

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 (645)
Сентябрь 2012 г.

Главный редактор В.Г. Себешев
Редакционная коллегия: А.А. Афанасьев,
В.Л. Баладинский, Т.И. Баранова, В.А. Воробьев,
П.А. Дмитриев, В.А. Игнатьев, В.И. Костин (зам. гл.
редактора), Г.Б. Лебедев (зам. гл. редактора),
Е.М. Лобанов, Л.С. Ляхович, В.И. Морозов,
Ю.П. Панибратов, Ю.П. Правдинец, В.Г. Себе-
шев, И.Б. Соколов, Ю.А. Феофанов, Е.М. Чернышов

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113.
Тел./факс 266-28-59.
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 28.09.12. Формат 70×108 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 10,15+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 1279.

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Дукарт А.В., Фам Вьет Нгок, Фам Тхань Бинь. Об эффективности динамического и ударного гасителей при изгибных колебаниях стержней, вызванных действием периодических импульсов 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Бердов Г.И., Ильина Л.В. Взаимодействие алюминатных клинкерных минералов с водными растворами электролитов 13

Смирнова О.М. Зависимость прочности бетона с добавками на поликарбоксилатной основе от свойств портландцемента после низкотемпературной тепловой обработки ... 20

Бурученко А.Е., Мушарапова С.И. Влияние минералогического состава отходов производства цветных металлов на процесс спекания керамических масс 28

Байджанов Д.О., Немен В.Н., Бакирова Д.Г. Тонкомолотое стекло — активная минеральная добавка 34

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А. Анализ принципов дистанционного адаптивного управления землеройно-транспортными машинами	41
Герасимов В.В., Коробова О.А., Левченко А.В. Оценка организационной безопасности материального обеспечения строительных объектов	47
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Гахова Л.Н., Кузнецова Ю.А. Напряженное состояние конструктивных элементов турбинного водовода в строительный период	55
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Сколубович Ю.Л., Бойко О.А., Зеркаль С.М., Рогазинский С.В., Войтов Е.Л., Сколубович А.Ю. Численное исследование влияния ошибок измерения физических параметров реактора-осветителя на устойчивость его статистической модели	60
Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Колдырев Е.В. Интенсификация обезвоживания осадка сточных вод металлообрабатывающих предприятий	66
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Дедов А.С., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Грузин А.В. Влияние камеры форсажа холостого хода на термодинамические параметры дроссельного пневматического ударного механизма	72
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Тарасова Ю.И. Строительство доходных домов в крупных городах Западной Сибири в конце XIX – начале XX века	79
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Роот В.В., Шмаков Д.С. Применение различных видов аппроксимаций диаграмм деформирования бетона для расчета изгибаемых железобетонных элементов	86
Шафрай С.Д. Влияние конструктивно-технологической формы фланцевого соединения на его работоспособность	92
Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Повышение физико-механических свойств и долговечности фиброкементных плит на основе целлюлозных волокон	101
Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Баталова А.В. К определению коэффициентов местных сопротивлений возмущающих элементов трубопроводных систем	108
НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Нуждин Л.В. Серия новых учебников по геотехнике	113

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.07 : 534.11.04

А.В. ДУКАРТ, ВЬЕТ НГОК ФАМ, ТХАНЬ БИНЬ ФАМ

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО И УДАРНОГО ГАСИТЕЛЕЙ ПРИ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЯХ СТЕРЖНЕЙ, ВЫЗВАННЫХ ДЕЙСТВИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

На примере консольного стержня постоянного сечения с сосредоточенной массой на свободном конце исследуется эффективность динамического и ударного гасителей при изгибных колебаниях, вызванных действием периодических мгновенных импульсов, частота приложения которых предполагается нестабильной. Принимается, что исходная система обладает непропорциональным демпфированием, которое учитывается по гипотезе частотно-независимого трения Е.С. Сорокина.

Ключевые слова: консольный стержень, периодические импульсы, гаситель колебаний, частотно-независимое трение, установившиеся колебания, настройка гасителя, демпфирование гасителя.

Задачи снижения уровня колебаний строительных конструкций, машин и их отдельных элементов (далее — защищаемая конструкция) при периодических импульсивных воздействиях¹ [1] возникают достаточно часто и могут быть связаны как с необходимостью повышения прочности, устойчивости и снижения материоаломкости конструкций, так и с технологическими и санитарно-гигиеническими требованиями² [2, 3]. Некоторые вопросы подавления повышенных вибраций конструкций с помощью динамических (ДГК) и ударных (УГК) гасителей колебаний пассивного типа при указанных возмущающих нагрузках рассматривались ранее, в частности в работах^{3, 4} [2, 4], в предположении, что защищаемые конструкции и гасители моделируются одномассовыми системами.

Настоящая статья посвящена изучению эффективности одномассовых динамического и ударного гасителей пружинного типа [1–4] при изгибных колебаниях прямолинейных стержней, вызванных периодическими мгновенными импульсами. Для определенности рассматриваются по-перечные колебания консольного стержня с жестко наложенными на его свободном конце сосредоточенной массой m_0 и присоединенным к ней

¹ Инструкция по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки. М.: Стройиздат, 1966. 134 с.

² Колебания и волны (гигиеническая оценка, нормирование, защита) / Под ред. Ю.В. Лизунова, О.П. Ломова. СПб.: Диалект, 2006. 272 с.

³ Дукарт А.В., Фам Вьет Нгок. Оптимальные параметры и эффективность динамического гасителя с частотно-независимым трением в режиме основного импульсного резонанса // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 2. С. 80–89.

⁴ Дукарт А.В., Фам Тхань Бинь. Стационарные колебания системы с ударным гасителем при действии периодических импульсов конечной длительности // Вестн. МГСУ. 2012. № 4. С. 44–50.

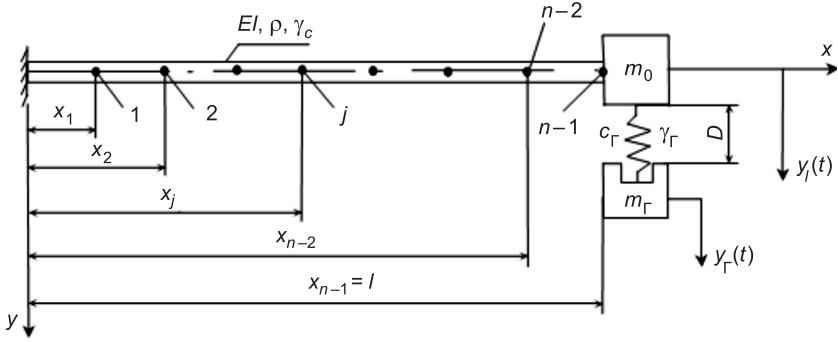


Рис. 1. Расчетная схема консольного стержня с гасителем колебаний

гасителем с трением (рис. 1). Внешние периодические мгновенные импульсы принимаются сосредоточенными и приложены к массе m_0 ; они описываются выражением

$$P(t) = P_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT), \quad (1)$$

где P_0 , T и $\theta = 2\pi/T$ — величина, период и частота приложения внешних импульсов; $\delta(t)$ — дельта-функция Дирака.

