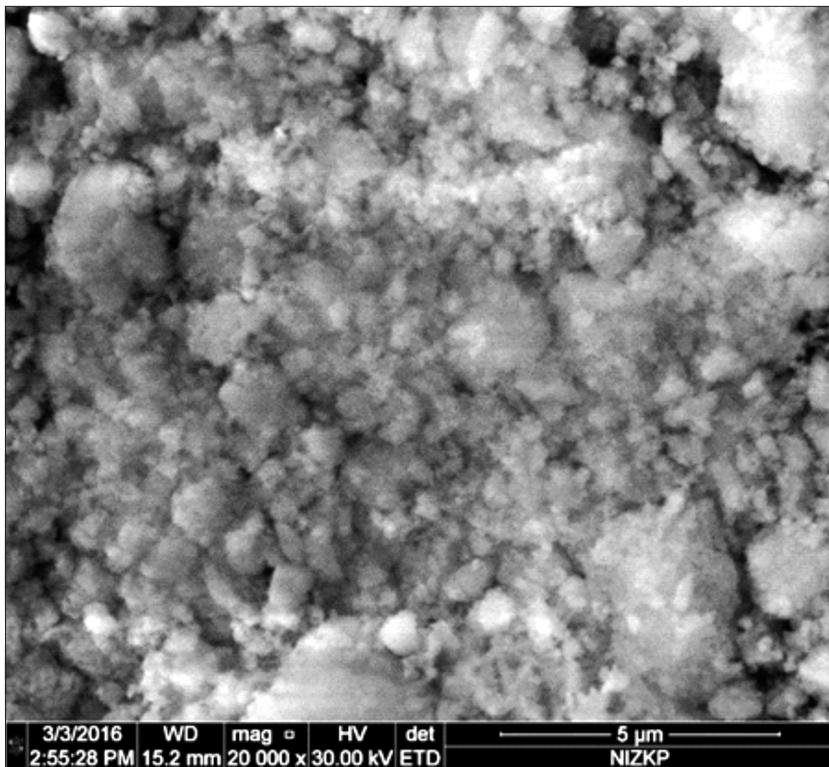


Рис. 4. Природный гипсовый камень после размола в течение 12 мин

Следовательно, в процессе производства портландцемента природный гипсовый камень размалывается до размеров, составляющих единицы микронов и менее, и обладает высокой степенью адгезии к твердым поверхностям. Поэтому трудно обнаружить отдельные частицы гипса даже микронных размеров.

На рис. 6 представлена зависимость удельной поверхности частиц от продолжительности помола для клинкера (1), а также клинкера совместно с природным гипсовым камнем 4 % (кривая 2) и 8 % (кривая 3).

Видно, что рассматриваемые составы имеют одинаковый характер зависимости $S_{уд}$ от продолжительности размола. В первые минуты измельчения удельная поверхность растет медленно в зависимости от времени. После

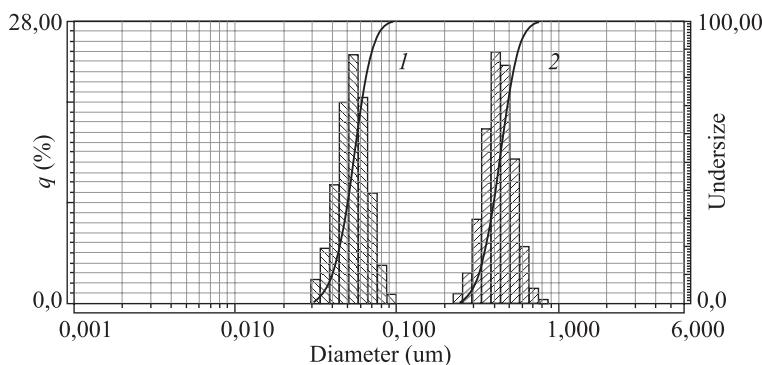


Рис. 5. Гистограммы частиц ПГК после размола, полученные в глицерине (1) и в этиленгликоле (2)

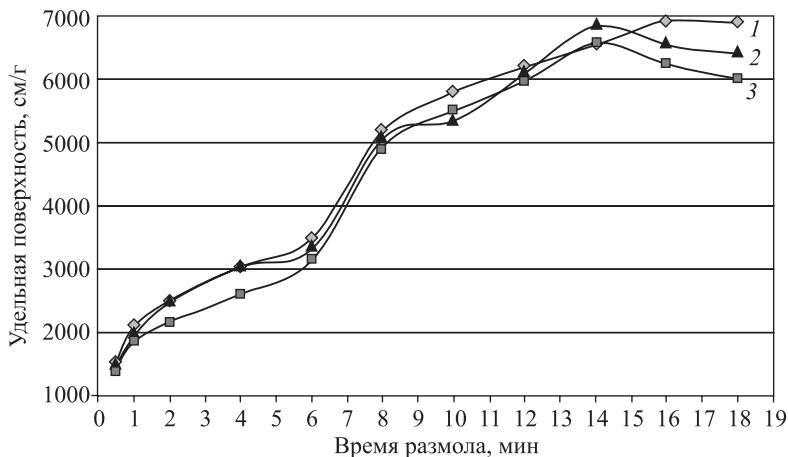


Рис. 6. Изменение удельной поверхности от продолжительности помола для клинкера (1), клинкера совместно с 4 % (2) и 8 % (3) природного гипсового камня

шести минут размола она резко увеличивается и затем через три минуты вновь приобретает значение, близкое к тому, что было в начале. На рис. 6 видно, что при прочих одинаковых условиях кривая 1 размола клинкера без добавки гипса расположилась выше, указывая на более высокую дисперсность помола по сравнению с другими представленными образцами. Кривая 3, полученная при размоле клинкера с 8 % (весовых) ПГК в таких же условиях, оказалась ниже остальных. Если бы хорошо размалываемые частицы гипса сохранялись в помоле без адгезии, подобно зернам клинкера, то удельная поверхность кривой 3 складывалась бы из зерен клинкера и тонкоизмельченного гипса, что привело бы к смене местами кривых 1 и 3. Природный гипсовый камень в процессе адгезии заполняет трещины, поры, шероховатые участки поверхности клинкера, что должно приводить к некоторому уменьшению его удельной поверхности. Усредненная толщина слоя адгезии зависит от величины удельной поверхности и концентрации ПГК. По нашим оценкам, при $S_{уд} = 3500 \text{ см}^2/\text{г}$ и 6 мас.% ПГК она составляет 74 нм. Слабое влияние адгезии на удельную поверхность портландцемента объясняется малой толщиной слоя гипса, распределенного на множестве частиц клинкера, обеспечивающих большую удельную поверхность.

Из приведенных экспериментов следует, что в процессе размола в шаровой мельнице клинкера с гипсом наряду с их измельчением происходит интенсивная адгезия гипсового камня на твердых поверхностях частиц клинкера. Двуводный гипс мягкий, вязкий материал, имеющий твердость по шкале Мооса в пределах 1,5–2, а для клинкера, металлических шаров и поверхностей камеры мельницы эта величина в три раза больше. Такое соотношение твердости при всех столкновениях частиц приводит к опережающему измельчению и адгезии гипса. Этот процесс протекает интенсивно ввиду того, что гипс, содержащий воду, слоистый и мягкий материал, подобно твердой смазке, понижает силу трения между частицами [12]. Это способствует более активному перемешиванию и столкновению частиц в помольной камере. В таких условиях природный гипсовый камень, который составляет 4–7 % от веса клинкера, до завершения размола практически весь переходит

на твердые поверхности внутри камеры шаровой мельницы. Интенсивное перемешивание способствует более равномерному распределению гипса на однотипных поверхностях. При этом на полированных поверхностях шаров и стенок камеры адгезия гипса низкая. В рассмотренных условиях практически весь гипс прилипает к частицам клинкера так, как только на них в течение всего процесса помола создаются в камере свежие, только что обнаженные, шероховатые поверхности, которые обладают максимальной каталитической активностью [13, 14].

Выводы. 1. В процессе размола в шаровой мельнице компонентов портландцемента происходит активная адгезия почти всего природного гипсового камня на поверхности частиц клинкера, поэтому не удается получить необходимые сведения о гранулометрии гипса в цементе.

2. Мягкие, слоистые кристаллы гипса, содержащие до 20 % воды, в рассмотренных условиях интенсивно измельчаются в мельнице и прилипают к обнаженным размолом шероховатым поверхностям клинкера, которые обладают максимальной каталитической активностью, способствующей физической и химической адсорбции, с которых обычно начинается адгезия.

3. Влажный, слоистый гипс, прилипший к поверхностям частиц клинкера, подобно твердой смазке, снижает в мельнице силы трения между частицами. Это улучшает условия для процесса их перемешивания, при котором повышается равномерность распределения гипса по однотипным поверхностям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Портландцементный клинкер. М., 1967. 304 с.
2. Штарк Й., Вихт Б. Цемент и известь. Киев, 2008. 469 с.
3. Ганцлер И.В. Влияние гипса в цементах на прочность тяжелых пропаренных бетонов: дис. ... канд. техн. наук. М.: РГБ, 2007. 206 с.
4. Медведева И.Н., Погудина С.А. Влияние добавок сульфата кальция на свойства быстротвердеющих цементных составов // Цемент и его применение. 2012. № 2. С. 82–86.
5. Козлова В.К., Соколов А.М., Маноха А.М., Малова Е.Ю., Божок Е.В. Влияние количества гипса и условий твердения на прочность композиционных портландцементов с карбонатсодержащими добавками // Цемент и его применение. 2014. № 2. С. 104–107.
6. Ван Х., Ци Ц., Фарзам Х., Кабальеро Е. Минералогический состав и реакционная способность клинкера с высоким содержанием серы // Цемент и его применение. 2014. № 2. С. 68–73.
7. Мачей Т., Костойя М. К вопросу о кинетике гидратации рядовых портландцементов // Цемент и его применение. 2013. № 2. С. 30–35.
8. Крикунова А.А., Рахимбаев Ш.М., Харьковская Н.В. О влиянии гранулометрического состава вяжущего на кинетику твердения портландцементных систем // Технологии бетонов. 2009. № 2. С. 54–55.
9. Энтин З.Б. О взаимосвязи гранулометрии и прочности цемента // Цемент и его применение. 2009. № 6. С. 111–113.
10. Злобин И.А. Способы помола и дисперсный состав продукта // Цемент и его применение. 2014. № 3. С. 42–44.
11. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избр. тр. М.: Наука, 1979. 384 с.

12. Мисюра В.В. Разработка и исследование пластических смазок с графитом или его модификациями: дис. ... канд. техн. наук. Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2015. 156 с.
13. Платэ Н.А., Прокопенко В.В., Каргин В.А. Полимеризация некоторых мономеров при диспергировании неорганических веществ // Высокомолекуляр. соединения. 1959. Т. 1. № 11. С. 1713–1720.
14. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. М.: Химия, 1976. 431 с.

Абдуллаев Абухан Магомедович, асп.; E-mail: han-100@mail.ru

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук (КНИИ РАН), г. Грозный

Межидов Вахид Хумайдович, д-р хим. наук, проф.; E-mail: nizkp@mail.ru

Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова

Получено 26.08.16

Abdullaev Abukhan Magomedovich, Post-graduate Student; E-mail: han-100@mail.ru
Complex Institute named after Kh.I. Ibragimov of the Russian Academy of Sciences, Grozny, Russia

Mezhidov Vakhid Khumaidovich, DSc, Professor; E-mail: nizkp@mail.ru
Grozny State Oil Technical University of a name of the akademician M.D. Millionshchikov, Russia

ADHESION OF PLASTER TO THE CLINKER IN THE PROCESS OF GRINDING

This article shows that during the grinding joint of clinker and gypsum in the natural ball mill the gypsum adhesion occurs on the surface of the clinker particles. This is facilitated by gypsum crystals soft, viscous, laminates containing water, which is easily damaged and delaminated by reducing friction between the particles in a grinder and solid lubricant. Under these conditions, during the rough grinding exposes new surfaces clinker having a short time for high catalytic activity and phys- chemical adsorption where adhesion usually starting. This research presents the results of experiments which show that the addition of 4–8 % to the clinker natural gypsum weak effect, since adhesion to change its specific surface area during the milling process.

К e y w o r d s: clinker, gypsum, grinding, portland cement, adhesion, specific surface area.

REFERENCES

1. Butt Yu.M., Timashhev V.V. Portlandcementnyy klinker [Portlandcement clinker]. Moscow, 1967. 304 p. (in Russian)
2. Shtark Y., Vikht B. Tsement i izvest' [Cement and lime]. Kiev, 2008. 469 p. (in Russian)
3. Gantsler I.V. Vliyanie gipsa v tsementakh na prochnost' tyazhelykh proparennykh betonov: dis. ... kand. tekhn. nauk [Effect of gypsum in the cement on the strength of heavy steamed concrete: dis. .. PhD]. Moscow, RSL, 2007. 206 p. (in Russian)
4. Medvedeva I.N., Pogudina S.A. Vliyanie dobavok sul'fata kal'tsiya na svoystva bystrotverdeyushchikh tsementnykh sostavov [Effect of calcium sulfate addition on the properties of fast setting cement compositions]. Tsement i ego primenenie [Cement and its applications]. 2012. No. 2. Pp. 82–86. (in Russian)
5. Kozlova V.K., Sokolov A.M., Manokha A.M., Malova E.Yu., Bozhok E.V. Vliyanie kolichestva gipsa i uslovii tverdeniya na prochnost' kompozitsionnykh portlandcementov s karbonatsoderzhashchimi dobavkami [Influence of the amount of gypsum and curing conditions on the strength of composite Portland cements with carbonate-containing additives]. Tsement i ego primenenie [Cement and its applications]. 2014. No. 2. Pp. 104–107. (in Russian)

6. Wan Kh., Ts i Ts., Farzam Kh., Kabal'ero E. Mineralogicheskiy sostav i reaktsionnaya sposobnost' klinkera s vysokim soderzhaniem sery [The mineralogical composition and reactivity of clinker with a high content of sulfur]. Tsement i ego primenenie [Cement and its applications]. 2014. No. 2. Pp. 68–73. (in Russian)
 7. Machey T., Kostoyya M. Kvoprosu o kinetike gidratatsii ryadovykh portlandsegmentov [To a question about the kinetics of hydration of ordinary Portland cement]. Tsement i ego primenenie [Cement and its applications]. 2013. No. 2. Pp. 30–35. (in Russian)
 8. Krikunova A.A., Rakhimbaev Sh.M., Khar'kovskaya N.V. O vliyanii granulometricheskogo sostava vyazhushchego na kinetiku tverdeniya portlandsegmentnykh system [The effect of particle size distribution of the binder on the kinetics of hardening Portland cement systems]. Tekhnologii betonov [Technology of concrete]. 2009. No. 2. Pp. 54–55. (in Russian)
 9. Entin Z.B. O vzaimosvyazi granulometrii i prochnosti tsementa [On the relationship between particle size and strength of cement]. Tsement i ego primenenie [Cement and its applications]. 2009. No. 6. Pp. 111–113. (in Russian)
 10. Zlobin I.A. Sposoby pomola i dispersnyy sostav produkta [Methods for grinding and dispersion of the product]. Tsement i ego primenenie [Cement and its application]. 2014. No. 3. Pp. 42–44. (in Russian)
 11. Rebindler P.A. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika. Izbrannye trudy [Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics. Selected works]. Moscow, Nauka, 1979. 384 p. (in Russian)
 12. Misura V.V. Razrabotka i issledovanie plasticheskikh smazok s grafitom ili yego modifikatsiyami: dis. ... kand. tekhn. nauk [Development and research of greases with graphite or modifications: dis. ... PhD]. Samara State Technical University. Samara, 2015. 156 p. (in Russian)
 13. Plate N.A., Prokopenko V.V., Kargin V.A. Polimerizatsiya nekotorykh monomerov pri dispersirovaniyu neorganicheskikh veshchestv [Polymerization of some monomers by dispersing inorganic substances]. Vysokomolekulyarnye soedineniya [Macromolecular compounds]. 1959. Vol. 1. No. 11. Pp. 1713–1720. (in Russian)
 14. Zimon A.D. Adgeziya pyli i poroshkov [Adhesion of dust and powders]. Moscow, Chemistry, 1976. 431 p. (in Russian)
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА



УДК 69.003 : 658.387

В.В. ГЕРАСИМОВ, Г.Б. САФАРЯН, Н.В. СВЕТЫШЕВ

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложен методический подход разработки нормативной базы ремонтно-строительных работ с учетом фактора вероятностной характеристики параметров работ в условиях рынка, на основе которого осуществляется проектирование, планирование и управление динамикой процессов, проектов и программ ремонтно-строительного комплекса с оценкой, обеспечивающей рост производительности труда.

Ключевые слова: нормативно-методическая база, надежность, методика, ремонтно-строительные работы, производительность.

Эффективность производства ремонтно-строительных работ (РСР) в значительной степени определяется факторами трех типов: объемно-конструктивных решений, которыми формируются необходимые простины ресурсов и механизмов; структурных решений организации объектов, которые определяются схемами организации ресурсов; вероятностными факторами, которые определяются случайными воздействиями на процессы РСР.

Практика показывает, что использование проектных документов для организации строительства не находит использование по причине отсутствия нормативно-методической базы надежности решений. Вместе с этим надежность как инструмент оценки работоспособности строительного потенциала имеет важное значение, поскольку она характеризует качество принимаемых проектно-строительных решений. Этот критерий оценки позволяет решать две задачи: применять резервы использования ресурсов и определять возможные опасности, обусловленные рисками строительного производства.

Существующая нормативно-методическая база не предусматривает порядок учета фактора надежности производства строительных и ремонтно-строительных работ, что снижает достоверность проектных организационно-технологических разработок – ПОС, ППР и ПОР. Это становится важной проблемой в условиях принятия решений по изменению стратегий реализации строительных объектов.

В практике проведения ремонтно-строительных работ (РСР) должна решаться оптимизационная задача использования ресурсов ремонтного по-

тенциала при соблюдении требований обеспечения качества эксплуатации объектов жилого фонда. Эта задача решается с применением существующих методов оптимизации ресурсов на основе формирования приоритетного портфеля объектов. Функционалом модели оптимизации является качество объектов, а ограничениями – ресурсы для проведения РСР.

В решении задач управления ресурсами восстановления эксплуатации объектов жилого фонда важная задача – учет факторов внешней среды, которые представляются тремя видами опасностей: факторами внутренними – характеризуются работоспособностью потенциала организаций, осуществляющими РСР; факторами внешними по отношению к базовому СМР – характеризуются работоспособностью инфраструктурных организаций; факторами смежных направлений, которыми комплексируется рыночная модель потенциала – финансовыми и экономическими факторами. Практика показывает, что организационно-технологические факторы безопасности являются базовыми, поскольку формируются внутри объекта и могут быть определены имеющимися количественными методами. Условия безопасности, определяемые внешними факторами, в значительной степени зависят от рыночных условий и составляют область рыночных исследований [1, 2].

Технические решения объектов характеризуются параметрами объемно-планировочных и конструктивных решений, а организационно-технологические – типологией потоков ресурсов объектов и работ. Эффективность в области ремонта и восстановления объектов определяется тремя положениями: ростом затрат на поддержание состояния объектов на уровне, достаточном для нормальной эксплуатации объекта; образованием фазовых структур «амortизация–качество» объекта; снижением качества объекта в связи с амортизацией потенциала.

Фазовые образования на протяжении продолжительности жизненного цикла объекта имеют различные структуры, что определяет вариации фазовых структур и изменчивость оценок состояния потенциала объекта.

Анализ практики РСР позволяет сформулировать следующие проблемные положения:

- производство РСР осуществляется на большом объеме эксплуатирующегося жилого фонда, что вызывает необходимость создания портфеля объектов, определяющих максимизацию качества восстановительных объектов при минимальных затратах;
- режимами фазовых структур создаются различные схемы работоспособности потенциала, что предопределяет появление различных уровней надежности его состояния;
- определение надежности организационно-технологических решений объектов имеет важное значение, поскольку на уровне этих документов формируются базовые параметры – продолжительности и затрат РСР;
- области организационно-технологической надежности формируются на протяжении всех этапов жизненного цикла объектов: ввода, нормального и убыточного функционирования, завершения;
- классы задач по определению надежности РСР могут быть представлены группой решений по проведению базовых и сопряженных – производ-

ственных и логистических работ, обеспечивающих базовый ремонтный процесс.

Практика показывает, что разработка системы надежности РСР включает следующие принципы: в предметную область системы РСР должны входить все объекты комплекса жилой застройки с различными объемно-планировочными и конструктивными решениями и состояниями по фазам жизненного цикла объектов; нормирование параметров по затратам и продолжительности работ должно осуществляться в соответствии с нормативами, а надежность – на основе специальных исследований; нормативная база надежности организационно-технологических решений должна быть основана на модулировании типов (капитальный, текущий, восстановление) и видов ремонтов, определяемых по направлениям: организации – элементами видов объекта, технологии – элементами видов работ.

