

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 (657)
Сентябрь 2013 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.Л. Баладинский, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
П.А. Дмитриев, 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)
Е.М. Лобанов, д-р техн. наук, проф.
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
И.Б. Соколов, д-р 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 25.09.13. Формат 70×108 ¹/₁₆
Усл. печ. л. 10,68+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 4331

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Мищенко А.В. Особенности упругопластического деформирования однородных и слоистых рационально профилированных балок при за-проектных воздействиях.
Сообщение 2 5

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Ионов Д.С. Взаимодействие полиэтиленгликоля с продуктами гидратации цемента и его влияние на свойства бетона 15
Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А. Изменение свойств гипсового камня при введении дисперсных техногенных добавок 23
Овчаренко Г.И., Гильмияров Д.И. Фазовый состав автоклавных известково-золочных материалов 28

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Волков С.В., Волкова Л.В., Шведов В.Н. Технико-экономические показатели оценки качества организационно-технологических решений строительства жилых объектов 34

Нефедова Л.Ю. Системы управления качеством в инвестиционно-строительных компаниях 43

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Дегтярев-мл. В.В., Ершов Д.И. Численное моделирование процессов, происходящих в устьевых зонах рек	49
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 1. Закономерности изменения эжекционного напора в желобах	53
Шацкий В.П., Гулевский В.А., Спирина Н.Г. Применение теплообменников (рекуператоров) для нормализации микроклимата животноводческих помещений	64
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Суворов Д.Г. Индикаторный коэффициент полезного действия тепломеханической системы поршневой пневматической машины	69
Гладышев Г.В., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Кутумов А.А. Рациональные геометрические параметры пневмоударного механизма с дополнительными управляемыми проточными камерами	77
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Акимова М.И. Архитектурные ансамбли главных площадей городов Западной Сибири	84
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Калугин Ю.Б. Сущность календарного планирования работ с вероятностными временными параметрами	92
Недавний О.И., Кузнецов С.М., Кандаурова Н.М. Обоснование времени производства строительных работ	107
Самченко Р.В., Щербина Л.В., Степура И.В., Шокарев А.С., Юхименко А.И., Шокарев Е.А. О проблемах реконструкции зданий и способах их решения	115

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF CONSTRUCTION

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

CONSTRUCTION

Scientific-theoretical journal

Published since March 1958

Monthly

N 9 (657)

September 2013

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

Editorial Board:

- A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.L. Baladinsky, DSc (Eng), Prof.
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
P.A. Dmitriev, DSc (Eng), Prof.
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)
Ye.M. Lobanov, DSc (Eng), Prof.
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS
Yu.P. Pravdivetz, DSc (Eng), Prof.
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS
I.B. Sokolov, DSc (Eng), Prof.
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

THE THEORY OF ENGINEERING SRTUCTURES

Mishchenko A.V. Specificity elasto-plastic deformation of the homogeneous and layered rationally profiling beams on exceeding the designed influence. Report 2 5

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Ionov D.S. Polyethylene-glycol interaction with products of hydration of cement and its influence on properties of concrete 15

Zavadskaya L.V., Berdov G.I., Agalakova Ya.S., Shishmakova E.A. Changing the properties of gypsum when administered dispersive technogenic additions 23

Ovcharenko G.I., Gilmiyarov D.I. Phase composition of autoclaved lime-ash materials 28

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION

AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Volkov S.V., Volkova L.V., Shvedov V.N. About technical-economical indicators of quality evaluation of organizational and technological solutions for the construction of residential objects 34

Nefedova L.Yu. Quality management systems of the companies in the real estate sector 43

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION	
Degtyarev-youn. V.V., Ershov D.I. Numerical modelling of processes occurring in mouths zones of the rivers	49
SANITARY ENGINEERING	
Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. The ejection of air during overloads of granular materials in a vertical channels with ladles. Message 1. Regularities of changes of ejection pressure in the troughs	53
Shatsky V.P., Gulevsky V.A., Spirina N.G. Application of heat exchangers (recuperators) for the normalization of cattle shed microclimate	64
BUILDING AND ROAD MACHINES	
Suvorov D.G. Indicator efficiency of heatmechanical system of the piston pneumatic machine	69
Gladyshev G.V., Abramenkov D.E., Abramenkov E.A., Dedov A.S., Kutumov A.A. Rational geometric parameters pneumoshock mechanism with additional control flow chamber	77
SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY	
Akimova M.I. Architectural complex of main areas of Western Siberia cities	84
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Kalugin Yu.B. Essence of scheduling of works with probabilistic temporary parameters	92
Nedavniy O.I., Kuznetsov S.M., Kandaurova N.M. Substantiation of time of manufacture of civil work	107
Samchenko R.V., Scherbina L.V., Stepura I.V., Shokarev A.S., Yuchimenko A.I., Shokarev Ye.A. About problems of buildings reconstruction and methods of their solution	115

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.046.2

А.В. МИЩЕНКО

ОСОБЕННОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОДНОРОДНЫХ И СЛОИСТЫХ РАЦИОНАЛЬНО ПРОФИЛИРОВАННЫХ БАЛОК ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ*

Сообщение 2

Продолжено, начатое в сообщении 1, исследование упругопластического деформирования рационально профилированных балок при действии нагрузок, превышающих расчетные. Рассмотрены однородные балки прямоугольного сечения с переменной шириной, с кусочно-линейными законами изменения ширины и высоты, а также слоистые балки двутаврового сечения. Предложены балки, профилированные при сохранении заданного расхода материалов, которые обладают повышенной прочностью и жесткостью в сравнении с призматическими балками.

Ключевые слова: рациональное профилирование, равнопрочность, слоистый стержень, несущая способность.

В сообщении 1¹ приведены основные положения и расчетные зависимости для задачи рационального профилирования многослойных балок и исследования их упругопластического деформирования с использованием модели идеально упругопластического материала при действии нагрузок, превышающих расчетные. Выполнено решение задач для однородных призматических балок прямоугольного сечения и балок, профилированных посредством изменения высоты сечения.

5. Однородная балка прямоугольного сечения с профилированной шириной $b(x)$. Для балки со схемой на рис. 1, *a*, *в* по методике, изложенной в п. 1 (сообщение 1), при $h(x) = \text{const}$, $b_{\min} = 40$ мм, $q = q_0 = 93,6$ кН/м найден закон рационального изменения ширины $b(x)$ — линия 1 на рис. 7. Линия 0 соответствует призматической балке шириной $b_0 = 113$ мм, в которой условие прочности со знаком равенства выполняется лишь на опоре *c*. В соответствии с ограничением (5) в балке создано четыре призматических участка $b(x) = b_{\min}$, в которых условие прочности реализовано со знаком неравенства. На остальных участках профилированная балка является непрерывно равнопрочной по двухточечному критерию.

Общие интегральные показатели Bq - и Bg -профилируемых балок приведены в табл. 2. Балка, профилированная под заданную расчетную

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 14-01-90004.

¹ См.: Мищенко А.В. Особенности упругопластического деформирования однородных и слоистых рационально профилированных балок при запроектных воздействиях. Сообщ. 1 / Изв. вузов. Строительство. 2013. № 7. С. 12–22.

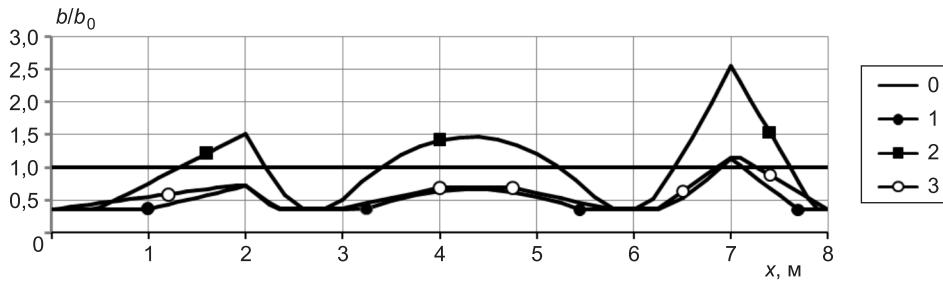


Рис. 7. Формы профилирования ширины балок: призматической (0), рациональной при заданной нагрузке q_r (1), рациональной при заданной массе G_0 (2), кусочно-линейная аппроксимация (3)

Таблица 2
Относительные показатели Bq - и Bg -проектов профилированных балок

№ проекта	Профилируемая величина	q_{ri}/q_{r0}	q_{ui}/q_{r0}	G_i/G_0	v_{mi}/v_{vo}
0	$b = \text{const}$	1,00	1,89	1,00	1,00
1 (Bq -профиль)	$b = \text{var}$	1,00	1,50	0,51	1,61
2 (Bg -профиль)	$b = \text{var}$	2,20	3,30	1,00	0,76

нагрузку (Bq -профиль), по отношению к призматической легче на 49 %, но деформативнее на 61 %. Выражение границы зоны пластических деформаций получается полностью идентичным выражению (13).

Процесс деформирования при нагрузках, превышающих расчетную, качественно отражает ранее рассмотренные графики на рис. 3. Трансформация границы $y_s(x)$ зон пластических деформаций при различных нагрузках $q > q_r$ иллюстрируется графиками рис. 8. Их форма на расчетных участках практически прямолинейна, что подтверждает малость отклонений функции $f_M(x)$ от единицы и возможность использования в рационально профилированных балках выражения (14), устанавливающего простую связь координаты y_s с нагрузкой.

В Bq -профилированной балке предельная нагрузка q_u ниже на 21 %, чем в призматической балке. Аналогично Hg -профилируемым балкам может быть запроектирована и Bg -профилируемая балка, имеющая массу, равную массе призматической балки. Ее очертание показано на рис. 7 линией 2. В силу рациональности распределения заданной массы материала

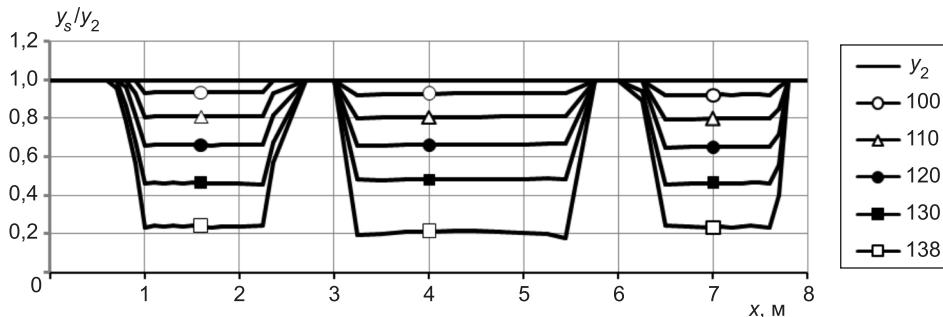


Рис. 8. Границы y_s зон пластических деформаций в однородной балке с профилированной шириной под заданную нагрузку q_r

данный проект имеет расчетную нагрузку $q_{r2} = 2,2q_{r0}$, предельную — $q_{u2} = 1,75q_{u0}$ и прогиб $v_{m2} = 0,76v_{m0}$. Упругопластическое деформирование такой балки качественно аналогично линии 2 на рис. 3, а трансформация границы пластических деформаций — схеме рис. 8.

Так же как и для балок с профилированной высотой в соответствии с рис. 6 могут быть выявлены **рекомендуемые проекты** балок с профицируемой шириной сечений, одновременно обладающих и меньшей массой, и большей расчетной нагрузкой по отношению к исходной призматической балке. Множество таких решений заключено между Bq - и Bg -проектами.

Специфичным для балок с рационально профицируемой шириной сечений при $h(x) = \text{const}$ является расчет по методу предельного равновесия. При расположении шести пластических шарниров на границах профицируемых и призматических участков (см. рис. 1, б) все восемь кинематически возможных пластических механизмов разрушения дают одинаковые предельные нагрузки для Bq - и Bg -проектов $q_{u1} = 140,3 \text{ кН/м}$ и $q_{u2} = 309,1 \text{ кН/м}$ соответственно. Примечательно также и то, что данные нагрузки сохраняются и при изменении координат пластических шарниров в пределах участков одного знака кривизны оси, что позволяет для упрощения вычислений выбирать более простой и удобный пластический механизм, например, локального разрушения второго пролета. Расположив первоначально шарниры в сечениях 2, 4, 5 (см. рис. 1, б), сдвигаем первый и третий из них на края пролета в сечения b и c , а второй — в середину (сечение m). Для данной симметричной схемы в соответствии с кинематическим методом из уравнения работ получаем

$$M_{u,b} + 2M_{u,m} + M_{u,c} = \frac{1}{4}q_u l_2^2,$$

откуда при $M_{u,i} = \sigma_s b(x_i)h^2/4$ и размерах Bq -проекта: $b(x_b) = 80,9 \text{ мм}$, $b(x_m) = 74,4 \text{ мм}$, $b(x_c) = 128,5 \text{ мм}$ имеем значение $q_u = 140,3 \text{ кН/м}$, совпадающее с полученным ранее.

6. Однородные балки прямоугольного сечения с кусочно-линейными законами изменения геометрических параметров (см. рис. 1, а, в). Для повышения технологичности изготовления расчетные законы рационального профилирования балок могут быть заменены упрощенными функциями. В этой связи исследуем балки с высотой и шириной, изменяющимися по кусочно-линейным зависимостям.

Заметим, что рассмотренные выше балки призматической формы можно трактовать как применение аппроксимации нулевого порядка — самой простой, но наименее эффективной в плане реализации удельной прочности и жесткости.

6.1. Аппроксимация высоты. На рис. 4 линия 3 отражает кусочно-линейную аппроксимацию высоты Hq -профилированной балки. Во всех ее сечениях условие прочности выполняется со знаком неравенства. График деформирования данной балки (линия 3 на рис. 3) располагается между графиками для призматической и рационально профилированной балок. По отношению к Hq -проекту (см. табл. 1) данный проект характеризуется показателями: $q_{r3} = q_{r1}$, $q_{u3} = 1,2q_{u1}$, $G_3 = 1,19G_1$, $v_{m3} = 0,66v_{m1}$.

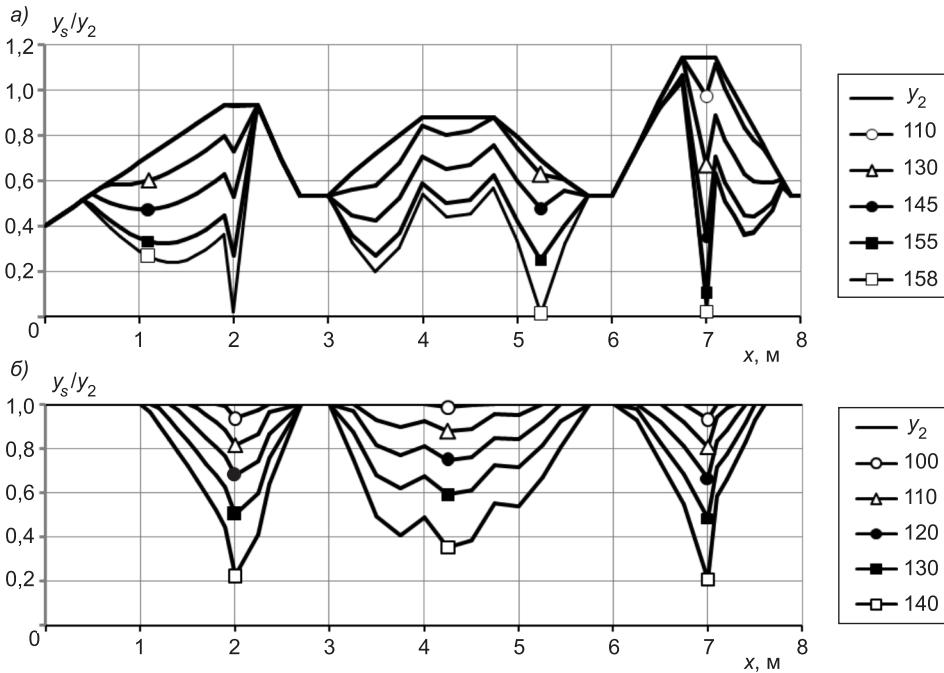


Рис. 9. Границы y_s зон пластических деформаций в однородной балке с кусочно-линейным законом изменения высоты (а) и ширины (б)

Трансформация границ пластических зон при действии нагрузок, превышающих расчетную, показана на рис. 9, а. По сравнению с рационально профилированной балкой (см. рис. 5) формы границ имеют более сложный характер. Для их описания обратимся к выражению (11). С учетом формулы для рационального профиля y_{2r} (12), аналогично (13), получим уравнение границы пластической зоны для балки с произвольной высотой в виде

$$y_s(q, x) = y_2(x) \sqrt{3 - \frac{2q}{q_r} f_y(x) f_M(q, x)}, \quad (15)$$

$$f_y(x) = (y_{2r}/y_2)^2.$$

Здесь функция f_M введена ранее в выражении (13), а f_y отражает отношение рационального расчетного профиля к реальному, в данном случае — кусочно-линейному. При $y_2 = y_{2r}$ из (15) вытекает выражение (13) для рационально профилированной балки. Аналогично (14) при средних уровнях развития пластичности в выражении (15) можно упрощенно принять $f_M \approx 1$, что дает

$$\left(\frac{y_s}{y_2} \right)^2 = 3 - \frac{2q}{q_r} f_y(x) \quad (16)$$

(при условии $y_s \leq y_2$), т.е. появляется возможность определять расположение зон пластических деформаций на участках балки простыми средствами без решения задачи упругопластического деформирования. По мере роста нагрузки погрешность формулы (16), обусловленная пренеб-

режением учета перераспределения усилий ($f_M \approx 1$), нарастает. Однако качественная форма пластической границы и ее количественная оценка при средних уровнях развития пластичности являются удовлетворительными.

6.2. Аппроксимация ширины. Кусочно-линейное изменение ширины Bq -профилированной балки показано на рис. 7 линией 3. Условие прочности для сечений такой балки выполняется со знаком неравенства. График равновесных состояний $q(v_m)$, аналогичный приведенному на рис. 3, располагается между графиками для призматической и рационально профилированной балок. Показатели проекта по отношению к Bq -проекту (см. табл. 2): $q_{r3} = q_{r1}$, $q_{u3} = 1,1q_{u1}$, $G_3 = 1,15G_1$, $v_{m3} = 0,89v_{m1}$.

На рис. 9, б показаны границы пластических зон при действии нагрузок $q > q_r$. Для их описания на основе выражения (11) могут быть получены формулы, идентичные (15), (16) при замене $f_y(x)$ на функцию $f_b(x) = b_r / b$, отражающую отношение рациональной ширины b_r к реальной b .

7. Слоистые балки двутаврового сечения (см. рис. 1, а, г). Уравнение равновесного упругопластического состояния двутаврового сечения слоистой балки (первое уравнение (10)) при $b(y) = \text{const}$ представим в виде

$$2 \sum_{k=1}^{s_1} \left[\frac{1}{3} E_k b_k \kappa (y_{s,k}^3 - y_k^3) + \frac{1}{2} \sigma_{s,k} b_k (y_{k+1}^2 - y_{s,k}^2) \text{sgn}(\kappa) \right] = M, \quad (17)$$

где s_1 — число слоев на верхней симметричной половине сечения; $y_{s,k} = -\sigma_{s,k} \text{sgn}[\epsilon(y_{s,k})] / (E_k \kappa)$ — координата границы пластической зоны в k -м слое.

В частном случае однородного прямоугольного сечения из выражения (17) вытекает уравнение (8).

Фактически k -й слой может работать: а) упруго ($\epsilon(y) \leq \epsilon_{s,k}$, в (17) следует исключить второе слагаемое в квадратных скобках и принять $y_{s,k} = y_{k+1}$); б) пластически ($\epsilon(y) > \epsilon_{s,k}$, в (17) исключается первое слагаемое в квадратных скобках, $y_{s,k} = y_k$); в) упругопластически, если $y_{s,k} \in [y_k, y_{k+1}]$. Спецификой упругопластического деформирования стержня, составленного из различных материалов, является возможность существования в сечении нескольких областей пластических деформаций. При увеличении изгибающего момента последовательность возникновения зон пластичности и их расположение зависят от физических и геометрических параметров, среди которых координаты y границ слоев и величины предельных упругих деформаций материалов.

Для определенности примем в двутавровой балке (см. рис. 1, а, г) следующие исходные данные: наружные слои толщиной $h_1 = h_3 = 12$ мм — из титанового сплава ВТ1 с характеристиками $\sigma_s = 310$ МПа, $E = 111$ ГПа, внутренний (стенка двутавра) высотой $h_2 = 340$ мм, шириной $b_2 = 8$ мм — из стали С245 с характеристиками $\sigma_s = 245$ МПа, $E = 206$ ГПа.

На рис. 10, а для верхней симметричной половины сечения показан полигон предельных деформаций $\epsilon_{s,k} = \sigma_{s,k} / E_k$ с тремя характерными распределениями деформаций (линии 1, 2, 3), которым соответствуют показанные справа эпюры напряжений. До состояния 1 все сечение работает

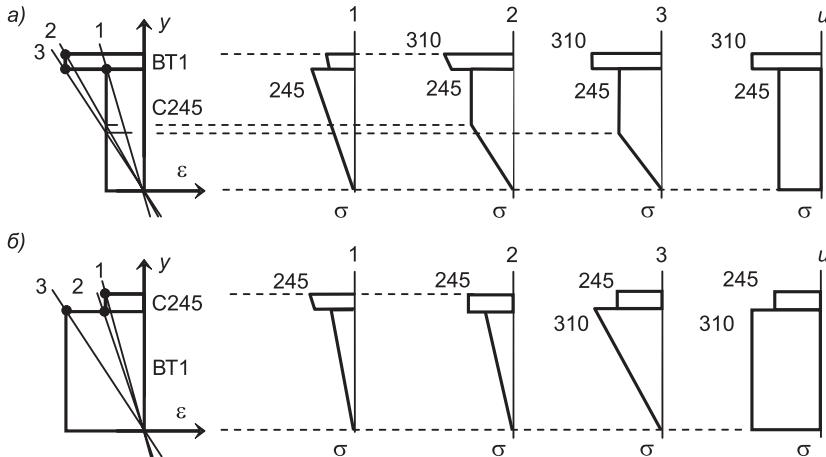


Рис. 10. Деформации (а) и напряжения (б) в предельных состояниях неоднородного двутавра при упругопластическом деформировании для двух физических структур сечения

упруго, затем, в интервале состояний 1–2, пластичность развивается в стенке двутавра. После наступления 2-го состояния дополнительно возникает пластическая зона в наружных полках, а после 3-го — эти зоны объединяются, и упругое ядро остается лишь в центральной области стенки. Состояниям 1, 2, 3 и предельному u при $b_1 = b_3 = 254$ мм (значение для нижерассматриваемой призматической двутавровой балки) соответствуют моменты 184,5; 374,5; 385,8; 389,2 кН/м. Увеличение толщины полок до определенных размеров или простая перестановка материалов в слоях (рис. 10, б) обусловливают иную последовательность развития и конфигурацию зон пластичности, которая может начаться не в стенке, а на наружных фибрах полок.