Колебания стержня с ударным гасителем сопровождаются односторонними периодическими (с периодом приложения внешних импульсов $P(t)$) неупругими соударениями между массой гасителя m_Γ и массой m_0 , которые также принимаются мгновенными и оцениваются коэффициентом восстановления при ударе⁵ $0 < R < 1$. Они образуют периодическую последовательность внутренних мгновенных импульсов

$$S(t) = S_* \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT - t_*), \quad (2)$$

которые приложены к массам m_0 и m_Γ и имеют противоположные направления. В формуле (2) обозначено: S_* — величина и t_* — момент возникновения внутренних импульсов, вызванных соударениями. Заметим, что относительные колебания массы ударного гасителя ограничены начальным зазором D (см. рис. 1).

Предполагается⁶, что при поперечных колебаниях стержня выполняется гипотеза плоских сечений, материалы стержня и упругой связи гасителей однородны и следуют закону Гука, диссипативные свойства материала стержня и связи гасителей описываются гипотезой частотно-независимого трения Е.С. Сорокина [1], причем принимается, что система в целом обладает непропорциональным демпфированием. В этом случае совершаемые системой в промежутках времени между последовательно действующими внешними (1) и внутренними (2) импульсами свободные колебания описываются однородными линейными дифференциальными уравнениями [4]

$$(u_c + iv_c)EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \rho \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = 0; \\ m_\Gamma \frac{d^2 y_\Gamma(t)}{dt^2} + c_\Gamma (u_\Gamma + iv_\Gamma) [y_\Gamma(t) - y_l(t)] = 0. \quad (3)$$

⁵ Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М.: Стройиздат, 1965. 449 с.

⁶ Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Дрофа, 2004. 592 с.

Здесь EI , ρ , γ_c , l — изгибная жесткость, погонная масса, коэффициент неупругого сопротивления и длина стержня; $y(x, t)$ — динамический прогиб сечения x стержня в момент времени t ; $y_l(t) = y(l, t)$ и $y_\Gamma(t)$ — перемещения свободного конца стержня и массы гасителя; c_Γ , γ_Γ — квазиупругий коэффициент и коэффициент неупругого сопротивления гасителя; $u_c = (4 - \gamma_c^2)/(4 + \gamma_c^2)$; $v_c = 4\gamma_c/(4 + \gamma_c^2)$; $u_\Gamma = (4 - \gamma_\Gamma^2)/(4 + \gamma_\Gamma^2)$; $v_\Gamma = 4\gamma_\Gamma/(4 + \gamma_\Gamma^2)$.

Решение уравнений (3), отвечающее граничным условиям задачи (см. рис. 1) и условиям периодичности движения, было получено в работах^{7, 8} и подробно изложено в монографии [4] в связи с построением стационарных решений, описывающих установившиеся колебания исходной системы с ударным гасителем при периодических возмущающих нагрузках. Отметим, что в ряде работ^{9–11} аналогичные задачи рассматривались в предположении, что исходная система с УГК обладает пропорциональным трением.

Как и в^{7–11} [4] полное движение системы с ударным гасителем найдем, заменив исходную систему с УГК эквивалентной безударной системой, к которой наряду с заданным возмущением $P(t)$ приложена последовательность внутренних импульсов $S(t)$, т.е. полное движение произвольного сечения x стержня и массы ударного гасителя устанавливаются выражениями

$$y(x, t) = y^p(x, t) + y^s(x, t); \quad y_\Gamma(t) = y_\Gamma^p(t) + y_\Gamma^s(t). \quad (4)$$

Колебания системы с ДГК определяются только действием внешних периодических импульсов $P(t)$, поэтому

$$y(x, t) = y^p(x, t), \quad y_\Gamma(t) = y_\Gamma^p(t). \quad (5)$$

В (4), (5) индексы p и s отвечают воздействиям (1) и (2) соответственно.

Следуя^{7, 8} [4], функции $y^p(x, t)$ и $y_\Gamma^p(x, t)$, описывающие стационарные колебания с периодом T произвольного сечения x стержня и массы гасителя в интервале времени $[0, T]$ при действии внешних импульсов $P(t)$ и удовлетворяющие условиям периодичности движения в конечном числе точек системы n (рис. 1), могут быть представлены в вещественной форме в виде конечных рядов

$$\begin{aligned} y^p(x, t) = & \frac{P_0}{2\rho l \omega_0} \sum_{v=1}^n \frac{e^{-0.5h_v t}}{\operatorname{ch} 0.5h_v T - \cos \omega_v T} \{ [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) u_v(x) - \\ & - v_v(x) \sin \omega_v T] \cos \omega_v t - [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) v_v(x) + u_v(x) \sin \omega_v T] \sin \omega_v t \}; \end{aligned} \quad (6)$$

⁷ Дукарт А.В. О построении периодических режимов движения прямолинейных стержней, оборудованных ударными гасителями колебаний // Теоретические основы строительства: Докл. VIII российско-польского семинара. М. — СПб., 6–8.07.1999. Варшава: Варш. политехн. ун-т, 1999. С. 33–40.

⁸ Дукарт А.В. Об эффективности ударного виброгашения при изгибных колебаниях прямолинейных стержней // Изв. вузов. Строительство. 2000. № 7–8. С. 25–33.

⁹ Зевин А.А. Об устойчивости периодических движений при наличии соударений масс // Машиноведение. 1968. № 4. С. 28–36.

¹⁰ Masri S.F. Forced vibration of class of nonlinear dissipative beams // J. Engineering Mechanics Division, ASCE. 1973. Vol. 99, N EM 4. Paper 9959. P. 669–683.

¹¹ Roy R.K., Rocke R.D., Foster J.E. The application of impact dampers to continuous systems // J. Engineering for Industry. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. 1975. Vol. 97, N 4. P. 1317–1324.

$$y_{\Gamma}^p(t) = \frac{P_0}{2\rho l \omega_0} \sum_{v=1}^n \frac{e^{-0.5h_v t}}{\operatorname{ch} 0.5h_v T - \cos \omega_v T} \{ [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) \tilde{u}_v - \\ - \tilde{v}_v \sin \omega_v T] \cos \omega_v t - [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) \tilde{v}_v + \tilde{u}_v(x) \sin \omega_v T] \sin \omega_v t \}. \quad (7)$$

Здесь

$$u_v(x) = \varphi_{2v-1}(x) \alpha_{2v-1}^0 - \varphi_{2v}(x) \alpha_{2v}^0; \quad v_v(x) = \varphi_{2v-1}(x) \alpha_{2v}^0 + \varphi_{2v}(x) \alpha_{2v-1}^0; \quad (8)$$

$$\tilde{u}_v = e_{2v-1} u_v(l) - e_{2v} v_v(l); \quad \tilde{v}_v = e_{2v-1} v_v(l) + e_{2v} u_v(l).$$