Следовательно, проблема повышения достоверности проектных решений производства РСР может быть представлена комплексом задач, включающих определения номенклатуры ремонтно-строительных модулей (РСМ) состояний объектов в координатах этапов жизненного цикла; исследования надежности модулей в режимах объемов и продолжительности работ; формирование нормативов надежности РСМ; разработку методических решений по проектированию стохастических решений документов – ПОС, ППР, ПОР.

Для решения проблемы проведены исследования проектных материалов и исполнительских документов ремонтно-строительных организаций и предприятий и установлено, что проектные организационно-технологические решения (ОТР) разрабатываются для детерминированных условий, а оптимизация ресурсной динамики оценивается локальными результатами; методические инструкции проектных стандартов не ориентированы на оптимизацию ОТР по этапам динамики жизненного цикла объектов; ОТР проектов не ориентированы на механизм взаимодействия с внешней средой и реакции на внутренние производственные факторы; критерии оценки качества ОТР в проектном и плановом процессе РСР объектов не имеют методической поддержки.

Практика показывает, что многокритериальная оптимизация РСР основана на выборе стратегии управления РСР трех видов: стратегии обеспечения повышенного качества (ремонтные работы выполняются с большими затратами по сравнению с установленными нормативами); стратегии обеспечения нормативного качества (ремонтные работы выполняются в соответствии с нормативами); стратегии обеспечения пониженного качества (ремонтные работы выполняются с меньшими затратами по сравнению с установленными нормативами). Использование последней стратегии обусловлено недостаточным объемом наличных ресурсов. Использование стратегий ресурсообеспечения объектов создает возможность модулирования жилых объектов вида «материал стен – этажность – стратегия ремонтов».

Приведем методические подходы по разработке базы организационно-технологической надежности жилых объектов на основе многопараметрической оптимизации комплексного ремонтно-строительного процесса по

методологии функционально-технического анализа структуры и процессов управления рисками.

Основой подхода являются разработка классификации по типам и видам объектов, отображающих множество объектов жилого фонда; разработка классификации по типам и видам ремонтных работ, отображающих множество ремонтных модулей; разработка модулей РСР как комплекс классификаций объектов и работ; исследование модулей РСР на получение нормативов надежностей; разработка методических основ использования нормативов надежности в практике проектирования, планирования и управления РСР.

Модельный комплекс системы ремонтно-строительной надежности включает модели, методы и инструменты, приведенные ниже.

Задача формирования системы надежности объектов может быть представлена логико-информационной моделью вида [3, 4]:

$$C_{\text{нд}} = (OY_{\text{нд}}, MX_{\text{нд}}, CY_{\text{нд}}), \quad (1)$$

$$OY_{\text{нд}} = (H_{\text{до}}, H_{\text{дт}}, H_{\text{дз}}, H_{\text{дф}}), \quad (2)$$

$$MX_{\text{нд}} = (M_b, M_o, M_k), \quad (3)$$

$$CY_{\text{нд}} = (M_{\text{рз}}, M_{\text{пр}}, M_{\text{ср}}), \quad (4)$$

$$H_{\text{до}} = f(V_o, T_o), \quad (5)$$

$$H_{\text{дт}} = f(v_p, t_p), \quad (6)$$

$$V_o = U V_p, \quad (7)$$

$$T_o = \sum t_p, \quad (8)$$

$$Z(\text{нд})_o = Z(V_o, T_o) \ominus H_{\text{до}}, \quad (9)$$

$$Z(\text{нд})_t = Z(v_p, t_p) \ominus H_{\text{дт}}, \quad (10)$$

$$Z(\text{нд})_{\text{от}} = Z(\text{нд})_o + Z(\text{нд})_t, \quad (11)$$

$$H_d = (U\Delta \ominus UB)_{\max}, \quad (12)$$

где $C_{\text{нд}}$ – система надежности;

$OY_{\text{нд}}$, $MX_{\text{нд}}$, $CY_{\text{нд}}$ – соответственно объект управления надежностью, механизм надежности, субъект управления надежностью;

$H_{\text{до}}$, $H_{\text{дт}}$, $H_{\text{дз}}$, $H_{\text{дф}}$ – соответственно надежность организационная и технологическая;

M_b , M_o , M_k – соответственно методы баланса, оптимизации, кластеризации; $M_{\text{рз}}$, $M_{\text{пр}}$, $M_{\text{ср}}$ – соответственно методы резервирования риска, передачи риска, страхования риска;

V_o , T_o – соответственно параметры объемов объекта и продолжительности как факторы организационной надежности;

v_p , t_p – соответственно параметры объемов работ и продолжительности как факторы технологической надежности;

$Z(\text{нд})_o$ – затраты с учетом организационной надежности;

H_d – организационная надежность;

З(нд)т – затраты с учетом технологической надежности;
Н_{дт} – технологическая надежность;
З(нд)от – затраты с учетом фактора организационно-технологической надежности;
 Δ – отклонения параметров;
В – вероятность отклонений;
Н_д – надежность;
 \ominus – знак взаимодействия параметров системы.

Уравнения (1)–(4) отображают условия формирования системы надежности как инструмента сопровождения затрат работ с учетом влияния случайных факторов; (5)–(8) – условия формирования надежности как интегрированной системы случайных факторов; (9)–(12) – условия формирования затрат с учетом случайных факторов.

Задача исследования надежности применительно к области РСР представлена тремя методами: включающими факторы структуры объемов объектов, продолжительности работ и их комплексирования (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Параметры организационно-технологической надежности РСР

№	Характеристики метода				
	блоки	факторы	M1(ΔV)	M2 (ΔT)	M3 ($\Delta V, \Delta T$)
1	ОП	V	$V(UV_i)$		$V(UV_i)$
2	КС	M	$M(UM_i)$		$M(UM_i)$
3	ОР	O_6		O_{6i}, \dots, O_{6n}	$O_6(t)$
4	TX	P_6		P_{6i}, \dots, P_{6n}	$P_6(t)$

П р и м е ч а н и я. ОП – объемно-планировочные параметры; КС – конструктивные параметры; ОР – организационные параметры; TX – технологические параметры; V – объем объекта; M – объем материальных ресурсов; O_6 – объект; P_6 – работы; M1 – по фактору объемов работ; M2 – по фактору продолжительности; M3 – по фактору объемов работ и продолжительности; Δ – отклонение; i – индекс локального объекта или работы.

Из табл. 1 следует, что использование методов учета факторов надежности расширяет возможности дифференцирования использования нормативов надежности в зависимости от конкретных условий производства работ; фактор продолжительности работ выполняет две функции – как фактор случайных событий и инструмент перевода эффекта продолжительности в затраты производства; надежности организационные и технологические имеют самостоятельное значение и могут быть интегрированы в единый критерий.

Проведенные исследования организационно-технологической надежности позволили установить зоны безопасности для потенциала организации, выполняющей комплекс РСР (табл. 2).

Как видно из табл. 2, количественные значения надежности имеют установленное значение и могут быть использованы при вариациях типов жилых домов; зоны безопасности РСР, включающего работы по капитальному, текущему ремонту и восстановлению, определяются нормой прибыли организации; ремонтно-строительные модули должны включать три характеристики – варианты типов, этажность и качество восстановления.

Таблица 2. Интегрированная оценка безопасности РСР на примере жилого фонда г. Новосибирска

№ метода	Характеристики зон безопасности РСР						
	МС	ЭТ	ЖЦ	Н	H _н = 20	H _н = 10	H _н = 5
M1	+	+	+	0,91–0,93	З ₆₁	З ₆₁	З ₆₂
M2	+	+	+	0,86–0,88	З ₆₁	З ₆₂	З ₆₃
M3	+	+	+	0,78–0,81	З ₆₂	З ₆₃	З ₆₃

П р и м е ч а н и я. 1 – по фактору объемов работ; 2 – по фактору продолжительности; 3 – по фактору объемов работ и продолжительности; МС – материал стен объекта; ЭТ – этажность объекта; ЖЦ – этап жизненного цикла объекта; Н – организационно-технологическая надежность; H_н – норма прибыли организации РСР; З₆₁ – зона безопасная; З₆₂ – зона предельная; З₆₃ – зона опасная.

Приведенные разработки нормативов надежности могут быть использованы в документах проектирования в форматах карты надежности, которые учитываются при подготовке проекта обеспечения безопасности производства РСР [5, 6].

В составе карты должны быть представлены информационные атрибуты, в которых отражается место комплексирующего процесса в комплексе работ, фактор опасности, уровень надежности комплексирующего процесса и зоны безопасности проектных решений. Эти данные должны использоваться для корректировки решений ПОС, ППР, ПОР в следующем порядке (табл. 3):

- 1) определение детерминированных показателей проектных документов;
- 2) расчет стохастических расчетных параметров; 3) расчет нормативных параметров с учетом надежности процессов; 4) разработка мероприятий снижения расчетных зон до допустимого уровня надежности в соответствии с установленным уровнем прибыли производства РСР.

Таблица 3. Карта организационно-технологической безопасности ОТБ комплекса РСР

№	Характеристики зон комплексной безопасности РСР					
	блоки	факторы	У _{бн}	H _н = 20	H _н = 10	H _н = 5
1	P _{бз}	P _р	1	З ₆₁	З ₆₁	З ₆₃
2	Π _{бз}	P _п	1,07	З ₆₁	З ₆₁	З ₆₂
3	Л _{бз}	P _л	1,02	З ₆₁	З ₆₁	З ₆₂
4	I _{бз}		1,09	З ₆₁	З ₆₁	З ₆₂

П р и м е ч а н и я. Р_{бз} – блок РСР; Π_{бз} – блок производства; Л_{бз} – блок логистики; И_{бз} – индикатор безопасности; P_р – ресурсы РСР; P_п – ресурсы производства; P_л – ресурсы логистики.

- Приведенный подход позволяет решать задачи:
- корректировки проектных документов по параметрам структур и процессов;
 - создания нормативной базы для новых типов и видов объектов с использованием реализации восстановительных процессов жилого фонда;
 - использования для планирования и управления процессами реализации РСР по этапам жизненного цикла объекта;
 - использования типовых модулей с расчетными показателями надежности для последующих процессов РСР;

– использования карты в качестве паспортов надежностей при решении долгосрочных задач в программировании развития РСК;

– для оценки и выбора решений управления безопасностью могут использоваться экспертные, аналоговые методы и методы, основанные на критериях пороговых значений.

Информационная база данных модулей надежности может быть рекомендована для разработки автоматизированных систем управления проектированием организационно-технологических решений РСР.

Выводы. 1. Существующая методическая база организации строительных работ не ориентирована на учет факторов неопределенности и риска, что снижает достоверность принимаемых решений в соответствии со стандартами ПОС, ППР, ПОР.

2. В практике проведения ремонтно-строительных работ такое положение становится особенно важным, поскольку формирование портфеля ремонтно-строительных работ не является типовой процедурой и обусловлено спецификой формирования вариантов типов ремонтов жилого фонда.

3. Предложенный подход предусматривает проектирование модульной системы на основе типовых стохастических квантов ремонтно-строительных работ, которые могут быть использованы для формирования портфеля производственного плана ремонтно-строительной организации.

4. Предложенный подход позволяет формировать нормативную базу типовых модулей квантов ремонтно-строительных работ и использовать их в формате 3D («поток объектов – план ресурсов – мощность организации») для формирования автоматизированной системы управления ремонтно-строительных работ в соответствии с существующими стандартами ПОС, ППР и ПОР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов В.В., Пичугин А.П., Исааков А.К. Управление социально-экономическими портфелями программ и проектов организации: учеб. пособие / Новосиб. гос. агр. ун-т. Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2014. 200 с.
2. Шульц В.Л., Цыганов В.В., Идрисов Р.Ф., Терехова Н.Н. Безопасность социально-экономических систем / отв. ред. В.Л. Шульц; Рос. акад. наук, Центр исслед. проблем безопасности. М.: Наука, 2009. 271 с.
3. Герасимов В.В. и др. Управление архитектурой территориальных строительных систем: монография. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. архит.-строит. ун-та (Сибстрин), 2015. 168 с.
4. Доценко Д.В., Крутиков В.К., Красавина М.Ю. Стратегия региональной экономической безопасности // Труды регионального конкурса научных проектов в области гуманитарных наук. 2009. № 10. С. 67–69.
5. Герасимов В.В., Исааков А.К., Сафарян Г.Б., Иванов С.В. Организация управления развитием территориальных объектов на основе квантовых технологий // Социум и жизненное пространство личности (междисциплинарные аспекты): сб. ст. VI междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский дом знаний, 2016. С. 40–43.
6. Герасимов В.В., Исааков А.К., Сафарян Г.Б., Иванов С.В. Управление эффективностью технико-экономических решений объектов строительства // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 3. С. 43–49.

7. Попов Д.В. и др. Подход к разработке системы календарного планирования с применением онтологической базы знаний // Прил. к журн. «Открытое образование». 2007. С. 82–84.

Герасимов Виталий Владимирович, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: gvv2050@yandex.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Сафарян Геворг Борисович, асп.; E-mail: gevorg-safaryan@rambler.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Светышев Назар Владиславович, асп.; E-mail: nazarsvetyshev@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 22.08.16

Gerasimov Vitaliy Vladimirovich, DSc, Professor; E-mail: gvv2050@yandex.ru

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

Safaryan Gevorg Borisovich, Post-graduate Student;

E-mail: gevorg-safaryan@rambler.ru

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

Svetyshev Nazar Vladislavovich, Post-graduate Student;

E-mail: nazarsvetyshev@mail.ru

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

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF REPAIR AND CONSTRUCTION WORKS OF RESIDENTIAL FACILITIES

The proposed methodological approach for the development of the regulatory framework of repair and construction works with consideration of probabilistic characteristics of the parameters of the work in the conditions of market, on the basis of which are the design, planning and managing the dynamics of processes, projects and programmes repair and construction complex with assessment, ensuring the growth of labor productivity.

К e y w o r d s: normative-methodical base, reliability, methods, repair and construction work, the performance.

REFERENCES

1. Gerasimov V.V., Pichugin A.P., Isakov A.K. Upravlenie sotsial'no-ekonomiceskimi portfelyami programm i proektov organizatsii: ucheb. posobie [Management of socio-economic portfolios of programs and projects of the organization: study guide]. Novosib. gos. agr. un-t [Novosibirsk State Agricultural University]. Novosibirsk, ITs «Zolotoy kolos», 2014. 200 p. (in Russian)
2. Shul'ts V.L., Tsyganova V.V., Idrisov R.F., Terehova N.N. Bezopasnost' sotsial'no-ekonomiceskikh sistem [Security socio-economic systems]. Otv. red. V.L. Shul'ts. Ros. acad. nauk, Tsentr issled. problem bezopasnosti. Moscow, Nauka, 2009. 271 p. (in Russian)
3. Gerasimov V.V. et al. Upravleniye arkhitekturoy territorial'nykh stroitel'nykh system: monografiya [Managing the territorial architecture and construction systems: monography]. Novosibirsk, Publishing house of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 2015. 168 p. (in Russian)
4. Dotsenko D.V., Krutikov V.K., Krasavina M.Yu. Strategiya regional'noy bezopasnosti [The strategy of regional security]. Trudy regional'nogo konkursa nauchnykh proektov v oblasti gumanitarnykh nauk [Proceedings of the regional competition of research projects in the Humanities]. 2009. No. 10. Pp. 67–69. (in Russian)

5. Gerasimov V.V., Isakov A.K., Safaryan G.B., Ivanov S.V. Organizatsiya upravleniya razvitiem territorial'nykh ob'yektorov na osnove kvantovykh tekhnologiy [Organization of development management of territorial objects based on quantum technologies]. Sotsium i zhiznennoe prostranstvo lichnosti (mezhdistsiplinarnye aspekty): sb. st. VI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Society and life space of the individual (interdisciplinary aspects)]. Collection of articles of the VI international scientific-practical conference]. Penza: Privolzhskiy house of knowledge, 2016. Pp. 40–43. (in Russian)
 6. Gerasimov V.V., Isakov A.K., Safaryan G.B., Ivanov S.V. Upravlenie effektivnost'yu tekhniko-ekonomiceskikh resheniy ob'yektorov stroitel'stva [Efficiency management of technical and economic solutions of construction objects]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 3. Pp. 43–49. (in Russian)
 7. Popov D.V. et al. Podkhod k razrabotke sistemy kalendarnogo planirovaniya s primeneniem ontologicheskoy bazy znanii [Approach to the development of a system scheduling with the use of ontological knowledge base]. Pril. k zhurn. «Otkrytoe obrazovanie» [App to magazine «Open education»]. 2007. Pp. 82–84. (in Russian)
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ



УДК 621.542.001

Г.Р. ГАВРИЛЬЧИК, ОЛЗИЙБАЯР ЧОЕН, К.Н. РОМАНОВ,
Т.Р. КВАРЦХАЛАЯ, В.А. ГВОЗДЕВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ

ДРОССЕЛЬНЫЙ ПНЕВМОУДАРНЫЙ МЕХАНИЗМ С ЧАСТИЧНЫМ ВЫТЕСНЕНИЕМ ВОЗДУХА ИЗ КАМЕРЫ РАБОЧЕГО ХОДА ПОСРЕДСТВОМ СТЕРЖНЯ

Рассматриваются синтезированные механизмы с дросселями впуска и варианты применения признаков-элементов средств частичного вытеснения в виде каналопазов и каналов-лысок и обсуждаются особенности рабочего процесса с применением его физико-математического описания.

Ключевые слова: стержень, канал винтовой, ударник, площадь сечения, паз, лыска, дроссель впуска, камера, выточка, синтез, механизм.

Материалы статьи содержат результаты качественных сравнений взаимовлияния пар конструктивных признаков-элементов, заимствованных из классификаций признаков [1, 2]. Исследование парных конструктивных элементов пневмоударного механизма дроссельного типа является основополагающим при изучении динамических процессов (бародинамики, термодинамики, хородинамики и баромеханики), которые позволяют с большой глубиной осуществить количественные исследования. В данной работе на основе физико-математического описания рабочего процесса проводится качественное сравнение пневмоударных механизмов.

Цель качественных исследований – установление взаимовлияния признаков-элементов частичного вытеснения, выполненных на стержне.

Предмет исследования – возможности конструктивного исполнения признаков-элементов в виде канала-паза или канала-лыски и их влияние на рабочий процесс ДПУМ.

Принципиальные схемы пневмоударных механизмов с дроссельным воздухораспределением синтезированы с применением минимального количества конструктивных элементов, участвующих в процессе частичного вытеснения воздуха из камеры рабочего хода [3].

Качественное влияние этого процесса достаточно ясно прослеживается с применением физико-математического описания взаимодействия призна-

© Гаврильчик Г.Р., Олзийбаяр Чоен, Романов К.Н., Кварцхалая Т.Р., Гвоздев В.А., Абраменков Э.А., 2016

ка-элемента частичного вытеснения с признаками-элементами средств формирования силового импульса ударника в виде камер. Количественная оценка рабочего процесса в данной статье не предусматривается и внимание обращается только на конструктивное решение средств вытеснения, влияющих на диаметральные размеры ДПУМ.

Принципиальная схема синтезированного пневмоударного механизма представлена на рис. 1 и снабжена кратким описанием устройства и взаимодействия между средствами воздухоподвода: каналами впуска, перепуска, вытеснения и выпуска.

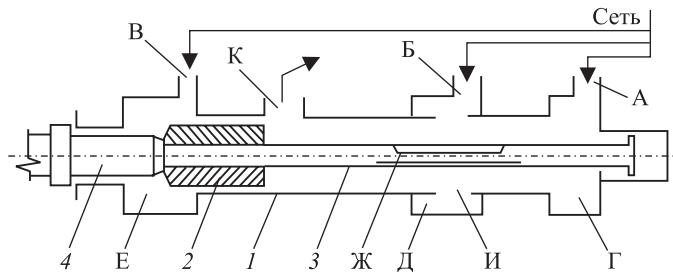


Рис. 1. Принципиальная схема синтезированного ДПУМ

ДПУМ с управляющим признаком-элементом в виде канала-паза выполнен на базе [3].