Разрешив уравнение (17) относительно κ , получим кубическое уравнение для нахождения кривизны оси

$$a_3 \kappa^3 + a_2 \kappa^2 + a_0 = 0. \quad (18)$$

В стадии деформирования между состояниями 1 и 2 коэффициенты определяются выражениями

$$a_3 = \frac{2}{3} E_2 b_2 (y_2^3 - y_1^3), \quad a_2 = \sigma_{s1} b_1 y_1^2 - M, \quad a_0 = -\frac{1}{3} \frac{\sigma_{s1}^3 b_1}{E_1^2},$$

в стадии 2–3:

$$a_3 = -\frac{2}{3} E_2 b_2 y_1^3, \quad a_2 = \sigma_{s1} b_1 y_1^2 + \sigma_{s2} b_2 y_2^2 - M, \quad a_0 = -\frac{1}{3} \frac{\sigma_{s1}^3 b_1}{E_1^2} - \frac{1}{3} \frac{\sigma_{s2}^3 b_2}{E_2^2}$$

и после 3-го состояния:

$$a_3 = 0, \quad a_2 = \sigma_{s1} b_1 y_1^2 + \sigma_{s2} b_2 (y_2^2 - y_1^2) - M, \quad a_0 = -\frac{1}{3} \frac{\sigma_{s1}^3 b_1}{E_1^2}.$$

Решение уравнения (18) выполнялось методом Виета в тригонометрической форме. В стадии 1–2 оно имело один вещественный и два комплексно-сопряженных корня, в 2–3 — три вещественных, из которых граничным условиям удовлетворял минимальный положительный корень.

7.1. Призматическая двутавровая неоднородная балка. Запроектировав двутавровую балку постоянного сечения на действие расчетной нагрузки $q_r = 93,6$ кН/м, получим ширину полок $b_1 = b_3 = 254$ мм. При этом максимальные напряжения в полках (стенке) в сечениях b, m, c (см. рис. 1) составили: 109,7 (190,2); 98,6 (170); 141 (244,5) МПа. Масса балки и прогиб в сечении m — 389 кг и 9,6 мм.

При воздействии нагрузок, превышающих расчетные, в балке развиваются пластические деформации (рис. 11). Первоначально они появляются в стенке двутавра (см. рис. 10, а, 1) в опорном сечении c , затем при нагрузке $q = 123$ кН/м в сечении b . После $q = 145$ кН/м пластичность

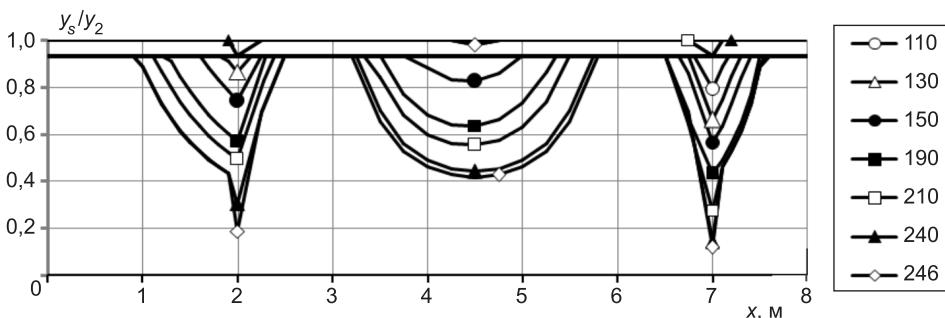


Рис. 11. Границы y_s зон пластических деформаций в двутавровой неоднородной призматической балке при различных нагрузках

проявляется и в пролете bc . После нагрузки $q = 208$ кН/м в сечении c наступает второе состояние (см. рис. 10, а, 2) с появлением пластичности в полках двутавра, которое затем реализуется и на области около сечений b и m . Появление пластичности в полках вызывает ускоренную локализацию пластических деформаций в стенке, форма пластической границы при нагрузках 240, 246 кН/м приобретает характерные пики в сечениях $x = 2, 7$ м. В предельном состоянии в сечениях b, m, c развиваются пластические шарниры (см. рис. 10, а, и) и нагрузка достигает максимума $q_u = 249,2$ кН/м. Разгрузка материала в пластических зонах не наблюдается.

7.2. Профилированные двутавровые неоднородные балки. Запроектируем рациональную двутавровую балку с переменной шириной полок при использовании в ограничении (5) $b_{min} = 40$ мм при действии заданной расчетной нагрузки q_r . Очертание ее поясов отражает график 1 на рис. 12.

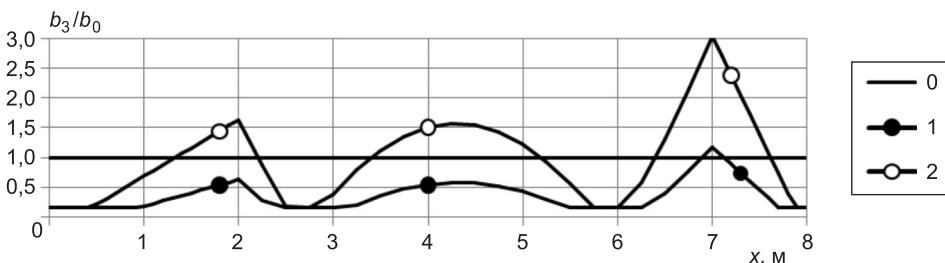


Рис. 12. Формы профилирования ширины полок двутавровых неоднородных балок: призматической (0), рациональной при заданной нагрузке q_r (1), рациональной при заданной массе G_0 (2)

Проект данной балки обладает совокупностью особенностей деформирования, которые были отмечены, во-первых, для профилированных (п. 5) и, во-вторых, для слоистых балок (п. 7.1). Среди этих особенностей отметим:

а) геометрическое подобие формы границы пластической зоны (рис. 13) и межслойной границы на профицируемых участках с возможностью применения выражений типа (13), (14);

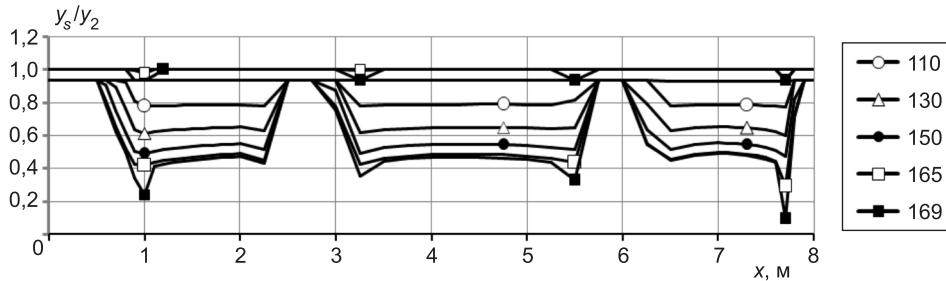


Рис. 13. Границы y_s зон пластических деформаций в двутавровой неоднородной Bq -профилированной балке при различных нагрузках

б) локализацию пластических деформаций не в местах наибольших изгибающих моментов, а на границах профицируемых участков с призматическими вставками;

в) возможность начала пластического деформирования как с наружной поверхности балки, так и с внутренних границ слоев, в зависимости от геометрических и физических параметров балки;

г) возможность наличия разрывности области пластического деформирования по поперечной координате y в многослойной структуре.

Проект Bq -профилированной балки по отношению к призматической балке той же слоистой структуры характеризуется предельной нагрузкой $q_{u1} = 0,79q_{u0}$, прогибом $v_{m1} = 1,62v_{m0}$, массой $G_1 = 0,65G_0$.

Как и для однородных балок, может быть создан Bg -проект двутавровой неоднородной балки. Очертание ширины ее наружных слоев показано линией 2 на рис. 12. По отношению к призматической балке той же слоистой структуры проект характеризуется расчетной нагрузкой $q_{r2} = 2,21q_{r0}$, предельной нагрузкой $q_{u2} = 1,62q_{u0}$, прогибом $v_{m2} = 0,76v_{m0}$, массой $G_2 = G_0$.

Множество промежуточных решений между Bq - и Bg -проектами образуют серию **рекомендуемых проектов**, имеющих массу в интервале $(0,65 - 1)G_0$, расчетную нагрузку $(1 - 2,21)q_{r0}$, предельную нагрузку $(0,71 - 1,64)q_{u0}$, прогиб $(0,76 - 1,62)v_{m0}$. Качественно это иллюстрируется графиком на рис. 6.

Поскольку в Bg - и Hg -проектах нагрузка упругого деформирования выше, чем первоначальная расчетная, для них термин «нерасчетные нагрузки» теряет прежний смысл. Здесь наблюдается расширение расчетного диапазона воздействий в рамках исходного расхода материалов.

8. О технологиях изготовления. При изготовлении конструктивных элементов, составленных из разнородных профилированных частей (слоев), в настоящее время могут использоваться разнообразные способы и технологии.

Если говорить о раскрое металлических частей-заготовок, то предпочтение следует отдать способу координатной плазменной резки. Среди ее преимуществ отметим: возможность обработки любых металлов; высокое качество и точность разреза; отсутствие необходимости дополнительной обработки поверхности разреза; небольшой локальный разогрев заготовки, практически исключающий ее тепловую деформацию. На рынке присутствует достаточно большое число фирм,лагающих свои услуги по плазменной обработке деталей.

Соединение выполненных заготовок осуществляется различными способами. Во-первых, с этой целью могут применяться все известные традиционные способы, основанные на разновидностях сварки, склейки, использовании разнообразных соединительных элементов. Во-вторых, для соединения различных не свариваемых традиционными способами металлов может применяться способ сварки взрывом [1], предложенный в 1961 г. акад. М.А. Лаврентьевым. За более чем полувековой период технология способа хорошо отработана, многие фирмы и металлургические комбинаты при доступных ценах предлагают услуги по изготовлению пакетов из различных металлов сваркой взрывом. В-третьих, следует ожидать, что интенсивно развивающаяся отрасль нанотехнологий в ближайшее время даст новые надежные способы соединения (склейки) разнородных материалов. Все это свидетельствует о том, что необходимость в скорейшей разработке и совершенствовании методов расчета и рационального проектирования профилированных слоистых конструкций весьма актуальна.

Выводы. 1. Применение критериев и методов рационального проектирования позволяет установить в конструкции законы изменения геометрических параметров, обеспечивающих в зависимости от исходной постановки существенное улучшение качественных показателей ее работы. Среди них: увеличение расчетной нагрузки упругого деформирования, предельной несущей способности, снижение массы и деформативности.

2. Предложено два способа рационального проектирования: проекты с заданной нагрузкой упругого деформирования (Bq - и Hq -проекты) и проекты с заданным расходом материалов (Bg - и Hg -проекты). Первый из них позволяет получить максимальную экономию материалов при упругом деформировании, а второй — повышенную прочность и жесткость при упругом и упругопластическом деформировании нерасчетными нагрузками. Компромиссное сочетание этих подходов дает возможность получения рационально профилированных конструкций, обладающих набором заданных качеств.

3. Показано, что в балках с рационально профилированной высотой сечения (слоя) в предельном состоянии, найденном на основе модели идеально упругопластического материала, пластические шарниры образуются в наименее нагруженных местах, выявленных линейным расчетом. В этой связи, применение конструктивных ограничений на минимум варьируемых величин является принципиально необходимым для обеспечения запаса несущей способности Hq -проектов.

4. Использование упрощенных (кусочно-линейных) геометрических форм конструкций позволяет повысить технологичность их изготовления при сохранении основных показателей прочности и жесткости.

5. Традиционно используемые призматические конструкции можно трактовать как нулевое (начальное) приближение к рационально профилированным конструкциям. Последние в сочетании с принципом неоднородности (слоистости) по праву находят все более широкое применение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Д е р и б а с, А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом [Текст] / А.А. Дерибас. — Новосибирск : Наука, 1980. — 218 с.

*МИЩЕНКО Андрей Викторович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: mavr@hnet.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 11.07.13

Mishchenko Andrey Victorovich, candidate of technical sciences, assistant professor;
E-mail: mavr@hnet.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
(Sibstrin), Russia

SPECIFICITY ELASTO-PLASTIC DEFORMATION OF THE HOMOGENEOUS AND LAYERED RATIONALLY PROFILING BEAMS ON EXCEEDING THE DESIGNED INFLUENCE

Report 2

Elasto-plastic deformation rationally profiling beams on exceeding the designed influence started in report number one are research in this report. Take up the homogeneous beams having the variable width of rectangle cross-sections, beams with piece-linear width and height laws, also — layered beams of double-T cross-sections a. Suggest the beams, are profiling on the given volume material. Such beams offers the increased of strength and rigidity be compare with prismatic beams.

Key words: rationally profiling, equal-strength, layered rod, load capacity.

REFERENCES

1. D e r i b a s, A.A. Strengthening and explosion welding physics [Text] / A.A. Deribas. — Novosibirsk : Science, 1980. — 218 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.31:678.06

Д.С. ИОНОВ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ С ПРОДУКТАМИ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА БЕТОНА

Исследованы модельные системы с добавкой полиэтиленгликоля и показано его влияние на свойства бетона.

Ключевые слова: портландцемент, бетон, полиэтиленгликоль, зола-унос, известь, рентгенофазовый анализ, дериватограмма, удобоукладываемость, прочность.

Нельзя представить производство современных бетонов без использования новейших разработок химических добавок. Достаточно эффективными являются добавки пластифицирующего действия на основе эфиров поликарбоксилатов. По своим технологическим характеристикам они превосходят существующие виды пластификаторов. Однако кроме позитивных факторов присутствуют и негативные, например, высокая стоимость. Известно, что множество современных добавок, которые изготавливаются для бетонных смесей и бетонов, содержат полиэтиленгликоль (ПЭГ) [1].

Для определения особенностей взаимодействия полиэтиленгликоля с минеральными вяжущими веществами применяли модельные системы, полученные с использованием гашеной извести и золы-уноса. Исследования проводили с помощью комплекса физико-химических методов, в том числе рентгенофазового и дифференциально-термического анализа (ДТА). Составы исследованных смесей приведены в табл. 1.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1, а) зола-унос представлена рентгеноаморфной фазой, содержащей включения β -кварца ($d = 0,424; 0,334; 0,228; 0,181$ нм) [2] и гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) ($d = 0,269; 0,251; 0,220; 0,184$ нм) [2, 3].

После добавления к смеси золы с водой кристаллического полиэтиленгликоля характер рентгенограмм частично изменился (рис. 1, б). Кроме дифракционных отражений, характерных для включений золы, появляются новые пики ($d = 0,564; 0,443; 0,411; 0,325$ нм), которые согласно [2, 3] можно отнести к ПЭГ. Он почти не способен взаимодействовать с кислыми оксидами [1], а ладыжинская зола ГРЭС относится к кислому типу, представлена преимущественно аморфной (стекловидной) фазой и поэто-

Таблица 1
Составы исследуемых смесей, г

№ состава	Известь	Зола	ПЭГ	Вода
1	—	100	—	29
2	—	67	33	29
3	67	—	33	29
4	34	33	33	29

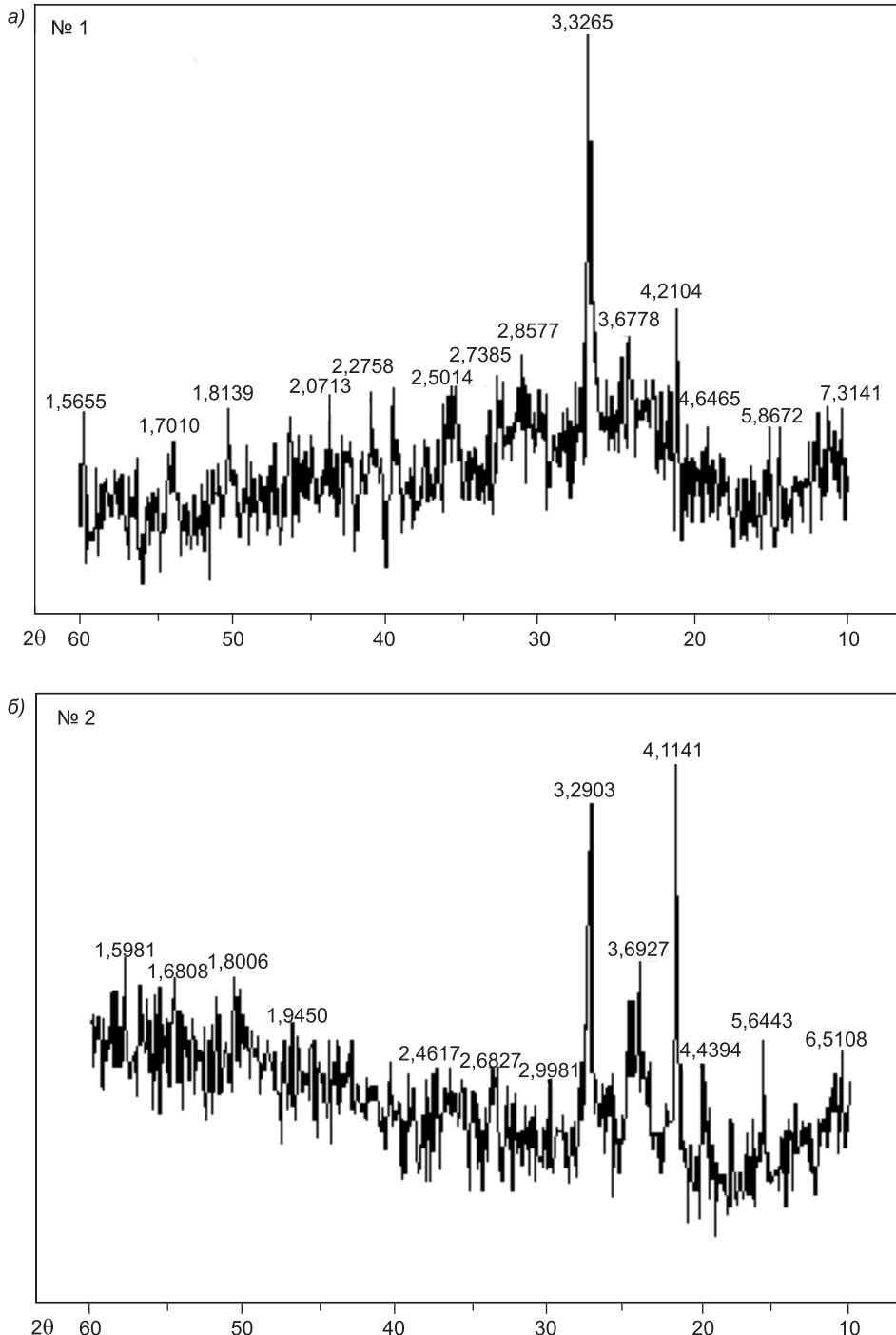


Рис. 1. Рентгенограмма образцов, полученных после твердения смеси состава № 1 (а) и № 2 (б)

му является почти индифферентной. Наличие β -кварца в смеси (рис. 1, б) подтверждается и ДТА (рис. 2). На дериватограмме наблюдается эндоэффект с максимумом при температуре 573 °C, что указывает на прохождение обратного полиморфного превращения β -кварца в α -кварц с теплотой инверсии 18,84 кДж/кг [2, 3]. На дериватограмме фиксируется экзоэффект

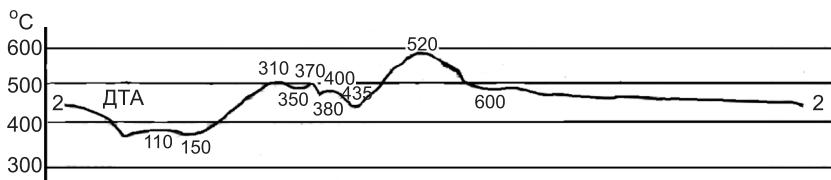


Рис. 2. Дериватограмма продуктов твердения смеси состава № 2

фект при $310\text{ }^{\circ}\text{C}$, обусловленный окислением ПЭГ [2], и эндоэффект в интервале температур $350\text{--}380\text{ }^{\circ}\text{C}$, который связан с термической деструкцией ПЭГ [2, 3].

Таким образом, можно сделать вывод, что кристаллический полиэтиленгликоль слабо взаимодействует со стекловидной золой-уноса, и они почти не образуют новых химических соединений. Поэтому было проведено дальнейшее исследование по установлению возможности взаимодействия ПЭГ с гидроксидом кальция, являющимся одним из продуктов гидратации портландцемента.

Согласно результатам анализа продуктов твердения смеси, состоящей из гашеной извести, воды и ПЭГ, на рентгенограмме (рис. 3) отмечены рефлексы ($d = 0,385; 0,293; 0,169; 0,160\text{ нм}$), которые не характерны для исходных сырьевых материалов. Вероятно, они обусловлены появлением продуктов взаимодействия ПЭГ с гидроксидом кальция.

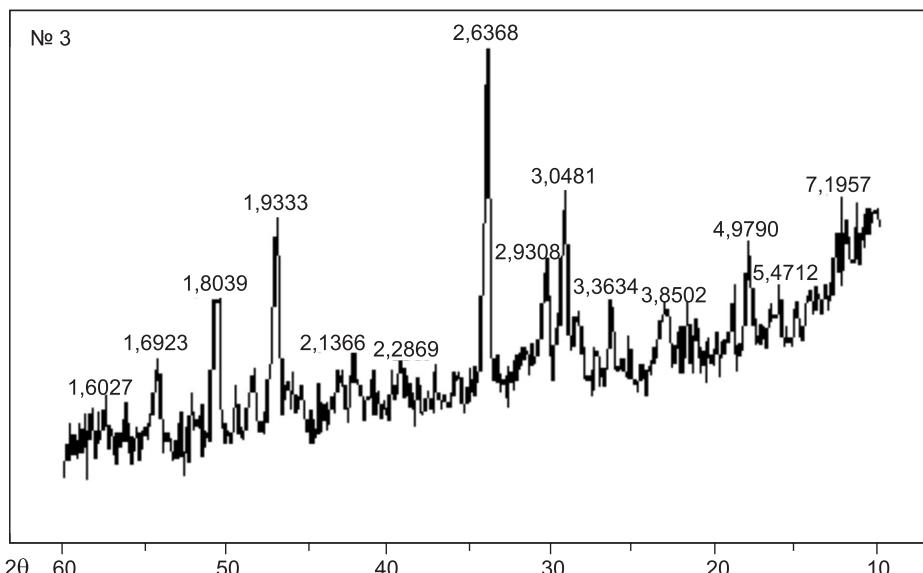


Рис. 3. Рентгенограмма образцов, полученных при твердении смеси состава № 3
(известь гашеная + вода + ПЭГ)

Кроме того, на рентгенограмме присутствуют дифракционные отражения ($d = 0,493; 0,263; 0,193; 0,179\text{ нм}$), которые можно отнести к кристаллическим включениям портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [2, 3], а также отмечены рефлексы ($d = 0,547; 0,407; 0,336; 0,213\text{ нм}$), которые можно отнести к остаткам ПЭГ [1], не прореагировавшего с известью.