В (6)–(8) обозначено: ω_0 — основная (низшая) частота собственных колебаний защищаемой конструкции без гасителя; ω_v, h_v — частоты и коэффициенты демпфирования свободных колебаний рассматриваемой системы с гасителем; $\alpha_{2v-1}^0, \alpha_{2v}^0$ — постоянные интегрирования, которые определяются из начальных условий движения, вызываемого действием одиночного импульса P_0 в момент времени $t = 0$, для тех же точек исходной системы, в которых удовлетворяются условия периодичности колебаний (см. рис. 1)

$$y^p(x_j, 0) = 0; \quad \dot{y}^p(x_j, 0) = 0; \quad j = 1, 2, \dots, n-2;$$

$$y^p(l, 0) = 0; \quad \dot{y}^p(l, 0) = P_0 / (m_0 + m_{\text{пп}});$$

$$y_{\Gamma}^p(0) = 0; \quad \dot{y}_{\Gamma}^p(0) = 0,$$

где $m_{\text{пп}}$ — масса стержня, приведенная в точку установки гасителя; при приведении распределенной массы стержня к сосредоточенной массе в сечении $x = l$ по количеству движения $m_{\text{пп}} = 0,375 \rho l$. Все перечисленные величины, а также функции $\varphi_{2v-1}(x), \varphi_{2v}(x)$ и коэффициенты e_{2v-1}, e_{2v} вычисляются с использованием уравнений и формул, полученных в⁸ [4].

Установившиеся колебания системы с ударным гасителем, вызванные внутренними периодическими импульсами $S(t)$, в интервале времени $[t_*, t_* + T]$ описываются уравнениями вида (6), (7), в которых следует заменить P_0 на S_* и t на $t - t_*$

$$y^s(x, t) = \frac{S_*}{2\rho l \omega_0} \sum_{v=1}^n \frac{e^{-0.5h_v(t-t_*)}}{\operatorname{ch} 0.5h_v T - \cos \omega_v T} \{ [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) u_v(x) - \\ - v_v(x) \sin \omega_v T] \cos \omega_v (t - t_*) - [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) v_v(x) + \\ + u_v(x) \sin \omega_v T] \sin \omega_v (t - t_*) \}; \quad (9)$$

$$y_{\Gamma}^s(t) = \frac{S_*}{2\rho l \omega_0} \sum_{v=1}^n \frac{e^{-0.5h_v(t-t_*)}}{\operatorname{ch} 0.5h_v T - \cos \omega_v T} \{ [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) \tilde{u}_v - \\ - \tilde{v}_v \sin \omega_v T] \cos \omega_v (t - t_*) - [(e^{0.5h_v T} - \cos \omega_v T) \tilde{v}_v + \\ + \tilde{u}_v(x) \sin \omega_v T] \sin \omega_v (t - t_*) \}. \quad (10)$$

В интервале времени $[-T + t_*, t_*]$ необходимо в (9), (10) заменить t на $t + T$.

Входящие в (9), (10) функции $u_v(x), v_v(x), \tilde{u}_v(x), \tilde{v}_v(x)$ вычисляются по формулам (8), в которых необходимо заменить постоянные $\alpha_{2v-1}^0, \alpha_{2v}^0$ на другие постоянные $\alpha_{2v-1}^*, \alpha_{2v}^*$, отвечающие начальным условиям движения системы, вызванного приложенными к массам m_0 и m_{Γ} импульсами противоположного направления S_* в момент времени $t = t_*$

$$\begin{aligned}y^s(x_j, t_*) &= 0; \quad \dot{y}^s(x_j, t_*) = 0; \quad j = 1, 2, \dots, n-2; \\y^s(l, t_*) &= 0; \quad \dot{y}^s(l, t_*) = S_*/(m_0 + m_{\text{пп}}); \\y_\Gamma^s(t_*) &= 0; \quad \dot{y}_\Gamma^s(t_*) = -S_*/m_\Gamma.\end{aligned}$$

Используя (6), (7), (9), (10), найдем относительные колебания массы гасителя

$$y(t) = y_\Gamma^p(t) - y_l^p(t) + y_\Gamma^s(t) - y_l^s(t).$$

Дифференцируя полученное выражение слева при $t = t_*$ и воспользовавшись теоремой импульсов⁵, получим следующую формулу для определения величины ударного импульса

$$S_* = \frac{m_\Gamma(m_0 + m_{\text{пп}})(R+1)\dot{y}^p(t_*)}{(m_\Gamma + m_0 + m_{\text{пп}})[1 + (R+1)\Phi]}, \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned}\Phi = -\frac{m_\Gamma(m_0 + m_{\text{пп}})}{2\rho l \omega_0(m_\Gamma + m_0 + m_{\text{пп}})} \sum_{v=1}^n \frac{1}{\sinh 0,5h_v T - \cos \omega_v T} \{ [0,5h_v \sin \omega_v T + \\+ \omega_v(e^{-0,5h_v T} - \cos \omega_v T)][\tilde{v}_v - v_v(l)] - [0,5h_v(\cos \omega_v T - e^{-0,5h_v T}) + \\+ \omega_v \sin \omega_v T][\tilde{v}_v - v_v(l)] \}.\end{aligned}$$

Геометрическое условие соударения $y(t_*) = D$ приводит к трансцендентному уравнению относительно t_* в виде

$$y^p(t_*) + N\dot{y}^p(t_*) = D, \quad (12)$$

где

$$N = \frac{m_\Gamma(m_0 + m_{\text{пп}})(R+1)}{2\rho l \omega_0(m_\Gamma + m_0 + m_{\text{пп}})[1 + (R+1)\Phi]} \sum_{v=1}^n \frac{1}{\sinh 0,5h_v T - \cos \omega_v T} \times \\ \times \{(e^{0,5h_v T} - \cos \omega_v T)[\tilde{u}_v - u_v(l)] - [\tilde{v}_v - v_v(l)] \sin \omega_v T\}.$$

Отметим, что корень уравнения (12) должен удовлетворять условию положительности импульса S_* , вычисляемого по формуле (11).

Приведенные соотношения полностью определяют изгибные колебания консольного стержня с динамическим и/или ударным гасителями при импульсивных возмущающих нагрузках и, таким образом, позволяют решать задачи полной и неполной оптимизации их параметров [2, 3]. Здесь ограничимся определением оптимальных параметров гасителей в предположении, что величина внешних импульсов P_0 является постоянной и не зависит от частоты их приложения [3]. За критерий качества виброзащиты примем [2, 4] максимальную ординату импульсно-частотной характеристики (ИЧХ) колебаний свободного конца стержня $Y_l = \max |y_l(t)| / y_{l,\text{ст}}$, где $y_{l,\text{ст}} = P_0 \omega_0 l^3 / (3EI)$ — «статический прогиб» свободного конца стержня; при этом будем считать, что частота приложения импульсов нестабильна и может принимать произвольные значения в частотном диапазоне основного импульсного резонанса $0,8\omega_0 \leq \theta \leq 1,2\omega_0$ [3].