Сжатый воздух из сети постоянно по каналам А площадью сечения ω_p , Б площадью сечения $\omega_{\text{фр}}$ и В площадью сечения ω_x поступает в камеры Г рабочего хода объемом V_p , в форсажную непроточную камеру Д объемом $\omega_{\text{фр}}$ и камеру Е холостого хода объемом V_x в цилиндре массой m_k . В зависимости от положения ударника 2 массой m_y со сквозным каналом для пропуска стержня 3 с каналом частичного вытеснения в виде одинаковой или переменной по глубине паза Ж площадью сечения ω_b на уровне форсажного канала И площадью сечения $\omega_{\text{рф}}$ часть воздуха из камеры Г перепускается в объем со стороны камеры Е с одновременным его выпуском через канал К выпускплощадью сечения $\omega_{ap} = \omega_{ax}$. При закрытом канале И воздух из сети в камере Д накапливается, а при открытом канале выпускается в камеру Г, создавая в ней дополнительный импульс давления.

Опорожнение камер Г, Д и Е осуществляется через канал К выпуска.

Под действием разности силовых импульсов давления со стороны камер Г и Е ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 4.

Задачей моделирования является нахождение необходимой площади сечения канала-паза в функции длины канала и времени его открытия и сообщения камера со стороны обоих торцов ударника.

ДПУМ с управляющим признаком-элементом в виде канала-лыски представлен на рис. 2 и снабжен кратким описанием устройства, выполнен на базе [3].

Сжатый воздух из сети постоянно по каналам А площадью сечения ω_p , Б площадью сечения $\omega_{\text{фр}}$ и В площадью сечения ω_x поступает в камеры Г рабочего хода объемом V_p , в форсажную непроточную камеру Д объемом

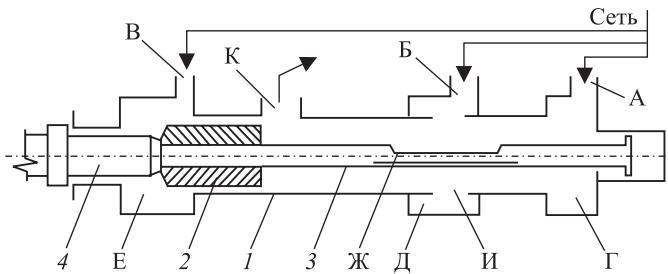


Рис. 2. Принципиальная схема синтезированного ДПУМ

$\omega_{\text{фр}}$ и камеру Е холостого хода объемом V_x в цилиндре массой m_k . В зависимости от положения ударника 2 массой m_y со сквозным каналом для пропуска стержня 3 с каналом частичного вытеснения в виде одинаковой или переменной по глубине лыски Ж площадью сечения ω_b на уровне форсажного канала И площадью сечения $\omega_{\text{рф}}$ часть воздуха из камеры Г перепускается в объем со стороны камеры Е с одновременным его выпуском через канал К выпускплощадью сечения $\omega_{\text{ap}} = \omega_{\text{ax}}$. При закрытом канале И воздух из сети в камере Д накапливается, а при открытом канале выпускается в камеру Г, создавая в ней дополнительный импульс давления.

Опорожнение камер Г, Д и Е осуществляется через канал К выпуска.

Под действием разности силовых импульсов давления со стороны камер Г и Е ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 4.

В конструктивном исполнении канал-лыска предпочтителен каналу-пазу, поскольку обуславливает меньшее количество концентраторов напряжения в стержне, что обеспечивает ему больший ресурс.

Задачей моделирования является нахождение необходимой площади сечения канала-лыски в функции длины канала и времени его открытия и сообщения камера со стороны обоих торцов ударника.

Обозначения, допущения и ограничения к физико-математическому описанию рабочего процесса синтезированных механизмов:

$V_{\text{фр}}, V_x, V_p$ – объемы камер форсажа, холостого и рабочего хода;

$p_{\text{фр}}, p_x, p_p$ – давления воздуха в камерах с объемами $V_{\text{фр}}, V_x, V_p$;

p_c, p_a – давление воздуха в сети и атмосфере;

$\Phi_{\text{фр}}, \Phi_x, \Phi_p$ – коэффициенты бародинамического процесса в камерах с объемами $V_{\text{фр}}, V_x, V_p$;

$\theta_{\text{фр}}, \theta_x, \theta_p$ – температура воздуха в камерах с объемами $V_{\text{фр}}, V_x, V_p$;

θ_c, θ_a – температура воздуха в сети и атмосфере;

$\Omega_{\text{фр}}, \Omega_x, \Omega_p$ – коэффициенты термодинамического процесса в камерах с объемами $V_{\text{фр}}, V_x, V_p$;

$\omega_{\text{фр}}, \omega_x, \omega_p, \omega_{\text{ax}}, \omega_{\text{ap}}$ – площади геометрических сечений каналов впуска в камеры с объемами $V_{\text{фр}}, V_x, V_p$ и выпуска из камеры холостого и рабочего хода;

$\Phi_{\text{фр}}, \Phi_{\text{рф}}, \Phi_x, \Phi_{\text{ax}}, \Phi_{\text{ap}}$ – коэффициенты бародинамического процесса в каналах с геометрическим сечением $\omega_{\text{фр}}, \omega_{\text{рф}}, \omega_x, \omega_{\text{ax}}, \omega_{\text{ap}}$;

$\Omega_{\phi p}$, $\Omega_{p \phi}$, Ω_{xt} , Ω_{ax} , Ω_{ap} – коэффициенты термодинамического процесса в каналах с геометрическими сечениями $\omega_{\phi p}$, $\omega_{p \phi}$, ω_{xt} , ω_{ax} , ω_{ap} ;
 ω_b – площадь геометрического сечения канала частичного вытеснения;
 φ_b – коэффициент бародинамического процесса для ω_b ;
 Ω_b – коэффициент термодинамического процесса для ω_b ;
 m_y , m_k – массы ударника и корпуса;
 x_y , x_k – перемещение ударника и корпуса;
 S_y – рабочая площадь кольца торца ударника;
 F_h – усилие нажатия на корпус;
 $W = (2Rk/(k-1))^{1/2}$, k , R – показатель процесса и газовая постоянная;
 $(dx_y/dt)_o$, $(dx_k/dt)_o$ – скорости отскока ударника и корпуса после соударения с хвостовиком и буртиком инструмента;
 $(dx_y/dt)_y$, $(dx_k/dt)_y$ – скорости ударника и корпуса перед соударением с хвостовиком инструмента и корпуса с буртиком инструмента;
 k_y , k_k – коэффициенты отскока ударника и корпуса от хвостовика и буртика инструмента;
 t , dt – время и его производная.

Для предварительных исследований качественных свойств синтезированных механизмов введем допущения:

стержень закреплен относительно крышки цилиндра; масса стержня учтена в массе корпуса.

Ограничения для изменений давления воздуха учитываются следующими бародинамическими коэффициентами φ_{ij} и φ_{ji} –

$$\varphi_{ji} \equiv \varphi_{ij} = \begin{cases} p_i \theta_i^{1/2} \cdot 0,2599 & \text{при } p_i / p_j < 0,5283, \\ p_i \theta_i^{1/2} ((p_i / p_j)^{2/k} - (p_i / p_j)^{k/(k+1)})^{1/2} & \text{при } p_i / p_j \geq 0,5283, \\ -p_j \theta_j^{1/2} \cdot 0,2599 & \text{при } p_j / p_i < 0,5283, \\ -p_j \theta_j^{1/2} ((p_j / p_i)^{2/k} - (p_j / p_i)^{k/(k+1)})^{1/2} & \text{при } p_j / p_i \geq 0,5283. \end{cases} \quad (1)$$

Ограничения для изменения температуры воздуха учитываются термодинамическими коэффициентами Ω_{ij} и Ω_{ji} в зависимости от φ_{ij} и φ_{ji} –

$$\Omega_{ji} \equiv \Omega_{ij} = \begin{cases} k - (\theta_i / \theta_j) & \text{при } \varphi_{ij} > 0, \\ k - 1 & \text{при } \varphi_{ij} \leq 0, \\ k - (\theta_j / \theta_i) & \text{при } \varphi_{ji} > 0, \\ k - 1 & \text{при } \varphi_{ji} \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Ограничения для перемещения ударника при $x_y \leq 0$ и $x_k \leq 0$

$$(dx_y/dt)_o = k_y (dx_y/dt)_y \quad \text{и} \quad (dx_k/dt)_o = k_k (dx_k/dt)_y. \quad (3)$$

Уравнения бародинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ для принципиальных схем на рис. 1, 2 совпадают и записываются в виде:

$$dp_{\phi p}/dt = k [W (\omega_{\phi p} \varphi_{\phi p} - \omega_{p \phi} (x_y) \varphi_{p \phi})] / V_{\phi p}, \quad (4)$$

$$dp_x/dt = k [W (\omega_x \varphi_x - \omega_{ax} (x_y) \varphi_{ax}) - p_x (dx_y/dt) S_y] / (V_x + x_y S_y)_y, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} dp_p/dt = k[W(\omega_p\varphi_p + \omega_{p\phi}(x_y)\varphi_{p\phi} - \omega_b(x_y)\varphi_b - \omega_{ap}(x_y)\varphi_{ap}) + \\ + p_p(dx_y/dt)S_y]/(V_p - x_y S_y). \end{aligned} \quad (6)$$

Ограничения для p_{ij} и p_{ji} по (1).

Уравнения термодинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ для принципиальных схем на рис. 1, 2 совпадают и записываются в виде:

$$d\theta_{\phi p}/dt = \theta_{\phi p}[W(\omega_{\phi p}\varphi_{\phi p}\Omega_{\phi p} - \omega_{p\phi}(x_y)\varphi_{p\phi}\Omega_{p\phi})]/p_{\phi p}V_{\phi p}, \quad (7)$$

$$d\theta_x/dt = \theta_x[W(\omega_x\varphi_x\Omega_x - \omega_{ax}(x_y)\varphi_{ax}\Omega_{ax}) - (k-1)p_x(dx_y/dt)S_y]/p_x(V_x + x_y S_y), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} d\theta_p/dt = \theta_p[W(\omega_p\varphi_p\Omega_p + \omega_{p\phi}(x_y)\varphi_{p\phi}\Omega_{p\phi} - \omega_b(x_y)\varphi_b\Omega_b - \omega_{ap}\varphi_{ap}\Omega_{ap}) + \\ + (k-1)p_p(dx_y/dt)S_y]/p_p(V_p - x_y S_y). \end{aligned} \quad (9)$$

Ограничения для Ω_{ij} и Ω_{ji} по (2).

Уравнения бародинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ для принципиальных схем на рис. 1, 2 совпадают и записываются в виде:

$$d^2x_y/dt^2 = ((p_x - p_p)S_y)/m_y \quad \text{при } x_y > 0, \quad (10)$$

$$d^2x_k/dt^2 = ((p_x - p_p)S_y + F_h)/m_k \quad \text{при } x_k > 0. \quad (11)$$

Ограничения для $x_y \leq 0$ и $x_k \leq 0$ по (3).

При незначительных конструктивных изменениях: исключения кольцевого канала дросселя впуска из предкамеры с объемом V_n в объем камеры рабочего хода V_p ; выполнения канала дросселя ω_p впуска воздуха из сети в камеру с объемом V_n . Эти изменения способствуют интенсифицировать процесс наполнения камер V_n , $V_{\phi p}$ и V_x воздухом, что позволяет повысить давление и энергетические параметры формируемых в них силовых импульсов.

При этом изменяются уравнения физико-математического описания рабочего процесса ДПУМ: в уравнениях для (dp_p/dt) (6) и для $(d\theta_p/dt)$ (9) исключаются комбинации с ω_{pt} ... и заменяются комбинациями с ω_p ...; в уравнениях для (dp_n/dt) (12) и для $(d\theta_n/dt)$ (13) исключаются комбинации с ω_{pt}

Запишем указанные изменения:

$$dp_n/dt = k[W(\omega_n\varphi_n - \omega_{\phi p}\varphi_{\phi p} - \omega_x\varphi_x)]/V_n, \quad (12)$$

$$d\theta_n/dt = \theta_n[W(\omega_n\varphi_n\Omega_n - \omega_{\phi p}\varphi_{\phi p}\Omega_{\phi p} - \omega_x\varphi_x)]/p_n V_n, \quad (13)$$

$$dp_p/dt = k[W(\omega_p\varphi_p + \omega_{p\phi}(x_y)\varphi_{p\phi} - \omega_{ap}(x_y)\varphi_{ap}) + p_p(dx_y/dt)S_y]/(V_p - x_y S_y), \quad (14)$$

$$\begin{aligned} d\theta_p/dt = \theta_p[W(\omega_p\varphi_p\Omega_p + \omega_{p\phi}(x_y)\varphi_{p\phi}\Omega_{p\phi} - \omega_{ap}(x_y)\varphi_{ap}\Omega_{ap}) + \\ + (k-1)p_p(dx_y/dt)S_y]/p_p(V_p - x_y S_y). \end{aligned} \quad (15)$$

Заметим, что при постоянстве геометрических размеров всех признаков-элементов [1, 2], для качественной оценки конструкции ДПУМ, рассматриваемых в данной работе, уравнения (10) и (11) для (d^2x_y/dt^2) и (d^2x_k/dt^2) можно опускать.

Также можно опускать при качественном сравнении ДПУМ уравнения (7)–(9) для $(d\theta_i/dt)$, поскольку они сопоставимы с (4)–(6) для (dp_i/dt) , что является достаточным.

Существенное значение при качественном сравнении будет иметь обеспечение допущения о равенстве у сравниваемых ДПУМ не только подобия, но и равенства влияния для соответствующих проходных сечений ω_i . Сложность при этом будет составлять уравнивание значений местных сопротивлений при различных коэффициентах расхода воздуха для различных признаков-элементов параметра ω_i .

Учитывая, что $V_{\text{п}} = \text{const}$ и $V_{\text{фр}} = \text{const}$ при $x_y S_y \neq \text{const}$, хородинамические процессы останутся подобными и близкими как качественно, так и количественно, поскольку $p_{\text{п}}$ близко по значению p_c .

Выводы. 1. Изменение или добавление, или исключение конструктивных признаков-элементов средств формирования силового импульса, выравнивание параметров воздуха и средств впуска существенно изменяют качественное течение рабочего процесса и его физико-математическое описание.

2. Уравнения бародинамической и термодинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ содержат хородинамическую составляющую $(V_i \neq x_y S_y) \neq \text{const}$ и хоростатическую составляющую в виде $V_i = \text{const}$.

3. При подобной записи рабочего процесса предпочтительным следует считать выполнение конструктивного признака-элемента средств частичного вытеснения в виде канала-лыски как содержащего меньшее количество концентраторов напряжений в очертаниях по сравнению с каналом-пазом или винтовым каналом, а также каналу-лыске свойственны меньшие местные сопротивления и большие значения коэффициентов расхода воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м е н к о в Э.А., А б р а м е н к о в Д.Э. Пневматические механизмы машины ударного действия: справ. пособие. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. 430 с.
2. К у т у м о в А.А., А б р а м е н к о в Д.Э., А б р а м е н к о в Э.А. Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов: монография. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. 376 с.
3. Пат. РФ № 2301891. МПК E21C 37/00, B25D 9/14. Пневматическое устройство ударного действия с дроссельным воздухораспределением / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Н.С. Бых, В.А. Емельянов, В.Ю. Ильюченко, М.Н. Ноздренко, Ю.Э. Малышева; заявл. 11.07.2005; опубл. 27.07.2007, Бюл. № 18.

Гаврильчик Глеб Романович, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Олзийбаяр Чоен, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Романов Константин Николаевич, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Кварцхалая Тимур Рамазович, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Гвоздев Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vizo@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Абраменков Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.;
E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 08.08.16

Gavril'chik Gleb Romanovich, Student
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Olziybayar Choen, Post-graduate Student
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Romanov Konstantin Nikolaevich, Student
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Kvartskhalya Timur Ramazovich, Student
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Gvozdev Vladimir Alexeevich, PhD, Ass. Professor; E-mail:vizo@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Abramenkov Eduard Alexandrovich, DSc, Professor;
E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THROTTLE PNEUMOSHOCK MECHANISM WITH PARTIAL DISPLACEMENT OF AIR FROM THE CHAMBER OF THE STROKE THROUGH THE STEM

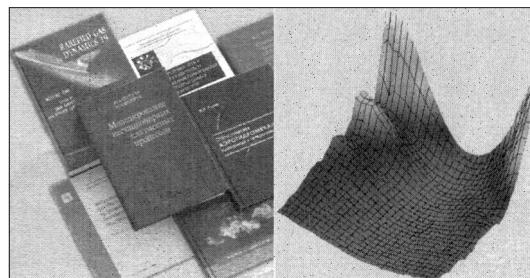
Considered the mechanisms synthesized with the choke, the intake and application of signs-elements of means of partial displacement in the form of channel grooves and the channel is flat and discusses the peculiarities of the working process with the application of the physico-mathematical description.

К e y w o r d s: rod, the helical channel, the drummer, the cross-sectional area, a groove, flattened, throttle intake, chamber, bore, synthesis, mechanism.

REFERENCES

1. A b r a m e n k o v E.A., A b r a m e n k o v D.E. Pnevmaticheskie mekhanizmy mashiny udarnogo deystviya: sprav. posobie [Pneumatic mechanisms of machines of shock action: throttle, jet, unspool, valveless: reference manual]. Novosibirsk, Publishing house NSU, 1993. 430 p. (in Russian)
2. K u t u m o v A.A., A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A. Navesnye pnevmaticheskie moloty dlya razrabotki merzlykh gruntov: monografiya [Hinged pneumatic hammers for development of frozen soil: monograph]. Novosibirsk, NSUACE (Sibstrin), 2008. 376 p. (in Russian)
3. Pat. RF N 2301891. MPK E 21C 37/00 B25D 9/14 [Pat. RU No. 2301891. IPC E21C 37/00, B25D 9/14]. Pnevmaticheskoe ustroystvo udarnogo deystviya s drossel'nym vozdukhораспределением [A pneumatic device of shock action with throttle air distribution]. D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, N.S. Bykh, V.A. Emel'yanov, V.Yu. Il'yuchenko, M.N. Nozdrenko, Yu. E. Malyshева; appl. 11.07.2005; publ. 27.07.2007, Bull. No. 18. (in Russian)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 534-16

В.И. ЖАДАНОВ, М.Ю. НЕСТЕРЕНКО, Г.А. СТОЛПОВСКИЙ,
А.М. НЕСТЕРЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЕРЕМЫЧКИ

Проведены исследования протекания волновых процессов в строительных конструкциях. В частности, рассмотрены свойства поглощения энергии упругих волн в материале строительных конструкций (СК) на примере двух железобетонных (ж/б) перемычек. Проверена применимость свойств поглощающих сред к материалу СК. Использовалось активное воздействие при инструментальном сейсмическом мониторинге. Предложен подход к оценке поглощающих свойств материала СК, основанный на вычислении безразмерной физической величины – логарифмического декремента затухания. Получены отличающиеся результаты расчета для целой и нарушенной перемычек.

Ключевые слова: строительные конструкции, дефектоскопия, сейсмология, инструментальный сейсмический мониторинг.

В настоящее время существует большое количество приборов и методов неразрушающего контроля (МНК), которые применяются к объектам из различных материалов. Многие из них используются для обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений. Можно выделить приборы и методы, направленные на выявление скрытых нарушений, а также приборы и методы, позволяющие вести непрерывный контроль технического состояния.

Однако существующие подходы малоэффективны при мониторинге крупных объектов: например, ультразвуковая дефектоскопия отличается большой трудоемкостью из-за требований предварительной обработки исследуемой поверхности. Необходимость создания комплексного метода непрерывного контроля и выявления скрытых нарушений в элементах строительных конструкций объекта обосновывается произошедшими авариями, которые можно было бы предотвратить, выполняя постоянный мониторинг целостности наиболее ответственных элементов и узлов (например, авария на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г.) [1]. Развитие и повышение доступности информационных технологий также способствует внедрению постоянного

© Жаданов В.И., Нестеренко М.Ю., Столповский Г.А., Нестеренко А.М., 2016

инструментального наблюдения за наиболее ответственными и дорогостоящими зданиями и инженерными сооружениями.

Одним из подходов, позволяющих решить поставленную задачу, является контроль и анализ резонансно-волновых процессов в зданиях и сооружениях. Появление трещин и нарушений в элементах конструкции влечет за собой изменения их резонансно-волновых характеристик, в частности резонансных частот и поглощающих свойств. Об этом свидетельствует низкий коэффициент корреляции записей колебаний с разных частей конструкции при наличии трещины [1, 2]. Относительно невысокая стоимость и низкая трудоемкость эксплуатации сейсмологической аппаратуры создает предпосылки для исследования колебательных и волновых процессов в строительных конструкциях с целью использования в аппаратных комплексах для мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

Инструментальное сейсмическое обследование и мониторинг состояния зданий выполняется в основном с помощью методик, которые можно разделить на три группы, различающиеся способом получения волновых полей и применяемыми схемами обработки [3]:

1. Искусственное возбуждение колебаний здания ударами разной силы по зданию и вне его. Основные недостатки связаны с получением идентичного воздействующего сигнала для накопления отклика; доступны лишь отдельные части здания.