Данные рентгенофазового анализа подтверждаются результатами ДТА. Так, на дериватограмме (рис. 4) появляются пики с экзоэффектом при $490\text{--}540\text{ }^{\circ}\text{C}$, не связанные с наличием исходных материалов. Можно

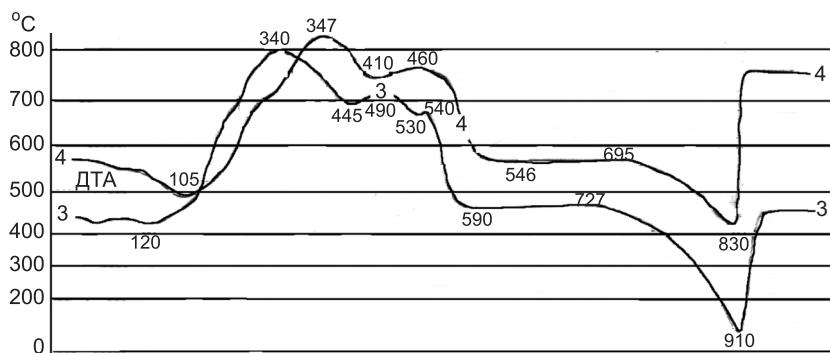


Рис. 4. Дериватограммы продуктов твердения смесей составов № 3 и 4

предположить, что вышеупомянутые пики характеризуют термические превращения синтезированных «кальций-полимерных соединений».

Наличие остатков портландита на дериватограмме (см. рис. 4) подтверждается присутствием эндоэффекта при 585 °C, обусловленного дегидратацией и переходом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaO . Кривая изобарной термогравиметрии показывает двухстадийные потери массы, где на первом этапе удаляется вода из структуры портландита, а на втором — CO_2 из примесей карбоната кальция [2, 3]. Вышеупомянутые данные подтверждают выдвинутую гипотезу о том, что добавление ПЭГ к гашеной извести (а значит и к портландиту, как продукту гидратации цемента) сопровождается протеканием реакций между ними и образованием в результате взаимодействия новых веществ — «кальций-полимерных соединений».

Полученные результаты подтверждают данные, представленные в работах [1, 2], о возможности образования комплексов при взаимодействии ПЭГ со щелочными и щелочно-земельными металлами или их соединениями. При твердении смеси № 4, состоящей из гашеной извести, золы, воды и ПЭГ, в составе новообразований, по данным рентгенофазового анализа (рис. 5), отмечается наличие «кальций-полимерных соединений»,

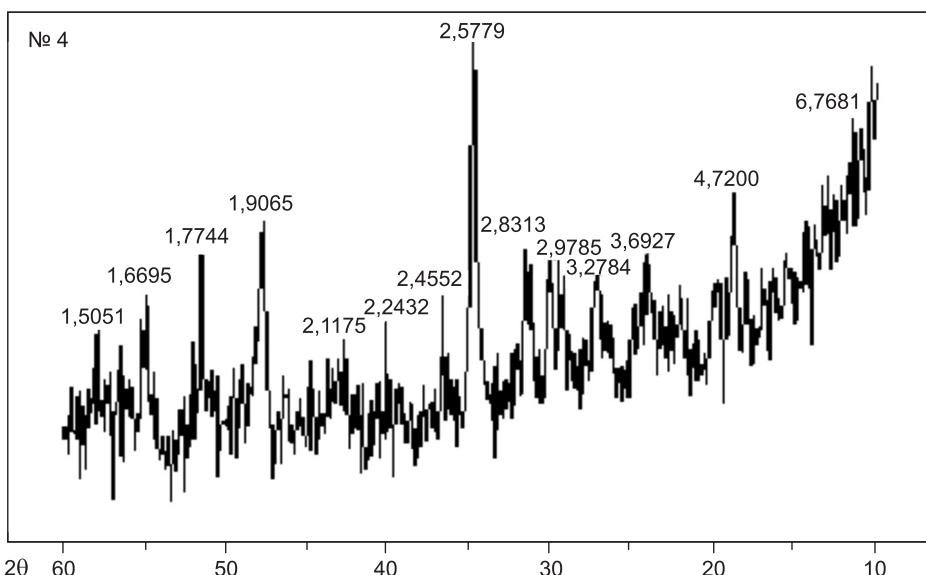


Рис. 5. Рентгенограмма образцов, полученных при твердении смеси состава № 4 (гашеная известь + зола + вода + ПЭГ)

которым соответствуют рентгеновские рефлексы ($d = 0,385; 0,293; 0,169; 0,160$ нм).

Кроме того, на рентгенограмме присутствуют пики остатков сырьевых материалов с рефлексами ($d = 0,493; 0,263; 0,193; 0,179$ нм), которые можно отнести к кристаллическим включениям β -кварца, портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d = 0,424; 0,334; 0,228; 0,1813$ нм) [2], а также фиксируются новообразования в виде тоберморита 1,13 нм ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ($d = 0,307; 0,297; 0,280; 0,207$ нм) [2, 3].

Итак, исследовав физико-химические процессы структурообразования в модельных системах, можно сделать вывод, что кристаллический полиэтиленгликоль почти не взаимодействует со стекловидным веществом золы-уноса, поскольку его пики на рентгенограмме достаточно интенсивны и со временем не изменяются (см. рис. 1, б), но достаточно активно вступает в реакцию с гашеной известью с образованием «кальций-полимерных соединений», которые можно идентифицировать по определенным дифракционным отражениям.

Таким образом, можно утверждать, что введение оптимального количества ПЭГ (со средней молекулярной массой 1500) в бетонную смесь, полученную на основе портландцемента, одним из продуктов гидратации которого является портландит, способствует протеканию реакций между данными компонентами и процессами синтеза «кальций-полимерных соединений», которые будут изменять пространственную структуру камня на микроуровне.

Согласно данным, приведенным на рис. 2 и 4, можно отметить, что удаление адсорбционной связанной воды в смесях составов № 2–4 проходит при различных температурах. Так, состав № 2 теряет адсорбционную связанную воду при 150 °C, состав № 3 — 120 °C, а состав № 4 — при 105 °C, с соответствующими подтверждениями на дериватограммах.

Можно предположить, что состав № 4 содержит наибольшее количество органоминеральных новообразований «кальций-полимерных соединений», которые плоходерживают воду за счет того что имеют коллоидные размеры, и их молекулы характеризуются наличием двойного электрического слоя. Известно, что при образовании данного слоя способность молекулами удерживать воду ослабевает [1]. Обязательным условием формирования данного слоя является наличие границы раздела двух фаз — жидкой и твердой. В данном случае это граница между высокодисперсными новообразованиями «кальций-полимерных соединений» и водой. Эта тенденция сохраняется и для состава № 3, компоненты которого также прореагировали с образованием высокодисперсных новообразований. В отличие от составов № 3 и 4, состав № 2 имеет самую высокую температуру удаления адсорбционной связанной воды, и это объясняется тем, что микрочастицы золы-уноса не способны вступать в реакцию с ПЭГ и соответственно не образуют вышеприведенных соединений.

При формировании новообразований за счет взаимодействия ПЭГ и портландита на стадии перехода из золя в гель имеют место реакции синтеза наnanoуровне, что подтверждается данными рентгенофазового анализа составов № 1–5.

Рассмотренные модельные системы позволяют лучше понять процессы структурообразования при твердении бетонных смесей, в состав которых была введена добавка ПЭГ. Следовательно, необходимо исследовать влияние ПЭГ на реологические свойства бетонных смесей и кинетику набора прочности полученных бетонов. Составы бетонных смесей приведены в табл. 2.

Таблица 2
Составы бетонных смесей

№ состава	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень гранитный, кг		Вода, л	ОК, марка	Добавка ПЭГ, %
			5–10 мм	10–20 мм			
1	350	727	361	731	190	П1	—
2	350	727	361	731	190	П1	0,7
3	350	727	361	731	190	П2	1,5

На рис. 6 представлены результаты определения подвижности исследуемых составов бетонной смеси. Согласно приведенным данным можно отметить, что составы с добавлением ПЭГ имели осадку конуса 4–8 см, в то время как контрольный состав — 1 см. Значит добавка ПЭГ имеет слабый пластифицирующий эффект.

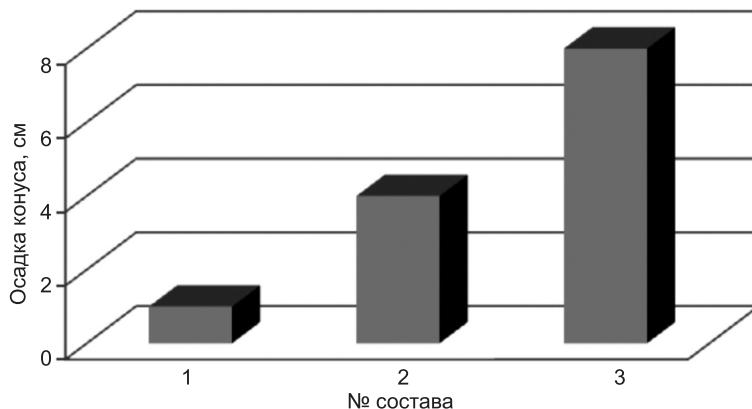


Рис. 6. Оценка пластифицирующего эффекта ПЭГ, введенного в состав бетонных смесей

1 — без добавки; 2, 3 — с добавкой 0,7 и 1,5 % ПЭГ соответственно

На рис. 7 приведено изменение прочности исследуемых составов бетонов на 3, 7 и 28 сут. Можно заметить, что при введении ПЭГ в состав бетонной смеси набор ранней прочности (3 сут) замедляется на 5–25 %, но в дальнейшем (7, 28 сут) прочность бетона с ПЭГ (составы № 2 и 3) растет на 5–15 % по сравнению с прочностью контрольного состава.

Таким образом, при введении ПЭГ в состав бетонной смеси на ранней стадии твердения наблюдается замедление процесса гидратации, что приводит к снижению тепловыделения, а на поздних стадиях твердения отмечается связывание портландита в органоминеральные комплексы, сопровождающее ускорением процесса структурообразования, и как следствие, повышением прочности искусственного камня.

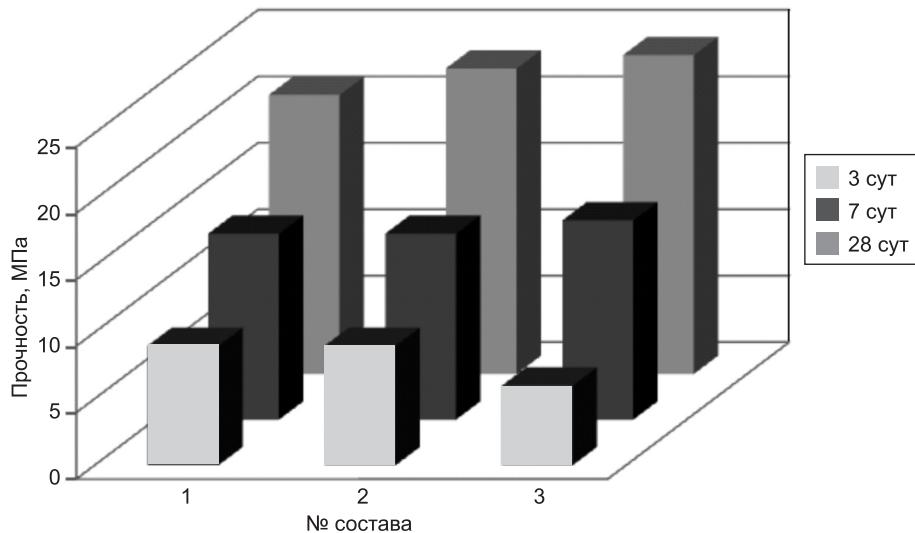


Рис. 7. Кинетика набора прочности бетона

1 — без добавки ПЭГ; 2, 3 — с добавкой 0,7 и 1,5 % ПЭГ соответственно

Учитывая установленные особенности взаимодействия ПЭГ с продуктами гидратации портландцемента, разработанные составы бетонной смеси целесообразно использовать для бетонирования массивных конструкций [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Тагер, А.А. Физикохимия полимеров [Текст] / А.А. Тагер. — М. : Химия, 1968. — 536 с.
- Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учеб. пособие [Текст] / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. — М. : Высш. шк., 1981. — 335 с.
- Ковба, Л.М. Рентгенофазовый анализ: учеб. пособие [Текст] / Л.М. Ковба, В.К. Трунов. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. — 232 с.
- Шейніч, Л.О. Вплив добавки поліетиленгліколю на властивості бетону [Текст] / Л.О. Шейніч, Д.С. Іонов // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: науково-технічний збірник / ДП «НДІБМВ». — 2012. — Вип. 43. — С. 150–154.

ИОНОВ Дмитрий Сергеевич, асп.

Научно-исследовательский институт строительных конструкций, г. Киев, Украина

Получено после доработки 24.07.13

Ionov Dmitry Sergeyevich, post-graduate student, Scientific Research Institute of Building Structures, Kiev, Ukraine

POLYETHYLENEGLYCOL INTERACTION WITH PRODUCTS OF HYDRATION OF CEMENT AND ITS INFLUENCE ON PROPERTIES OF CONCRETE

Model systems with an additive of polyethyleneglycol are investigated and its influence on properties of concrete is shown.

К e y w o r d s: portlandcement, concrete, polyethyleneglycol, ashes ablation, lime, X-ray phase analysis, derivatogramma, workability, strength.

REFERENCES

1. T a g e r, A.A. Physical chemistry of polymers [Text] / A.A. Tager. — M. : Chemistry, 1968. — 536 p.
 2. G o r s h k o v, V.S. Methods of physical-chemical analysis of binders: Manual. benefits [Text] / V.S. Gorshkov, V.V. Timashev, V.G. Savelyev. — M. : High. school, 1981. — 335 p.
 3. K o v b a, L.M. X-ray analysis: Manual. benefits [Text] / L.M. Kovba, V.K. Trunov. — M., 1976. — 232 p.
 4. S h e y n i c h, L.O. Effect of additives polyethyleneglycol on concrete properties [Text] / L.O. Sheynich, D.S. Ionov // Construction materials and sanitary equipment: Scientific and Technical Collection / SE «NDIBMV». — 2012. — Iss. 43. — P. 150–154.
-

УДК 691.55:620.17.002.3

Л.В. ЗАВАДСКАЯ, Г.И. БЕРДОВ, Я.С. АГАЛАКОВА, Е.А. ШИШМАКОВА

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ГИПСОВОГО КАМНЯ ПРИ ВВЕДЕНИИ ДИСПЕРСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ДОБАВОК

Исследовано влияние дисперсных техногенных добавок (корольки, стеклобой, известняковая мука) в количестве от 1 до 80 % от массы гипса на механическую прочность гипсового камня. Показано, что введение оптимального количества добавки, зависящего от их дисперсности, позволяет повысить прочность при сжатии гипсового камня на 24–35 %.

Ключевые слова: гипсовый камень, механическая прочность, техногенные добавки.

Гипсовые материалы широко используются для изготовления внутренних изделий в зданиях различного назначения [1]. Они отличаются относительно малой плотностью, высокой пористостью, огнестойкостью, обеспечивают архитектурную выразительность, хорошую тепло- и звукоизоляцию. Вместе с тем они обладают невысокой прочностью, значительно уступая изделиям на основе цемента.

Повышение прочности гипсового камня обеспечивается его микроармированием полиамидными или базальтовыми волокнами [2]. Могут быть применены и дисперсные техногенные добавки (отходы производства) с целью повышения свойств композиционных материалов, экономии дефицитных вяжущих веществ, утилизации отходов производства. При этом большое значение имеет дисперсность и количество введенной добавки.

Оптимальная концентрация добавок будет достигаться, когда ее частицы со всех сторон плотно окружены частицами вяжущего вещества. Меньшее количество добавок приведет к снижению эффективности их действия. При большем их содержании возможны прямые контакты между частицами добавок, что снизит эффективность их влияния. При увеличении дисперсности добавки ее оптимальное количество уменьшается [3].

В данной работе исследован гипс марки Г5. В качестве добавки использованы измельченные корольки, стеклобой и известняковая мука. Измельченные корольки-отходы получены при производстве минеральной ваты предприятием ООО «Термиз» (Новосибирская область). Состав корольков, мас. %: 35–40 SiO₂; 10–15 Al₂O₃; 2–5 Fe₂O₃; 25–30 CaO; 10–12 MgO; 0,4–0,6 MnO₂; 0,3–0,5 SO₃. Стеклобой представлял собой бой бытового стекла. Его состав, мас. %: 71–73 SiO₂; 13–15 Na₂O; 8–10,5 CaO; 1–4 MgO; 0,5–1,0 Al₂O₃; 0,1 Fe₂O₃; 0,1–1,0 K₂O; 0,3–0,7 SO₃. Известняковая мука получена ЗАО «Искитимский известняковый карьер» (Новосибирская область). Ее состав, мас. %: 54,7 CaO; 0,5 SiO₂; 0,5 MgO; 0,1 Fe₂O₃; потери при прокаливании 40,4.

Дисперсность добавок изучена с помощью лазерного анализатора типа PRO-700 фирма Seishin Enterprice Co. LTD, Tokyo, обеспечивающего определение размера частиц в пределах 1–192 мкм по 16 интервалам значений (табл. 1).

Таблица 1
Дисперсность техногенных добавок по результатам лазерного гранулометрического анализа

Показатель	Корольки	Стеклобой	Известняковая мука
Среднеобъемный размер частиц, мкм	10,1	8,9	13,7
Удельная поверхность, см ² /г	7100	6870	4030
Доля частиц с размером менее 4 мкм, %	29,4	31,6	14,4
Доля частиц с размером менее 16 мкм, %	64,1	66,7	56,6
Доля частиц с размером менее 32 мкм, %	87,7	89,8	89,1

Добавки были введены в сухую гипсовую смесь, тщательно перемешаны и засыпаны в воду. После перемешивания масса залита в формы. Образцы высушены при температуре 80 °С в течение 24 ч. Водогипсовые (В/Г) отношения указаны в табл. 2–4. У исследованных составов по общепринятым методикам определены средняя плотность, предел прочности при сжатии и при изгибе. Образцы имели размеры 4×4×16 см. Полученные результаты приведены в табл. 2–4. Каждая из указанных в них величин является средней из не менее чем шести экспериментальных результатов.

Таблица 2
Влияние добавки измельченных корольков на свойства гипсовых образцов

Содержание измельченных корольков, % от массы гипса	Средняя плотность, г/см ³	Прочность, МПа		В/Г
		при изгибе	при сжатии	
1	1,13	4,07	8,58	0,67
3	1,07	3,83	8,14	0,67
5	1,12	3,85	7,42	0,67
7	1,11	3,89	7,9	0,67
9	1,13	3,44	7,42	0,67
20	1,12	3,34	6,14	0,67
40	1,11	2,89	5,6	0,54
60	1,12	2,65	5,12	0,54
80	1,18	2,54	4,98	0,52

Таблица 3
Влияние добавки стеклобоя на свойства гипсовых образцов

Содержание стеклобоя, % от массы гипса	Средняя плотность, г/см ³	Прочность, МПа		В/Г
		при изгибе	при сжатии	
1	1,07	9,13	3,66	0,68
3	1,10	8,94	3,93	0,68
5	1,04	8,8	3,96	0,68
7	1,04	8,85	3,24	0,67
9	1,10	7,47	4,08	0,67
20	1,16	10,05	3,92	0,57
40	1,18	7,96	3,82	0,56
60	1,25	8,12	3,37	0,50
80	1,31	8,00	2,90	0,50

Таблица 4

Влияние добавки известняковой муки на свойства гипсовых образцов

Содержание известняковой муки, % от массы гипса	Прочность, МПа		В/Г
	при сжатии	при изгибе	
1	7,11	2,99	0,67
3	4,94	2,99	0,67
5	6,32	2,91	0,67
7	8,20	3,45	0,67
9	5,50	3,00	0,67
20	7,73	3,31	0,67
40	3,66	2,03	0,56
60	6,14	3,05	0,56
80	5,64	2,81	0,52

Гипсовые образцы без добавок обладают следующими свойствами: средняя плотность — 1,02 г/см³, прочность при сжатии — 6,48 МПа, прочность при изгибе — 4,1 МПа.

Измельченные корольки вводили в состав вяжущего в количестве от 1 до 80 % от массы гипса (см. табл. 2). Максимальная прочность при сжатии образцов достигается при количестве вводимых измельченных корольков 1 %. При этом она увеличилась на 24,5 % по сравнению с бездобавочным гипсом. Прочность при изгибе изменяется незначительно.

Стеклобой вводили в состав вяжущего в количестве от 1 до 80 % от массы гипса (см. табл. 3). Максимальная прочность при сжатии образцов достигается при количестве измельченного стеклобоя 20 %. Она увеличилась на 35,5 % по сравнению с бездобавочным гипсом. Введение добавки стеклобоя, как и в случае добавки корольков, более существенно влияет на прочность при сжатии. И в этом случае отношение прочности при сжатии к прочности при изгибе превышает 2,0.

Известняковую муку вводили в состав вяжущего в количестве от 1 до 80 % от массы гипса (см. табл. 4).

Максимальная прочность при сжатии образцов достигается при количестве вводимой известняковой муки 7 % и составляет 8,2 МПа, что выше на 26,5 % по сравнению с бездобавочным гипсом. При введении известняковой муки прочность при изгибе снижается. Введение добавки известняковой муки, как и в случае добавок корольков и стеклобоя, более существенно влияет на прочность при сжатии.