При периодических импульсивных воздействиях [1], включая нагрузки, создаваемые при работе ударных гасителей колебаний^{8–11} [4], возбуждаются высшие формы колебаний защищаемой конструкции. Не останав-

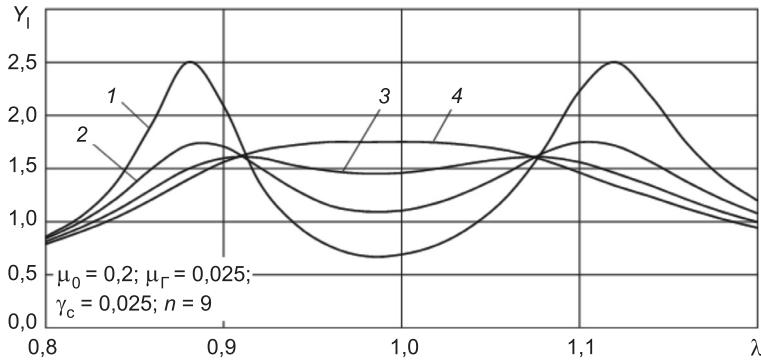


Рис. 2. ИЧХ колебаний свободного конца консольного стержня

1 — $\gamma_r = 0.1; s_{\text{опт}} = 0.988011$; 2 — $\gamma_r = 0.2; s_{\text{опт}} = 0.982755$; 3 — $\gamma_{r,\text{опт}} = 0.292; s_{\text{опт}} = 0.979056$;
 4 — $\gamma_r = 0.375; s_{\text{опт}} = 0.976554$

ливаясь здесь на анализе их вклада в окончательные результаты расчета, отметим, что достаточная для практических целей точность вычислений (1–5 %) достигается, удерживая в приведенных соотношениях восемь — десять слагаемых. Далее принимается, что сечения стержня, в которых удовлетворяются условия периодичности движения, располагаются вдоль его оси равномерно на расстоянии $l/(n-1)$ друг от друга (см. рис. 1); точка n соответствует массе гасителя.

На рис. 2 и в табл. 1 представлены некоторые результаты решения задачи неполной оптимизации параметров ДГК, где обозначено

$$\mu_r = m_r / (\rho l); \quad \mu_0 = m_0 / (\rho l); \quad \mu = \mu_r / (1 + \mu_0); \quad s = \omega_r / \omega_0;$$

$$\lambda = 2\pi / (\omega_0 T); \quad Y_l^{\max} = \max |Y_l(\lambda)|; \quad Y^{\max} = \max |Y(\lambda)|;$$

$Y = \max |y(t)| / y_{l,\text{ст}}$ — максимальные относительные колебания массы гасителя на частоте λ . Из рис. 2 следует, что ИЧХ колебаний свободного конца стержня при оптимальных значениях настройки гасителя ($s = s_{\text{опт}}$) в зависимости от величины коэффициента демпфирования гасителя γ_r имеют один (кривая 4) или два (кривые 1, 2, 3) максимума, при этом оптимальные значения настройки для кривых 1, 2, 3 соответствуют равенству максимальных ординат резонансных кривых $Y_l(\lambda)$, расположенных слева и справа от резонансной частоты приложения импульсов ($\theta = \omega_0$), а для кривой 4 — минимуму максимальной ординаты ИЧХ

Таблица 1
Результаты неполной оптимизации ДГК при изгибных колебаниях консольного стержня ($\mu_r = 0,025; \mu_0 = 0,2; n = 9$)

γ_r	$\gamma_c = 0,025$			$\gamma_c = 0,1$		
	$s_{\text{опт}}$	Y_l^{\max}	Y^{\max}	$s_{\text{опт}}$	Y_l^{\max}	Y^{\max}
0,10	0,98801	2,503	9,330	0,99593	1,631	5,823
0,15	0,98973	1,996	6,535	0,98973	1,430	4,446
0,20	0,98567	1,751	4,843	0,98567	1,319	3,567
0,25	0,98257	1,636	3,849	0,98257	1,261	2,949
0,292	0,97906	1,610	3,060	0,98029	1,243	2,533
0,35	0,97742	1,675	3,150	0,97777	1,262	2,005
0,375	0,97655	1,751	3,949	0,97697	1,286	2,146

в окрестности основного импульсного резонанса. Отметим, что кривая 3 соответствует оптимальному значению коэффициента демпфирования гасителя ($\gamma_{\Gamma,\text{опт}} = 0,292$), минимизирующему резонансные пики кривой $Y_l(\lambda)$, т.е. отвечает решению задачи полной оптимизации параметров ДГК (при заданных значениях параметров защищаемой конструкции и относительной массы μ гасителя).

ИЧХ колебаний свободного конца стержня при оптимальных значениях настройки и коэффициента неупругого сопротивления гасителя для некоторых значений коэффициента демпфирования стержня представлены на рис. 3. Для сравнения приведем значения наибольших отклонений

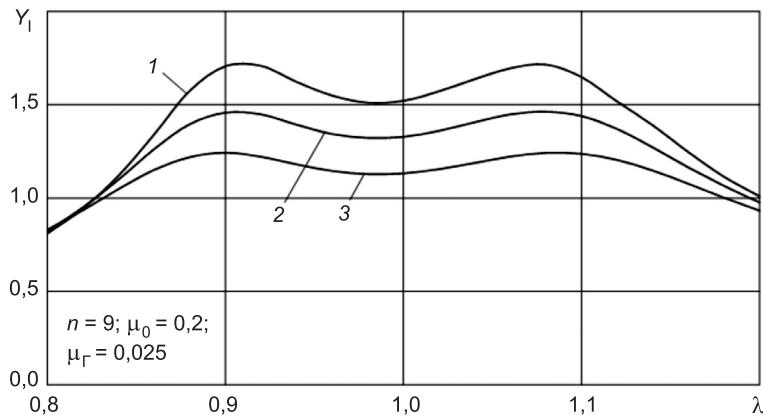


Рис. 3. ИЧХ колебаний свободного конца консольного стержня при оптимальных значениях настройки и демпфирования гасителя

1 — $\gamma_c = 0,01; \gamma_{\Gamma,\text{опт}} = 0,284; s_{\text{опт}} = 0,979217$; 2 — $\gamma_c = 0,05; \gamma_{\Gamma,\text{опт}} = 0,293; s_{\text{опт}} = 0,979501$; 3 — $\gamma_c = 0,1; \gamma_{\Gamma,\text{опт}} = 0,293; s_{\text{опт}} = 0,980292$

свободного конца стержня при отсутствии гасителя: при значениях коэффициента неупругого сопротивления $\gamma_c = 0,01; 0,025; 0,05; 0,1$ они составляют 11,143; 5,835; 3,286; 1,822 соответственно. Возвращаясь к решению задачи неполной оптимизации параметров ДГК, заметим, что с увеличением значений коэффициента γ_Γ максимальные отклонения стержня сначала уменьшаются, а при значениях γ_Γ , больших оптимального ($\gamma_{\Gamma,\text{опт}}$), они возрастают; при этом ход гасителя только уменьшается.