2. Воздействие на здание микросейсм и их регистрация на коротких профилях в здании с последующей корреляционной обработкой. Работы ориентированы на здания и лишь косвенно затрагивают свойства грунтов основания. Под микросейсмами в [3] понимают результат наложения сейсмических волн от локальных источников (других зданий, транспорта, электрических машин и т.д.).

3. Использование в качестве источника, возбуждающего собственные колебания здания, постоянно присутствующих пульсаций атмосферного давления. Регистрируются одновременно пульсации давления и ветровые колебания здания.

Отсутствие универсального метода инструментального сейсмического обследования для контроля реальных строительных объектов создает необходимость исследования резонансно-волновых процессов в строительных конструкциях, а также разработки соответствующей методики для решения поставленных задач.

Цель работы – дополнить имеющиеся сведения о протекании колебательных процессов и распространении волн в строительных конструкциях.

Основные задачи – определить скорость ослабления интенсивности волны, прошедшей через трещиноватую область в материале строительной конструкции; выделить собственные частоты обследуемого объекта; предложить параметр, отражающий поглощающие свойства материала, и сравнить полученные значения для целого и нарушенного объектов исследования.

В качестве объекта исследования выбрана ж/б перемычка с размерами $120 \times 140 \times 1400$. Два варианта перемычки: одна целая, без видимых нарушений, вторая – с трещиной (ширина раскрытия 3 мм) (рис. 1, 2). Армирование балки: продольное – 4A-IIIØ6, каркас – Bp-IØ3, $S = 200$ мм. Необ-

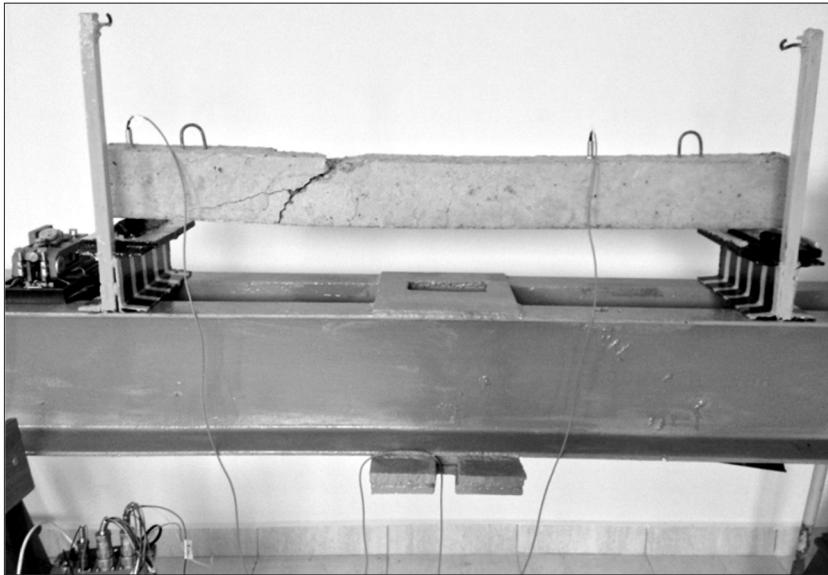


Рис. 1. Испытание нарушенной ж/б перемычки

ходимо отметить, что оценка влияния класса арматуры и бетона, а также процента армирования на скорость затухания свободных колебаний является задачей для дальнейших исследований, которые не проводились в данной работе.

Регистрирующая аппаратура: регистратор «Байкал-8» с настройками частоты дискретизации 2000 и коэффициентом усиления $G = 1$. Датчики – емкостные акселерометры компании Zetlab с чувствительностью $\approx 100 \text{ мВ}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$ и диапазоном регистрируемых частот 0,1–500 Гц и велосиметры СМЗ-КВ с диапазоном 0,01–50 Гц.



Рис. 2. Испытание целой ж/б перемычки

Для исследования резонансно-волновых характеристик производится запись колебаний балок. Регистрирующие датчики устанавливаются на перемычку в точках по разные стороны от трещины и располагаются на одной прямой линии на одинаковом расстоянии от нарушенной зоны вдоль взаимно перпендикулярных осей Z , N , E (заданных соответственно по высоте, ширине и длине балки). Аналогичное расположение датчиков в эксперименте с целой перемычкой (рис. 3).

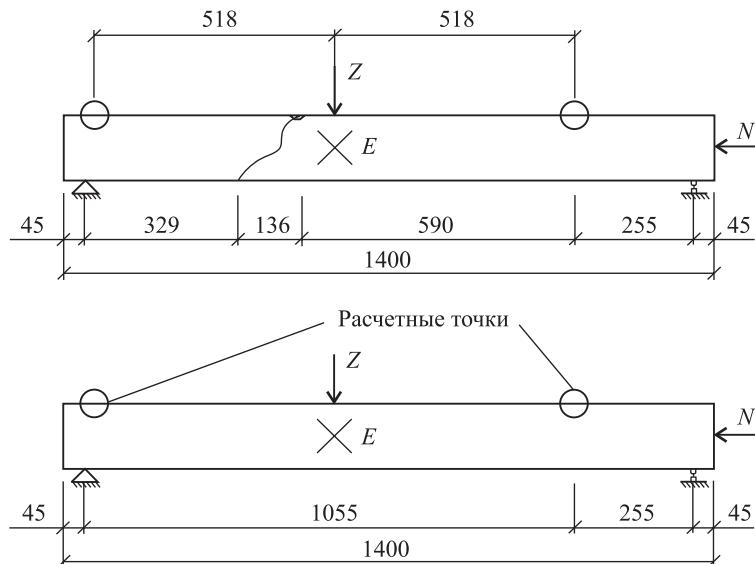


Рис. 3. Расчетные схемы для испытаний ж/б перемычек

Для возбуждения колебаний в балках производятся удары в направлении заданных осей. Подобные удары являются «импульсной» нагрузкой, после приложения которой система выводится из состояния равновесия и в ней устанавливаются свободные колебания с начальной скоростью, сообщенной системе импульсом. Сила удара влияет лишь на интенсивность свободных колебаний и длительность их затухания; частота же свободных колебаний системы и скорость их затухания не зависят от силы «импульса» [4]. Задача работы – определить скорость затухания и влияние нарушения на нее, следовательно, в данном случае идентичность ударов не является необходимым условием.

Для количественной оценки влияния трещины на распространение упругой волны целесообразно использовать логарифмический декремент затухания. Он показывает, насколько быстро уменьшается амплитуда во времени. Логарифмический декремент затухания [5] – безразмерная величина, равная натуральному логарифму отношения двух амплитуд, следующих друг за другом через промежуток времени, равный периоду T колебаний [5]. Значение периода T в данном случае равно промежутку времени между соседними гребнями волны на отфильтрованной по определенной частоте сейсмограмме. Значение амплитуды для числителя – значение отсчета из 1-й сейсмограммы $A_1(t)$, полученной с 1-й точки на конструкции; амплитуда для знаменателя – значение отсчета со 2-й сейсмограммы $A_2(t + T)$, которая

получена со 2-й точки конструкции. Выбор значений, полученных с разных точек конструкции, позволяет оценить уменьшение амплитуды с расстоянием (расстояние между датчиками). При этом в расчет принимались только отсчеты, имеющие значение по модулю выше принятого уровня шума, а также имеющие нулевое значение производной функции сейсмограммы по времени для выделения гребня. Таким образом, значения амплитуд в 1-й и 2-й сейсмограммах определяются по условию:

$$A_1(t) = y_1(t), \quad (1)$$

при $\frac{dy_1}{dt} = 0$ и $y_1(t) \in (-\infty; -a] \cup [a, +\infty)$,

$$A_2(t+T) = y_2(t+T), \quad (2)$$

при $\frac{dy_2}{dt} = 0$ и $y_2(t+T) \in (-\infty; -a] \cup [a, +\infty)$,

где $A_1(t)$ – значение амплитуды по 1-й сейсмограмме в момент времени t ;
 $A_2(t+T)$ – значение амплитуды по 2-й сейсмограмме в момент времени $(t+T)$, T – период отфильтрованной сейсмограммы, с;

$y_1(t)$ – функция 1-й сейсмограммы;

$y_2(t+T)$ – функция 2-й сейсмограммы;

a – пороговое значение амплитуды сейсмограмм (принятый уровень фонового шума), ниже которого расчет не выполняется.

Графические изображения и схемы точек на сейсмограммах, значения в которых отбираются для расчета логарифмического декремента затухания, приведены на рис. 4, 5.

Составив отношения амплитуд, следующих друг за другом через промежуток времени, равный периоду T колебаний, получим ряд значений логарифмического декремента затухания для расчета по двум сейсмограммам.

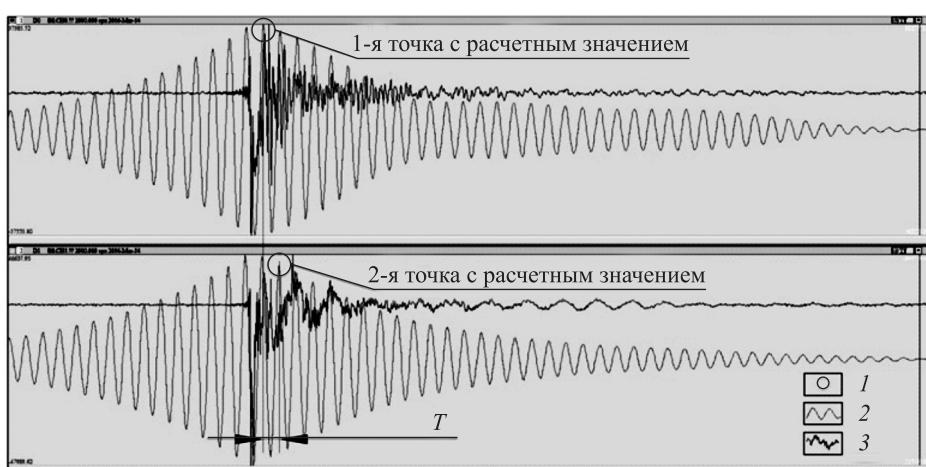


Рис. 4. К расчету логарифмического декремента затухания

1 – расчетные точки-отсчеты с 0-й производной; 2 – полосовой фильтр Баттервортса; 3 – сейсмограмма; T – период колебаний по отфильтрованной сейсмограмме

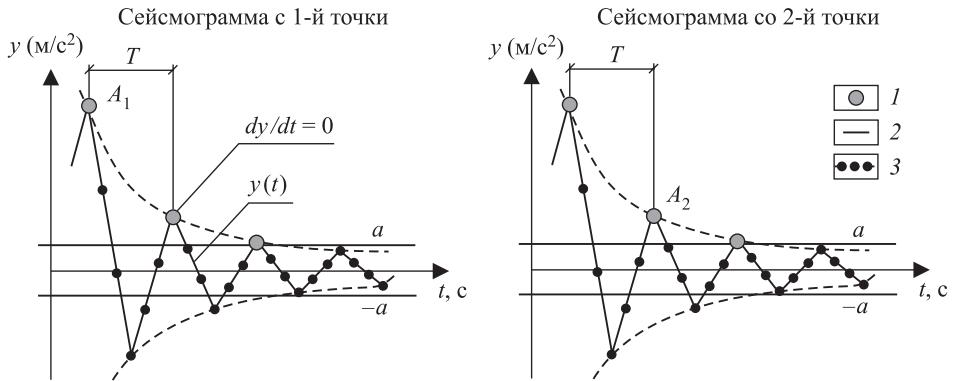


Рис. 5. Расчетные схемы для вычисления декремента затухания

1 – расчетные точки-отсчеты с 0-й производной; 2 – принятый уровень шума; 3 – линии сейсмограммы с точками-отсчетами

мам. Тогда логарифмический декремент затухания рассчитывается как среднее арифметическое значений ряда

$$\delta = \frac{\sum_1^n \ln \frac{|A_{1,k}|}{|A_{2,k+1}|}}{n}, \quad (3)$$

где $A_{1,k}$ – значение k -й амплитуды (отсчета) по 1-й сейсмограмме с 1-й точки; $A_{2,k+1}$ – следующая через период T после $A_{1,k}$ амплитуда по 2-й сейсмограмме со 2-й точкой;

n – количество расчетных точек.

Искусственное возбуждение колебаний балки вызывает на амплитудном спектре волнового процесса серию пиков, которые соответствуют собственным частотам основного тона и обертонов [3]. Собственные частоты определяются изгибной жесткостью и напряженно-деформированным состоянием объекта [4]. Записи с датчиков подвергаются полосовой фильтрации фильтром Баттервортса, подходящим по своим амплитудно-частотным характеристикам, с настройками частот, выделенных из спектра (рис. 6, 7).

В табл. 1 для перемычки с трещиной указано значение декремента затухания δ , который варьируется в пределах 0,033–1,41 и имеет $\bar{\delta} = 0,501$ по трем осям. В табл. 2 для целой перемычки декремент затухания δ имеет меньший порядок. Значение варьируется в пределах от −0,105 до 0,102 ($\bar{\delta} = 0,014$ по трем осям). При этом наличие положительных и отрицательных значений показывает, что отношение амплитуд с датчиков слева и справа от удара меняется вокруг значения 1.

Согласно определению логарифмического декремента затухания [5], чем выше его значение, тем круче аппроксимирующий график колебания и тем быстрее процесс затухания. Для случая с нарушенной балкой значение больше примерно в $\frac{0,501}{0,014} \approx 36$ раз по сравнению с результатами по целой.

Различие полученных значений логарифмического декремента затухания для

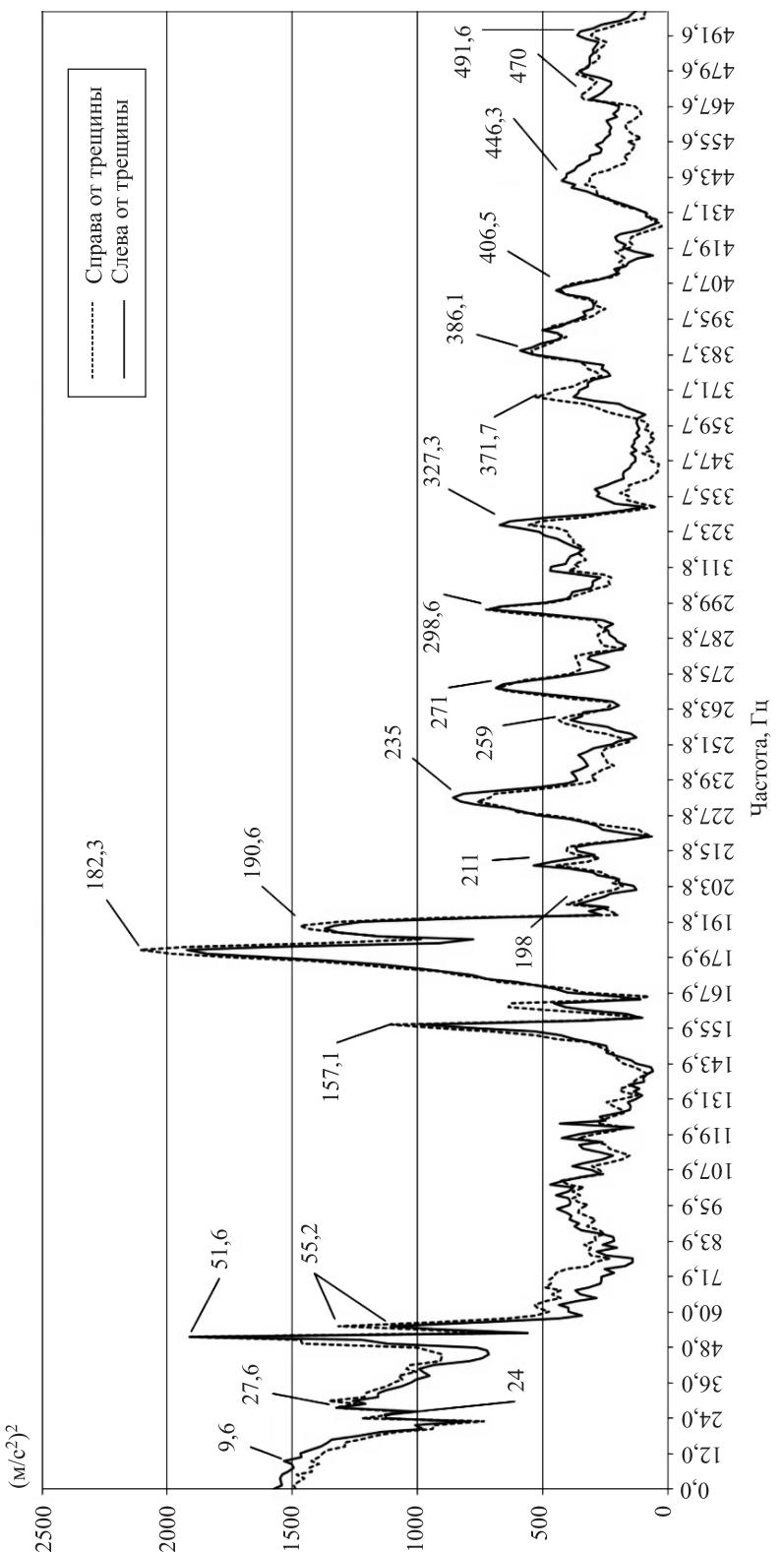


Рис. 6. Амплитудные спектры записей слева и справа от трещины

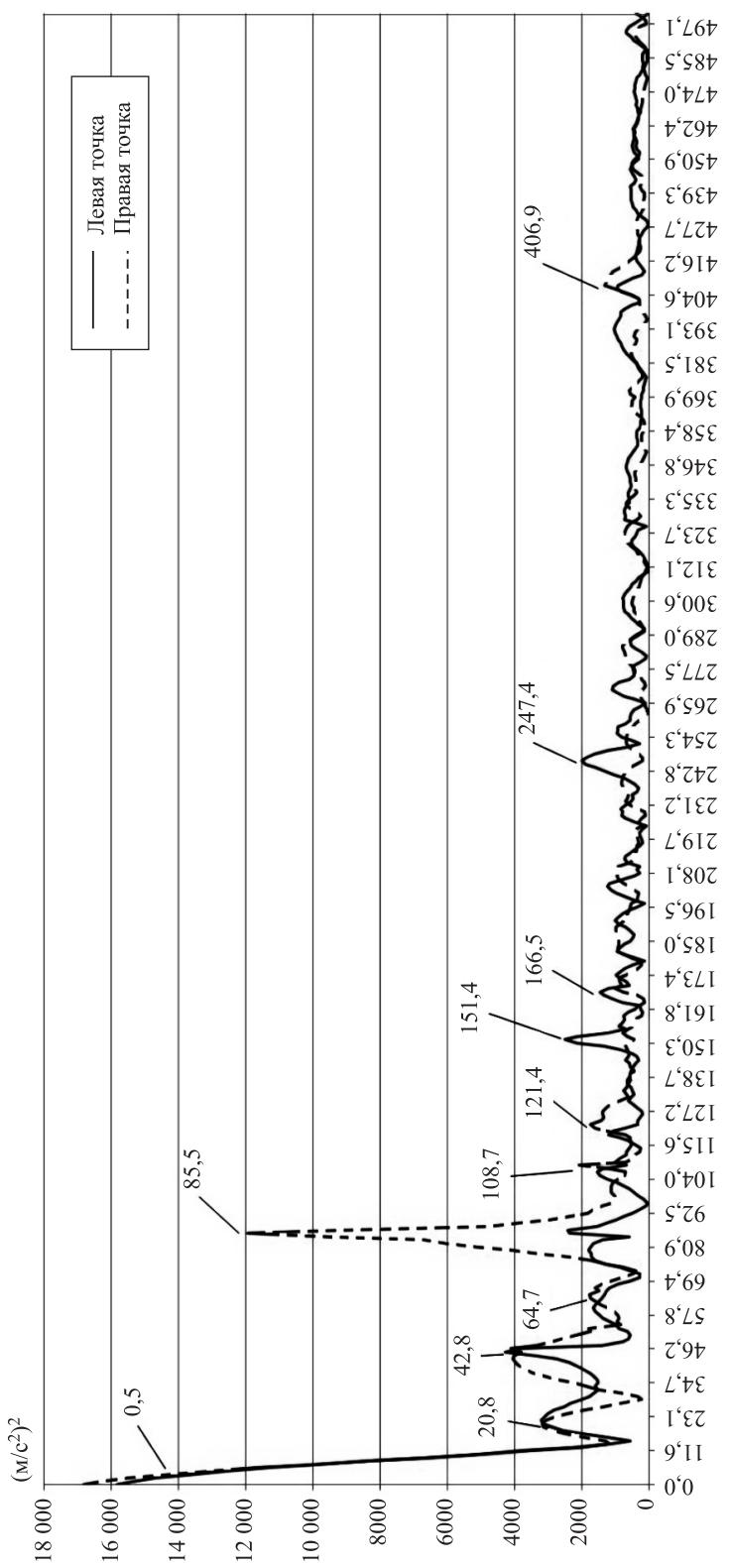


Рис. 7. Амплитудные спектры записей с целой балки для левой и правой точки

Т а б л и ц а 1. Перемычка с трещиной.
Логарифмический декремент затухания
по осям Z , N , E для частот, выделенных
из спектра

Частота пика на спектре, Гц	Ось		
	Z	N	E
9,6	0,539	0,276	0,523
24	0,505	0,253	0,489
27,6	0,361	0,775	0,635
51,6	0,095	0,342	0,311
55,2	0,091	0,701	0,611
157,1	1,126	0,432	0,774
182,3	1,833	0,376	0,813
190,6	0,877	0,298	0,736
198	0,202	0,234	0,549
211	0,528	0,189	0,503
235	0,445	0,236	0,462
259	0,555	0,033	0,433
271	0,642	0,478	0,364
298,6	0,201	0,412	0,665
327,3	0,174	0,623	0,334
371,7	0,486	0,512	0,301
386,1	0,252	0,742	0,259
406,5	1,41	0,267	0,395
446,3	0,121	0,250	0,415
470	0,270	0,459	0,918
491,6	0,473	0,746	0,522
Среднее	0,552	0,425	0,527
$\bar{\delta}$		0,501	

Т а б л и ц а 2. Целая перемычка.
Логарифмический декремент затухания
по осям Z , N , E для частот, выделенных
из спектра

Частота пика на спектре, Гц	Ось		
	Z	N	E
0–5	0,018	0,021	0,042
20,8	-0,039	0,015	0,017
42,8	-0,017	-0,02	0,028
64,7	-0,105	0,004	-0,011
85,5	0,023	-0,008	-0,010
108,7	0,016	0,035	0,054
121,4	0,045	0,041	-0,007
151,4	0,034	-0,013	0,065
166,5	-0,011	0,102	0,075
247,4	-0,005	0,042	0,064
406,9	0,026	0,054	-0,065
Среднее	-0,001	0,020	0,023
$\bar{\delta}$		0,014	

целой и нарушенной балок может быть вызвано уменьшением интенсивности волны при прохождении через трещиноватую область.