Эффективность действия добавок определяется тем, что происходит:

- микрармирование гипсового камня;

- перераспределение механических напряжений между гипсовым камнем и частицами добавки; при этом необходимо, чтобы модуль упругости (и соответственно твердость) материала добавки был выше, чем у гипса;

- воздействие на процесс гидратационного твердения гипса. Кроме того, добавки препятствуют распространению трещин в материале и могут являться подложками для кристаллизации образующихся новых гидратных фаз.

Измельченные стеклобой и корольки в составе содержат в основном оксид кремния SiO_2 . Известняковая мука практически полностью составлена кальцитом CaCO_3 .

В табл. 5 представлены некоторые термодинамические свойства (стандартная удельная энталпия образования, стандартная удельная энтропия), а также плотность веществ и их твердость по минералогической шкале. Измельченные стеклобой и корольки имеют твердость значительно большую чем гипс, так как твердость высококремниевых стекол превышает значение 6 по шкале Мооса. Эти добавки эффективно микроармируют гипсовый камень и воспринимают основную часть внешней нагрузки. Это вызывает повышение прочности гипсовых образцов.

Таблица 5
Термодинамические и физические свойства веществ

Вещество	Удельная стандартная энталпия образования - ΔH_f° , кДж/г	Удельная стандартная энтропия S° , Дж/(г · К)	Плотность, г/см ³	Твердость по Моосу
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	10,84	0,92	2,7	—
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11,74	1,13	2,3	2
SiO_2 (кварц)	15,18	0,70	2,6	7
CaCO_3 (кальцит)	12,10	0,93	2,7	3

Добавка известняковой муки, видимо, выполняет иную роль. Твердость кальциита (3) незначительно превышает твердость двуводного гипса (2). Вместе с тем по термодинамическим характеристикам эти соединения близки между собой, что может обуславливать воздействие CaCO_3 на гидратацию гипса, при этом частицы кальциита могут являться подложками для кристаллизации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В результате чего прочность при сжатии возрастает. Следовательно, введение оптимального количества техногенных дисперсных микронаполнителей, таких как стеклобой и корольки, способствует повышению прочности при сжатии гипсового камня и снижению водогипсового отношения смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тросницкий, В.Б. Потенциал применения гипса в промышленности строительных материалов [Текст] / В.Б. Тросницкий, А.И. Пустохетлов // Пром. и гражд. стр.-во. — 2005. — № 7. — С. 20–22.
2. Чернышева, Н.В. Разработка составов дисперсно-армированных вяжущих [Текст] / Н.В. Чернышева, М.Б. Рыбакова // Вестн. БГТУ. — 2009. — № 2. — С. 84–87.
3. Бердов, Г.И. Влияние минеральных микронаполнителей на свойства строительных материалов [Текст] / Г.И. Бердов, Л.В. Ильина, В.Н. Зырянова, Н.И. Никоненко, В.А. Сухаренко // Строит. материалы. — 2012. — № 9. — С. 79–83.

ЗАВАДСКАЯ Любовь Владимировна, канд. техн. наук, доц.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

БЕРДОВ Геннадий Ильич, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

АГАЛАКОВА Яна Сергеевна, студ.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ШИШМАКОВА Екатерина Александровна, студ.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 16.07.13

Zavadskaya Lubov Vladimirovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Berdov Gennadiy Ilich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Agalakova Yana Sergeevna, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Shishmakova Ekaterina Alexandrovna, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CHANGING THE PROPERTIES OF GYPSUM WHEN ADMINISTERED DISPERSIVE TECHNOGENIC ADDITIONS

The influence of anthropogenic particulate additives (wrens, glass, izvetnyakovaya flour) introduced in an amount of from 1 to 80 % by weight of gypsum, the mechanical strength of gypsum. It is shown that the introduction of the optimal amount of additives, depending on their dispersion, can increase the compressive strength of gypsum by 24–35 %.

Key words: gypsum, mechanical strength, technological additives.

REFERENCES

1. Trosnitsky, V.B. Potential use of gypsum in the building materials industry [Text] / V.B. Trosnitsky, A.I. Pustohetlov // Industrial and civil construction. — 2005. — N 7. — P. 20–22.
 2. Chernysheva, N.V. Development of formulations of dispersion-reinforced cementitious [Text] / N.V. Chernysheva, M.B. Rybakova // Herald BSTU. — 2009. — N 2. — P. 84–87.
 3. Berdov, G.I. Influence of mineral microfillers properties of building materials [Text] / G.I. Berdov, L.V. Ilina, V.N. Zyryanova, N.I. Nikonenko, V.A. Sukharensko // Building materials. — 2012. — N 9. — P. 79–83.
-

УДК 691.33:666.965.2

Г.И. ОВЧАРЕНКО, Д.И. ГИЛЬМИЯРОВ

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ АВТОКЛАВНЫХ ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Фазовый состав камня из известково-зольной композиции после автоклавирования в течение 8, 50 и 100 ч изотермы при 0,8 МПа без добавок или с 1 и 2 % Na_2SO_4 представлен алюминий замещенным тоберморитом, гелевидной фазой C-A-S-H, гидрогранатом катоитом. Добавление в систему 1 и 2 % Na_2SO_4 значительно повышает скорость фазообразования. При этом 2 % Na_2SO_4 способствуют существенному увеличению синтеза Al-тоберморита, но снижают содержание фазы C-A-S-H.

Ключевые слова: известково-зольная смесь, автоклавная обработка, фазовый состав, добавка Na_2SO_4 .

По многим причинам в последние годы вновь стала актуальной проблема полной переработки золошлаковых отходов ТЭЦ, и часто для этой цели предлагается технология получения прессованного автоклавного материала типа силикатного кирпича. При этом, несмотря на фундаментальную монографию А.В. Волженского с соавторами¹, остаются нерешиенные вопросы по формированию фазового состава такого материала и, в частности, в присутствии активизаторов твердения, а значит и по прогнозированию его строительно-технических свойств.

Фазовый состав продуктов гидратации на основе кислых алюмосиликатных зол или золошлаков ТЭЦ и извести, цемента и других вяжущих до сих пор характеризуется значительной неопределенностью во многом из-за трудной кристаллизации гидратов в таких системах даже в автоклавных условиях. Образующийся гель C-S-H способен вбирать в свою структуру разные примесные катионы и анионы [1], так же как и кристаллизующийся в этой системе тоберморит, обладающий высокой дефектностью, способен размещать в дефектах кристаллической решетки различные примеси [2]. Как указывают многие источники, алюминий замещенный тоберморит наряду с C-S-H является одной из основных гидратных фаз в этой системе. Однако Al-тоберморит может разместить в своей структуре только 1/7 атомов Al от содержания атомов Si, а от общей массы тоберморита не более 7 % Al_2O_3 . В то время как в таких золах содержится 20–25 % Al_2O_3 . Избыток глинозема многие приписывают образованию гидрогранатов. Но есть исследователи, которые опровергают возможность их синтеза. Японские ученые показали [3], что в цементно-зольных автоклавированных композициях добавление и Al_2O_3 , и CaSO_4 способствует ускорению синтеза тоберморита и увеличению его количества. При этом его формирование происходит после максимума синтеза C-S-H и гидрограната с уменьшением содержания последнего. Все это требует уточнения как в плане фазообразования, так и прочности образующегося материала.

Целью настоящей работы является изучение фазового состава известково-зольного прессованного автоклавированного материала в том числе в присутствии активизатора Na_2SO_4 .

¹ Волженский А.В., Буров Ю.С., Виноградов Б.Н. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М.: Стройиздат, 1969. 392 с.

В эксперименте использовали электрофильтровую золу от сжигания кузнецких каменных углей марки Г на Новосибирской ТЭЦ-5 (КУЗ), с содержанием, %: несгоревшего угля (п.п.п.) 3,29; SiO_2 — 61,87; Al_2O_3 — 23,73; Fe_2O_3 — 5,0; CaO — 4,38; MgO — 1,29; SO_3 — 0,33 (сумма 99,89). Кальциевая известь содержала 90 % активных CaO и MgO и по основным показателям соответствовала извести первого сорта по ГОСТ 9179-77. В отдельных составах применяли активизатор твердения Na_2SO_4 с содержанием основного вещества 98 %.

Зола смешивалась с предварительно молотой известью в количестве 20 % в пересчете на активные CaO и MgO . В отдельные составы с водой затворения вводился активизатор твердения Na_2SO_4 в количестве 1 или 2 % от массы смеси. Сыревая смесь увлажнялась, герметизировалась в полиэтиленовых пакетах и силосовалась при 60 °C в течение 2–4 ч. После этого из массы формовались образцы-цилиндры диаметром и высотой 50 мм при удельном давлении прессования 20 МПа, которые запаривались в автоклаве при 0,8 МПа с изотермической выдержкой 8, 50 и 100 ч. После испытания образцов-цилиндров на прочность отбирались пробы на анализ методами рентгенофазового (РФА) и термического анализов.

РФА проводили на установке ДРОН-3 с $\text{CuK}\alpha$ -излучением при напряжении на трубке в 40 кВ и токе 25 А. Термический анализ со скоростью 10 град/мин производили на дериватографе системы Netzsch STA 449C в закрытом тигле и токе гелия для создания неокислительной среды и устранения влияния выгорания угольных остатков в золе.

Состав образовавшихся продуктов гидротермального синтеза в бездобавочной композиции по данным РФА (рис. 1) представлен следующи-

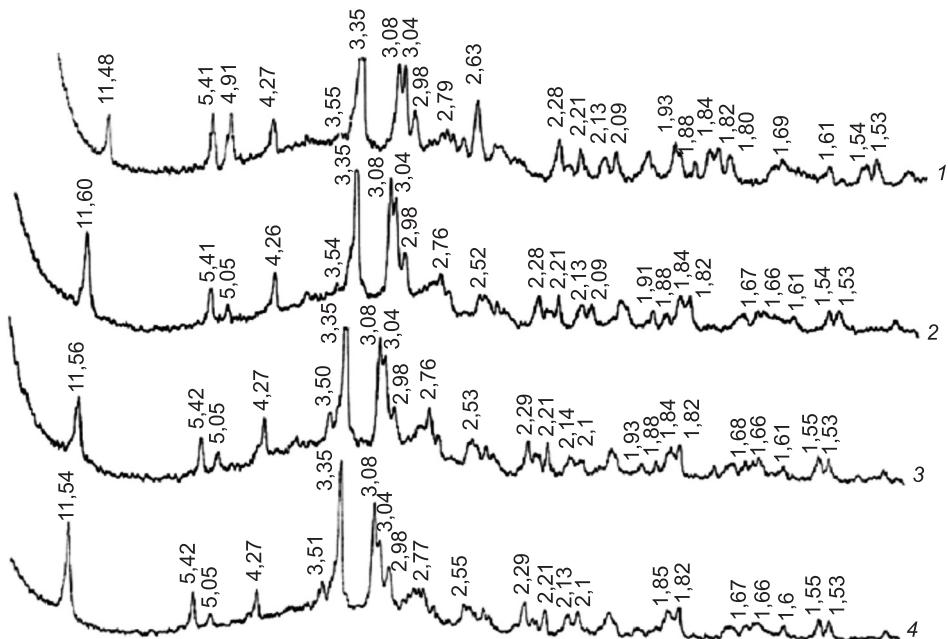


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов гидротермального синтеза при 0,8 МПа смесей на основе золы НТЭЦ-5 и 20 % извести при изотермической выдержке
1 — 8 ч; 2 — 100 ч; 3 — 8 ч с дополнительным введением 2 % Na_2SO_4 ; 4 — 100 ч с дополнительным введением 2 % Na_2SO_4

ми основными фазами: 8 ч изотермы (рентгенограмма 1) — остаточный портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (4,91; 2,63; 1,80), остаточный кварц золы SiO_2 (4,27; 3,35; 2,28; 1,80), синтезированный тоберморит (11,48; 5,41; 3,08; 2,98; 2,79), остаточный кальцит (3,04; 2,28; 1,93). Помимо указанных фаз имеются отражения гидрогранатов: катоита (5,10; 2,79; 2,28; 1,67) и железосодержащего гидрограната (3,08; 2,74; 1,62). Возможно присутствие фаз C-S-H (I и II) — пики 3,07 и 2,80, однако отражения при малых углах для этих фаз отсутствуют ($12,5$ и $9,80 \cdot 10^{-10}$ м).

При увеличении изотермы до 100 ч в бездобавочном составе (рентгенограмма 2) портландит исчезает, доля кварца уменьшается, увеличивается доля тоберморита, однако интенсивность не всех пиков тоберморита изменяется пропорционально: пик 5,41 уменьшается, 2,98 остается неизменным, а пики 11,60 и 3,08 увеличиваются. Вместо пика 2,79 появляется пик 2,76. Следует обратить внимание на значительное отклонение 11-ангстремного пика от 11,3 до $11,60 \cdot 10^{-10}$ м. Пики катоита перерождаются в отражения железосодержащего гидрограната (5,045; 3,08; 2,755; 1,62–1,63), хотя отдельные источники приписывают пик 2,76 также катоиту. Кроме 1,1 нм тоберморита и возможно ксонолита (3,07–3,08; 2,83; 2,70), пики других гидросиликатов кальция отсутствуют.

В присутствии 2 % активизатора Na_2SO_4 за 8 ч обработки (рентгенограмма 3) достигается промежуточное содержание фаз по сравнению с 8 и 100 ч бездобавочного состава, кроме значительного увеличения пика 2,76. Его можно отнести к катоиту или железосодержащему гидрогранату. 100-часовая выдержка в присутствии 2 % Na_2SO_4 (рентгенограмма 4) мало отличается от 100-часовой выдержки в системе без активатора, кроме еще большего уменьшения доли кварца и описанных дополнений.

Анализ термограмм составов показывает, что по кривым дифференциального термического анализа не удается установить те или иные фазы. Поэтому качественный и количественный состав гидратов производили по данным термической гравиметрии и дифференциальной термической гравиметрии (ДТГ или DTG). Правомерность такого подхода в аналогичных системах была доказана ранее [4].

Термический анализ бездобавочного состава после 8 ч автоклавирования (рис. 2) показывает ДТГ-эффект в области до 95 °C, связанный с удалением адсорбционной влаги. Наблюдается присутствие гидрогранатов, выраженных небольшой потерей массы при 373 °C. Сильный ДТГ-эффект при 447 °C подтверждает присутствие остаточного портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В интервале температур 700–780 °C наблюдается разложение гидросиликатов кальция, кальцита, а также, вероятно, фазы C-A-S-H, дегидратация которой сопровождается выраженным эндотермическим эффектом при 729 и потерей массы при 741 °C. Тоберморитовая фаза, имеющая значительные отклонения отражения РФА от 11,3, представляет собой Al-тоберморит с другими примесями и поэтому имеет потерю массы при температуре 180 °C, значительно меньшей 240 °C [4].

При увеличении изотермической выдержки до 100 ч на термограмме (рис. 3) наблюдается значительное увеличение эндоэффекта при 86 °C и исчезновение остаточного портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$, связанное с образовани-

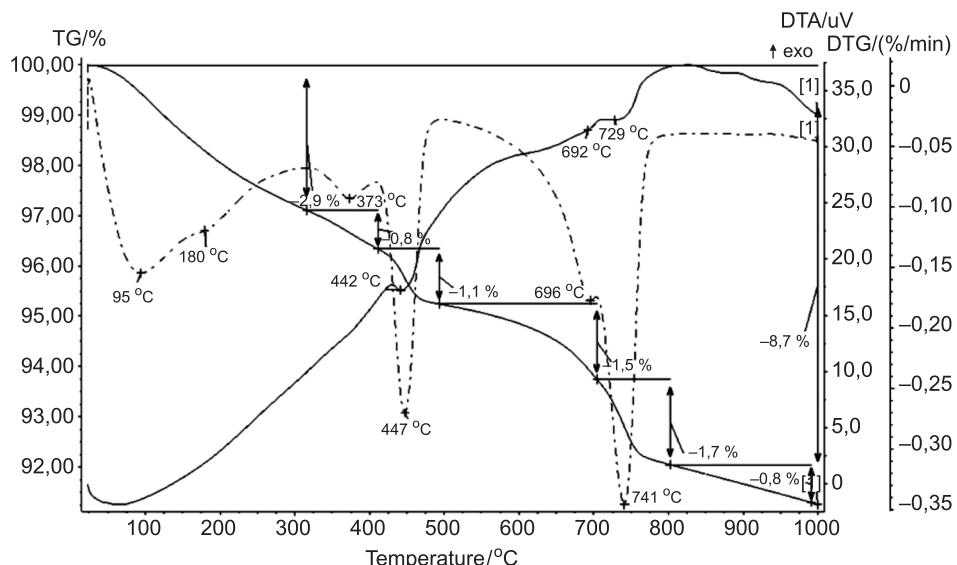


Рис. 2. Термограмма продуктов гидротермального синтеза при 0,8 МПа смеси на основе золы НТЭЦ-5 и 20 % извести при 8 ч изотермической выдержки

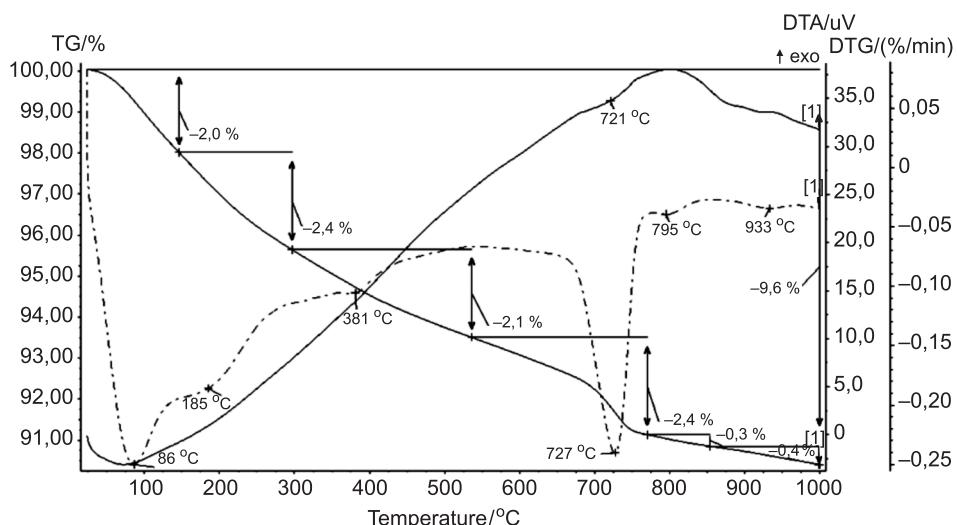


Рис. 3. Термограмма продуктов гидротермального синтеза при 0,8 МПа смеси на основе золы НТЭЦ-5 и 20 % извести при 100 ч изотермической выдержки

ем большего количества гидратных фаз в результате гидротермального синтеза. Об этом свидетельствует и большая потеря массы, связанная с удалением адсорбционной влаги и потерей воды гелевидной частью. Отмечается ДТГ-эффект гидрогранатов при 381 °С. Потеря массы на эффектах 185 и 727 °С увеличивается до 2,4 %.

Термограмма продуктов гидратации образцов на основе золы НТЭЦ-5 и 20 % извести, при 8 ч изотермической выдержки с дополнительным введением 2 % Na₂SO₄ (рис. 4) мало отличается от термограммы бездобавочного известково-зольного состава при 100 ч изотермической выдержки, что свидетельствует об активизации гидротермального синтеза в присутствии суль-

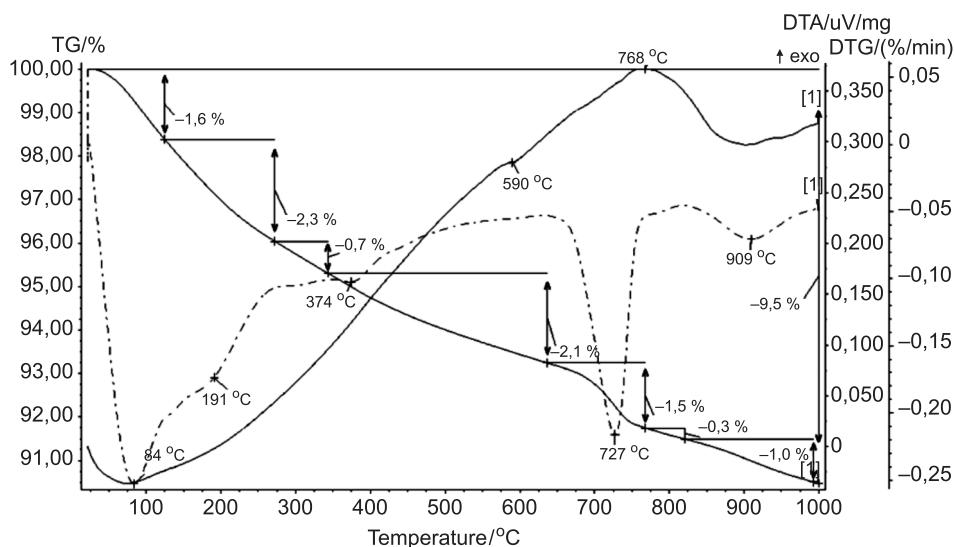


Рис. 4. Термограмма продуктов гидротермального синтеза при 0,8 МПа смеси на основе золы НТЭЦ-5 и 20 % извести при 8 ч изотермической выдержки с дополнительным введением 2 % Na_2SO_4

фата натрия. Однако с добавкой-активизатором доля фазы С–А–С–Н уменьшается, если судить по потере массы на эндоэффекте 727 °С.

Как видно из таблицы, добавление Na_2SO_4 активизирует процесс гидратации и фазообразования лишь при 1 % его содержания, 2 % добавки не увеличивают содержание фазы С–А–С–Н, но существенно повышают содержание кристаллического тоберморита. Это должно отражаться и на прочности автоклавного материала.

Результаты обработки данных РФА и DTG

Состав массы, %	Изотерма автоклавирования, ч	Высота пика $11,5 \cdot 10^{-10}$ м тоберморита (РФА), мм	Потеря массы DTG при 165–190 °С, %	Потеря массы DTG при 725–740 °С, %
20 извести, 80 КУЗ	8	48	1,5	1,7
20 извести, 80 КУЗ	100	77	2,4	2,4
20 извести, 80 КУЗ + 1 Na_2SO_4	8	96	2,3	2,0
20 извести, 80 КУЗ + 1 Na_2SO_4	100	106	2,7	2,6
20 извести, 80 КУЗ + 2 Na_2SO_4	8	60	2,3	1,5
20 извести, 80 КУЗ + 2 Na_2SO_4	100	112	2,9	1,5

Примечание. КУЗ — каменноугольная зола.