Переходя к решению задачи выбора параметров ударного гасителя колебаний, прежде всего следует отметить, что в данном случае задача полной оптимизации параметров УГК существенно усложняется в связи с увеличением числа параметров ударного гасителя: при фиксированной величине относительной массы гасителя их четыре ($s, \gamma_\Gamma, R, d = D/y_{l,\text{ст}}$), тогда как для ДГК их два (s, γ_Γ). Поэтому ограничимся далее только решением задачи неполной оптимизации параметров УГК, в частности найдем оптимальные значения настройки для некоторых значений коэффициента восстановления, коэффициента неупругого сопротивления стержня и гасителя.

На рис. 4 приведены ИЧХ колебаний свободного конца стержня УГК, соответствующие оптимальным значениям настройки гасителя, найденным из тех же условий, что и параметры динамического гасителя. Заметим, что для резонансной кривой 3 значение коэффициента неупругого сопротивления гасителя $\gamma_\Gamma = 0,25$ близко к оптимальному ($\gamma_{\Gamma,\text{опт}}$). При этом, как следует из рис. 4, при значениях коэффициента $\gamma_\Gamma < \gamma_{\Gamma,\text{опт}}$,

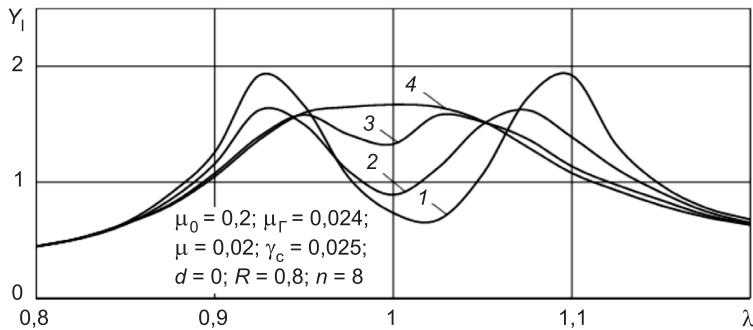


Рис. 4. ИЧХ колебаний свободного конца консольного стержня, снабженного ударным гасителем

1 — $\gamma_r = 0$; $s_{\text{опт}} = 0,5039$; 2 — $\gamma_r = 0,1$; $s_{\text{опт}} = 0,4968$; 3 — $\gamma_r = 0,25$; $s_{\text{опт}} = 0,4918$; 4 — $\gamma_r = 0,35$; $s_{\text{опт}} = 0,4896$

резонансная кривая $Y_l(\lambda)$ имеет в диапазоне $0,8 \leq \lambda \leq 1,2$ два резонансных пика (кривые 1, 2, 3); если УГК передемпфирован ($\gamma_r > \gamma_{r,\text{опт}}$), то ИЧХ имеет в указанном частотном диапазоне один максимум на резонансной частоте (кривая 4).

Некоторые результаты неполной оптимизации параметров ударного гасителя, характеризующие влияние других параметров системы на уровень колебаний защищаемой конструкции и ход массы гасителя, представлены в табл. 2 и 3, где λ^L , λ^R — безразмерные частоты приложения внешних импульсов, соответствующие левому и правому максимумам ИЧХ колебаний свободного конца стержня; при наличии прочерка в одной из этих граф резонансная кривая $Y_l(\lambda)$ имеет только один максимум вблизи значения $\lambda = 1$. Как следует из табл. 2 и 3, силы трения в ударном гасителе, как и в динамическом, повышают его эффективность, однако только при значениях коэффициента восстановления, превышающих его оптимальное значение ($R_{\text{опт}}$) для гасителя без демпфирования [4]. Так, при $R = 0,8$ наибольшие значения отклонений свободного конца стержня при оптимальной величине коэффициента сопротивления ($\gamma_{r,\text{опт}}$) отличаются от соответствующего значения при $\gamma_r = 0$ на 20–30 %.

В заключение отметим, что полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют о том, что эффективность динамического и ударно-

Таблица 2

Оптимальные значения настройки гасителя и максимальные отклонения свободного конца стержня при некоторых значениях коэффициента восстановления при ударе и коэффициентов демпфирования стержня и УГК ($\mu_0 = 0$; $\mu_r = 0,02$; $\mu = 0,02$; $d = 0$; $n = 8$)

R	γ_r	$\gamma_c = 0,025$				$\gamma_c = 0,1$			
		$s_{\text{опт}}$	λ^L	λ^R	Y_l^{\max}	$s_{\text{опт}}$	λ^L	λ^R	Y_l^{\max}
0,4	0,0	0,5013	0,994	—	1,522	0,5026	0,968	1,048	1,096
0,6	0,0	0,5047	0,925	1,093	1,433	0,5060	0,919	1,105	1,030
0,6	0,125	0,4977	0,957	1,054	1,462	0,4980	0,953	1,066	1,039
0,8	0,0	0,5057	0,927	1,112	2,184	0,5068	0,923	1,120	1,249
0,8	0,125	0,4938	0,915	1,098	1,569	0,4951	0,910	1,105	1,082
0,8	0,2	0,4915	0,929	1,067	1,426	0,4920	0,925	1,090	1,034

Таблица 3

Оптимальные значения настройки гасителя, наибольшие отклонения свободного конца стержня и ход гасителя для некоторых значений коэффициента восстановления, относительной массы и коэффициента демпфирования гасителя ($\gamma_c = 0,025$; $d = 0$; $n = 8$)

R	γ_Γ	$\mu_\Gamma = 0,02; \mu_0 = 0$			$\mu_\Gamma = 0,024; \mu_0 = 0,2$		
		$s_{\text{опт}}$	Y_l^{\max}	Y^{\max}	$s_{\text{опт}}$	Y_l^{\max}	Y^{\max}
0,6	0,00	0,5047	1,43	11,57	0,5039	1,52	13,13
	0,05	0,5022	1,40	10,07	0,4984	1,58	12,33
	0,10	0,4993	1,43	9,42	0,4944	1,67	11,87
	0,15	0,4970	1,48	9,00	0,4925	1,75	11,56
	0,20	0,4965	1,56	8,86	0,4908	1,83	11,29
	0,25	0,4976	1,66	8,74	0,4892	1,90	11,12
	0,30	0,4997	1,76	8,60	0,4892	1,99	10,88
	0,35	0,5009	1,84	8,48	0,4885	2,08	10,67
0,8	0,00	0,5057	2,18	20,88	0,5039	1,90	23,34
	0,05	0,4996	1,83	16,93	0,5002	1,70	18,18
	0,10	0,4964	1,61	13,93	0,4968	1,62	15,98
	0,15	0,4937	1,48	11,71	0,4940	1,56	14,02
	0,20	0,4915	1,43	10,39	0,4922	1,54	12,65
	0,25	0,4902	1,44	9,36	0,4918	1,58	11,50
	0,30	0,4929	1,53	9,24	0,4898	1,65	11,43
	0,35	0,4940	1,62	9,10	0,4896	1,77	11,23

го гасителей колебаний при действии периодических импульсивных нагрузок в режиме основного резонанса достаточно высока, при этом она лишь немногим ниже, чем при гармоническом воздействии [2, 4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамический расчет зданий и сооружений : справ. проектировщика [Текст] / под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. — М. : Стройиздат, 1984. — 303 с.
2. Коренев, Б.Г. Динамические гасители колебаний: Теория и технические приложения [Текст] / Б.Г. Коренев, Л.М. Резников. — М. : Наука, 1988. — 304 с.
3. Рекомендации по проектированию гасителей колебаний для защиты зданий и сооружений, подверженных горизонтальным динамическим воздействиям от технологического оборудования и ветра [Текст]. — М. : Стройиздат, 1978. — 68 с.
4. Дукарт, А.В. Задачи теории ударных гасителей колебаний [Текст] / А.В. Дукарт. — М.: ACB, 2006. — 208 с.