На данный момент существует ряд теорий, описывающих поглощающие свойства сред. Необходимо отметить, что было выявлено отсутствие зависимости, при которой большему значению частоты соответствует большее значение логарифмического декремента затухания.

Данная зависимость записывается в виде [6]

$$\bar{\alpha}(\omega) = b_1 \omega, \quad (4)$$

где $\bar{\alpha}(\omega)$ — амплитудный коэффициент поглощения;

b_1 — постоянная поглощения;

ω — угловая частота, рад/с.

Отсутствие зависимости обосновывается малыми объемами и расстояниями, на которых производилось исследование. При размере препятствия меньше четверти длины волны отражение, поглощение и рассеивание волн происходит в меньшей степени, а доминирует их дифракция [5]. Поэтому для получения соответствующей зависимости требуется значительно увеличивать частоту регистрируемых сигналов, что является технически сложной задачей, поскольку при выборе датчика с ростом регистрируемой частоты падает и его чувствительность.

Выводы. Выявлена зависимость между значениями логарифмического декремента затухания и наличием нарушений в железобетонной балке: значения логарифмического декремента отличаются более чем в 36 раз.

На основе выявленной зависимости предложен подход к определению резонансно-волновых и поглощающих свойств материалов строительных конструкций. Имеется возможность разработать метод дефектоскопии и мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

Сложность применения предложенного подхода заключается в соотнесении значений логарифмического декремента затухания на выходе с размерами нарушенной зоны, что требует дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нестеренко М.Ю., Нестеренко А.М. Обследование зданий и сооружений методом сейсмического зондирования // Бюл. Оренбург. науч. центра УрО РАН. 2014. № 2. 5 с.
2. Нестеренко М.Ю., Бухвалова А.В., Пелагеин А.А. Распознавание слабоэнергетических сейсмических событий при изучении техногенной сейсмичности // Вестн. СамГТУ. Сер. Техн. науки. 2012. № 2.
3. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
4. Бишоп Р.Е. Колебания / пер. с англ. М.: Наука, 1968. 161 с.
5. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы: учеб. пособие. М.: Лаборатория базовых знаний, 1999. 256 с.
6. Гурвиц И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. М.: Недра, 1980. 551 с.

Жаданов Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: organ-2003@bk.ru
Оренбургский государственный университет

Нестеренко Максим Юрьевич, д-р геол.-минерал. наук, доц.; E-mail: n_mu@mail.ru
ОНЦ УрО РАН

Столповский Георгий Александрович, канд. техн. наук;
E-mail: stolpovskij@mail.ru

Оренбургский государственный университет

Нестеренко Алексей Михайлович, студ.; E-mail: Alexnes@mail.ru
Оренбургский государственный университет

Получено после доработки 12.08.16

Zhadanov Viktor Ivanovich, DSc, Professor; E-mail: organ-2003@bk.ru

Orenburg State University, Russia

Nesterenko Maxim Yur'evich, DSc, Ass. Professor; E-mail: n_mu@mail.ru

Orenburg Scientific Center of Ural Department of Russian Academy of Science, Russia

Stolpovskiy Georgiy Alexandrovich, PhD, E-mail: stolpovskij@mail.ru

Orenburg State University, Russia

Nesterenko Alexey Mikhaylovich, Student, E-mail: Alexnes@mail.ru

Orenburg State University, Russia

STUDY OF ABSORBING PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS: CONCRETE BULKHEAD CASE STUDY

The article is concerned with research of wave processes in structures. It gives a detailed analysis of absorbing properties of elastic waves energy based on example of concrete bulkhead. Applicability of absorbing properties towards to the structures materials have been tested. Much attention is given to the use of active influence of instrumental seismic

monitoring. An example of the use of dimensionless physical quantity — damping constant, for estimation of absorbing properties was given in the paper. It's reported about the calculation results for the whole and fractured bulkhead.

K e y w o r d s: structures, defect detection, seismology, instrumental seismic monitoring.

REFERENCES

1. Nesterenko M.Yu., Nesterenko A.M. Obsledovanie zdaniy i sooruzheniy metodom seysmicheskogo zondirovaniya [Inspection of buildings and structures by seismic sounding]. Byul. Orenburg. nauch. tsentra UrO RAN [Bull. of Orenburg Scientific Center UrD of RAS]. 2014. No. 2. P. 5. (in Russian)
 2. Nesterenko M.Yu., Bukhvalova A.V., Pelagelin A.A. Raspoznavanie slaboboenergeticheskikh seysmicheskikh sobytii pri izuchenii technogennoy seysmichnosti [Recognition of weak energy of seismic events in the study of technogenic seismicity]. Vestnik SamGTU. Seriya Tekhnicheskie nauki [Vestnik of Samara State Technical University. Series Technical sciences]. 2012. No. 2. (in Russian)
 3. Yudakin F.N., Kapustyan N.K., Antonovskaya G.N. Inzheenerno-seysmicheskie issledovaniya geologicheskoy sredy i stroitel'nykh konstruktsiy s ispol'zovaniem vetrovykh kolebaniy zdaniy [Engineering seismic survey of the geological environment and building structures using wind fluctuations of buildings]. Ekaterinburg, UrD of RAS, 2007. (in Russian)
 4. Bishop R.E. Kolebaniya [Vibration]. Transl. from English. Moscow, Nauka, 1968. 161 p. (in Russian)
 5. Irodov I.E. Volnovye protsessy. Osnovnye zakony: uchebnoe posobie [Waves processes. Basics principles: tutorial]. Moscow, Laboratory of basic knowledge, 1999. 256 p. (in Russian)
 6. Gurvich I.I., Boganiuk G.N. Seysmicheskaya razvedka: uchebnik dlya vuzov [Seismic exploration: textbook for higher schools]. 3-d ed., reworked. Moscow, Nedra, 1980. 551 p. (in Russian)
-

УДК 691.004.12

В.И. ЛОГАНИНА, А.Н. КРУГЛОВА

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Приведены сведения о достоверности контроля качества строительной продукции на примере керамического кирпича. Показано, что с увеличением числа контролируемых показателей качества достоверность контроля снижается. При невоспроизведимом процессе возрастает риск потребителя. Предложено с целью повышения достоверности контроля и снижения риска производителя и потребителя применять статистическое регулирование технологического процесса, а также методологию «шесть сигм».

Ключевые слова: достоверность контроля, риски производителя и потребителя, воспроизводимость процесса.

В процессе определения качества строительной продукции при контроле каждого параметра возможны следующие независимые и единственно возможные события: годный параметр оценивается системой контроля как годный; годный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как негодный; негодный параметр оценивается системой контроля как годный [1, 2].

Известно, что контролю подвергается только часть параметров. Поэтому получаемая в результате контроля информация содержит неопределенность. Достоверность контроля зависит от точности измерений и объема контроля.

Согласно ГОСТ Р 8.563–2009 (п. 5.1.3) «Методики измерений должны обеспечивать требуемую точность оценки показателей, подлежащих допусковому контролю, с учетом допусков на эти показатели, установленных в документах по стандартизации или других нормативных документах, а также допустимых характеристик достоверности контроля и характера распределения контролируемых показателей».

Достоверность контроля P_d вычисляется по формуле:

$$P_d = 1 - \alpha - \beta, \quad (1)$$

где α – ошибка I рода (риск изготовителя – вероятность того, что работоспособный объект признан негодным);

β – ошибка II рода (риск потребителя – вероятность того, что неработоспособный объект признан годным).

В соответствии с ГОСТ Р 8.563–2009 целесообразно нормировать комплексный показатель P_d как наиболее простой и наглядный. Эту величину нужно нормировать на уровне действующего ГОСТ 8.051–81 ($P_d \geq 95\%$).

Мониторинг и измерение являются неотъемлемой частью процесса производства строительных материалов и изделий. Если обозначить действи-

тельное значение контролируемого параметра через $U_{\text{д}}$, а предельные значения как $U_{\text{д.в}}$ – наибольшее допускаемое значение параметра и $U_{\text{д.н}}$ – наименьшее допускаемое значение, то условие годности объекта контроля (изделия):

$$U_{\text{д.н}} \leq U_{\text{д}} \leq U_{\text{д.в}}.$$

Это значит, что годными изделиями считаются те, чьи действительные значения контролируемых параметров, указанных в технических условиях, лежат между наименьшим и наибольшим допускаемыми значениями.

На практике, однако, все измерения сопровождаются погрешностями. Погрешность измерения y может вызвать искажение действительного значения контролируемого параметра, т.е. результат измерения U , содержащий случайную погрешность измерения y вблизи границ поля допуска на значение параметра изделия, приводит к неопределенности оценки действительного значения контролируемого параметра, не давая возможности оценки действительной картины: находится ли контролируемый параметр в границах допуска или нет. Отклонения в результате разбраковки происходят в границах предельно допустимой погрешности измерения $\pm y_i$.

Расчетные формулы для определения риска производителя (α_i) и риска потребителя (β_i) имеют вид:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \int_a^b f(U_i) \left[\int_{-\infty}^{a_1} f(y_i | U_i) dy_i + \int_{b_1}^{\infty} f(y_i | U_i) dy_i \right] dU_i, \\ \beta_i &= \int_{-\infty}^a f(U_i) \left[\int_{a_1}^{b_1} f(y_i | U_i) dy_i \right] dU_i + \int_b^{\infty} f(U_i) \left[\int_{a_1}^{b_1} f(y_i | U_i) dy_i \right] dU_i, \end{aligned} \quad (2)$$

где $[a_1; b_1]$ – интервал для погрешности y_i при условии, что значения U_i попали в интервал $[a; b]$;
 i – оцениваемый параметр.

Учитывая вышеизложенное, а также то, что качество продукции оценивается несколькими параметрами, формула для оценки риска изготовителя имеет вид

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \alpha_i), \quad (3)$$

где k – число измеряемых параметров;

α_i – ошибка первого рода, совершающаяся при измерении параметра i .

Кроме того, достоверность контроля будет определяться также и настройкой технологического процесса производства, т.е. его статистической стабильностью и воспроизводимостью [3–5]. Известно, что любой процесс подвержен совокупности причин изменчивости (вариабельности). Когда на систему действуют и системные, и особые вариации, ее состояние естественно назвать статистически неуправляемым или нестабильным. К показателям, характеризующим воспроизводимость процесса производства, относятся индексы воспроизводимости C_p и P_p и индексы пригодности C_{pk} и P_{pk} процесса. Если среднее процесса отлично или может быть отлично от центра

поля допуска, то для анализа процессов следует применять индексы C_{pk} и P_{pk} . Эти индексы учитывают центрированность получаемых результатов.

С учетом вышеизложенного была оценена достоверность контроля качества керамического кирпича марки 100 как одного из распространенных видов строительных материалов. Допустим, что известны законы рассеивания действительных значений контролируемого параметра изделий и погрешностей измерений. Тогда принимаем:

- 1) закон распределения показателей качества нормальный;
- 2) систематическая погрешность изготовления равна нулю;
- 3) поле допуска изделия δ ограничено $U_{d,n}$ и $U_{d,b}$, причем середина поля допуска (номинальное значение U_{nom}) может не совпадать со средним значением показателя качества;
- 4) погрешность измерения u также подчиняется нормальному закону со средним квадратическим отклонением σ_u , не имеет систематической составляющей и характеризуется практически предельным значением $\pm u_d$.

Оценка качества кирпича была проведена по показателям предела прочности при сжатии, а также по размерам. Верхний допуск на показатель прочности при сжатии составляет $U_{d,b} = 125 \text{ кгс}/\text{см}^2$, нижний допуск $U_{d,n} = 100 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Допуски на размеры кирпича составляют: на длину $U_{d,b} = 254 \text{ мм}$, $U_{d,n} = 246 \text{ мм}$; на ширину $U_{d,b} = 123 \text{ мм}$, $U_{d,n} = 117 \text{ мм}$; на высоту $U_{d,b} = 68 \text{ мм}$, $U_{d,n} = 62 \text{ мм}$.

Рассмотрим три варианта.

Вариант 1. По результатам выборки среднее значение предела прочности при сжатии составляло $111 \text{ кгс}/\text{см}^2$, среднеквадратическое отклонение $5,3 \text{ кгс}/\text{см}^2$, погрешность измерения 1% . Среднее значение длины изделия составляет 249 мм , ширины 121 мм , высоты 64 мм , среднее квадратическое отклонение $1,33 \text{ мм}$. Погрешность измерения линейки до 3000 мм с ценой деления 1 мм составляла $\pm 0,1 \text{ мм}$.

Вариант 2. Среднее значение предела прочности при сжатии составляло $10,8 \text{ МПа}$, среднеквадратическое отклонение $6,2 \text{ МПа}$, погрешность измерения 1% . Среднее значение длины изделия 247 мм , ширины 118 мм , высоты 67 мм , среднее квадратическое отклонение $1,33 \text{ мм}$.

Вариант 3. Среднее значение предела прочности при сжатии составляло $11,25 \text{ МПа}$, среднеквадратическое отклонение $0,41 \text{ МПа}$, погрешность измерения 1% . Среднее значение длины изделия 250 мм , ширины 120 мм , высоты 65 мм . Среднее квадратическое отклонение составляет $1,33 \text{ мм}$.

В каждом из вариантов были вычислены ошибки первого рода по каждому из четырех параметров измерения. Результаты вычислений приведены в табл. 1–3.

Таблица 1. Значение ошибки I рода a_i

№ варианта	Измеряемые параметры			
	прочность при сжатии	длина	ширина	высота
1	0,0049	0,01187	0,0223	0,01335
2	0,0259	0,1753	0,13352	0,1335
3	0,0028	0,002693	0,0027	0,00269

Таблица 2. Значение ошибки II рода β_i

№ варианта	Измеряемые параметры			
	прочность при сжатии	длина	ширина	высота
1	0,02270	0,01283	0,06793	0,068
2	0,0987	0,226	0,22597	0,22598
3	0,00269	0,002691	0,02372	0,0237

Таблица 3. Оценка достоверности контроля качества керамического кирпича

Вариант производства кирпича	Наименование показателей			
	индекс пригодности процесса P_p	риск производителя α_i	риск потребителя β_i	достоверность контроля P_d
<i>Вариант 1</i>				
По одному показателю – прочности при сжатии	0,691	0,0049	0,02270	0,9724
По четырем показателям		0,0514	0,3371	0,6115
<i>Вариант 2</i>				
По одному показателю – прочности при сжатии	0,43	0,0259	0,0987	0,8754
По четырем показателям		0,3968	0,5820	0,0212
<i>Вариант 3</i>				
По одному показателю – прочности при сжатии	1,016	0,0028	0,00269	0,99451
По четырем показателям		0,01085	0,05199	0,93716

Результаты расчета в соответствии с формулой (1) показывают, что достоверность контроля P_d зависит от числа контролируемых параметров и воспроизводимости технологического процесса. С увеличением числа контролируемых показателей достоверность снижается. Так, для варианта 1 при числе измеряемых параметров, равном 1, достоверность контроля составляет 97,24 %, а при числе показателей, равном 4, – 61,15 %. При невоспроизводимом процессе (индекс воспроизводимости C_p меньше 1,0) достоверность контроля значительно ниже. Так, если $C_p = 0,43$, то достоверность контроля составляет всего лишь 2,12 % (при числе измеряемых параметров, равном 4). При воспроизводимом процессе достоверность контроля составляет в зависимости от числа измеряемых параметров $P_d = 93,716\text{--}99,45\%$. При невоспроизводимом значительно возрастает риск потребителя. Так, при индексе воспроизводимости $C_p = 0,691$ риск потребителя составляет $\beta_i = 0,331$, а при $C_p = 0,43 - \beta_i = 0,5820$.

Повышению достоверности контроля и снижению риска производителя и потребителя будет способствовать статистическое регулирование технологического процесса [6], а также применение на предприятии методологии «шесть сигм» [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых В.И., Порватов С.П., Сединин В.И. Многопараметрический контроль продукции: достоверность и затраты // Методы менеджмента качества. 2010. № 5. С. 48–52.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1965. Кн. 1. 752 с.
3. Логанина В.И., Круглова А.Н. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. С. 16–18.
4. Логанина В.И., Круглова А.Н. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 24–26.
5. Логанина В.И. К вопросу о регулировании технологических процессов производства бетона // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 3–4. С. 42–45.
6. Логанина В.И., Учаева Т.В. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии // Региональная архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 31–36.
7. Логанина В.И., Федосеев А.А., Логанин П.В. Применение методологии «шесть сигм» при контроле качества строительной продукции // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 100.

Логанина Валентина Ивановна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: loganin@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Круглова Альбина Николаевна, канд. техн. наук, доц.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 17.08.16

Loganina Valentina Ivanovna, DSc, Professor; E-mail: loganin@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Kruglova Al'bina Nikolaevna, PhD, Ass. Professor

Penza State University of Architecture and Construction, Russia

RELIABILITY ASSESSMENT OF QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION PRODUCTS

Data on construction products quality control the reliability of the example of a ceramic brick. It is shown that with the increase in the number of monitored indicators of quality control was significantly reduced. It is proposed to improve the reliability of the control and reduction of the risk of the manufacturer and the consumer to apply statistical process control, as well as «Six Sigma» methodology.

К e y w o r d s: reliability of the control, the manufacturer and the consumer risks, process reproducibility.