Выводы. Гидротермальная обработка при 0,8 МПа композиции из извести и кислой алюмосиликатной золы ТЭЦ приводит к синтезу алюминий замещенного тоберморита, гидрогранатов (катоит и алюможелезистые) и фазы С–А–С–Н. Увеличение времени изотермической обработки от 8 до 100 ч принципиально не изменяет качественный фазовый состав, лишь количественно повышая отмеченные гидратные фазы (возможно за исключением гидрогранатов), содержание которых возрастает пропорционально увеличивающейся продолжительности гидротермального синтеза.

Добавление в систему 1 и 2 % Na_2SO_4 значительно увеличивает скорость фазообразования. При этом 1 % добавки повышает пропорционально как содержание Al-тоберморита, так и геля C-A-S-H, а 2 % — способствуют увеличению синтеза Al-тоберморита, но снижают содержание фазы C-A-S-H.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pacheco-Torgal, F. Alkali-activated binders: A review [Текст] / F. Pacheco-Torgal, J. Castro-Gomes // Construction and Building Materials. — 2008. — Vol. 22. — P. 1305–1314.
2. Churakov, S.V. Structure of the hydrogen bonds and silica defects in the tetrahedral double chain of xonotlite [Текст] / S.V. Churakov, P. Mandaliev // Cement and Concrete Research. — 2008. — Vol. 38, iss. 3. — P. 300–311.
3. Matsui, K. Influence of addition of al compound and gypsum on tobermorite formation in autoclaved aerated concrete studied by *in situ* x-ray diffraction [Текст] / K. Matsui, A. Ogawa, J. Kikuma // J. Synchrotron Rad. — 2009. — Vol. 16. — P. 683–686.
4. Ray, A. Hydrothermally treated cement-based building materials. Past, present, and future [Текст] / A. Ray // Pure Appl. Chem. — 2002. — Vol. 74, N 11. — P. 2131–2135.

ОВЧАРЕНКО Геннадий Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: egogo1980@mail.ru
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

ГИЛЬМИЯРОВ Данил Игоревич, асп.; E-mail: dan7658@yandex.ru
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Получено 05.07.13

Ovcharenko Gennadiy Ivanovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: egogo1980@mail.ru, Altai State Technical University of I.I. Polzunov, Barnaul, Russia
Gilmiyarov Daniel Igorevich, post-graduate student; E-mail: dan7658@yandex.ru, Altai State Technical University of I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

PHASE COMPOSITION OF AUTOCLAVED LIME-ASH MATERIALS

The phase composition of the lime-ash mixtures after autoclave for 8, 50 and 100 hours at 0,8 MPa isotherm without additives or with 1 and 2 % Na_2SO_4 includes aluminum substituted tobermorite, gel phase C-A-S-H, hydrogarnet katoit. The addition of 1 and 2 % Na_2SO_4 significantly increases the rate of formation of phases. In this case, 2 % Na_2SO_4 promote a substantial increase in the synthesis of Al-tobermorite, but reduce the content phase C-A-S-H.

Key words: lime-fly ash mixture, autoclaving, phase composition, the addition of Na_2SO_4 .

REFERENCES

1. Pacheco-Torgal, F. Alkali-activated binders: A review [Text] / F. Pacheco-Torgal, J. Castro-Gomes // Construction and Building Materials. — 2008. — Vol. 22. — P. 1305–1314.
2. Churakov, S.V. Structure of the hydrogen bonds and silica defects in the tetrahedral double chain of xonotlite [Text] / S.V. Churakov, P. Mandaliev // Cement and Concrete Research. — 2008. — Vol. 38, iss. 3. — P. 300–311.
3. Matsui, K. Influence of addition of al compound and gypsum on tobermorite formation in autoclaved aerated concrete studied by *in situ* x-ray diffraction [Text] / K. Matsui, A. Ogawa, J. Kikuma // J. Synchrotron Rad. — 2009. — Vol. 16. — P. 683–686.
4. Ray, A. Hydrothermally treated cement-based building materials. Past, present, and future [Text] / A. Ray // Pure Appl. Chem. — 2002. — Vol. 74, N 11. — P. 2131–2135.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.003:658.387

С.В. ВОЛКОВ, Л.В. ВОЛКОВА, В.Н. ШВЕДОВ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Определена номенклатура технико-экономических показателей для оценки качества организационно-технологических решений (схем) строительства жилых объектов, предложена методика комплексной оценки качества организационно-технологической документации.

Ключевые слова: организационно-технологическое проектирование, показатели качества, организация и технология строительства.

Оценку качества принятых организационно-технологических решений (ОРП) и организационно-технологических схем (ОС) строительства жилых объектов необходимо осуществлять по ряду показателей, число которых зависит от сложности проектируемых объектов. Для выбора и анализа таких показателей, на основе которых может быть выполнена оценка качества принимаемых ОРП и ОС, авторы-разработчики должны быть вооружены соответствующей методикой. В процессе разработки решений могут быть улучшены одни показатели и ухудшены другие, что может осложнить принятие окончательного решения. В целях исключения подобных ситуаций необходимо установить номенклатуру показателей качества решений, а также приоритет каждого из них.

Анализ практики проектирования жилых объектов показывает, что в ближайшей перспективе качество ОРП и ОС строительства можно оценить на основе четырех групп показателей [1, 2], приведенных в табл. 1.

Оценка качества организационно-технологического проектирования (ОТП) жилых объектов осуществляется в следующих случаях [2]:

1) при выборе ОРП и ОС строительства жилых объектов на основе анализа технико-экономического уровня различных вариантов решений и схем;

2) для оценки деятельности проектировщиков-разработчиков организационно-технологической документации (ОТД);

3) при расчете суммы денежных средств, выделяемой для поощрения проектировщиков-разработчиков ОТД или удерживаемой при взысканиях.

Таблица 1

Группы показателей качества организационно-технологических решений (схем) строительства жилых зданий и комплексов

Соответствие принятых решений (схем) требованиям (заказчиков, потребителей и др.)	Техническое совершенство решений (схем) строительства	Экологичность и безопасность	Экономическая эффективность ОТР и ОТС
Показатели: сокращения продолжительности строительства жилого объекта, включая основной и подготовительный периоды, по сравнению с нормативными значениями оптимального пространственного членения объекта на частные фронты (захватки) в целях максимального совмещения, сближения комплексов СМР	Показатели: оптимального размещения, выбора номенклатуры и размеров временных зданий, помещений и сооружений на период строительства полноценности, комплексности организационно-технологических решений, схем строительства применения прогрессивных технологий, изделий и материалов оценки технологичности решений (схем) строительства жилого объекта оптимального выбора оборудования, машин и механизмов, в том числе грузоподъемных машин	Показатели: учета особенностей природно-климатических условий строительства учета влияния жилого объекта на окружающую среду в процессе его строительства и эксплуатации (обеспечение органической связи объекта с окружающей средой и существующей застройкой) улучшения условий труда, быта работающих, промышленной эстетики	Показатели: экономии затрат труда при выполнении СМР (снижения трудоемкости работ) снижения материоемкости решений (схем) строительства, в том числе возможности повторного использования временных зданий, сооружений, оборудования, оснастки и др. обеспечения роста производительности труда снижения стоимости строительства оптимального расхода основных материалов и тепло-, энергоресурсов на период строительства
применения передовых методов и способов организации строительства			
повышения коэффициента сменности работ			
совершенствования архитектурно-планировочных показателей строительного генерального плана участка застройки, в том числе коэффициента застройки и коэффициента использования площадки			

Оценку качества отдельных видов ОТД предлагается проводить с точки зрения ряда факторов, не охваченных ранее разработанной системой общепринятых показателей [3]. ОТР и ОТС формируются как при разработке проектных документов (ПОС), так и производственных документов (ППР и ПОР). Принятие организационных (структурных) решений осуществляется на этапе разработки ПОС, формирование технологических (процессных) решений — на этапе разработки ППР. Поэтому основные технико-экономические показатели оценки качества ОТР и ОТС строительства жилых объектов различны для разных видов ОТД (табл. 2).

Улучшение отдельных технико-экономических показателей качества ОТД, которое обеспечивается ОТР и ОТС, принятыми при вариантовом проектировании ПОС и ППР, может достигать значений, приведенных в табл. 3.

На основе данных об улучшении отдельных технико-экономических показателей, достигнутом в результате вариантового проектирования ОТД, предлагается выполнять комплексную оценку качества ОТР и ОТС

Таблица 2

Основные технико-экономические показатели оценки качества организационно-технологической документации строительства жилых объектов

Показатель	Вид ОТД	
Сокращение стоимости строительства, в том числе стоимости СМР, тыс. руб.	ПОС	
Повышение производительности труда, %		ППР
Сокращение накладных расходов подрядной организации, %	ПОС	
Оптимальная годовая потребность ресурсов в части использования строительных машин, механизмов, оборудования и др., маш.-см.		ППР
Экономия затрат труда (снижение трудоемкости работ по организации строительного хозяйства), чел.-см.	ПОС	
Снижение применения ручного труда, %		ППР
Удельные затраты на временные здания и сооружения (стоимость строительного хозяйства) по отношению к общей сметной стоимости строительства, %	ПОС	
Сокращение продолжительности строительства, в том числе подготовительного и основного периодов строительства, по сравнению с их нормативными значениями, доли ед. (%)		ППР
Коэффициент застройки (отношение площади строящихся объектов к площади участка застройки), %	ПОС	
Коэффициент использования строительной площадки (отношение площади временных зданий и сооружений к площади участка застройки), %	ПОС	
Объем и стоимость затрат на временные здания и сооружения в целом и по отдельным видам строительства (дорогам, зданиям, сетям и т.д.) и работы (транспортных, складских и т.п.), отнесенных к стоимости СМР или к 1 га территории строительства, доли ед. (%) или тыс.руб./га	ПОС	
Повышение коэффициента сменности работ, %		ППР

Таблица 3

Критерии оценки качества ОТД

Показатели качества ОТР, ОТС	Критерии оценки качества, %	Структурные организационные решения (ПОС)	Процессные технологические решения (ППР)
1	2	3	4
А. Сокращение стоимости строительства, в том числе стоимости СМР	10–20	Выбор и обоснование метода организации строительства, сокращение сроков строительства, экономия ресурсов и др.	
Б. Повышение производительности труда	10–30		Внедрение современных технологий производства работ, рациональных приемов и операций и др.
В. Сокращение накладных расходов подрядной организации	5–15	Оптимизация структуры управления, внедрение современных форм организации производства (лизинг, аутсорсинг, аутстаффинг и др.)	
Г. Оптимизация годовой потребности ресурсов в части использования строительных машин, механизмов, оборудования и др.	5–10		Определение оптимальной структуры объектного потока, календарное планирование работ и др.

Технико-экономические показатели оценки качества организационно-...

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Д. Экономия затрат труда (снижение трудоемкости работ по организации строительного хозяйства)	10–15	Многократное применение инвентарных зданий, сооружений, оборудования, оснастки, устройств, машин и др.	
Е. Снижение применения ручного труда	10–15		Применение электрифицированного инструмента, производительного оборудования, оснастки и др.
Ж. Удельные затраты на временные здания и сооружения (стоимость строительного хозяйства) по отношению к общей сметной стоимости строительства	10–15	Рациональная организация временных сетей, коммуникаций, работ, оптимизация численности работающих и др.	
З. Сокращение продолжительности строительства, в том числе подготовительного и основного периодов строительства, по сравнению с их нормативными значениями	20–30		Увеличение количества частных фронтов, захваток при пространственном членении объекта, максимальное сближение смежных видов работ, оптимальная численность бригад, звеньев
И. Коэффициент застройки (отношение площади строящихся объектов к площади участка застройки)	0,5–0,7	Рациональное использование площади участка застройки, площадей складов, дорог, сетей и др.	
К. Коэффициент использования строительной площадки (отношение площади временных зданий и сооружений к площади участка застройки)	0,2–0,5	Использование мобильных, временных зданий, сооружений контейнерного типа, уже построенных объектов для строительного хозяйства и др.	
Л. Объем и стоимость затрат на временные здания и сооружения в целом и по отдельным видам строительства (дорогам, зданиям, сетям и т.д.) и работ (транспортных, складских и т.п.), отнесенных к стоимости СМР или к 1 га территории строительства	10–20	Применение многократно используемых зданий, сооружений (инвентарные бытовые помещения, сборные элементы автодорог, элементы ограждения строительной площадки и др.), повышение эффективности работ	
М. Повышение коэффициента сменности работ	50–100		Организация работ преимущественно в две, три смены

строительства жилых объектов. При этом необходимо учитывать, что при одновариантном проектировании качество проекта в целом обычно хуже на 30–40 %, чем в условиях вариантного проектирования [4]. Комплексную оценку качества ОТР и ОТС строительства жилых объектов следует проводить в следующем порядке:

1. Принять количественную оценку качества первого варианта ОТР, ОТС строительства равной $K_1 = 0,6$.

2. Определить коэффициенты весомости $K_{2\text{Bi}}$ показателей в зависимости от их влияния на качество ОТР и ОТС строительства, принятых на этапе ПОС (табл. 4).

Таблица 4
Оценка качества ОТР и ОТС на этапе ПОС

Показатели качества ОТР, ОТС	Критерий качества, %	Коэффициент весомости, $K_{2\text{Bi}}$	Оценка показателя, удовлетворяющего критерию, $K_{2\text{oi}}$
А. Сокращение стоимости строительства, в том числе стоимости СМР	10–20	0,25	0,05
Б. Сокращение накладных расходов подрядной организации	5–15	0,15	0,03
Д. Экономия затрат труда (снижение трудоемкости работ по организации строительного хозяйства)	10–15	0,15	0,03
Ж. Удельные затраты на временные здания и сооружения (стоимость строительного хозяйства) по отношению к общей сметной стоимости строительства	10–15	0,15	0,03
И. Коэффициент застройки (отношение площади строящихся объектов к площади участка застройки)	0,5–0,7	0,1	0,02
К. Коэффициент использования строительной площадки (отношение площади временных зданий и сооружений к площади участка застройки)	0,2–0,5	0,1	0,02
Л. Объем и стоимость затрат на временные здания и сооружения в целом и по отдельным видам строительства (дорогам, зданиям, сетям и т.д.) и работ (транспортных, складских и т.п.), отнесенных к стоимости СМР или к 1 га территории строительства	10–20	0,1	0,02
Итого		1,0	0,2

3. Рассчитать количественные оценки $K_{2\text{oi}}$ показателей (см. табл. 4) для второго и последующих вариантов решений (схем), принятых в ПОС, при условии, что в результате проектирования достигнуто соответствие показателей качества ОТР, ОТС установленному критерию:

$$K_{2\text{oi}} = 0,2 K_{2\text{Bi}}, \quad (1)$$

где 0,2 — максимальная оценка качества разработки ПОС, обеспечивающего соответствие всех показателей качества ОТР и ОТС установленным критериям. Если в результате проектирования какой-либо показатель качества не соответствует заданному критерию, количественная оценка принимается равной нулю.

4. Определить групповую количественную оценку качества разработки второго и последующих вариантов ОТР и ОТС, принятых в ПОС:

$$K_{\text{пос}} = \sum K_{\text{oi}}. \quad (2)$$

5. Аналогично определить коэффициенты весомости $K_{3\text{Bi}}$ показателей качества технологических решений, принятых на этапе ППР, количественные оценки данных показателей $K_{3\text{oi}}$ и групповую оценку качества $K_{\text{ппр}}$ разработки второго и последующих вариантов ОТР и ОТС, принятых в ППР.

6. Определить комплексную оценку качества ОТР и ОТС строительства жилых объектов:

$$K = K_1 + K_{\text{пос}} + K_{\text{ппр}}. \quad (3)$$

Предложенная методика расчета позволяет выполнить комплексную оценку качества ОТР и ОТС строительства жилых объектов в зависимости от результатов проектирования, например:

$K = 0,6 + 0,2 + 0,2 = 1,0$ — при достижении соответствия всех технико-экономических показателей принятым критериям;

$K = 0,6 + 0,15 + 0,14 = 0,89$ — если в результате проектирования показатели, например, А и Б, не достигли соответствия принятым критериям;

$K = 0,6$ — при одновариантном проектировании (за исключением типового проектирования).

Технико-экономические показатели организационно-технологических решений (схем) строительства жилых объектов должны соответствовать предлагаемым базовым значениям и рассчитываются следующим образом:

1. Коэффициент сокращения продолжительности строительства, в том числе подготовительного и основного периодов строительства, по сравнению с их нормативными значениями определяется по формуле:

$$K_c = \frac{\sum T_{\text{норм}}}{\sum T_{\text{факт}}}, \quad (4)$$

где $\sum T_{\text{норм}}$ — суммарная нормативная продолжительность строительства;

$\sum T_{\text{факт}}$ — суммарная фактическая продолжительность. $K_c \leq 1$.

2. Коэффициент экономии затрат труда (эффективности использования трудовых ресурсов, снижения трудоемкости работ):

$$K_{\text{этр}} = \frac{Q_n^{\Phi}}{\sum (N_n \cdot t_{\text{пд}})}, \quad (5)$$

где Q_n^{Φ} — нормативная трудоемкость фактически выполненных работ, чел.-см.;

N_n — фактическая среднесписочная численность рабочих, чел.;
 $t_{\text{пд}}$ — продолжительность работ, определяемая в днях, в равных условиях труда в зависимости от погодных условий и организационно-технологических решений (например, в январе $t_{\text{пд}} = 11$ дн., в марте $t_{\text{пд}} = 21$ дн.). Определяется ежемесячно и составляет $K_{\text{этр}} \geq 1$.

3. Коэффициент равномерности выполнения работ, совмещения, сближения смежных комплексов работ на объекте:

$$K_p = \frac{\sum (Q_{\Phi} - Q_{cp})}{\sum Q_{cp}}, \quad (6)$$

где Q_{cp} — среднемесячный объем работ по плану, тыс. руб./мес;
 Q_{Φ} — фактический объем работ, тыс. руб./мес. Определяется ежемесячно, его значения находятся в пределах $0 \leq K_p \leq 1$. Значение коэффициента, превышающее 1, свидетельствует о некачественном календарном планировании в строительной организации.

4. Коэффициент применения ручного труда:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\sum T_p}{\sum T_i}, \quad (7)$$

где $K_{\text{пр}}$ — коэффициент применения ручного труда, %;

$\sum T_i$ — общая продолжительность работ, см.;

$\sum T_p$ — продолжительность работ, выполняемых вручную (см.), определяемая по формуле:

$$\sum T_p = \frac{\sum Q_p}{n_p}, \quad (8)$$

где $\sum Q_p$ — общая трудоемкость работ, чел.-см.;

n_p — количество рабочих, фактически работающих на данном частном фронте, чел. Определяется ежемесячно, его значение должно находиться в пределах $0,1 \leq K_{\text{пр}} \leq 0,3$.

5. Показатель эффективности планировочных решений строительного генерального плана рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{спр}} = F_{\text{спр}} / F_3, \quad (9)$$

где F_3 — площадь участка застройки, га;

$F_{\text{спр}}$ — площадь участка, необходимая для размещения объектов строительного хозяйства и максимально эффективного их использования с учетом требований охраны труда, включая размещение строительных машин (F_m), складов строительных материалов ($F_{\text{см}}$), временных зданий и сооружений на период строительства ($F_{\text{бг}}$), временных дорог, площадок ($F_{\text{дп}}$), и определяемая по формуле:

$$F_{\text{спр}} = F_m + F_{\text{см}} + F_{\text{бг}} + F_{\text{дп}}. \quad (10)$$

Эффективность планировочных решений строительного генерального плана достигается при $0,5 < K_{\text{спр}} < 1$.

6. Коэффициент снижения себестоимости работ (услуг) по организации строительства согласно принятым организационно-технологическим решениям (схемам) строительства жилых объектов:

$$K_c = \Sigma C_{\text{оп}} / \Sigma C_{\text{смр}} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где $\Sigma C_{\text{смр}}$ — общая сметная стоимость, млн руб.;

$\Sigma C_{\text{оп}}$ — затраты по осуществлению мероприятий на строительной площадке, запланированные организационной подготовкой (устройство временных зданий и сооружений, складов и др.), млн руб. Лимит затрат по организации строительства должен составлять $1,5 \% < K_c < 12 \%$. Стоимость строительного хозяйства определяется на основе вариантного проектирования.

Базовые значения технико-экономических показателей, установленные в заданиях на проектирование ОТД, должны отражать передовой отечественный и зарубежный опыт проектирования и строительства, обеспечивать реализацию новейших достижений науки и техники, при-

менение индустриальных методов строительства, выполнение мероприятий по технике безопасности и охране окружающей среды и т. д.

Данные о соответствии принятых решений (схем) строительства, технологий, оборудования, оснастки, организации производства и труда новейшим достижениям науки и техники должны быть приведены в соответствующих актах оценки качества ОТР и ОТС, в экспертных заключениях, в материалах, обосновывающих необходимость и целесообразность строительства.

Оценка качества ОТР и ОТС производится проектной и строительной организациями, разрабатывающими ОТД на стадии ПОС и ППР. Технико-экономические показатели качества ОТД должны соответствовать базовым значениям. В противном случае составляется технико-экономическое обоснование целесообразности их применения. На основе данных об улучшении отдельных технико-экономических показателей, достигнутых в результате вариантного проектирования ОТД, выполняется комплексная оценка качества ОТР и ОТС строительства жилых объектов.

Проектные, специализированные и строительные организации, разрабатывающие ОТД, должны передавать ее заказчикам с приложением актов оценки качества. По требованию заказчиков прикладываются расчеты экономического эффекта в зависимости от принятых организационно-технологических решений (схем) строительства жилых объектов, выписки из заседаний научно-технических (архитектурно-технических, технических и др.) советов соответствующих организаций-разработчиков ОТД.

По проектной и организационно-технологической документации, рекомендованной органом экспертизы к утверждению, заказчики утверждают все представленные материалы, включая акты оценки качества ОТД¹.

В результате исследования определена номенклатура показателей для технико-экономической оценки качества организационно-технологических решений (схем) строительства жилых объектов по группам, отражающим потребительские свойства объекта, и по видам ОТД. Приведены базовые значения показателей, предложена методика комплексной оценки качества ОТР и ОТС строительства жилых объектов в условиях вариантного проектирования. Авторы предлагают использовать настоящую методику при проектной подготовке строительства жилых объектов.