ДУКАРТ Адам Вилебалльдович, д-р техн. наук, проф.
*Московский государственный строительный университет
ФАМ Вьет Нгок, асп.*
*Московский государственный строительный университет
ФАМ Тхань Бинь, асп.*
Московский государственный строительный университет

Получено 30.07.12

Dukart Adam Vilebaldovich, doctor of technical sciences, professor, Moscow State University of Civil Engineering, Russia
Pham Viet Ngoc, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

PhamThanhBinh, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

ON EFFICIENCY OF DYNAMIC AND IMPACT ABSORBERS FOR FLEXURAL VIBRATIONS OF BARS, CAUSED BY PERIODIC IMPULSES

Flexural vibrations of a cantilever bar of permanent cross section with a concentrated mass and dynamic or impact absorber on the free end at action of periodic instantaneous impulses are considered. It is assumed that the bar possesses disproportionate damping which is taken into account on the hypothesis of frequency-independent friction by E.S. Sorokin. The efficiency of the absorbers depending on the varying frequency of the impulses is studied.

Key words: cantilever bar, periodic impulses, vibration absorber, frequency-independent friction, stationary vibrations, absorber tuning, absorber damping.

REFERENCES

1. Dynamic analysis of buildings and structures : designer's handbook [Text] / ed. by B.G. Korenev, I.M. Rabinovich. — M. : Stroyizdat, 1984. — 303 p.
 2. Korenev, B.G. Dynamic vibration dampers: Theory and engineering applications [Text] / B.G. Korenev, L.M. Reznikov. — M. : Nauka, 1988. — 304 p.
 3. Instructions for design of absorbers for buildings and structures subject to horizontal dynamic influences produced by technological equipment and wind [Text]. — M. : Stroyizdat, 1978. — 68 p.
 4. Dukart, A.V. Problems of theory impact vibration damper [Text] / A.V. Dukart. — M. : ASV, 2006. — 208 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.54.004.4

Г.И. БЕРДОВ, Л.В. ИЛЬИНА

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЮМИНАТНЫХ КЛИНКЕРНЫХ МИНЕРАЛОВ С ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Исследовано взаимодействие алюминатных клинкерных минералов (C_3A и C_4AF) с водными растворами солей, кислот, щелочей с концентрацией от 0,01 до 0,1 М. Определен выход ионов кальция в раствор из минералов и изменение pH раствора. Установлено, что действие растворов солей с зарядом катиона, равным 3, приводит к замедлению появления гидратных новообразований и сохранению структуры минералов.

Ключевые слова: портландцементный клинкер, нормальное хранение, гранулометрический анализ, механическая прочность, минеральные добавки.

Свойства цемента, в первую очередь его гидратационная активность, определяются комплексом факторов, таких как химический, минералогический и вещественный состав, дефектность структуры клинкерных минералов, морфология кристаллов, тонкость помола [1, 2]. Эти факторы обусловливают протекание химических процессов гидрообразования и физических процессов структурообразования, взаимодействующих и взаимовлияющих в комплексном процессе твердения цемента и набора прочности цементным камнем.

Портландцемент является многофазным, полиминеральным материалом. Для регулирования взаимодействия с водой часто используют добавки электролитов. При этом ионы электролитов взаимодействуют с клинкерными минералами. Данный процесс определяется особенностями структуры последних.

Для цементных минералов характерны многочисленные и разнообразные изоморфные замещения. К числу особенностей изоморфизма клинкерных минералов можно отнести следующие [3]:

— в их решетках могут размещаться различные примеси (ионы Na , K , Mn , Cr , Ti , P и др.), замещающие элементы структуры;

— могут проявляться замещения радикалов (например, $[SiO_4]^{4-} \leftrightarrow [GeO_4]^{4-}$);

— атомы Ca , Al , Fe и Si способны к замене атомами других элементов.

Каждый минерал в состоянии включать в решетку лишь определенное количество примесей в соответствии с особенностями своего строения. Так, марганец распределяется только в алюмоферритной фазе. В ней же, в основном, содержится титан. В природных и клинкерных минералах наиболее распространен гетеровалентный изомор-

физм. При этом важную роль в структуре минералов играют пустоты. В них могут размещаться ионы, необходимые для компенсации заряда (C_3A) [3, 4].

Образование твердых растворов алюмоферритов кальция происходит прежде всего путем замещения тетраэдрически координированного иона Fe^{3+} на Al^{3+} до значения $Al_2O_3/Fe_2O_3 = 0,33$. В качестве изоморфных примесей в алюмоферритах кальция могут находиться магний, кремний, титан, марганец, хром. Трехкальциевый алюминат образует твердые растворы с оксидами Fe , Mg , Si , K , Ti , Na . В решетке $3CaO \times Al_2O_3$ ионы Al^{3+} могут быть замещены ионами Si^{4+} . Возможны также замещения $Al^{3+} \rightarrow Fe^{3+}$; $Ca^{2+} \rightarrow 2Na^+$; $Ca^{2+} + 2Al^{3+} \rightarrow 2Si^{4+}$ и Al^{3+} на Ti^{4+} , V^{5+} , Cr^{3+} , Mn^{3+} . Последние ионы играют в решетке роль, аналогичную роли ионов Fe^{3+} [3]. При размещении примесей в решетках клинкерных минералов прежде всего заполняются наиболее удобные кристаллохимические позиции. Так, Mg^{2+} , Mn^{3+} (Mn^{2+}), Ti^{4+} , Si^{4+} главным образом сосредоточиваются в алюмоферритной фазе. Na^+ и K^+ входят в структуру алюминатов благодаря замещению Ca^{2+} . Октаэдрические позиции Al^{3+} в решетке C_3A занимают ионы Fe^{3+} [4].

В данной работе приведены результаты исследования взаимодействия с растворами солей алюминатных клинкерных минералов C_3A и C_4AF , полученных с Подольского опытного завода. При выполнении экспериментов активное участие принял кандидат технических наук О.С. Мадзаева.