REFERENCES

1. Serykh V.I., Porvatov S.P., Sedinin V.I. Mnogoparametricheskiy kontrol' produktsii: dostovernost' i zatraty [Multiparameter monitoring of production: reliability and expenses]. Metody menedzhmenta kachestva [Quality management Methods]. 2010. No. 5. Pp. 48–52. (in Russian)
2. Levin B.R. Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki [Theoretical bases of statistical radio engineering]. Moscow, Soviet radio, 1965. Book 1.752 p. (in Russian)

3. Loganova V.I., Kruglova A.N. Dostovernost' kontrolya kachestva stroitel'nykh materialov i izdeliy [Reliability of monitoring control of construction materials and products]. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova [Bulletin of Shukhov BSTU]. 2014. No. 2. Pp. 16–18. (in Russian)
4. Loganova V.I., Kruglova A.N. K voprosu o dostovernosti kontrolya pri proizvodstve betona [To a question of reliability of monitoring by production of concrete]. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova [Bulletin of Shukhov BSTU]. 2011. No. 4. Pp. 24–26. (in Russian)
5. Loganova V.I. K voprosu o regulirovaniyu tekhnologicheskikh protsessov proizvodstva betona [To a question of regulation of technological processes of production of concrete]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2009. No. 3–4. Pp. 42–45. (in Russian)
6. Loganova V.I., Uchaeva T.V. K voprosu o sisteme kontrolya kachestva na predpriyatiyakh stroyindustrii [To a question of the quality control system at the enterprises of building industry]. Regional'naya arkitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]. 2010. No. 1. Pp. 31–36. (in Russian)
7. Loganova V.I., Fedoseev A.A., Loganin P.V. Primenenie metodologii «shest' sigma» pri kontrole kachestva stroitel'noy produktsii [Application of methodology «six sigma» in case of quality control of construction production]. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. 2008. No. 8. 100 p. (in Russian)

УДК 628.51 : 66

М.И. ШИЛЯЕВ, Е.М. ХРОМОВА, Б.Т. КУСЕИНОВ, К.О. БОЛОТОВ

КОНВЕКТИВНОЕ ОСУШЕНИЕ ЗЕРНИСТОГО СЛОЯ

С использованием известных экспериментальных данных по коэффициентам теплообмена и массообмена построена нестационарная математическая модель испарительного процесса осушения зернистого слоя, в частности угольного концентрата, получаемого методом флотации, например, на обогатительных фабриках (ОФ) Кузбасса, продуваемого с повышенной температурой сухим воздухом. Модель предполагается использовать для расчета процесса осушения зернистого слоя на втором этапе его обезвоживания – после центрифуги или вакуум-фильтров и фильтр-прессов, для которых авторами получены аналитические зависимости для остаточной концентрации жидкости в слое, зависящей от режимно-геометрических параметров обезвоживающих установок и физических параметров удалаемой влаги. Проведена численная реализация модели, получены достаточно реалистичные и полезные для инженерной практики результаты.

Ключевые слова: зернистый слой, конвективная осушка, тепло- и массообмен в зернистом слое.

В работах [1, 2] построены математические модели и получены аналитические зависимости для предельной остаточной концентрации жидкости в угольном концентрате, обезвоживаемом с помощью центрифуг и пневматически в вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. Авторы при постановке задач об определении предельной остаточной концентрации жидкости в зернистом слое исходили из условия равновесия сил поверхностного натяжения жидкости на поверхностях гранул и центробежных, действующих на эту жидкость, – в центрифугах и равенства работы сил поверхностного натяжения жидкости работе сил трения фильтрационного потока на поверхностях пленки жидкости в поровых каналах – при пневматическом обезвоживании. Результаты расчетов по аналитическим зависимостям сопоставлены с паспортными и опытными данными для центрифуг и вакуум-фильтров и фильтр-прессов предприятия ООО «НПО Завод химреагентов», г. Кемерово, и получено удовлетворительное согласование для соответствующих параметров их работы и зернистого слоя. Однако, как показывают расчеты и опытные данные, предельная остаточная концентрация жидкости в слое чаще всего оказывается слишком высокой в сравнении с требуемой и механическим способом ее заметно понизить не представляется возможным. Так, например, для центрифуг с диаметром ротора порядка 1 м и средним размером гранул обезвоживаемого зернистого слоя $d_a = 2,55$ мм при числе оборотов ротора 420 об./мин предельная концентрация жидкости достигается равной около 8 % по объему слоя, для вакуум-фильтров – 30 % ($d_a = 270$ мкм, $\Delta P = 0,06\text{--}0,08$ МПа), для фильтр-прессов – 30 % ($d_a \approx 110$ мкм, $\Delta P = 0,6$ МПа). При этом надо учесть, что сам зернистый слой при плотной

упаковке гранул занимает 60 % всего объема. Таким образом, представляется важным рассмотреть второй этап осушения зернистого слоя, но уже с помощью испарительного процесса, подавая в слой горячий сухой воздух, и оценить его возможности. Термический способ осушения упоминается в [3–5], однако детально не обсуждается ни с теоретической, ни с экспериментальной, ни с эксплуатационной точек зрения. Математическому моделированию зернистого слоя с помощью его продувки сухим горячим воздухом посвящена настоящая работа.

1. Постановка задачи. Предварительные формулы. Будем полагать, что после механического (пневматического) изотермического обезвоживания в слое достигнута остаточная концентрация жидкости, равная $\varepsilon_{ж0}$. Для пневматического обезвоживания она определяется формулой [2]:

$$\varepsilon_{ж0} = \left(\frac{48(18)^2}{k\rho_{ж}} \right)^{1/3} \frac{(1-\varepsilon)^{5/3}}{\varepsilon^{2/3}} \frac{(\sigma_{ж}\mu_{ж})^{1/3}}{d_a^2} T_{н} l (\Delta P_0)^{-2/3}, \quad (1)$$

где k – коэффициент согласования, при этом $k^{1/3} \approx 1$;

$\rho_{ж}$, $\sigma_{ж}$, $\mu_{ж}$ – плотность, коэффициенты поверхностного натяжения и динамической вязкости жидкости соответственно;

ε – порозность слоя;

d_a – средний диаметр зерен слоя;

l – толщина слоя;

$T_{н}$ – коэффициент извилистости пор ($\varepsilon = 0,4$, $T_{н} = 1,5$; $\varepsilon = 0,8$, $T_{н} = 1,1$ [3]);

ΔP_0 – перепад давления на слое.

Величину ΔP_0 можно определить по формуле Эргана [6]:

$$\frac{\Delta P_0}{l} = 150 \frac{(1-\varepsilon'_0)^2}{\varepsilon'^3_0} \frac{\mu u_0}{(d_a + \delta_0)^2} + 1,75 \frac{1-\varepsilon'_0}{\varepsilon'^3_0} \rho_{g0} \frac{u_0^2}{(d_a + \delta_0)}. \quad (2)$$

Здесь $\varepsilon'_0 = \varepsilon - \varepsilon_{ж0}$ – порозность слоя с учетом нахождения жидкости в нем;

ρ_{g0} – плотность воздуха пневматического обезвоживания:

$$\rho_{g0} = \frac{M_g (B_0 + \Delta P_0)}{RT_{00}^o}, \quad (3)$$

где M_g – молекулярная масса воздуха ($M_g = 29$ кг/кмоль);

$B_0 = 101\,325$ Па, $R = 8,314 \cdot 10^3$ Дж/кмоль · К;

T_{00}^o – температура подаваемого воздуха в слой для пневматического обезвоживания;

δ_0 – толщина пленки на тыльной стороне гранул при продувке [2]:

$$\delta_0 = \frac{1}{3} \frac{\varepsilon_{ж0}}{1-\varepsilon} d_a; \quad (4)$$

u_0 – скорость воздуха на все сечение слоя;

μ – динамическая вязкость воздуха.

Тепло- и массоотдача в слое. Тепловые и массовые потоки в слое будем определять по [6, 7]:

$$q = -\alpha a(T_w - T), \quad (5)$$

$$g = -\beta a(\rho_{sw} - \rho_s), \quad (6)$$

где q – тепловой поток в слое, Вт/м³;

g – массовый поток в слое, кг/с · м³;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м² · К;

β – коэффициент массоотдачи, м/с;

T_w – температура теплоотдающей поверхности (пленки жидкости на гранулах), К;

T – температура фильтрационного потока, К;

ρ_{sw} , ρ_s – парциальные плотности паров у поверхности пленки жидкости при температуре насыщения T_w и в фильтрационном потоке, кг/м³;

a – удельная поверхность слоя, 1/м.

Принимая слой из шаров диаметром d_a , получим

$$a = \frac{6}{d_a}(1 - \varepsilon'), \quad \varepsilon' = \varepsilon - \varepsilon_\infty. \quad (7)$$

Уравнение теплообмена единицы объема слоя будет иметь вид

$$\frac{d}{d\tau}[c_\infty \rho_\infty \varepsilon_\infty (T_\infty - T_0)] + \frac{d}{d\tau}[c_m \rho_m (1 - \varepsilon)(T_m - T_0)] = q + r_\infty g, \quad (8)$$

где $T_0 = 273$ К;

c_∞ – теплоемкость жидкости;

c_m , ρ_m – теплоемкость и плотность зерен слоя;

T_∞ – среднемассовая температура жидкости;

T_m – среднемассовая температура зерен;

τ – время;

r_∞ – удельная теплота испарения–конденсации жидкости.

Учитывая тонкость пленки остаточной жидкости в слое и малый размер зерен, можно принять $T_m = T_\infty = T_w$, а также учитывая неподвижность зерен и жидкости в слое, уравнение (8) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial c(T_\infty - T_0)}{\partial \tau} = q + r_\infty g, \quad (9)$$

$$c = c_\infty \rho_\infty \varepsilon_\infty + c_m \rho_m (1 - \varepsilon), \quad (10)$$

а уравнение для концентрации жидкости как

$$\frac{\partial \varepsilon_\infty}{\partial \tau} = -\frac{g}{\rho_\infty}. \quad (11)$$

Уравнение для температуры парогазового потока в одномерной постановке примет вид

$$\rho \left[\frac{\partial c(T - T_0)}{\partial \tau} + u_\phi \frac{\partial c(T - T_0)}{\partial x} \right] = -q, \quad (12)$$

где c – теплоемкость парогазового потока

$$c = \frac{c_s \rho_s + c_g \rho_g}{\rho}; \quad (13)$$

c_s и c_g – теплоемкости пара и нейтрального газа (воздуха);
плотности пара и газа:

$$\rho_s = \frac{M_s P_s}{RT}, \quad \rho_g = \frac{M_g P_g}{RT}; \quad (14)$$

плотность парогазового потока

$$\rho = \rho_s + \rho_g; \quad (15)$$

P_s и P_g – парциальные давления пара и нейтрального газа в смеси, при этом

$$B = P_s + P_g, \quad B = B_0 + \Delta P_0, \quad (16)$$

B – барометрическое (полное) давление.

Скорость фильтрации можно определить из уравнения сохранения массового расхода нейтрального газа в порах

$$u_\phi = u_{\phi 0} \frac{\rho_g}{\rho_g} \frac{(\varepsilon - \varepsilon_{\text{ж0}})}{(\varepsilon - \varepsilon_{\text{ж}})}, \quad (17)$$

при этом

$$u_{\phi 0} = \frac{u_0}{\varepsilon - \varepsilon_{\text{ж0}}}. \quad (18)$$

Плотность насыщенного пара у поверхности жидкости определяется из уравнения состояния:

$$\rho_{sw} = \frac{M_s P_{sw}}{RT_{\text{ж}}}, \quad M_s = 18 \text{ кг/кмоль (для воды).} \quad (19)$$

Парциальное давление насыщенных паров жидкости P_{sw} будем рассчитывать на основе известного уравнения [8] в зависимости от температуры жидкости $T_{\text{ж}}$:

$$P_{sw} = P_{\text{kp}} \exp \left[A_1 \ln \left(\frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{kp}}} \right) + A_2 f_2 \right], \quad (20)$$

$$f_2 = \frac{4 \left(\frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{kp}}} - 1 \right)}{\frac{T}{T_{\text{kp}}}} + f_1 - 5,3 \ln \left(\frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{kp}}} \right), \quad (21)$$

$$f_1 = \left(\frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{kp}}} - 1 \right) \left[\frac{\left(\frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{kp}}} + 1 \right)^2}{5} + 0,5 \right], \quad (22)$$

где $T_{\text{kp}} = (344,1 + 273)\text{K}$, $P_{\text{kp}} = 221,29 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $A_1 = 7,5480$, $A_2 = 2,7870$.

Коэффициенты массоотдачи будем определять по [6]:

$$\beta = \text{Nu}'_3 \frac{D}{d_3}, \quad (23)$$

где D – коэффициент диффузии пара в воздухе:

$$D = D_0 \frac{B}{B_0} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,8}, \quad D_0 = 21,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad \text{при } B = B_0, T = T_{00}, \quad (24)$$

$$d_3 = d'_{\text{п}} = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon'}{1 - \varepsilon'} d_a \left(\text{для сухих шаров } d_3 = d_{\text{п}} = 4 \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \frac{1}{a_0}, \quad a_0 = \frac{6}{d_a} \right); \quad (25)$$

$$\text{Nu}'_3 = 0,725 \text{Re}_3^{0,47} \text{Sc}^{1/3} \quad \text{для } \text{Re}_3 = 30-2, \quad (26)$$

$$\text{Nu}'_3 = 0,395 \text{Re}_3^{0,64} \text{Sc}^{1/3} \quad \text{для } \text{Re}_3 > 30, \quad (27)$$

$$\text{Nu}'_3 = 0,515 \text{Re}_3^{0,85} \text{Sc}^{1/3} \quad \text{для } \text{Re}_3 < 2, \quad (28)$$

где

$$\text{Re}_3 = \frac{u_{\phi} d'_{\text{п}} \rho}{\mu}, \quad (29)$$

μ – коэффициент динамической вязкости парогазового потока;

Sc – число Шмидта

$$\text{Sc} = \frac{\mu}{\rho D}. \quad (30)$$

В первом приближении для расчетов можно принять $\text{Sc} \approx 1$.

Коэффициент теплоотдачи в слое примем по [7]:

$$\alpha = \text{Nu} \frac{\lambda}{d_a}, \quad \text{Nu} = 0,043 \text{Re}, \quad (31)$$

где

$$\text{Re} = \frac{u_{\phi} \varepsilon' d_a \rho}{\mu} = \frac{9}{4} \varepsilon' \frac{u_{\phi} d_{\text{п}} \rho}{\mu} = \frac{9}{4} \varepsilon' \text{Re}_3, \quad (32)$$

λ – коэффициент теплопроводности парогазового потока.

Для определения ρ_s надо написать уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho_s}{\partial \tau} + \text{div}(\rho_s \vec{u}_{\phi}) = -\beta a (\rho_{sw} - \rho_s). \quad (33)$$

Здесь

$$\text{div}(\rho_s \vec{u}_{\phi}) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho_s u_{\phi}). \quad (34)$$

Коэффициенты μ и λ можно рассчитывать по известным формулам Сатерленда, как показано в [9], для воздуха.

2. Начальные и граничные условия. В начальный момент времени после пневматической продувки устанавливается концентрация жидкости $\varepsilon_{\infty 0}$.

Для уравнения (11) при $\tau = 0$

$$\varepsilon_{\text{ж}} = \varepsilon_{\text{ж}0} \quad \text{для } 0 \leq x \leq l. \quad (35)$$

Для уравнения (9) при $\tau = 0$

$$T_{\text{ж}} = T_{\text{ж}0} \quad \text{для } 0 \leq x \leq l. \quad (36)$$

Для уравнения (12) при $\tau = 0$

$$T = T_{00} \quad \text{для } x = 0, \quad (37)$$

при этом

$$\rho = \rho_0 = c_s \rho_{s0} + c_g \rho_{g0}. \quad (38)$$

Для уравнения (33) при $\tau = 0$

$$\rho_s = \rho_{s0} \quad \text{для } x = 0. \quad (39)$$

3. Обсуждение результатов расчетов. Расчеты были проведены при следующих условиях: $d_a = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $l = 0,01$ м, $\varepsilon = 0,4$, $\varepsilon_{\text{ж}0} = 0,2$, $T_{\text{п}} = 1,5$, $\rho_{\text{ж}} = 10^3$ кг/м³, $\rho_{s0} = 0$, $\sigma_{\text{ж}} = 0,072$ Н/м, $\mu_{\text{ж}} = 10^{-3}$ Па · с для $T_{00}^0 = 293$ К, $r_{\text{ж}} = 2500$ кДж/кг, $c_{\text{ж}} = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/кг · К, $c_m = 1,65 \cdot 10^3$ Дж/кг · К, $c_s = 1,8$ кДж/кг · К, $c_g = 1,0$ кДж/кг · К, $\rho_m = 2650$ кг/м³, $T_{\text{ж}0} = T_{w0} = T_{m0} = 293$ К, $T_{00} = 373$ К, $\lambda = 2,6 \cdot 10^{-2}$ Вт/м · К, $\mu = 20 \cdot 10^{-6}$ Па · с.

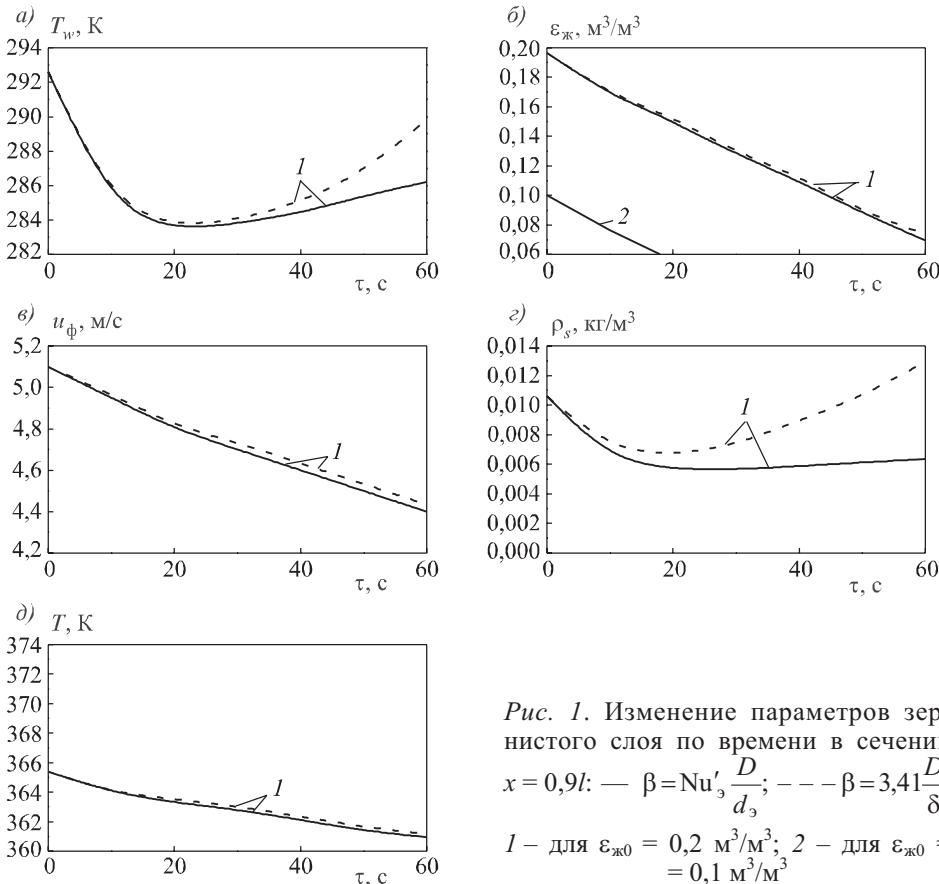


Рис. 1. Изменение параметров зернистого слоя по времени в сечении $x = 0,9l$: — $\beta = \text{Nu}' \frac{D}{d_s}$; — $\beta = 3,41 \frac{D}{\delta}$; I — для $\varepsilon_{\text{ж}0} = 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$; 2 — для $\varepsilon_{\text{ж}0} = 0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

На рис. 1, *a* показано изменение температуры зерен слоя по времени в сечении $x = 0,009$ м за счет испарения жидкости и конвективного теплообмена, весьма существенное, сначала снижение ее за счет доминирования испарительного процесса, потом повышение за счет конвекции (передачи тепла от парогазового потока зернам).

На рис. 1, *б* представлено снижение концентрации жидкости в слое по времени за счет испарительного процесса. Снижение концентрации за 1 мин реального времени произошло с начального значения 0,2 до $0,07 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и процесс еще далеко не закончился. В связи с необходимостью автоматического выбора шага по времени, очень мелкого для обеспечения требуемой точности, расчет продолжался 1,5 ч. Дифференциальные уравнения решались разностным методом по схеме Лакса.

На рис. 1, *в* представлено падение фильтрационной скорости от времени продувки слоя в основном за счет понижения температуры парогазового потока, при этом наиболее интенсивный процесс массообмена (испарения жидкости) происходит в начальный момент продувки сухим воздухом, далее он заметно ослабевает, а затем снова интенсифицируется за счет роста температуры пленки жидкости на поверхностях зерен, о чем свидетельствует рис. 1, *г*, где показано изменение парциальной плотности пара ρ_s в фильтрационном потоке от времени. В то же время по толщине слоя ρ_s растет за счет поступления пара вследствие испарения жидкости по длине поровых каналов от входа к выходу (рис. 2, *а*).

На рис. 2, *б* показано изменение температуры фильтрационного потока по толщине слоя при $t = 55$ с. Видно, что по толщине слоя температура потока падает за счет расходования тепловой энергии на испарение жидкости и конвективного теплообмена с зернами слоя, она также снижается и в течение этого же процесса во времени (см. рис. 1, *д*).