Дальнейшие исследования системы организационно-технологического проектирования следует проводить в направлении определения конкурентоспособности принимаемых ОТР и ОТС строительства жилых объектов с учетом установленных технико-экономических показателей качества решений и схем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Небритов, Б.Н. Организационно-технологическое проектирование в строительстве [Текст] / Б.Н. Небритов. — М. : Вуз. кн., 2011. — 144 с.
2. Положение об оценке качества проектно-сметной документации для строительства [Текст] : [Утв. Гос. ком. СССР по делам стр-ва, Гос. ком. по науке и технике 06.06.85] № 28-Д. — М., 1985.

¹ СП 48.13330.2011. СНиП 12-01-2004. Организация строительства. Новосибирск, 2009. 32 с.

3. Справочник организатора строительного производства [Текст] / под общ. ред. Л.Р. Майляна. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 542 с.
4. Байбурин, А.Х. Качество и безопасность строительных технологий: моногр. [Текст] / А.Х. Байбурин, С.Г. Головнев. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. — 453 с.

*ВОЛКОВ Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: wsw_1953@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

*ВОЛКОВА Людмила Васильевна, канд. экон. наук, доц.; E-mail: vlv2000@inbox.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

*ШВЕДОВ Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доц.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 24.07.13

Volkov Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: wsw_1953@mail.ru; Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Volkova Lyudmila Vasilevna, candidate of economical sciences, assistant professor; E-mail: vlv2000@inbox.ru; Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Shvedov Vladimir Nikolaevich, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ABOUT TECHNICAL-ECONOMICAL INDICATORS OF QUALITY EVALUATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL OBJECTS

Defined nomenclature of the technical-economic indicators for assessing the quality of organizational and technological solutions (schemes) of the housing construction, proposes a method of assessing the quality of organizational and technological documentation.

Key words: organizational and technological design, quality indicators, organization and technology of construction.

REFERENCES

1. Nebritov, B.N. Organizational design in construction [Text] / B.N. Nebritov. — M. : High School Book, 2011. — 144 p.
2. The provision on an assessment of quality of design and budget documentation for construction [Text] : [It is approved by the State committee USSR for construction, the State committee on science and equipment on June 6, 1985] N 28-D. — M., 1985.
3. The directory of the organizer of construction production [Text] / under L.R. Mailyan's general edition. — Rostov n/D : Phoenix, 2009. — 542 p.
4. Baiburin, A.H. The quality and safety of construction technologies: Monograph. [Text] / A.H. Baiburin, S.G. Golovnev. — Chelyabinsk : Publ. House SUSU, 2006. — 453 p.

УДК 69.05:658.562

Л.Ю. НЕФЕДОВА

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЯХ

Рассматриваются проблемы управления качеством в строительстве и оценке систем менеджмента качества компаний в секторе недвижимости.

Ключевые слова: качество, система управления качеством, объекты жилой недвижимости, инвестиционно-строительные компании.

Одной из основных проблем в строительной отрасли является обеспечение высокого качества строительной продукции. Ценовые и конъюнктурные колебания на мировом и национальном рынках, совершенствование технологий строительного производства, повышение качества строительных материалов, совершенствование законодательной базы в части требований к качеству объектов жилой недвижимости (ОЖН), принятие новых национальных стандартов [1] объективно способствуют пересмотру традиционных подходов к управлению качеством с учетом не только нормативных требований, но и субъективных потребительских предпочтений.

Международные требования к управлению качеством заложены в стандартах ИСО 9000, которые и в России приняты в качестве национальных. В Российской Федерации действует версия стандартов: ГОСТ ISO 9001–2011. Межгосударственный стандарт. Системы менеджмента качества. Требования (ISO 9001:2008, IDT), введенный в действие с 1 января 2013 г. Приказом Росстандарта от 22.12.2011 № 1575-ст и ГОСТ ISO 9000–2011. Межгосударственный стандарт. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (ISO 9000:2005, IDT), введенный в действие с 1 января 2013 г. Приказом Росстандарта от 22.12.2011 № 1575-ст. Несмотря на это, проверки объектов жилой недвижимости надзорными органами выявляют массу ошибок на стадии проектирования ОЖН и дефектов на последующих стадиях эксплуатации.

Неразвитость систем управления качеством в отечественных компаниях в конечном итоге приводит как к снижению качества объектов, так и к увеличению затрат на устранение ошибок и дефектов. В частности, в исследовании Т.В. Кирпичниковой [2] установлено, что наибольшие затраты организация несет на устранение дефектов (5,15 %) (таблица).

Часть 1 ст. 7 федерального закона Российской Федерации от 30 декабря 2004 г. № 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации» [3] установила обязанность застройщика передать участнику долевого строительства объект, качество которого соответствует условиям договора либо при отсутствии или неполноте условий такого договора требованиям техниче-

Удельный вес затрат на обеспечение качества в себестоимости продукции строительной организации

Вид затрат	Удельный вес
Входной контроль	0,74
Операционный контроль	1,10
Промежуточный контроль	0,60
Приемочный контроль	0,31
Неисправимый брак	0,18
Исправление дефектов строительно-монтажных работ	5,15
Исправление дефектов продукции поставщиков и субподрядчиков	0,42
Простой из-за дефектов строительной продукции и ошибок в планировании	0,24
Исправление дефектов в течение гарантийного срока эксплуатации	0,92
Юридическая ответственность за качество продукции	0,13
Анализ причин дефектов	0,4
Планирование качества	0,6
Внедрение новой техники и технологии и организации производства	0,49
Повышение квалификации работников	0,05
Суммарные затраты на качество	10,43

ских регламентов, проектной документации и градостроительных регламентов, а также иным обязательным требованиям. Однако среднестатистический участник долевого строительства по объективным причинам не в состоянии установить соответствие ОЖН требованиям технических, градостроительных регламентов и проектной документации.

Части 2, 3, 4 и 5 ст. 7 предлагают участнику долевого строительства, в случае отступления от условий договора, приведшего к ухудшению качества объекта или иным недостаткам, которые делают его непригодным для предусмотренного договором использования, предъявить застройщику судебный иск. Но, очевидно, что вступать с крупной компанией в судебные тяжбы, длящиеся порой годами, участник, скорее всего, не станет.

Таким образом, Закон № 214-ФЗ, устанавливающий «деюре» ответственность застройщика за качество ОЖН, «де факто» неработоспособен с точки зрения потребителя.

Сказано и написано о системах управления качеством немало. Вместе с тем информация о том, как на практике реализуют системы управления качеством инвестиционно-строительные компании, действующие на российском рынке, практически отсутствует.

В секторе жилой недвижимости в настоящее время свою продукцию и услуги предлагают тысячи крупных инвестиционно-строительных, строительно-монтажных и ремонтно-строительных компаний. Анализ показывает, что среди важнейших критериев их конкурентоспособности на первичном рынке является не качество ОЖН, как это принято в мировой практике, а соблюдение сроков сдачи новостроек, объемов строительства, выручки, услуг по сопровождению сделок и другие критерии, прямого отношения к системе управления качеством не имею-

щие. Так, ОАО «Главмосстрой-недвижимость» — крупнейшая строительная группа в России, реализующая на рынке квартиры в домах, возводимых в Москве и Подмосковье, как конкурентное преимущество представляет потребителям информацию о количестве реализованных проектов и спектре услуг при проведении сделок с недвижимостью. «Сити-XXI век» — также крупный застройщик Москвы и Подмосковья, «строит новую Россию, поддерживает традиционные ценности и создает благоприятные социальные условия для проживания, возникновения и укрепления семьи, рождения и воспитания детей, преемственности поколений, гармоничного развития личности». Стратегической задачей ГК «Мортон», осуществляющих свою деятельность на строительных рынках Москвы и Санкт-Петербурга, является усиление производственно-го сектора и создание мощного производственно-технологического ядра, состоящего из собственных домостроительных комбинатов, бетонных заводов и других профильных производств. ГК «Стройтэкс» обозначила как важное конкурентное преимущество, влияющее на продажи, использование Федерального закона Российской Федерации от 30 декабря 2004 г. № 214-ФЗ.

В Санкт-Петербурге по критерию «срок сдачи объекта в эксплуатацию» всего 11 крупных компаний, имеющих три или больше объектов в портфолио, не нарушают эти сроки: «Setl City», «ЮИТ Дом», «Северный город», «Возрождение Санкт-Петербурга», «Петрополь», «Прагма», «Петрострой», ЗАО «Строительный трест», СК «Темп», ИСГ «Мавис», ООО «Полис Груп».

В числе «лидеров» по задержке сроков более чем на 5 лет: ИВИ-93 (73 мес.), «Импульс» (70 мес.), «РАНТ» (67 мес.), ЛЭК (Л1) (67 мес.), «Источник-Строй» (67 мес.), ЗАО «М-Индустря» (64 мес.), «Стоун» (61 мес.). Более чем на 1 год задерживают сроки 50 компаний: ООО «Модуль» (52 мес.), Лидер Групп (52 мес.), «Петротрест» (49 мес.), «Квартира.Ру» (46 мес.), ЖСК-1492 (40 мес.), ООО «Первая строительная компания» (37 мес.), «Балтийский Берег» (27 мес.), ООО «Балтийская инвестиционно-строительная группа» (18 мес.) и т.д.

Есть и положительные примеры, но их немного. Деловые рейтинги в отрасли по ряду показателей в Санкт-Петербурге возглавляет компания «Setl City». В общей сложности за годы работы компанией реализовано более 30 объектов: жилых, гостиничных и торговых комплексов в Санкт-Петербурге, Ленинградской области и Калининграде — общей площадью около 410 тыс. м². Своим клиентам компания предлагает многоуровневую систему контроля качества строительства и соблюдение сроков сдачи объектов, европейские стандарты проектирования от квартиры до квартала. В компании на протяжении многих лет успешно функционирует Служба клиентского сервиса, одной из функций которой является контроль качества нового жилья, передаваемого покупателям. Служба совместно с Департаментом строительства принимает сданный объект, выявляет недостатки и контролирует их устранение, затем передает квартиры покупателям. В дальнейшем Служба принимает претензии от покупателей и следит за выполнением их пожеланий. Контроль качества и устранения недостатков осуществляют главный специалист по контролю качества объектов, состоящий в штате Служ-

бы. Главная задача Службы — обеспечение качества передаваемого покупателям жилья.

ЗАО «ЮИТ Санкт-Петербург» — одна из лидирующих компаний в области жилищного строительства. За время работы на рынке города ЮИТ ввел в эксплуатацию около 700 тыс. м² жилья. На объектах компании осуществляется комплексный контроль качества выполнения всех строительных и отделочных работ в соответствии с финской системой контроля качества. В концерне YIT создана и эффективно действует централизованная система контроля качества, которая совершенствовалась в течение многих лет в Финляндии. Контроль качества охватывает стадии проектирования, производства строительных работ и работ по отделке, внутренней приемки квартир. В компании создана отдельная служба — Инспекция технического надзора. Организация такой структуры является нестандартным решением для компаний, работающих на российском рынке. Инспекция технического надзора, осуществляя внутренний технический аудит, обеспечивает дополнительный контроль за качеством выполняемых строительных работ. Действует система внутренней приемки готовых квартир. Объекты после ввода в эксплуатации, но до передачи ключей клиентам, проверяются представительной внутренней комиссией ЮИТ, оценивающей качество готового продукта. Специалисты отдела клиентского сервиса проводят строгую внутреннюю приемку квартир. Эффективная система внутренней приемки позволяет исключить возможность возникновения у клиентов замечаний и сразу передать квартиры покупателям в полном соответствии с высокими стандартами качества «ЮИТ Дом».

Компания «Северный город» входит в холдинг RBI, работающий на инвестиционно-строительном рынке с 1993 г. За 20 лет холдингом RBI построено 58 зданий разного класса и уровня общей площадью более 953 тыс. м². Здесь создана система контроля качества, которая включает обязательные составляющие, установленные государственными надзорными органами, а также дополнительные этапы, разработанные специалистами компаний для снижения строительных дефектов и замечаний. Предлагается концепция «Жизнь в стиле Зе», основанная на эргономике, экологии и экономике. Зе — это не фиксированный строительный стандарт, а развивающаяся система, которая постоянно совершенствуется, включая передовые европейские разработки. Потребителям предлагается политика обработки персональных данных, политика в области качества для потребителей в открытом доступе. Сквозная система контроля качества (на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации), созданная в компании, подтвердила свою эффективность — 95 % квартир принимаются дольщиками без замечаний.

Однако общая тенденция рынка неудовлетворительная, в большинстве даже крупных компаний система контроля качества либо отсутствует, либо находится в неразвитом состоянии. Независимых постоянно обновляемых региональных и муниципальных рейтингов компаний по качеству ОЖН нет, как нет и Единой методики оценки качества ОЖН.

Неблагополучно обстоят дела и в области ремонта и реконструкции ОЖН. Компании, действующие в секторе ремонта и реконструкции, не уделяют должного внимания системе управления качеством. Темпы ре-

конструкции объектов низкие, сроки ремонта и реконструкции часто не соблюдаются. Например, о неблагополучии в отрасли на территории Санкт-Петербурга говорит тот факт, что в 2010–2013 гг. из членов некоммерческого партнерства «Управление строительными предприятиями Санкт-Петербурга» за различные нарушения в области качества и безопасности исключены свыше 200 предприятий.

Анализ деятельности компаний, действующих на российском рынке в сегменте жилой недвижимости, показывает, что в настоящее время состояние систем управления качеством является в целом неудовлетворительным. Примеры успешной реализации подобных систем единичны. Даже во многих крупных компаниях ограничиваются лишь внедрением политик качества, которые никакого отношения к полноценным системам управления качества не имеют. Зачастую внедрение системы менеджмента качества носит формальный характер. В итоге, уровень качества ОЖН, предлагаемых потребителям на первичном рынке, порой не выдерживает никакой критики.

Между тем наличие / отсутствие системы контроля качества на предприятии напрямую влияет на его конкурентоспособность, темпы развития и доверие потребителей. Все успешные компании своевременно осознали и подтвердили на практике, что для улучшения качества вводимого в эксплуатацию жилья и повышения эффективности своей деятельности необходимо внедрять систему контроля качества на всех этапах строительства и эксплуатации объектов недвижимости.

В связи с вышеизложенным представляется целесообразным: внести в ст. 7 «Гарантии качества, предусмотренные договором» федерального закона Российской Федерации от 30 декабря 2004 г. № 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации», дополнения, согласно которым застройщик будет обязан включать в договор долевого строительства с участником-потребителем требования к качеству ОЖН, включая требования проектной документации, градостроительных и технических регламентов, а также иные обязательные требования, согласованные с потребителем. В случае нарушения застройщиком условий договора потребитель может потребовать:

- 1) безвозвратного устранения недостатков в разумный срок;
- 2) соразмерного уменьшения цены договора;
- 3) возмещения своих расходов, независимой экспертизы объекта недвижимости и устранения недостатков.

Цель дополнений в ст. 7 — возможность потребителя на основании договора привлечь к оценке качества ОЖН независимых экспертов возместить свои расходы за счет застройщика.

Инвестиционно-строительным, строительно-монтажным и ремонтно-строительным компаниям необходимо внедрять систему управления качеством, которая включала бы:

- обязательные требования к показателям качества;
- бизнес-процессы управления качеством;
- механизм обратной связи с потребителями;
- систему мониторинга показателей качества ОЖН;
- методику оценки качества ОЖН;

мероприятия по совершенствованию методов организации и эксплуатации ОЖН.

Политика управления качеством должна находиться в открытом доступе и соблюдаться застройщиком неукоснительно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О введении в действие межгосударственного стандарта : приказ Росстандарта от 22.12.2011 № 1575-ст [Текст] // Информационный бюллетень о нормативной, методической и типовой проектной документации. — 2013. — № 3.
2. Кирпичникова, Т.В. Оценка эффективности затрат строительной организации на обеспечение качества строительной продукции [Текст] / Т.В. Кирпичникова // Экономика строительства. — 2001. — № 4. — С. 52–58.
3. Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации : федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2004 № 214-ФЗ [Текст] // Рос. газ. — 2004. — 31 дек. — Федер. вып. 3669.

НЕФЕДОВА Луиза Юрьевна, асп.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 04.07.13

Nefedova Luiza Yurievna, post-graduate student, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS OF THE COMPANIES IN THE REAL ESTATE SECTOR

The article discusses the problem of quality control in the construction industry, and evaluation of quality management systems of the companies in the real estate sector.

Key words: quality, quality management system, objects of real estate, construction and investment companies.

REFERENCES

1. About introduction of the interstate standard: the order of Rosstandart of 22.12.2011 N 1575-st [Text] // Information bulletin on regulatory, methodological and sample project documentation. — 2013. — N 3.
 2. Kirpichnikova, T.V. The estimation of the construction companies' cost-efficiency for ensuring the quality of construction products [Text] / T.V. Kirpichnikova // Economics of construction. — 2001. — N 4. — P. 52–58.
 3. About participation in the shared construction of apartment buildings and other real estate and about amendments to some legal acts of the Russian Federation : the federal law of the Russian Federation of 30.12.2004 N 214-FZ [Text] // Russian Newspaper. — 2004. — 31 dec. — N 3669.
-

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.131:624.145.4.001.24

В.В. ДЕГТАРЕВ-мл., Д.И. ЕРШОВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В УСТЬЕВЫХ ЗОНАХ РЕК

На базе методов гидродинамики сглаженных частиц разработана библиотека для моделирования движения жидкости. Полученный инструмент применен для воспроизведения скоростной структуры потока в областях смешения речных и морских вод.

Ключевые слова: гидродинамика, сглаженные частицы, численное моделирование, разработка библиотеки, область смешения речных и морских вод.

Благодаря своим природным особенностям устьевые области рек имеют особое значение. В устьях рек отлагается большая часть примесей, задерживаются и накапливаются растворенные в воде вещества, что может оказывать значительное влияние на изменение речного и морского режимов. По своей сути устьевые зоны рек играют роль буферной зоны при переходе к морю. В силу всего вышеизложенного, эти объекты являются одной из самых проблемных экологических зон. И поэтому их изучение имеет важное технико-экономическое и экологическое значение.

Постановка задачи и основные уравнения. В рамках данной статьи рассматривается задача об истечении потока жидкости в некий, предварительно заполненный резервуар. При этом за поток принимается река, а за резервуар — отмелое бесприливное устьевое взморье.

Отметим, что рассматриваемая задача трехмерная. Плотность жидкости принимается постоянной. Влияние ветра на течение не учитывается. Целью является построение поля скоростей в зоне смешения речных и морских вод.

Для нахождения поля скоростей будем использовать уравнения Навье–Стокса в лагранжевой форме [1, 2]:

$$\rho \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f}, \quad (1)$$

где ρ — плотность жидкости;

p — давление;

\mathbf{u} — вектор скорости;

μ — динамическая вязкость;

\mathbf{f} — объемная плотность векторного поля массовых сил.

Метод решения. За основу был выбран общий подход к решению задачи, базирующийся на методе гидродинамики сглаженных частиц. В данной работе был применен подход гидродинамики сглаженных частиц (SPH — Smoothed Particles Hydrodynamics) [3, 4].

Таким образом, решение задачи о движении жидкости в рамках SPH-методологии заключается в дискретизации уравнений Навье–Стокса с последующим разложением компонент по формулам:

$$A(\mathbf{r}) = \sum_j m_j \frac{A_j}{\rho_j} W(|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|, h), \quad (2)$$

где m_j — масса отдельной частицы;

ρ_j — плотность, сопоставленная частице;

A_j — значение искомой величины, сопоставленной точке;

h — длина сглаживания;

$W(|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|, h)$ — представляет собой так называемую функцию ядра, зависящую от природы величины A .

При этом в сумме внешних сил для каждой из частиц учитывается только влияние соседних частиц, находящихся на расстоянии, не превышающем удвоенную длину сглаживания.

В качестве начальных условий задачи выступают начальные значения координат и скоростей частиц в створе. Предусмотрен учет сил давления, вязкости и гравитации. Всем частицам задан фиксированный параметр сглаживания, на который рассчитывается сферический объем жидкости.

В расчетах шаг по времени $\tau = 0,05$.

Рассматривалась задача развития решения вплоть до выхода его на стационар, определявшегося из условия

$$|\mathbf{u}^n - \mathbf{u}^{n-1}| < 10^{-14}.$$

В результате было получено, что для его обеспечения требовалось 1000 шагов по времени.

Обсуждение результатов. В качестве первых испытаний алгоритма был применен вариант с отсутствием жидкости в приемном бассейне, т.е. модель свободной струи несжимаемой жидкости в поле сил тяжести. На рис. 1 представлена визуализация частиц. Большие величины коорди-

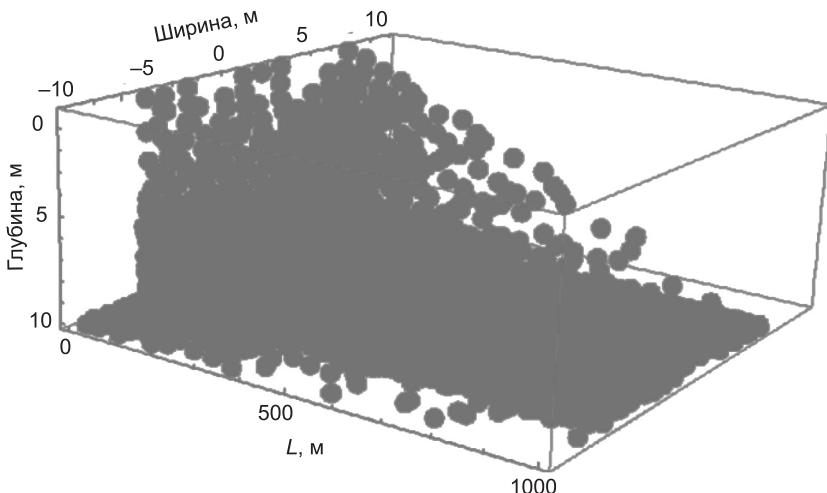


Рис. 1. Визуализация модели свободной струи

нат в направлении потока связаны с большими давлениями, действующими в сечении на выходе струи. После каждой итерации алгоритма производилось приращение частиц в нулевом сечении. Для физической интерпретации давления слоя частиц в створе применялась формула, учитывавшая их распределение.

Для определения взаимодействия жидкости струи (реки) с жидкостью приемного бассейна (моря) первоначально предполагалось использование статистических формул для учета сил давления и сил вязкости со стороны частиц последней. На рис. 2 показана визуализация результатов применения подобного алгоритма.