Таблица 1

Изменение рН растворов электролитов и содержание в них ионов Ca^{2+} при взаимодействии с C_3A

Соединение, находящееся в растворе	Концентрация раствора, моль/л	рН раствора			Содержание в растворе ионов Ca^{2+} , ммоль-экв/г	
		исходного	после взаимодействия с C_3S в течение			
			5 мин при 20 °C	60 мин при 100 °C		
NaCl	0,01	6,3	12,4	11,9	0,38	
	0,05	6,1	12,1	11,8	0,38	
	0,10	6,0	12,1	11,9	0,30	
KCl	0,01	5,9	12,2	12,0	0,43	
	0,05	6,1	11,8	12,0	0,45	
	0,10	6,5	11,8	12,1	0,18	
NaOH	0,01	12,2	11,8	11,9	0,23	
	0,05	12,6	12,3	12,5	0,13	
	0,10	12,8	12,6	12,7	0,00	
$AlCl_3$	0,01	3,9	11,3	11,5	0,80	
	0,05	3,6	4,4	11,7	2,75	
	0,10	3,2	3,9	5,4	5,10	
$FeCl_3$	0,01	2,4	11,8	11,4	0,88	
	0,05	2,0	4,7	10,9	2,75	
	0,10	1,8	2,9	8,7	6,62	
$CrCl_3$	0,01	3,2	11,7	11,4	1,05	
	0,05	2,8	4,8	10,8	2,50	
	0,10	2,7	3,4	9,7	6,50	

Удельная поверхность клинкерных минералов около $300 \text{ м}^2/\text{кг}$. Изучалось их взаимодействие с водой и растворами солей, имеющих разные катионы. В качестве таковых взяты хлориды, хорошо растворимые в воде. У выбранных солей заряд катиона был равен +1 (Na^+ , K^+) и +3 (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}). Молярность раствора составляла 0,01; 0,05 и 0,1 М. Для сравнения исследовалось действие на клинкерные минералы дистиллированной воды; растворов соляной кислоты, имеющих молярность 0,0001; 0,001; 0,01 и 0,1 М; растворов гидроксида натрия с молярностью 0,01; 0,05 и 0,1 М. Навеска минерала или цемента массой 1 г взаимодействовала с исследуемым раствором, объем которого составлял 50 мл.

Так как протекание физико-химических процессов при взаимодействии твердых веществ с растворами зависит от температуры, эксперименты проводились при 20 и 100 °С. Оценивалось изменение pH растворов в результате взаимодействия с клинкерными минералами. После взаимодействия минералов с растворами трилонометрически устанавливалось содержание ионов Ca^{2+} в растворе (ммоль-экв на 1 г минерала). Определялось также изменение структуры клинкерных минералов после взаимодействия. Раствор фильтровался, и твердый остаток высушивался на воздухе. Затем снимались рентгенограммы на установке ДРОН-3. Полученные результаты состоят в следующем.

Трехкальциевый алюминат (C_3A). При действии воды на C_3A начальное значение pH, равное 6,0, возрастает после 5 мин взаимодействия при комнатной температуре до 12,2. Кипячение навески C_3A в течение 1 ч не приводит к дальнейшему росту pH. Содержание ионов Ca^{2+} в воде примерно такое же, что и в случае $\beta\text{-C}_2\text{S}$, и составляет 0,19 ммоль-экв/г (табл. 1). При действии 0,01; 0,05; 0,1 М растворов NaCl и KCl содержание в них ионов Ca^{2+} близко к тому, которое соответствует действию 0,0001 М раствора HCl . С увеличением концентрации растворов отмечается тенденция к снижению содержания в них ионов Ca^{2+} .

Действие гидроксида натрия, как и в случае C_3S и $\beta\text{-C}_2\text{S}$, приводит к уменьшению содержания ионов Ca^{2+} в растворе. При действии 0,1 М раствора NaOH этот выход равен нулю, т.е. процесс подавляется. Действие 0,01; 0,05 и 0,1 М растворов AlCl_3 , FeCl_3 , CrCl_3 способствует зна-

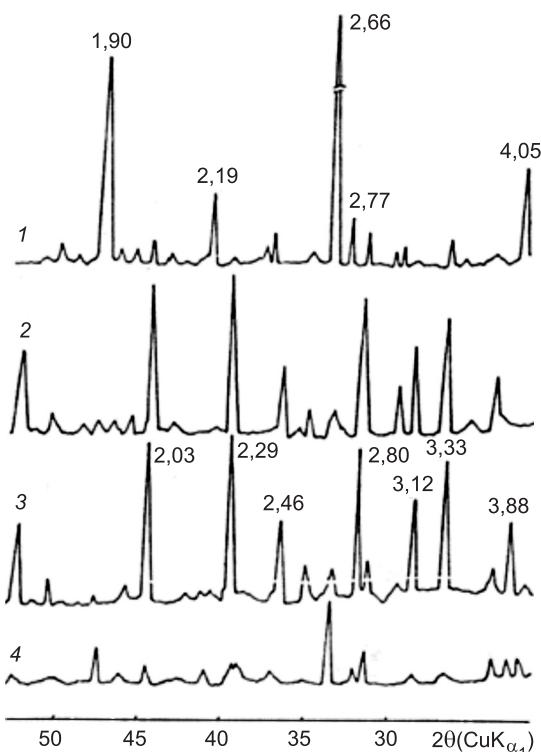


Рис. 1. Дифрактограмма образцов C_3A
1 — в исходном состоянии; после 40-минутного взаимодействия при 20 °С; 2 — с водой; 3 — 0,1 М раствором HCl ; 4 — 0,1 М раствором CrCl_3 (θ -град., межплоскостные расстояния, 10^{-10} м)

чительному выходу ионов Ca^{2+} из C_3A (см. табл. 1). Однако получаемые при этом значения гораздо меньше, чем в случае взаимодействия с растворами C_3S или $\beta\text{-C}_2\text{S}$.

Дифрактограммы показывают существенно иные изменения структуры минерала, чем в случае C_3S и $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (рис. 1). После взаимодействия с водой и 0,1 М раствором HCl при 20 °C через 40 мин наблюдаются почти полное исчезновение рефлексов C_3A на дифрактограммах и появление многочисленных пиков новообразований. При действии 0,1 М раствора CrCl_3 , напротив, рефлексы C_3A сохраняются, хотя и значительно ослабляются при увеличении длительности или температуры взаимодействия. Рефлексы новообразований незначительны. Таким образом, введение в раствор трехзарядного иона в случае C_3A способствует сохранению структуры минерала и затруднению его взаимодействия с водой.

Четырехкальциевый алюмоферрит (C_4AF). При взаимодействии с водой в течение 5 мин при 20 °C значение pH увеличивается с 6,0 до 11,7. После кипячения в течение 1 ч навески C_4AF происходит дальнейшее возрастание pH до значения 12,1. Содержание ионов Ca^{2+} в растворе составляет 0,13 ммоль-экв/г (табл. 2).