При анализе результатов расчетов выявлено, что скорость фильтрационного потока, концентрация жидкости и температуры жидкости и зерен практически не меняются по толщине слоя, так что при моделировании подобных процессов можно принимать $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial \varepsilon_{\text{ж}}}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial T_w}{\partial x} = 0$.

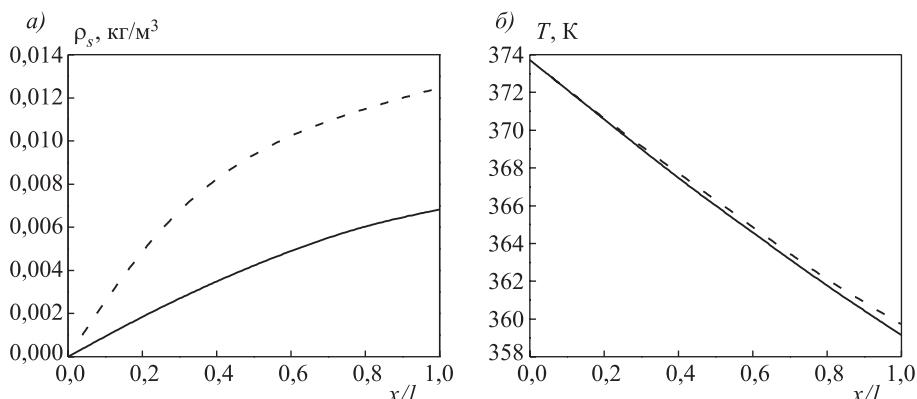


Рис. 2. Изменение парциальной плотности и температуры водяных паров по толщине зернистого слоя при $t = 55$ с: — $\beta = \text{Nu}'_3 \frac{D}{d_3}$; - - - $\beta = 3,41 \frac{D}{\delta}$

На рис. 1, 2 пунктирующими линиями представлены результаты расчетов при коэффициенте массообмена $\beta = 3,41 \frac{D}{\delta}$, здесь $\delta = \frac{1 - \varepsilon_{ж}}{31 - \varepsilon} d_a$, соответствую-

щем пленочному механизму массообмена [10], иллюстрирующие незначительное отличие значений главного расчетного параметра $\varepsilon_{ж}$ от результатов его расчета с использованием эмпирической формулы (23). Это обстоятельство свидетельствует о правомерности всех допущений при построении предложенной в работе математической модели и ее адекватности реальному процессу.

На рис. 1 представлена зависимость $\varepsilon_{ж}(\tau)$ для $\varepsilon_{ж0} = 0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ при всех остальных тех же начальных параметрах, откуда видно, что процесс полного испарения пленки достигается уже через 18 с. Это происходит за счет более интенсивного конвективного массообмена вследствие более высокой скорости фильтрации, определяющейся более высоким прилагаемым к слою перепадом давления (см. формулы (1) и (2)), обеспечивающим начальное значение $\varepsilon_{ж0}$.

Выводы. Как видно из результатов проведенных расчетов, предложенная модель весьма реалистично отражает испарительный процесс жидкости в продуваемом зернистом слое и может быть использована в инженерной практике для определения необходимого времени продувки осушающим воздухом и его температуры при заданных параметрах зернистого слоя и требуемой остаточной концентрации влаги в нем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шиляев М.И., Горбунков А.И., Богомолов А.Р., Хромова Е.М. Расчет предельной влажности угольного концентрата при его обезвоживании в центрифугах // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 9–10. С. 71–76.
2. Шиляев М.И., Горбунков А.И., Богомолов А.Р., Хромова Е.М. Обезвоживание угольной суспензии в вакуум-фильтрах и фильтр-прессах // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 11. С. 39–48.
3. Жужиков В.А. Фильтрование. М.: Химия, 1971. 440 с.
4. Жужиков В.А. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1980. 400 с.
5. Каминский В.С. и др. Интенсификация процессов обезвоживания. М.: Недра, 1982. 224 с.
6. Аэроп М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Л.: Химия, 1979. 176 с.
7. Гольдштадт М.А. Процессы переноса в зернистом слое. Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1984. 164 с.
8. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1983. 319 с.
9. Шиляев М.И., Хромова Е.М., Богомолов А.Р. Интенсификация тепло-массообмена в дисперсных средах при конденсации и испарении. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2010. 272 с.
10. Шиляев М.И., Толстых А.В. Гидродинамика и тепломассообмен пленочных течений в полях массовых сил и их приложения. М.: ИНФРА-М, 2014. 198 с.

Шиляев Михаил Иванович, д-р техн. наук, проф.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Хромова Елена Михайловна, канд. физ.-мат. наук, доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Кусеинов Бактыяр Талантбекович, студ.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Болотов Константин Олегович, студ.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 29.08.16

Shilyaev Mikhail Ivanovich, DSc, Professor

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Khromova Elena Mikhaylovna, PhD, Ass. Professor

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kuseinov Baktyyar Talantbekovich, Student

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Bolotov Konstantin Olegovich, Student

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

CONVECTIVE DRYING OF THE GRANULAR LAYER

In using the known experimental data on the heat transfer and mass transfer coefficients based mathematical model of transient evaporative drying process of a granular layer, in particular coal concentrates obtained by flotation, such as concentrators (RP) Kuzbass blown with high temperature dry air. The model proposed for calculating the dehumidification process of the granular layer in the second stage of dehydration – after centrifuge or vacuum filters and filter presses, for which analytical according to the residual concentration of the liquid obtained by the authors in a layer, depending on mode-geometrical parameters of the dewatering plant and the physical parameters removes moisture. The numerical implementation of the model are obtained fairly realistic and useful for engineering practice results.

К e y w o r d s: granular layer, convective drying, heat and mass transfer in the granular layer.

REFERENCES

1. Shilyaev M.I., Gorbunkov A.I., Bogomolov A.R., Khromova E.M. Racchet predel'noy vlazhnosti ugol'nogo kontsentrata pri ego obezvozhivanii v tsentrifugakh [Calculating the marginal moisture of coal concentrate when dewatering in centrifuges]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 9–10. Pp. 71–76. (in Russian)
2. Shilyaev M.I., Gorbunkov A.I., Bogomolov A.R., Khromova E.M. Obezvozhivanie ugol'noy suspenzii v vakuum-filtrakh i fil'trpressakh [Dewatering of coal slurry in vacuum filters and filter presses]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 11. Pp. 39–48. (in Russian)
3. Zhuzhikov V.A. Fil'trovaniye [Filtration]. Moscow, Chemistry, 1971. 440 p. (in Russian)
4. Zhuzhikov V.A. Teoriya i praktika razdeleniya suspenziy [Theory and practice of separation of suspensions]. Moscow, Chemistry, 1980. 400 p. (in Russian)
5. Kaminskij V.S. et al. Intensifikatsiya protsessov obezvozhivaniya [Intensification of dehydration processes]. Moscow, Nedra, 1982. 224 p. (in Russian)

6. A e r o v M.E., T o d e s O.M., N a r i n s k i y D.A. Apparaty so statsionarnym zernistym sloem [Devices with a stationary granular bed]. Leningrad, Chemistry, 1979. 176 p. (in Russian)
 7. G o l ' d s h t i k M.A. Protsessy perenosa v zernistom sloe [Transport processes in the granular layer]. Novosibirsk, Institute of Thermal Physics SB RAS, 1984. 164 p. (in Russian)
 8. B o g o s l o v s k i y V.N., P o z M.Ya. Teplofizika apparatov utilizatsii tepla sistem otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha [Thermal physics of heat recovery systems of heating devices, ventilation and air conditioning]. Moscow, Stroyizdat, 1983. 319 p. (in Russian)
 9. S h i l y a e v M.I., K h r o m o v a E.M., B o g o m o l o v A.R. Intensifikatsiya teplomassoobmena v dispersnykh sredakh pri kondensatsii i isparenii [The intensification of heat and mass transfer in disperse media during condensation and evaporation]. Tomsk, Publishing house TSUACE, 2010. 272 p. (in Russian)
 10. S h i l y a e v M.I., T o l s t y k h A.V. Gidrodinamika i teplomassoobmen plenochnykh techeniy v polyakh massovykh sil i ikh prilozheniya [Hydrodynamics and heat and mass transfer film flows in the fields of mass forces and their applications]. Moscow, INFRA-M, 2014. 198 p. (in Russian)
-



В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.074.2

Б.В. МИРЯЕВ, С.А. ТОЛУШОВ, Д.С. СЮЗЮМОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОГО СЕТЧАТОГО КУПОЛА

Дается описание конструкции купольного деревянного покрытия оранжереи диаметром 10 м и его модели диаметром 2 м. Рассматриваются примеры влияния податливости узлов на работу деревянных покрытий. Обосновывается схема нагружения модели, которая имитирует осесимметричную снеговую нагрузку. Приводятся результаты испытаний модели купола и его узлов. Описываются нелинейные зависимости деформаций узлов от нагрузки, полученные при испытаниях узлов. Излагается методика расчета модели купола с учетом податливости узлов, приводятся результаты расчета модели по этой методике. Производится сравнение результатов испытаний модели с теоретическими данными.

Ключевые слова: сетчатый деревянный купол, модель, узлы, результаты испытаний.

Сетчатые купола, изготовленные из дерева и пластмасс, являются легкими эффективными конструкциями, совмещающими несущие и ограждающие функции. Геометрическая поверхность таких покрытий во многих случаях формируется на основе правильных многогранников – икосаэдра и додекаэдра. Несущие элементы в сетчатых куполах равномерно распределены по их поверхности и имеют примерно одинаковые размеры и массу, в отличие от элементов меридионально-кольцевых куполов.

На кафедре «Строительные конструкции» Пензенского ГУАС разработан проект купольного покрытия оранжереи диаметром 10 м и высотой 5 м (рис. 1). Геометрическая поверхность оболочки является частью 320-гранника, образованного на основе икосаэдра. При геометрическом построении поверхности купола был использован метод оптимизации, изложенный в [1], благодаря чему число типоразмеров сборных панелей было снижено с 6 до 5.

Запроектированный купол собирается из 140 треугольных панелей пяти типоразмеров. Длина сторон панелей от 1,34 до 1,65 м. Обрамление панелей выполнено из деревянных брусков сечением 35×69, к которым сверху с помощью саморезов прикрепляются листы сотового поликарбоната толщиной 10 мм. Деревянные ребра соединяются между собой посредством фанерных

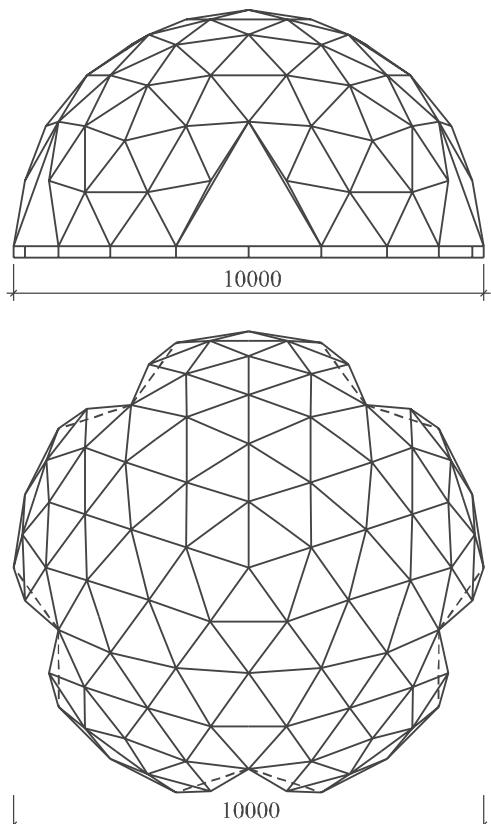


Рис. 1. Общий вид купола-оболочки

Ранее выполненные исследования оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние пространственных покрытий, особенно деревянных и пластмассовых. Так, испытания сетчатого стеклопластикового купола диаметром 10 м и высотой 2,6 м, описанные в [2], выявили существенное превышение экспериментальных прогибов над теоретическими. Для стальных пологих куполов деформация узлов также имеет существенное значение. При испытании модели стального купола диаметром 7 м и высотой 1,17 м значения экспериментальных прогибов модели оказались в среднем на 12–18 % больше теоретических [3].

Численное исследование пологого деревянного свода показало, что учет податливости узлов приводит к увеличению прогибов на 29 % и максимальных сжимающих напряжений в древесине на 33 % [4].

Испытания деревянного купола диаметром 18 м выявили существенное (до 55 %) превышение экспериментальных прогибов над теоретическими [5]. Один из авторов данного исследования Б.В. Лабудин предлагает рассчитывать пространственные деревянные покрытия как стержневые конструкции с упругими шарнирами, при этом численные значения коэффициентов жесткости узлов могут быть определены экспериментально [6].

Другими факторами, влияющими на напряженно-деформированное состояние деревянного покрытия, будут являться физическая нелинейность

накладок, приклеиваемых в углах панелей с внутренней стороны. Соединение панелей осуществляется с помощью болтов M12×90.

Принятые в куполе конструкции узлов будут оказывать существенное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции всего покрытия. Передача сжимающих усилий в узле с одним ребер меридионального направления на противоположные ребра будет происходить через торцы ребер, расположенные под углом 30–90° к направлению действия силы, что приведет к увеличению деформации узла. Этому также способствуют неплотности примыкания ребер друг к другу, вызванные случайными начальными несовершенствами. Для узлов, расположенных вблизи основания, растягивающее усилие будет передаваться с одного растянутого ребра на другое в основном через kleевые швы и растянутые болты.

древесины, изменение расстояния между узлами, вызванное изгибом несущих ребер и др. Совместное влияние этих факторов при расчете стержневых деревянных конструкций можно оценивать с помощью комплексного эквивалентного модуля деформации, описанного в [7]. В той же работе приводятся результаты экспериментального исследования модели пологого купола и указывается на существенное увеличение прогибов за счет начальных несовершенств, вызванных погрешностями при изготовлении несущих элементов.

Все вышеописанные покрытия относились к сравнительно пологим сплошным покрытиям (отношение высоты к пролету составляло не более 1/3,5), которые не имели проемов по периметру, а растягивающие усилия в них были сравнительно малы. Исходя из этого было решено провести экспериментальное исследование модели купола и его узлов с целью решения трех основных задач:

1. Исследование деформативности предлагаемых узлов купола при действии сжимающих и растягивающих усилий.
2. Определение влияния деформативности узлов на напряженно-деформированное состояние купола.
3. Оценка влияния треугольных проемов на величину усилий в элементах купола.

Для решения сформулированных задач были изготовлены модели купола и его узлов, уменьшенные в 5 раз, с полным соблюдением геометрического и физического подобия (рис. 2).

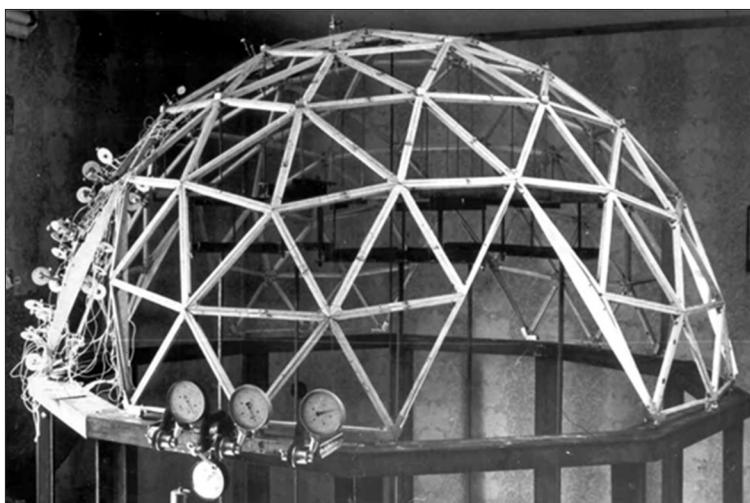


Рис. 2. Общий вид модели на стенде

Единственным отклонением модели от реальной конструкции являлось отсутствие обшивок, так как не представлялось возможным изготовить их толщиной 0,2 мм.

Деревянные бруски обрамления сечением 7×14 мм соединялись между собой в жесткие треугольники фанерными накладками (фанера ФСФ толщиной 3 мм) при помощи клея и гвоздей 1×10. Соединение смежных панелей между собой осуществлялось посредством двух болтов М3×20.

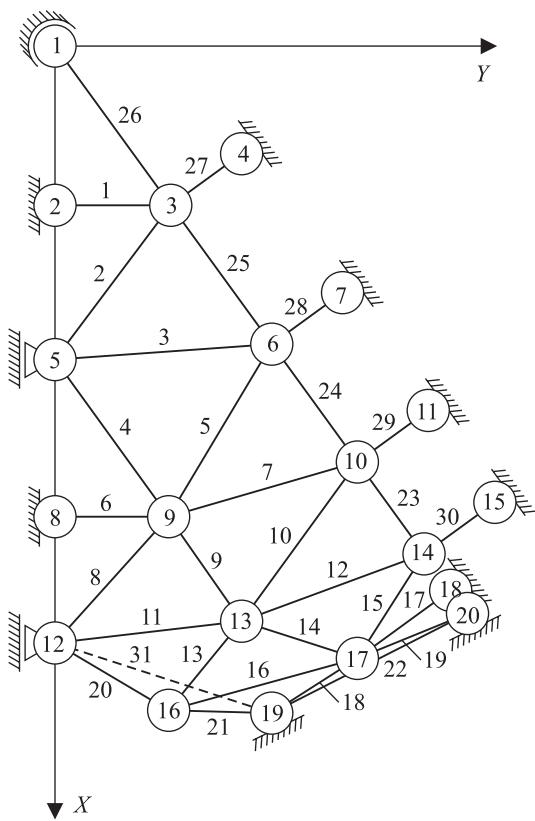


Рис. 3. Расчетная схема купола-оболочки при осесимметричной нагрузке

для III снегового района с учетом сноса снега под действием ветра равна 1,53 кПа, что примерно в 12 раз превышает нагрузку от собственного веса покрытия (0,13 кПа), поэтому при нагружении модели имитировалось действие снега. Нагрузка от чугунных грузов передавалась с помощью траверс на 31 узел в центральной части купола, ограниченной узлами 8–10 (см. рис. 3). Максимальная нагрузка на всю модель составила 2835 Н или 1,60 кПа. Для определения продольных деформаций ребер использовались тензодатчики с базой 10 мм и электромеханические тензометры ТА-3 с базой 100 мм. Всего было наклеено 88 активных тензодатчиков и установлено 30 тензометров. Вертикальные перемещения модели измерялись в узлах 1, 3, 6 при помощи прогибомеров БПАО, имеющих цену деления 0,01 мм.

Узел, испытываемый на сжатие, собирался из шести одинаковых угловых фрагментов панелей. Испытания этого узла производились на специальном устройстве в виде замкнутой стальной обоймы (рис. 4). С помощью этого устройства был также определен и модуль упругости древесины, равный 11 900 МПа. В узле, испытываемом на растяжение, деревянные элементы в вертикальном направлении имели большую длину, необходимую для крепления грузовой подвески (рис. 5). Деформации узлов измерялись с помощью двух индикаторов часового типа. Испытания моделей купола и узлов проводились при одинаковом временном режиме. Деформации узлов и ку-

Для установки модели был изготовлен сборно-разборный стенд из прокатной стали (L50×5). Модель опиралась на стенд в узлах при помощи 15 шарнирно-неподвижных опор.

Напряженное состояние сферических куполов близко к безмоментному. Исходя из этого в качестве расчетной схемы купола принята шарнирно-стержневая система. Рассматриваемое купольное покрытие представляет собой осесимметричную конструкцию с пятью плоскостями симметрии. Расчет такой конструкции на действие осесимметричной нагрузки от собственного веса и снега можно свести к расчету 1/10 части купола, ограниченной плоскостями симметрии (рис. 3). Отброшенную часть покрытия заменяют дополнительные стержни 3-4, 6-7, 10-11, 14-15.