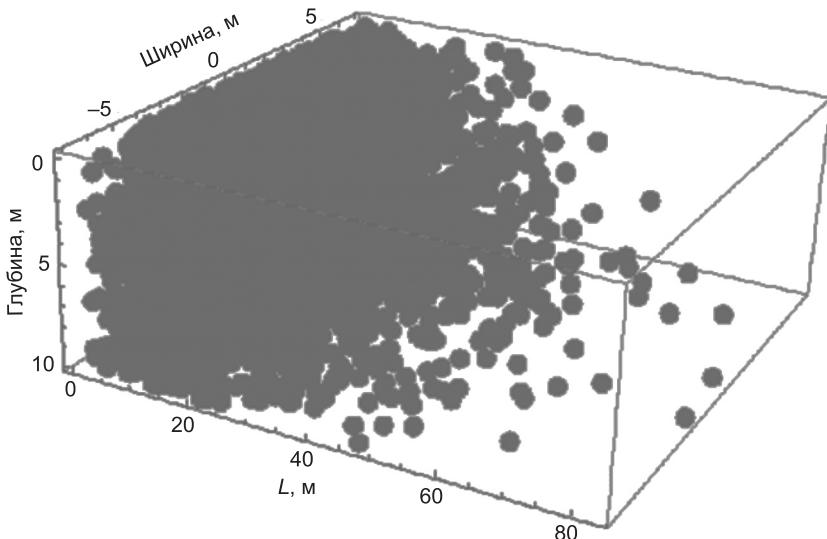


Рис. 2. Визуализация модели с учетом статистического распределения жидкости резервуара

Выводы. В численных экспериментах получена картина, качественно очень близкая к реальной, но только для небольших начальных скоростей порядка 1,5 м / с. Для больших скоростей этот подход оказался неконструктивным, поскольку не учитывал реальное физическое взаимодействие жидкостей, порождающее взаимное перемешивание, которое приводит к значительным изменениям в скоростном поле в зоне смешения. При отсутствии отдельной модели моря невозможно учитывать действительное поле сил давления, что препятствует получению корректной количественной картины явления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Monaghan, J.J. Smoothed particles hydrodynamics [Текст] / J.J. Monaghan. — Monash University, Australia : School of mathematical sciences, 1992. — 68 p.
2. Kelager, M. Lagrangian fluid dynamics using smoothed particle hydrodynamics [Текст] / M. Kelager. — University of Copenhagen : Department of computer science, 2006. — 81 p.
3. Liu, G.R. Smoothed particles hydrodynamics. A meshfree particle method [Текст] / G.R. Liu, M.B. Liu. — National university of Singapore : World scientific publishing, 2003. — 473 p.
4. Hoover, W.G. Computational statistical mechanics [Текст] / W.G. Hoover. — Amsterdam : Elsevier science publisher, 1991. — 324 p.

ДЕГТЯРЕВ-мл. Владимир Владимирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gts@sibstrin.ru

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ЕРШОВ Дмитрий Игоревич, асп.; E-mail: mostthemain@gmail.com

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 05.07.13

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

Ershov Dmitry Igorevich, post-graduate student; E-mail: mostthemain@gmail.com, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

NUMERICAL MODELLING OF PROCESSES OCCURRING IN MOUTHS ZONES OF THE RIVERS

On the basis of SPH methods the library is developed for modeling of liquid movement. The received tool is applied to reproducing of stream's speed structure in areas mixtures of river and sea waters.

Key words: hydrodynamics, smoothed particles, numerical modeling, library development, area mixtures of river and sea waters.

REFERENCES

1. Monaghan, J.J. Smoothed particles hydrodynamics [Text] / J.J. Monaghan. — Monash University, Australia : School of mathematical sciences, 1992. — 68 p.
2. Kelager, M. Lagrangian fluid dynamics using smoothed particle hydrodynamics [Text] / M. Kelager. — University of Copenhagen : Department of Computer science, 2006. — 81 p.
3. Liu, G.R. Smoothed particles hydrodynamics. A meshfree particle method [Text] / G.R. Liu, M.B. Liu. — National university of Singapore : World scientific publishing, 2003. — 473 p.
4. Hoover, W.G. Computational statistical mechanics [Text] / W.G. Hoover. — Amsterdam : Elsevier science publisher, 1991. — 324 p.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.5:533.6

И.Н. ЛОГАЧЕВ, К.И. ЛОГАЧЕВ, О.А. АВЕРКОВА

ЭЖЕКЦИЯ ВОЗДУХА ПРИ ПЕРЕГРУЗАХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ С КОВШАМИ

Сообщение 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЖЕКЦИОННОГО НАПОРА В ЖЕЛОБАХ*

Рассмотрен процесс эжектирования воздуха в нориях с позиции классических законов изменения массы воздуха и количества движения. Получена система дифференциальных уравнений, описывающая процесс продольных осредненных течений воздуха в кожухе при совместном размещении в нем рабочей и холостой ветвей нории. Выявлены закономерности изменения эжекционного напора, создаваемого лентой конвейера ковша и просыпью частиц. Определены механизм перетекания, скорости и расходы воздушных течений в кожухах норий.

Ключевые слова: аспирация, перегрузки сыпучих материалов, эжекция воздуха.

Для подъема сыпучих материалов в различных отраслях промышленности применяют ковшовые элеваторы (нории), представляющие собой вертикальные или наклонные конвейеры с ковшами. При этом в результате загрузки, разгрузки, просыпи сыпучих материалов возникают значительные пылевыделения. Наиболее надежным и простым способом локализации пылевыделений являются системы аспирации. Для их строительства требуются наиболее точные сведения о аэродинамике воздушных течений, что позволит выбрать необходимую производительность и рациональную схему обеспыливающей системы. Наибольшее влияние на механизм пылеобразования и поля скоростей оказывает эжекция воздуха потоком сыпучих материалов [1–5]. Целью работы являлась разработка методики расчета воздушных потоков в ковшовых элеваторах.

1. Влияние коэффициента лобового сопротивления падающих частиц. При самотечном движении потока частиц сыпучего материала в результате аэродинамических сил возникает эжекция воздуха в загрузочном и разгрузочном желобах. Поток сыпучего материала, служащий своеобразным нагнетателем, напор которого названный нами эжекционным, представляет собой сумму аэродинамических сил падающих частиц, отнесенную к площади поперечного сечения потока. Аэродинамическая сила выражается через коэффициент лобового сопротивления:

$$R = \psi F_m \frac{|v - u| (v - u)}{2} \rho,$$

* Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект №14-08-31069-мол_а), плана стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

где R — аэродинамическая сила одиночной частицы, Н;

ψ — коэффициент лобового сопротивления;

F_m — площадь миделева сечения частицы, м^2 ;

v — скорость падающих частиц, $\text{м}/\text{с}$;

u — скорость эжектируемого воздуха, $\text{м}/\text{с}$;

ρ — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Выделение абсолютной величины относительной скорости $|v - u|$ вызвано необходимостью придать векторную форму квадрату относительной скорости при одностороннем движении двухкомпонентной среды «частица — воздух». При такой записи в случае, когда $v > u$, R положительна и направлена в сторону опережающего движения твердых частиц. При $v < u$ эта сила отрицательна, т.е. направлена противоположно падению частиц.

Величина коэффициента лобового сопротивления зависит не только от геометрической формы частиц, но и от их концентрации. Чем больше объемная концентрация падающих частиц, тем заметнее оказывается эффект аэродинамической тени на частицу, движущуюся в кормовой части передней частицы. Для потока твердых минеральных частиц крупностью в интервале от 2 до 20 мм при падении их в наклонных желобах была установлена следующая эмпирическая связь:

$$\psi_y = \psi_0 \exp \left(\frac{-1,8 \sqrt{\beta_y \cdot 10^3}}{d_e} \right),$$

где ψ_0 — коэффициент лобового сопротивления одиночной частицы при турбулентном режиме обтекания (в области автомодельности);

d_e — эквивалентный диаметр частицы, мм;

$\beta_y = \frac{2G_m}{S \rho_m (v_n + v_k)}$ — усредненная по длине желоба объемная концентрация;

G_m — массовый расход материала, $\text{кг}/\text{с}$;

S — площадь поперечного сечения желоба, м^2 ;

ρ_m — плотность частиц, $\text{кг}/\text{м}^3$;

v_n, v_k — скорости падения частиц в начале и конце желоба, $\text{м}/\text{с}$.

Большинство частиц минералов после дробления имеют острозернистую форму и коэффициент $\psi_0 \approx 1,8$. Для частиц злаков характерна овальная форма, и поэтому можно принять $\psi_0 \approx 1,0$. Если геометрическую форму этих частиц оценивать по коэффициенту динамической формы, то

$$K_d = \frac{\psi_0}{\psi_b} \Bigg|_{\text{Re}=idem} \approx 2,$$

где ψ_b — коэффициент лобового сопротивления шара в области автомодельности ($\psi_b \approx 0,5$).

Найдем эжекционный напор p_e , возникающий в разгрузочных и загрузочных желобах при переработке сыпучих сред на элеваторах.

По определению величина эжекционного давления, возникающая в желобах в результате межкомпонентного взаимодействия,

$$p_e = \frac{1}{S} \int_0^l R \frac{\beta S dx}{V_p}, \quad (1)$$

где V_p — объем одной частицы, м^3 ;

β — текущее значение объемной концентрации падающих частиц:

$$\beta = \frac{G_m}{S \rho_m v}; \quad (2)$$

l — длина желоба, м.

При небольших высотах перепада материала, когда длина желобов $l < l_y = \frac{1}{\Psi_y K_m \varepsilon}$, аэродинамическая сила по сравнению с силой тяжести частицы пренебрежимо мала и поток материала можно считать равноускоренным:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{vdv}{dx} = a_\tau, \quad (3)$$

где $K_m = \frac{F_m}{V_p} \approx \frac{1,5}{d_e}$; $\varepsilon = \frac{\rho}{\rho_m}$;

d_e — эквивалентный (по объему) диаметр частиц, м;

a_τ — ускорение, равное для желобов, расположенных под углом α к горизонтальной поверхности, $a_\tau = g \sin \alpha (1 - f_w \tan \alpha)$;

g — ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$;

f_w — коэффициент трения частиц о стенки желоба (при стальных стенках $f_w \approx 0,5$).

Величина эжекционного напора в этом случае для призматических желобов при $S = \text{const}$; $u = \text{const}$; $\psi = \Psi_y = \text{const}$ определяется уравнением:

$$P_{ey} = \frac{\Psi_y K_m \varepsilon}{2} \frac{G_m}{Sa_\tau} \frac{|v_k - u|^3 - |v_n - u|^3}{3}$$

или

$$P_{ey} = \frac{\Psi_y K_m \varepsilon}{2} \frac{G_m v_k^3}{Sa_\tau} \frac{|1 - \varphi|^3 - |n - \varphi|^3}{3} = \Psi_y \frac{G_m v_k}{S} \Phi \frac{|1 - \varphi|^3 - |n - \varphi|^3}{3}, \quad (4)$$

где $\varphi = \frac{u}{v_k}$ — коэффициент скольжения компонентов (коэффициент эжекции);

$$n = \frac{v_n}{v_k}; \quad \Phi = \varepsilon \frac{K_m v_k^2}{2a_\tau}.$$

На скорость легких частиц при больших высотах падения ($l > l_y$) скаживается сила аэродинамического сопротивления. Уравнение движения падающих частиц в наклонном желобе в этом случае имеет вид:

$$\frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{dx} = a_\tau - \frac{R}{V_p \rho_m}. \quad (5)$$

Величина эжекционного напора p_e на основании уравнений (1) и (5) раскрыта не только для тяжелых частиц при небольших высотах ($l > l_y$), но и для легких частиц при больших высотах падения, когда заметна аэродинамическая сила. Однако при этом не учитывалось изменение коэффициента ψ по высоте падения из-за уменьшения объемной концентрации частиц в силу (2)

$$\psi = \psi_0 \exp\left(\frac{-1,8\sqrt{\beta \cdot 10^3}}{d_e}\right).$$

Здесь величина ψ переменная и изменяется по высоте падения в силу снижения объемной концентрации β за счет роста скорости частиц v .

Текущий коэффициент лобового сопротивления выразим через условный

$$\psi = \psi_0 B^{\frac{\sqrt{v_a}}{v}}, \quad (6)$$

где для простоты записи приняты обозначения:

$$B = e^{-1,8 \frac{\sqrt{\beta_y 10^3}}{d_e}} = \frac{\Psi_y}{\Psi_0}; \quad v_a = \frac{v_n + v_k}{2}. \quad (7)$$

Сделаем оценку этого влияния для случая коротких желобов, когда

$$a_\tau \gg \frac{R}{V_p \rho_m}.$$

С учетом (6) и (3) величина эжекционного давления для равнousкоренного потока частиц в призматическом наклонном желобе (при $S = \text{const}$) определяется следующим соотношением:

$$p_{eu} = \psi_0 \frac{G_m v_k}{S} \Phi \int_n^1 B^{\frac{\sqrt{1+n}}{2\zeta}} |\zeta - \varphi| (\zeta - \varphi) d\zeta, \quad (8)$$

учитывающим изменение коэффициента аэродинамического сопротивления ψ по пути падения частиц.

Для упрощения расчетных соотношений введем величину поправочного коэффициента K , определяющего отношение истинной величины эжекционного напора к условной (вычисляемой по формуле (4)):

$$K = \frac{p_{eu}}{p_{ey}}.$$

Найдем его величину. С учетом (4), (7) и (8) имеем:

$$K = \frac{3}{(1-\varphi)^3 - |n-\varphi|^3} \frac{1}{B} \int_n^1 B^{\frac{\sqrt{1+n}}{2\zeta}} |\zeta - \varphi| (\zeta - \varphi) d\zeta. \quad (9)$$

Тогда отношение максимальных эжекционных напоров (при $u = \varphi = 0$)

$$K_0 = \frac{3}{1-n^3} \frac{1}{B} \int_n^1 B^{\frac{\sqrt{1+n}}{2\zeta}} \zeta^2 d\zeta = \frac{6}{1-n^3} \frac{1}{B} \int_1^{\frac{1}{\sqrt{n}}} \frac{e^{pt}}{t^7} dt, \quad p = \sqrt{\frac{1+n}{2}} \ln B.$$

Раскроем значение интеграла, представляя подынтегральную функцию в виде ряда:

$$\frac{e^{pt}}{t^7} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{p^k}{k!} \zeta^{k-7},$$

имеем:

$$\int_1^{\frac{1}{\sqrt{n}}} \frac{e^{pt}}{t^7} dt = F(t) \Big|_1^{\frac{1}{\sqrt{n}}} = F\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) - F(1),$$

где первообразная функция F равна:

$$F(t) = -\frac{1}{6} \frac{1}{t^6} - \frac{p}{5} \frac{1}{t^5} - \frac{p^2}{8} \frac{1}{t^4} - \frac{p^3}{18} \frac{1}{t^3} - \frac{p^4}{48} \frac{1}{t^2} - \frac{p^5}{120} \frac{1}{t} - \frac{p^6}{720} \ln t + \sum_{k=7} \frac{p^k}{k!} \frac{1^{k-6}}{k-6},$$

тогда

$$K_0 = \frac{6}{1-n^3} \frac{1}{B} \left[F\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right) - F(1) \right]. \quad (10)$$

Значения поправочного коэффициента K_0 , рассчитанного по формуле (10), и K — по формуле (9), приведены в табл. 1 и 2. Как видно из табл. 1, влияние изменения коэффициента аэродинамического сопротив-

Таблица 1
Значение поправочного коэффициента при отсутствии движения воздуха в желобе

B	Величина K_0 при n , равном								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,01	2,017	1,717	1,489	1,319	1,198	1,113	1,057	1,023	1,005
0,02	1,786	1,556	1,382	1,251	1,155	1,089	1,045	1,018	1,004
0,03	1,667	1,475	1,326	1,214	1,133	1,076	1,038	1,015	1,003
0,04	1,589	1,420	1,288	1,189	1,118	1,067	1,034	1,014	1,003
0,05	1,531	1,379	1,261	1,171	1,106	1,061	1,031	1,012	1,003
0,06	1,487	1,348	1,239	1,157	1,098	1,056	1,028	1,011	1,003
0,07	1,450	1,322	1,221	1,146	1,090	1,052	1,026	1,010	1,002
0,08	1,420	1,300	1,207	1,136	1,084	1,048	1,024	1,010	1,002
0,09	1,390	1,281	1,194	1,128	1,079	1,045	1,023	1,009	1,002
0,1	1,371	1,265	1,183	1,120	1,075	1,043	1,022	1,009	1,002
0,2	1,234	1,168	1,116	1,076	1,047	1,027	1,014	1,005	1,001
0,3	1,165	1,118	1,081	1,053	1,033	1,020	1,010	1,004	1,001
0,4	1,120	1,086	1,059	1,039	1,024	1,014	1,007	1,003	1,001
0,5	1,088	1,063	1,043	1,028	1,018	1,010	1,005	1,002	1,000
0,6	1,063	1,045	1,031	1,020	1,013	1,007	1,004	1,001	1,000
0,7	1,043	1,030	1,021	1,014	1,009	1,005	1,002	1,001	1,000
0,8	1,026	1,019	1,013	1,008	1,005	1,003	1,002	1,001	1,000
0,9	1,012	1,009	1,006	1,004	1,002	1,001	1,001	1,000	1,000
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Таблица 2

Значение поправочного коэффициента при движении воздуха в желобе

B	Величина K при n, равном								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
При φ = 0,25									
0,02	2,026	1,746	1,526	1,349	1,216	1,122	1,061	1,024	1,005
0,04	1,778	1,571	1,405	1,270	1,167	1,095	1,047	1,019	1,004
0,06	1,650	1,479	1,341	1,227	1,141	1,080	1,040	1,016	1,003
0,08	1,565	1,417	1,298	1,199	1,123	1,070	1,035	1,014	1,003
0,1	1,502	1,371	1,266	1,178	1,110	1,063	1,031	1,012	1,003
0,2	1,326	1,242	1,174	1,116	1,072	1,041	1,020	1,008	1,002
0,4	1,173	1,129	1,093	1,062	1,038	1,022	1,011	1,004	1,001
0,6	1,093	1,069	1,050	1,033	1,021	1,012	1,006	1,002	1,000
0,8	1,039	1,029	1,021	1,014	1,009	1,005	1,002	1,001	1,000
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
При φ = 0,5									
0,02	4,507	2,455	1,822	1,526	1,342	1,198	1,097	1,037	1,008
0,04	3,840	2,152	1,644	1,412	1,270	1,157	1,077	1,030	1,006
0,06	3,482	1,989	1,548	1,351	1,230	1,134	1,066	1,025	1,005
0,08	3,239	1,878	1,483	1,309	1,203	1,119	1,058	1,022	1,005
0,1	3,056	1,794	1,435	1,277	1,183	1,107	1,053	1,020	1,004
0,2	2,499	1,547	1,292	1,185	1,123	1,072	1,035	1,013	1,003
0,4	1,926	1,311	1,161	1,101	1,067	1,039	1,019	1,007	1,002
0,6	1,556	1,173	1,089	1,055	1,037	1,021	1,010	1,004	1,001
0,8	1,261	1,075	1,039	1,023	1,016	1,009	1,005	1,002	1,000
0,9	1,131	1,034	1,019	1,011	1,007	1,004	1,002	1,001	1,000
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ления ψ по пути движения частицы сказывается лишь в области значительных объемных концентраций, когда $B \leq 0,3$. Величина поправочного коэффициента заметно выше для малых начальных скоростей (при $n < 0,5$) потока (рис. 1, а). При движении воздуха в желобе (при $\phi \neq 0$) его величина несколько выше (рис. 1, б). Однако учитывая, что величина эжекционного напора

$$p_e = K\psi_y \frac{G_m v_k}{S} \Phi \frac{|1-\phi|^3 - |n-\phi|^3}{3}$$

при увеличении ϕ в силу тормозящего действия начального участка уско-ренного потока мала, при расчетах можно принять $K \approx K_0$.

Имея в виду, что в реальных узлах загрузки и разгрузки элеваторов, перегружающих сыпучие материалы, скорость потока при входе в желоб составляет $(0,3 - 0,5v_k)$, эжекционный напор можно определить по формуле (4), вводя поправочный коэффициент лишь в области больших объемных концентраций, при $B < 0,1$ и $n < 0,3$.

Таким образом, поток частиц сыпучего материала можно рассматривать как своеобразный нагнетатель с характеристикой:

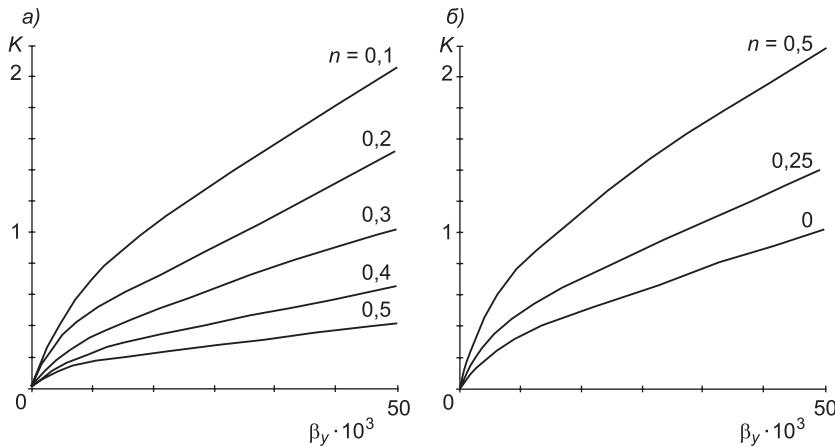


Рис. 1. Изменение поправочного коэффициента от объемной концентрации для равноускоренного потока частиц $d_e = 3$ мм (а — при $\phi = 0$; б — при $\phi \neq 0$ и $n = 0,3$)

$$p_e(Q) = K_0 z \frac{1}{3} \left[\left| 1 - \frac{Q}{Sv_k} \right|^3 - \left| n - \frac{Q}{Sv_k} \right|^3 \right], \quad (11)$$

где для простоты записи обозначено: $z = \psi_y \frac{G_m v_k}{S} \Phi = \psi_y \frac{G_m v_k}{S} \varepsilon \frac{K_m v_K^2}{2a_\tau}$;

Q — объемный расход эжектируемого воздуха в желобе, $\text{м}^3/\text{с}$.

2. Эжектирующие свойства нории. Рассмотрим эжектирующие свойства ленточного ковшового элеватора. Движение воздуха в кожухе ленточного элеватора может возникать за счет перемещения как ленты с ковшами, так и потока просыпи при загрузке ковшей и при их разгрузке.