Оссесимметричная снеговая нагрузка в вершине купола

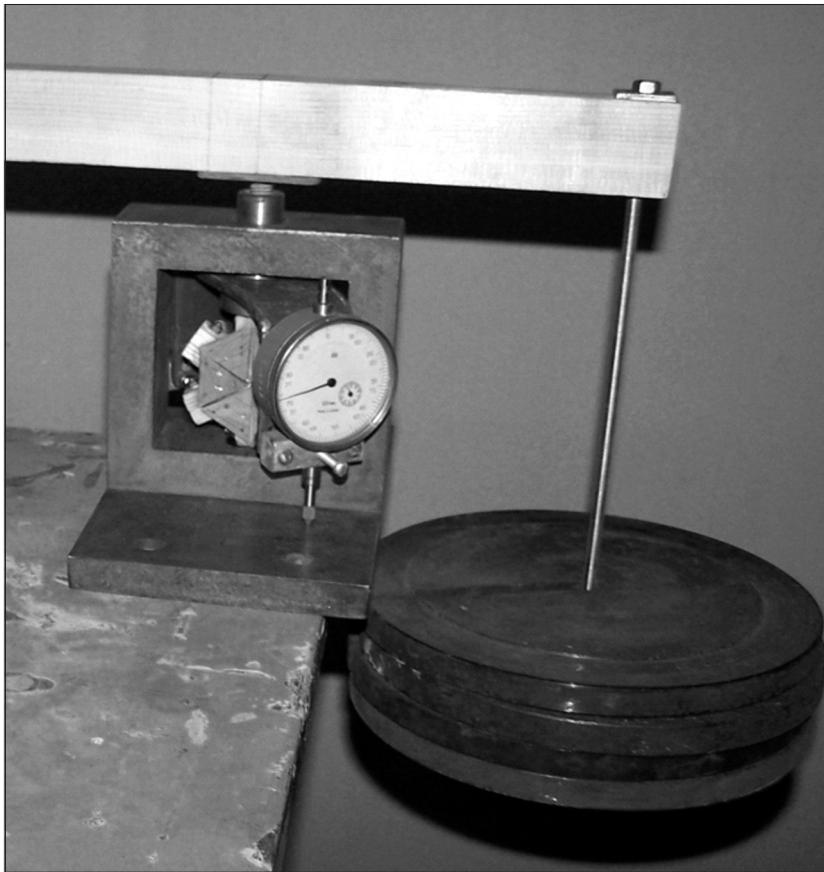


Рис. 4. Испытание узла на сжатие

пола за время одной ступени нагружения измерялись дважды: сразу после приложения очередной порции нагрузки и непосредственно перед следующей порцией. На рис. 6 представлены графики деформаций узлов в зависимости от нагрузки. До третьей ступени нагружения зависимость деформаций от нагрузки имеет явно нелинейный характер.

Расчет модели купола выполнялся по деформируемой схеме. На нулевом этапе расчет производился в линейной постановке без учета деформации узлов на нагрузку, соответствующую одному этапу нагружения модели. Для каждого стержня длиной l в зависимости от полученного усилия определялись абсолютная деформация древесины δ_E при $E = 11\ 900$ МПа, абсолютная деформация узла δ_y в соответствии с рис. 6 и комплексный эквивалентный модуль деформации

$$E_{\text{экв}} = \frac{Nl}{A(\delta_E + \delta_y)}.$$

На первом этапе расчета модели жесткости стержней были определены с учетом полученных эквивалентных модулей деформаций. На втором и последующих этапах расчета жесткости стержней корректировались в зависимости от текущих значений коэффициентов жесткостей узлов, корректировались также и координаты узлов. На рис. 7 показаны графики прогибов

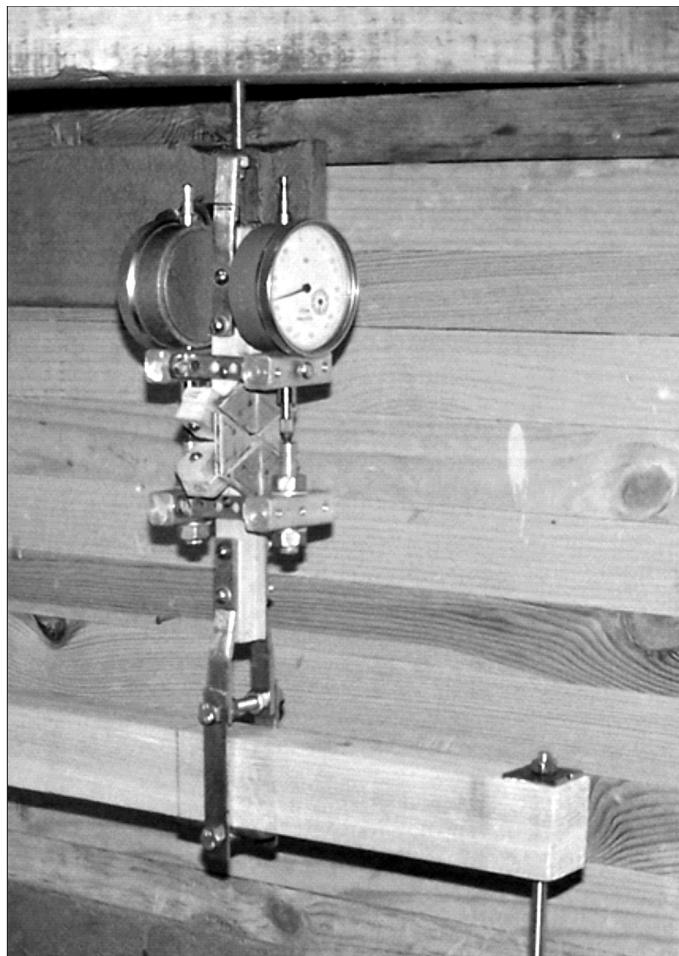


Рис. 5. Испытание узла на растяжение

первого узла модели в зависимости от этапа нагружения, в таблице приведены экспериментальные и теоретические значения усилий в стержнях модели.

В результате экспериментально-теоретического исследования модели полусферического купола с проемами установлено, что деформации узлов оказывают значительное влияние на напряженно-деформированное состоя-

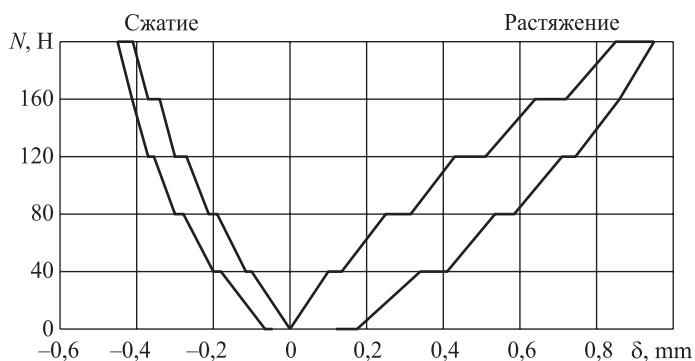


Рис. 6. Графики деформации узлов в зависимости от нагрузки

Рис. 7. Графики прогибов узла 1 в зависимости от этапа нагружения:

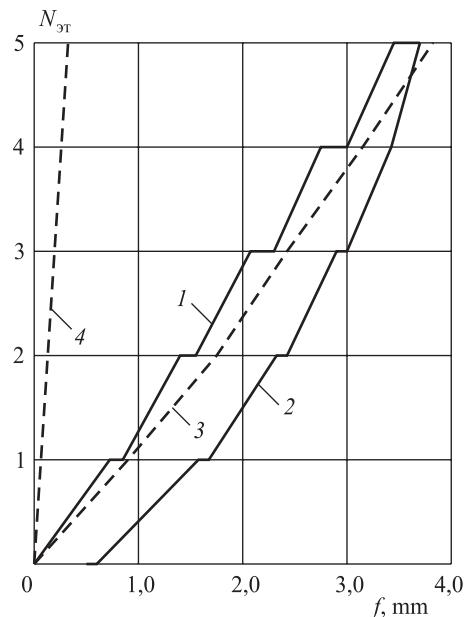
1 – экспериментальный график (стадия нагружения); 2 – экспериментальный график (стадия разгрузки); 3 – теоретический график (нелинейный расчет); 4 – теоретический график (линейный расчет)

ние конструкции купола: перемещения узлов увеличиваются в несколько раз (см. таблицу). В зоне между проемами наблюдается существенное (до 40 %) перераспределение усилий между стержнями. Однако для наиболее нагруженных стержней это перераспределение составляет не более 1 %.

В полусферическом куполе без проемов максимальные кольцевые растягивающие усилия возникают вблизи опор, в испытываемой модели максимальные растягивающие усилия смешены существенно выше – к вершинам треугольных проемов (стержни 11). Также значительно выше (вблизи стержней 6, 7) располагается граница между сжимающими и растягивающими кольцевыми усилиями. Наличие проемов приводит к перераспределению опорных реакций. Опорные реакции в узле 19 более чем в 2 раза превышают опорные реакции в узле 20.

Экспериментальные и теоретические значения усилий в стержнях модели

№ стержня	Усилия в стержнях, Н			Расхождения, %	
	экспери- ментальные	теоретические		линейный расчет	нелинейный расчет
		линейный расчет	нелинейный расчет		
11	260	248	251	5	4
12	162	194	193	20	19
13	-161	-124	-130	23	19
14	-127	-87	-81	31	36
15	-73	-74	-73	1	0
16	125	123	130	2	8
17	122	153	133	25	9
18	-62	-49	-69	21	11
23	-230	-240	-239	4	4
24	-170	-183	-182	8	7
25	-136	-147	-150	8	10
26	-122	-122	-127	0	2



Выводы. 1. В результате экспериментального исследования получены нелинейные зависимости деформации узлов от нагрузки.

2. Деформации узлов приводят к значительному увеличению прогибов купола и к существенному перераспределению усилий в зоне между проемами. В то же время усилия в наиболее нагруженных стержнях изменяются незначительно.

3. Наличие проемов в куполе существенно изменяет общую картину усилий: зона максимальных кольцевых усилий смещается значительно выше – от основания купола к вершинам проемов, также перемещается вверх и граница между сжимающими и растягивающими кольцевыми усилиями. Опорные реакции концентрируются в узлах, которые расположены по краям проемов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миряев Б.В. Оптимизация геометрической схемы сетчатых куполов, образованных на основе икосаэдра // Региональная архитектура и стр-во. 2012. № 3. С. 122–125.
2. Журавлев А.А. Конструкция и расчет сетчатых куполов // Вопросы расчета современных металлических и деревянных конструкций. Ростов-на-Дону, 1973. С. 3–35.
3. Lopez A., Puente I., Serna M.A. Analysis of single layer latticed domes: A new beam-element. «Proceedings of the international symposium». Warsaw, Poland, 24–28 june, 2002. Pp. 639–644.
4. Инжутов И.С. Анализ влияния податливости узловых соединений деревянного сетчатого свода с ортогональной сеткой // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 4. С. 24–32.
5. Лабудин Б.В. Экспериментальное покрытие из кленой древесины // Пром. стр-во. 1988. № 12. С. 20–21.
6. Лабудин Б.В. Расчет пространственных конструкций с учетом деформативности податливых связей // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 11-12. С. 5–12.
7. Миряев Б.В. Влияние конструктивных решений на работу сетчатых деревянных куполов // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 5. С. 4–9.

Миряев Борис Васильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: miryaevbv@gmail.com
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Толушов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: stolushov@mail.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Сюзюмов Дмитрий Сергеевич, студ.; E-mail: stroyconst@pguas.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено после доработки 19.08.16

Miryaev Boris Vasil'evich, PhD, Ass. Professor; E-mail: miryaevbv@mail.ru
Penza State University of Architecture and Construction, Russia
Tolyshov Sergey Alexandrovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: stolushov@mail.ru
Penza State University of Architecture and Construction, Russia
Syuzymov Dmitriy Sergeevich, Student; E-mail: stroyconst@pguas.ru
Penza State University of Architecture and Construction, Russia

EXPERIMENTAL RESEARCH OF MODEL OF HEMISPHERICAL MESH DOME

The description of hemispherical wooden dome structure of $\varnothing 10$ m for a greenhouse and of its model of $\varnothing 2$ m is given. Examples of influence of knots compliance on functioning of wooden structure are given. Scheme of loading of model, emulating axes-symmetrical snow load, is based. Test results of dome model, including dome details, are given. Nonlinear dependences as the results of test of knots deformation under loads are described. Methodology of dome model calculation with a glance of knots compliance is expounded.

Results of calculation of model, based on the methodology, are given. Comparison of test results with theoretical data is provided.

К e y w o r d s: mesh wooden dome, model, details, test results.

REFERENCES

1. M i r y a e v B.V. Optimizatsiya geometricheskoy skhemy setchatykh kupofov, obrazovannykh na osnove ikosaedra [Optimization of the geometrical scheme of the mesh domes formed on the basis of an icosahedron]. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]. 2012. No. 3. Pp. 122–125. (in Russian)
 2. Z h u r a v l e v A.A. Konstruktsiya i raschet setchatykh kupofov [Construction and calculation of mesh domes]. Voprosy rascheta sovremennoykh metallicheskikh i derevyannyykh konstruktsiy [Question of calculation of modern metal and wooden constructions]. Rostov-on-Don, 1973. Pp. 3–35. (in Russian)
 3. L o p e z A., P u e n t e I., S e r n a M.A. Analysis of swgle layer latticed domes: A new beam-element. «Proceedwgs of the international semposium». Warsaw, Poland, 24–28 june, 2002. Pp. 639–644.
 4. I n z h u t o v I.S. Analiz vliyaniya podatlivosti uzlovykh soedineniy derevyannogo setchatogo svoda s ortogonal'noy setkoy [Analysis of influence of a pliability of nodal connections of the wooden mesh arch with an orthogonal grid]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 4. Pp. 24–32. (in Russian)
 5. L a b u d i n B.V. Eksperimental'noe pokrytie iz kleenoy drevesiny [Experimental covering from glued wood]. Promyshlennoe stroitel'stvo [Industrial construction]. 1988. No. 12. Pp. 20–21. (in Russian)
 6. L a b u d i n B.V. Raschet prostranstvennykh konstruktsiy s uchetom deformativnosti podatlivykh svyazey [Calculation of spatial constructions taking into account deformability of pliable communications]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2013. No. 11–12. Pp. 5–12. (in Russian)
 7. M i r y a e v B.V. Vliyanie konstruktivnykh resheniy na rabotu setchatykh derevyannyykh kupofov [Influence of constructive decisions on work of mesh wooden domes]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2006. No. 5. Pp. 4–9. (in Russian)
-

**ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ, ИНЖЕНЕР, ПЕДАГОГ – В.А. ТРУЛЛЬ,
К 100-летию СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ (08.09.1916 – 17.09.1996)**



В сентябре 2016 г. – 100 лет со дня рождения и 80 лет инженерной, научной, педагогической и общественной деятельности профессора кафедры металлических конструкций и испытаний сооружений, доктора технических наук Владимира Антоновича Трулля.

Владимир Антонович окончил архитектурно-строительный техникум в Минске (1933), Ленинградский инженерно-строительный институт (1943), аспирантуру (1948) и докторантуру (1966), здесь же прошел все ступени педагогической и научной квалификации, посвятив родному делу всю жизнь.

Творческая деятельность Владимира Антоновича базировалась на фундаментальных основах советской школы металлоконструкций, обеспечивающих многостороннюю рациональность формы.

Основная область его научных исследований была посвящена конструкциям опор воздушных линий электропередачи и радиобашен. Были созданы новые конструктивные формы вантовых опор, сталежелезобетонных опор, опор на сплошной болтовой сборке, осуществлено массовое внедрение новых конструкций на линиях. В 1966 г. В.А. Трулль успешно защитил диссертацию доктора технических наук по теме «Исследование действительной работы конструкций опор воздушных линий электропередачи».

В этих исследованиях теоретически обоснована организация и оценка результатов испытаний опор воздушных линий электропередачи на основе метода предельных состояний, предложены методики расчета. Под руководством В.А. Трулля в 1963 г. на кафедре металлических конструкций и испытаний сооружений Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ, ныне СПбГАСУ) была разработана «Инструкция по испытаниям металлических и железобетонных опор линий электропередачи статическими нагрузками», положенная в основу отраслевого стандарта.

В области научных интересов и творчества Владимира Антоновича была также проблема трубобетонного элемента в виде металлической трубы, заполненной бетоном или полимерным материалом. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования прочности сжатого трубобетонного элемента при кратковременном и длительном загружении, обоснованы формы предельных состояний. Исследования вошли в состав отечественной теории и практики трубобетона.

Важность эффективного использования стального листа повышенной прочности обусловила постановку проблемы профилированной пластины в инженерных конструкциях. Владимиром Антоновичем и его учениками проведены исследования пространственных систем призматических оболочек с продольным гофрированием в конструкциях цельнометаллических транспортерных галерей, стрел подъемных кранов, балок.

В проведенных исследованиях принимали участие аспиранты и докторанты. Выдающийся педагог В.А. Труль подготовил десятки кандидатов и докторов наук, высококвалифицированных специалистов в области проектирования, изготовления, обследования и реконструкции различных типов строительных конструкций, включая металлические.

Тесные связи с производством обогатили тематику исследований современных конструктивных форм и типов конструкций, в том числе висячих покрытий и бункеров, опор линий электропередачи, радиобашен и мачт, морских стационарных платформ для бурения (нефть и газ). Характерная черта творческого метода Владимира Антоновича – углубленное изучение смежных конструктивных форм железобетонных, композитных, металло- и клеедеревянных конструкций.

Прошло 20 лет, как ушел от нас Владимир Антонович Труль, талантливый инженер, профессор, выдающийся педагог и прекрасный человек, память о котором будет всегда в сердцах его многочисленных учеников и последователей.

Р.С. Санжаровский, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки
и техники Российской Федерации

Н.А. Сенькин, канд. техн. наук, доц., эксперт АО «НТИ ФСК ЕЭС»

ПЕНОСТЕКЛО – МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО

Пеностекло представляет собой высокопористый теплоизоляционный материал с замкнутой ячеистой структурой, с размером ячейки 1–3 мм. Основными областями его применения являются теплоизоляция жилых и промышленных зданий, энергетических установок, тепломагистралей, трубопроводного транспорта, звукоизоляция (шумопоглощение – до 56 дБ). Материал био- и коррозионностоек, негорюч, легко поддается механической обработке. Производство пеностекла позволит рационально решить проблему утилизации промышленного и бытового стеклобоя.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА:

• средняя плотность, кг/м ³	120–220
• коэффициент теплопроводности при +20 °C, Вт/(м · К)	0,05–0,09
• предел прочности при сжатии, МПа	0,5–2,0
• предел прочности при изгибе, МПа	0,5–1,0
• водопоглощение, % (по объему)	5–10

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ:

• температура среды, °C	от –190 до +450
• относительная влажность среды, %	до 97

ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ПЕНОСТЕКЛА ЯВЛЯЮТСЯ:

- жилищно-коммунальное хозяйство – для устройства теплоизоляции трубопроводов инженерных коммуникаций, усиления теплозащиты ограждающих конструкций зданий, полов и кровель реконструируемого жилья;
- энергетика – для изоляции тепловых агрегатов, дымовых труб, котлов;
- речной и морской флот – для спасательных приспособлений и защиты металлических конструкций от коррозии, для плавучести речных судов;
- строительство – для тепло- и звукоизоляции наружных стен и кровель зданий, устройства внутренних перегородок, для усиления теплозащиты ограждающих конструкций жилых и промышленных зданий.

НГАСУ (Сибстрин) предлагает услуги научным, наладочным, проектным и производственным организациям по разработке технологий, проектированию и авторскому надзору при вводе в эксплуатацию производства пеностекла, контролю качества и сертификации продукции.

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

E-mail: ntio@sibstrin.ru

Internet: www.sibstrin.ru/innovation

Тел./факс: +7 (383) 266 25 27

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

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

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

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

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

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

a) русскоязычная часть:

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

б) англоязычная часть:

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

(Окончание правил)

- ученая степень (DSc — доктор наук, PhD — кандидат наук, MSc — магистр, без указания научного направления), ученые звания (Professor, Ass. Professor, Academician of..., Corr. Member of... — профессор, доцент, академик ...), член-корреспондент ...), другое — Senior Lecturer (ст. преподаватель), Engineer (инженер), Post-graduate Student (аспирант), Student (студент);
- официальное англоязычное название организации (учреждения), города (если не упоминается в названии организации), страны;
- название статьи;
- аннотация;
- ключевые слова (Keywords);
- библиографический список:
 - для зарубежных источников на латинице — с сохранением оригинального описания;
 - для ссылок на русскоязычные источники — транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов и название статьи; затем в квадратных скобках — название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, —, // и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце — (in Russian).

4. Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению; авторы могут сообщить редакции данные о специалистах по профилю статьи. Доработанную после рецензии статью присыпать в электронном виде.

6. Корректура статьи может предоставляться по запросу автора.

7. Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.

8. Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Указываются разработчики: фамилия, имя, отчество полностью, звания и контактная информация. Электронная версия обязательна.

9. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высыпаются.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ****«СТРОИТЕЛЬСТВО»****Журнал имеет разделы**

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический раздел
В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

На 2-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2016 г.**каталожная цена за 6 месяцев — 3600 р.****цена отдельного номера — 600 р.**

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 9 (693) 2016

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*