Рассмотрим вначале поток воздуха в кожухе холостой ветви элеватора длиной dx (рис. 2). Запишем для этого участка уравнение сохранения количества движения в проекциях на ось Ox , направленную вертикально вниз. Будем формулировать одномерную задачу, полагая, что скорость эжектируемого воздуха направлена вниз и равна средней по сечению:

$$u = Q/S; \quad S = ab,$$

где Q — расход эжектируемого воздуха в кожухе, $\text{м}^3/\text{с}$;

a, b — размеры поперечного сечения кожуха, м.

Касательное напряжение трения на поверхности движущейся ленты равно

$$\tau_l = c_l \frac{(v_e - u) |v_e - u|}{2} \rho,$$

где c_l — безразмерный коэффициент сопротивления;

v_e — скорость ленты элеватора, $\text{м}/\text{с}$.

Аналогично касательное напряжение трения на поверхности стенок кожуха

$$\tau_w = c_w \frac{u |u|}{2} \rho,$$

где c_w — безразмерный коэффициент сопротивления стенок кожуха.

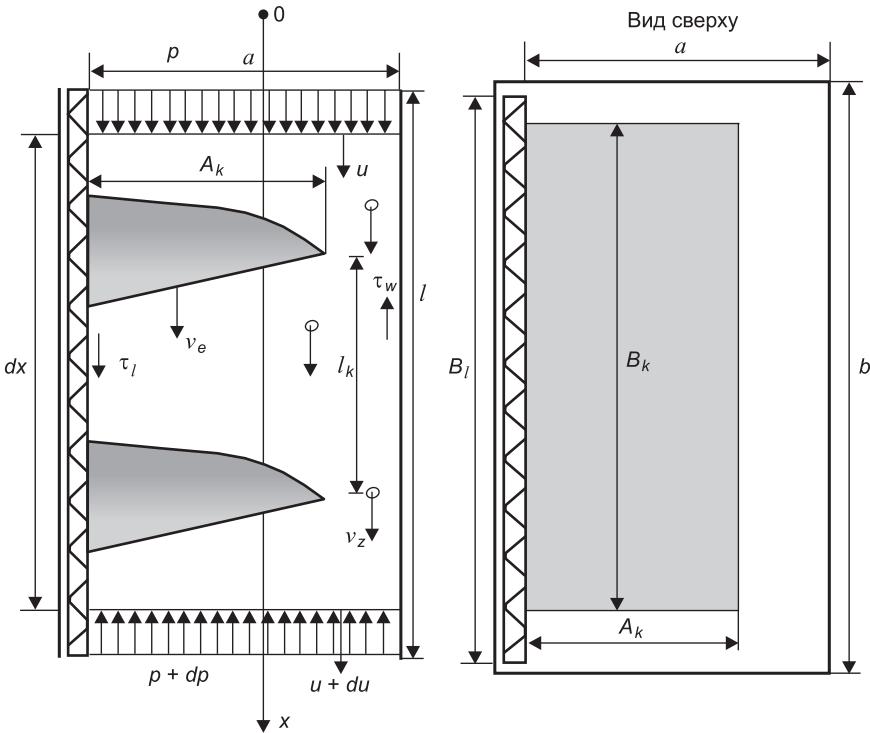


Рис. 2. Схема сил, действующих на элемент кожуха холостой ветви элеватора длиной dx

Как известно, коэффициенты c_l , c_w связаны с коэффициентами трения в формуле Дарси — Вейсбаха для определения потери давления на прямолинейных участках трубы

$$c_l = \lambda_l / 4; \quad c_w = \lambda_w / 4,$$

где λ_l — гидравлический коэффициент трения ленты;

λ_w — гидравлический коэффициент трения стенок кожуха.

Аэродинамическая сила ковша, записанная по аналогии с аэродинамической силой частиц,

$$R_k = c_k F_k \frac{(v_e - u) |v_e - u|}{2} \rho,$$

где F_k — площадь миделева сечения ковша ($F_k = A_k B_k$), м^2 ;

c_k — коэффициент аэродинамического сопротивления пустого ковша.

Уравнение изменения количества движения в этом случае принимает вид:

$$\begin{aligned} \rho u S(-u) + \rho(u + du)S(u + du) &= pS - (p + dp)S - \\ -\tau_w(b + 2a)dx + \tau_l B_l dx + R_k \frac{dx}{l_k} + R_z \frac{\beta dx S}{V_p}, \end{aligned} \quad (12)$$

где l_k — шаг ковшей на ленте, м;

$\beta = \frac{G_p}{\rho_z S v_z}$ — объемная концентрация просыпки;

G_p — массовый расход просыпки сыпучего материала при разгрузке ковшей, кг/с;

ρ_z — плотность частиц, кг/м³;

v_z — скорость падения частиц, м/с;

V_p — объем одной частицы, м³;

R_z — аэродинамическая сила одной частицы просыпи, $R_z = \psi_z F_z \times \frac{|v_z - u|(v_z - u)}{2} \rho$,

где $F_z = \frac{\pi d_e^2}{4}$ — площадь миделева сечения частицы, м²; d_e — эквивалентный диаметр частицы, м.

Учитывая, что в данном случае $u = \text{const}$, после несложного преобразования уравнения (12), пренебрегая бесконечно малыми второго порядка, получим следующее соотношение для определения разности давления в кожухе холостой ветви элеватора:

$$p(0) - p(l) + E_k + E_p = p_w, \quad (13)$$

где $p(0)$, $p(l)$ — статистические давления в начале и конце кожуха, Па;

p_w — аэродинамическое сопротивление стенок кожуха, Па:

$$p_w = \int_0^l \lambda_w \frac{2a+b}{4S} \frac{u^2}{2} \rho dx, \quad (14)$$

равное при $u = \text{const}$ и $S = \text{const}$, $p_w = \lambda_w \frac{l}{D_w} \frac{u^2}{2} \rho$, $D_w = \frac{4S}{b+2a}$, l — общая

длина кожуха элеватора (расстояние между осями приводного и натяжного барабанов ленты нории), м;

E_k — эжекционный напор, создаваемый конвейерной лентой с ковшами:

$$E_k = \frac{1}{S} \int_0^l \left(c_{ek} \frac{F_k}{l_k} + \frac{\lambda_l}{4} B_l \right) \frac{|v_e - u|(v_e - u)}{2} \rho dx, \quad (15)$$

равный при постоянной относительной скорости

$$E_k = c_{ek} \frac{|v_e - u|(v_e - u)}{2} \rho; \quad (16)$$

c_{ek} — аэродинамический коэффициент холостой ветви элеватора (с учетом пустого ковша и конвейерной ленты, к которой прикреплены эти ковши):

$$c_{ek} = \frac{l}{S} \left(c_k \frac{F_k}{l_k} + \frac{\lambda_l}{4} B_l \right), \quad (17)$$

E_p — эжекционный напор, создаваемый потоком просыпки сыпучего материала при разгрузке ковшей элеватора:

$$E_p = \frac{1}{S} \int_0^l \psi_z K_m \epsilon G_p \frac{|v_z - u|(v_z - u)}{2} \frac{dx}{v_z}, \quad (18)$$

равный для равноускоренного вертикального потока частиц при $\psi_z = \text{const}$

$$E_p = \frac{\psi_z K_m \epsilon}{2} \frac{G_p}{Sg} \frac{|v_k - u|^3 - |v_n - u|^3}{3}$$

или для равномерного потока частиц при $v_z = v_e = \text{const}$, $u = \text{const}$

$$E_p = \frac{\Psi_z K_m \varepsilon}{2} \frac{G_p}{S} \frac{l}{v_e} [|v_e - u| (v_e - u)], \quad (19)$$

где K_m — отношение площади миделева сечения частицы к ее объему, $1/\text{м}^2$;

ε — отношение плотности воздуха к плотности частиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логачев, И.Н. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. Сообщение 1. Уравнения динамики эжектируемого и рециркулируемого воздуха [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 10. — С. 46–53.
2. Логачев, И.Н. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. Сообщение 2. Линеаризация дифференциальных уравнений [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 11–12. — С. 62–70.
3. Логачев, И.Н. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. Сообщение 3. Численные эксперимент и результаты исследований [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 1. — С. 79–87.
4. Логачев, И.Н. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. Сообщение 1. Основные уравнения [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова, И.В. Крюков // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 4. — С. 62–71.
5. Логачев, И.Н. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. Сообщение 2. Решение уравнений и результаты расчета [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова, И.В. Крюков // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 5. — С. 54–62.

ЛОГАЧЕВ Иван Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ЛОГАЧЕВ Константин Иванович, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
АВЕРКОВА Ольга Александровна, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 10.07.13

Logachev Ivan Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Logachev Konstantin Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Averkova Olga Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

THE EJECTION OF AIR DURING OVERLOADS OF GRANULAR MATERIALS IN A VERTICAL CHANNELS WITH LADLES

Message 1. REGULARITIES OF CHANGES OF EJECTION PRESSURE IN THE TROUGHS

We have considered the process of injecting air in norias from the position of classical laws of changing air mass and momentum. We obtained a system of differential equations describing the process of longitudinal averaged flows of air in the cover with sharing work and idle

branches of noria in it. We identified patterns of change of an ejection pressure generated by the conveyor belt and alluvial particles. We have determined mechanism of flows, speed and consumption of air currents in the covers of norias.

Key words: aspiration, bulk material transfer, air suction.

REFERENCES

1. Logachev, I.N. Ejection of air by the stream of bulk material in a vertical perforated trough. Message 1. The dynamics equations of ejected and recirculated air [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 10. — P. 46–53.
 2. Logachev, I.N. Ejection of air by the stream of bulk material in a vertical perforated trough. Message 2. Linearization of differential equations [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 11–12. — P. 62–70.
 3. Logachev, I.N. Ejection of air by the stream of bulk material in a vertical perforated trough. Message 3. Numerical experiment and research results [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 1. — P. 79–87.
 4. Logachev, I.N. Features of recirculation of air in transferring trough with the combined bypass camera. Message 1. Main equations [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova, I.V. Krukov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 4. — P. 62–71.
 5. Logachev, I.N. Features of recirculation of air in transferring trough with the combined bypass camera. Message 2. Solution of equations and results of calculation [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova, I.V. Krukov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 5. — P. 54–62.
-

УДК 697.92 : 631.223.2

В.П. ШАЦКИЙ, В.А. ГУЛЕВСКИЙ, Н.Г. СПИРИНА

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ (РЕКУПЕРАТОРОВ) ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Рассматривается тепловой баланс животноводческого помещения с учетом включения в систему вентиляции рекуперативных пластинчатых теплообменников. Приводятся составляющие математической модели процессов теплообмена и алгоритм ее численной реализации, основанный на итерационном алгоритме решения системы конечно-разностных линейных уравнений.

Ключевые слова: теплообменник, тепловой баланс, животноводческое помещение, моделирование, система уравнений.

Согласно общероссийским нормам технологического проектирования животноводческих помещений для крупного рогатого скота привязного содержания комфортной внутри помещения является температура $+10^{\circ}\text{C}$ с колебаниями от $+8$ до $+12^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность при этом должна быть 75 % с колебаниями от 65 до 85 %.

Вместе с тем известно, что в коровнике на 200 голов за час выделения по углекислому газу превышают норму в 2,5 раза, по влажности — в 3 раза, а температура воздуха через 15 мин достигает 24°C . Это значит, что уже через четверть часа только за счет жизнедеятельности животных (без учета влияния работающих машин, агрегатов, нагревательных и осветительных приборов) внутри помещения создается обстановка, которая негативно влияет на их здоровье и продуктивность.

Практически все проекты животноводческих помещений предлагают поддерживать параметры микроклимата механическими приточно-вытяжными системами вентиляции за счет обмена отработанного внутреннего воздуха помещения на свежий наружный. Согласно нормам в зимний период необходимо проводить обмен воздуха из расчета $17 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 ц живой массы. В нашем случае на все поголовье массой 1200 ц обмен воздуха составляет $20\,400 \text{ м}^3/\text{ч}$ (3–4-кратный обмен), который, как правило, выполняется вентиляторами типа ВР-400 производительностью $9\,500$ – $10\,500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и мощностью двигателя 7,5 кВт. Для рассматриваемой нами фермы нужно установить два таких вентилятора на вытяжку и два на приток.

К сожалению, данная система имеет большой недостаток — она дорога в изготовлении и эксплуатации, так как помимо указанных четырех вентиляторов стоимостью от 30 до 50 тыс. руб. каждый дополнительно необходимы две вентиляционные камеры под эти же вентиляторы, чтобы предохранить животных от излишнего создаваемого этими устройствами шума. Для распределения воздуха по ферме нужно создать систему воздуховодов общей длиной не менее 250 пог. м по цене, в среднем, 1 200 руб./м. И главное, зимой холодный наружный воздух, поступающий в помещение, необходимо подогревать с помощью калорифера. В настоящее время стоимость подобных устройств достигает 400 тыс. руб. Вместо

© Шацкий В.П., Гулевский В.А., Спирин Н.Г., 2013

дорогостоящих калориферов рассматривается возможность внедрения системы, работающей с утилизацией тепла, выделяемого животными фермы или комплекса. Такая система позволит избавиться от излишних затрат, связанных с подогревом холодного приточного воздуха.

Ее суть заключается в следующем: вытяжной вентилятор захватывает из помещения отработанный теплый воздух, имеющий температуру $t_{вн}$, прогоняет его через устройство, называемое рекуператором, и через воздуховод выбрасывает наружу. Отметим, что при необходимости часть воздуха может удаляться из помещения, минуя рекуператор, через неплотности ограждений. В это же время приточный вентилятор, захватывая свежий холодный воздух, имеющий температуру t_n , прогоняет его также через рекуператор, но в обратном направлении — внутрь помещения, нагревая его до температуры $t_{вх}$. Происходит интенсивная передача тепла от более нагетого выбрасываемого воздуха к холодному приточному.

При выборе типа рекуператора сделаем акцент на его эффективности теплообмена и отсутствии смешивания воздушных потоков. Сравнительная характеристика различных теплообменников (роторные, с промежуточным теплоносителем, камерные) позволяет сделать выбор пластинчатого теплообменника как конструкционно наиболее рационального и удовлетворяющего требованиям к воздушной среде помещений. Однако внедрение подобных рекуператоров проходит весьма медленно. Частично это связано с несовершенством методов теоретических расчетов процессов теплообмена в пластинчатых рекуператорах.

Классический подход к расчету эффективности работы теплообменников базируется на уравнениях баланса тепла, в которые входят коэффициенты теплопередачи. Этот подход имеет свои слабые стороны. Во-первых, в выражения коэффициентов теплопередачи входят коэффициенты теплоотдачи, численные значения которых достаточно трудно определить. Как было показано в [1], коэффициенты теплоотдачи зависят от физических параметров жидкости или газа, характера их движения, форм и размеров каналов теплообменника. Кроме того, эти коэффициенты могут меняться по длине канала. Во-вторых, для более точных расчетов в ряде случаев следует учитывать продольную теплопроводность пластины теплообменника.

В работе [2] предложена математическая модель процесса теплопереноса в пластинчатых теплообменниках, состоящая из следующих составляющих:

- 1) дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа конвективного теплопереноса в каналах;
- 2) дифференциального уравнения в частных производных эллиптического типа распределения температуры в пластине;
- 3) входных условий;
- 4) условий четности на осях симметрии каналов;
- 5) условий непроницаемости на торцах теплообменной пластины;
- 6) условий сопряжения температуры и тепловых потоков на поверхностях пластины.

Был построен разностный аналог представленной выше модели на сетке с Nx шагами по длине каналов, Ny шагами по сечению каналов, $Ny/2+1$ шагами по сечению пластины. На первом шаге коэффициент теплопроводности вычислялся по формуле

$$\lambda(t) = 0,023577 + 0,00007t$$

при среднеарифметическом значении входных температур. При $Nx = 40$ и $Ny = 20$ было получено 2172 конечно-разностных алгебраических линейных уравнения. После первого шага решения этой системы в каждой точке сетки уточнялся коэффициент теплопроводности, и система решалась заново. Данный итерационный процесс завершался, когда относительная погрешность по температурам на выходе из теплообменника

в настоящий и предыдущих итерациях становилась менее 0,5 %.

Результаты реализации данной модели позволяют оценить эффективность работы рекуператора и подобрать его наиболее рациональные размеры для конкретного помещения.

В частности, для рассматриваемого коровника на 200 голов рекомендуется устанавливать рекуператор, способный при температуре -30°C

Рис. 1. Изменение температур воздуха по длине рекуператора:

1 — теплый воздух; 2 — холодный воздух

подогреть поступающий в помещение воздух до -10°C . На рис. 1 показана динамика изменения температур воздуха в рекуператоре с габаритными размерами $1 \times 1 \text{ м}$ и каналами длиной 1,2 м сечением 3 мм при необходимом расходе воздуха $10\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Уравнение теплового баланса помещения имеет вид:

$$K_v(t_{\text{н}} - t_{\text{вн}}) + C\rho G_{\text{вх}}t_{\text{вх}} - C\rho G_{\text{вых}}t_{\text{вн}} - C\rho G_{\text{инф}}t_{\text{вн}} + Q_{\text{ст}} = 0.$$

Здесь $K_v = \sum k_i F_i$ — коэффициент, характеризующий теплопередачу через ограждающие помещение конструкции;

C и ρ — соответственно теплоемкость и плотность воздуха;

$G_{\text{вх}}$ — расход приточного воздуха;

$G_{\text{вых}}$ — расход воздуха, удаляемого через рекуператор;

$G_{\text{инф}}$ — расход воздуха, удаляемого через неплотности;

$Q_{\text{ст}}$ — стационарные теплопоступления в помещение.

Решая это уравнение относительно $t_{\text{вн}}$, получаем соотношение для определения температуры воздуха внутри помещения:

$$t_{\text{вн}} = \frac{K_v t_{\text{н}} + Q_{\text{ст}} + C\rho G_{\text{вх}} t_{\text{вх}}}{K_v + C\rho G_{\text{вх}} t_{\text{вых}} + C\rho G_{\text{инф}}}.$$

Тепловой баланс помещения с теплопритоками от животных 180–190 кВт показывает, что при -30°C в помещении создается комфортная температура $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$, при этом весь воздух из помещения проходит через два теплообменника. При повышении температуры воздуха на улице часть воздуха из помещения удаляется через неплотности, минуя рекуператоры, и тем самым комфортные значения температур сохраняются при необходимой кратности обмена.

На рис. 2 показана зависимость температуры в помещении от процентного отношения объема воздуха, отведенного через неплотности, к

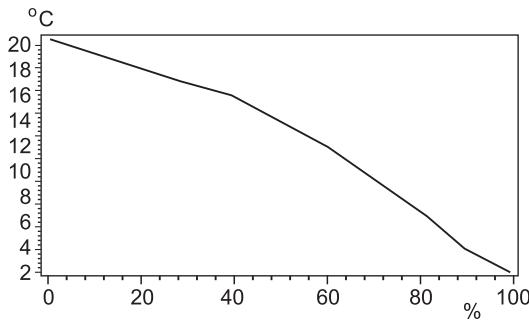


Рис. 2. Зависимость температуры в помещении от процентного отношения объема воздуха, отведенного через неплотности, к общему объему отведенного воздуха

Температура наружного воздуха t_h , °C	Расход через неплотности $G_{\text{инф}}$, %	Температура в помещении $t_{\text{вн}}$, °C
-30	0	10,8
-25	35	11,1
-20	62	10,8
-15	80	11,5
-10	100	11,8
-5	100	16,8
0	100	21,8

общему объему отведенного воздуха при наружной температуре -20 °C. В таблице приводятся значения температуры воздуха внутри помещения при различных наружных температурах и процентного отношения объема воздуха, отведенного через неплотности, к общему объему отведенного воздуха. Как видно из таблицы, при температуре наружного воздуха выше -10 °C необходимость в рекуперативном подогреве приточного воздуха отпадает, а при температуре наружного воздуха выше 0 °C необходимо увеличивать расход приточного воздуха для создания регламентируемой температуры в помещении.

Таким образом, с помощью рекуперационной установки можно утилизировать и вернуть в помещение до 75 % тепла, которое обычно выбрасывается в атмосферу вместе с отработанным воздухом. Использование системы микроклимата с рекуперацией тепла позволяет в любое время года добиваться в помещении параметров микроклимата, близких к научно обоснованным, и, как следствие, избавившись от болезней скота и падежа молодняка, достигнуть максимальной продуктивности животных. Кроме того, к преимуществам системы рекуперации тепла относятся:

- 1) возможность внедрения в существующую систему вентиляции;
- 2) экономическая эффективность за счет отказа от отопительного оборудования;
- 3) обоснованность капитальных вложений, позволяющих снизить затраты энергии и повысить продуктивность животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шацкий, В.П. О коэффициентах теплоотдачи в теплообменниках [Текст] / В.П. Шацкий, Л.И. Федулова, О.И. Грицких // Сборник научных и научно-методических докладов Международной научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов. — Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСиС, 2009. — Т. 2. — С. 273–275.
2. Шацкий, В.П. О некоторых аспектах моделирования работы пластинчатых теплообменников [Текст] / В.П. Шацкий, В.А. Гулевский // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 12. — С. 84–89.

ШАЦКИЙ Владимир Павлович, д-р техн. наук, проф.

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I
ГУЛЕВСКИЙ Вячеслав Анатольевич, канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

СПИРИНА Наталья Геннадьевна, ассист.

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

Получено 23.07.13

Shatsky Vladimir Pavlovich, doctor of technical sciences, professor, Voronezh State Agricultural University after Emperor Peter I, Russia

Gulevsky Vyacheslav Anatolievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Voronezh State Agricultural University after Emperor Peter I, Russia

Spirina Natalia Gennadievnna, assistant, Voronezh State Agricultural University after Emperor Peter I, Russia

APPLICATION OF HEAT EXCHANGERS (RECUPERATORS) FOR THE NORMALIZATION OF CATTLE SHED MICROCLIMATE

We consider the heat balance of cattle shed with the inclusion of the recuperative plate heat exchangers into the ventilation system. There are given the components of a mathematical model of heat exchange processes and the algorithm for its numerical implementation based on iterative algorithm for solving a system of finite-difference linear equations.

Key words: heat exchanger, heat balance, cattle shed, modeling, system of equations.

REFERENCES

1. Shatsky, V.P. On the coefficients of heat transfer in heat exchangers [Text] / V.P. Shatsky, L.I. Fedulova, O.I. Gritskikh // Collection of scientific and methodological reports of the international scientific-practical conference faculty, staff and graduate students. — Old Oskol: STI NITU MISiS, 2009. — Vol. 2. — P. 273–275.
2. Shatsky, V.P. Some aspects of modeling plate heat exchanger [Text] / V.P. Shatsky, V.A. Gulevsky // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 12. — P. 84–89.