Таблица 2

Изменение pH растворов электролитов и содержание в них ионов Ca^{2+} при взаимодействии с C_4AF

Соединение, находящееся в растворе	Концентрация раствора, моль/л	pH раствора			Содержание в растворе ионов Ca^{2+} , ммоль-экв/г
		исходного	после взаимодействия с C_3S в течение 5 мин при 20 °C	60 мин при 100 °C	
HCl	—	6,0	11,7	12,1	0,13
	0,0001	3,7	11,0	12,0	0,30
	0,001	3,1	12,7	12,0	0,35
	0,01	2,1	6,6	11,9	0,59
	0,1	1,1	2,5	11,1	2,63
NaCl	0,01	6,3	11,9	12,0	0,38
	0,05	6,1	11,9	11,9	0,38
	0,10	6,0	11,8	11,9	0,25
KCl	0,01	5,9	11,8	12,1	0,33
	0,05	6,1	12,0	11,7	0,33
	0,10	6,5	11,2	12,2	0,20
NaOH	0,01	12,2	11,9	12,3	0,25
	0,05	12,6	12,4	12,6	0,10
	0,10	12,8	12,6	12,8	0,05
AlCl_3	0,01	3,9	5,5	11,4	1,40
	0,05	3,6	3,8	4,3	1,50
	0,10	3,2	4,1	5,0	2,18
FeCl_3	0,01	2,4	2,7	11,6	1,13
	0,05	2,0	3,0	7,5	3,50
	0,10	1,8	3,1	4,0	5,75
CrCl_3	0,01	3,2	4,5	11,5	0,75
	0,05	2,8	4,1	10,0	3,05
	0,10	2,7	3,1	3,8	5,50

С увеличением концентрации растворов NaCl и KCl содержание ионов Ca^{2+} имеет тенденцию к уменьшению. В случае растворов солей с зарядом катиона +3 (AlCl_3 , FeCl_3 , CrCl_3) содержание ионов Ca^{2+} в результате взаимодействия с C_4AF достаточно высоко, но рост его при увеличении концентрации растворов от 0,01 до 0,1 М происходит медленно.

Рентгенофазовый анализ показывает, что изменение структуры C_4AF при действии воды, 0,1 М растворов HCl и CrCl_3 имеет достаточно много общего с изменениями структуры C_3A , но существенно отличается от изменения структуры C_3S или $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (рис. 2). Действие воды и 0,1 М раствора HCl приводит к тому, что рефлексы, характерные для исходного материала, исчезают, появляются пики новообразований. Действие же 0,1 М раствора CrCl_3 обусловливает сохранение рефлексов, соответствующих исходной структуре C_4AF (хотя и уменьшенных по интенсивности).

Обсуждение результатов. Рассматривая взаимодействие твердых веществ с водой, можно к числу наиболее важных процессов отнести следующие:

- гидратацию и гидролиз соединений, входящих в состав твердых материалов;
- образование заряженных слоев на границе раздела фаз «твёрдое тело — жидкость»;
- ионообменные взаимодействия твердого тела с растворенными соединениями.

На поверхности минеральных дисперсных строительных материалов при взаимодействии с водой возникает электрический заряд. При этом поверхность силикатных минералов, в том числе C_3S и C_2S , оказывается заряженной отрицательно, а алюминатных минералов (C_3A и C_4AF) — положительно¹.

В случае C_3A и C_4AF положительный заряд поверхности на границе с жидкой фазой связывают с ионами Ca^{2+} , координирующимися вокруг продуктов взаимодействия минералов с водой. Так, образующиеся при гидратации C_3A соединения можно рассматривать как комплексные, со-

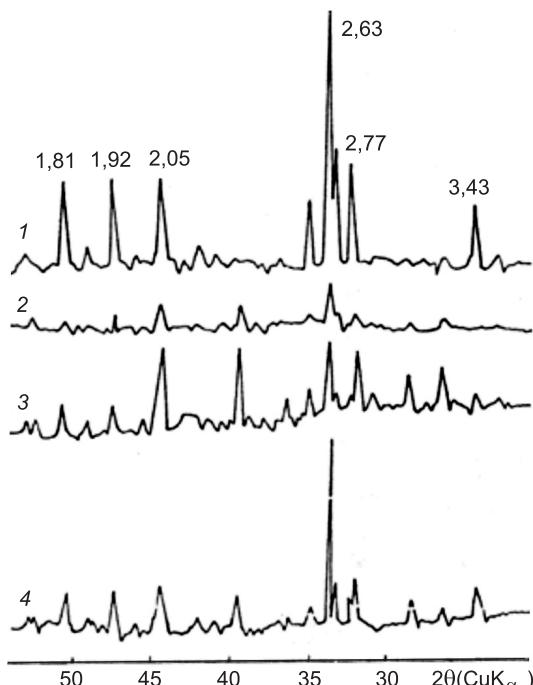


Рис. 2. Дифрактограмма образцов C_4AF

1 — в исходном состоянии; после 40-минутного взаимодействия при 20 °С; 2 — с водой; 3 — 0,1 М раствором HCl ; 4 — 0,1 М раствором CrCl_3 (θ-град., межплоскостные расстояния, 10^{-10} м)

¹ Старосельский А.А., Ольгинский А.Г., Спирин Ю.А. Электротехнические свойства цементного камня // VI Междунар. конгр. по химии цемента. М.: Стройиздат, 1976. Т. 2, кн. 2. С. 192–195.

держащие во внутренней сфере молекулы воды $[Al(OH)_4 \cdot (H_2O)_2]^-$. Располагающиеся около них ионы Ca^{2+} во внешней сфере создают избыточный заряд на поверхности твердой фазы. По мере развития процесса гидратации и возрастания в жидкой фазе концентрации ионов происходит замещение ими во внутренней сфере молекул воды, что приводит к понижению величины электрокинетического потенциала¹.

Различие в знаках электрокинетического потенциала поверхности частиц C_3A , C_4AF по сравнению с C_3S и C_2S обуславливает иной характер влияния катионов раствора на структуру минералов.

Ионный обмен между твердым телом и раствором может быть как изовалентным, так и гетеровалентным. При гетеровалентном изоморфизме важным условием является компенсация заряда кристаллической решетки. Гетеровалентный изоморфизм осуществляется в соответствии с рядами, расположенными по диагоналям Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Компенсация зарядов обеспечивается за счет числа обменивающихся ионов и сопровождается возникновением в кристаллической решетке вакансий или внедрением в нее дополнительных катионов. При этом ионы с более высокими зарядами легче входят в кристаллическую решетку, чем ионы с меньшим зарядом взамен многозарядных.

В случае C_3A и C_4AF за счет гетеровалентного обмена $3Ca^{2+} \leftrightarrow 2Al^{3+}$ (Cr^{3+} , Fe^{3+}) может происходить входжение в кристаллическую решетку ионов Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , которые, координируясь с расположенными в ней ионами Al^{3+} , могут упрочнять их связи и замедлять взаимодействие минерала с водой.

Таким образом, действие катионов на процесс гидратации и структуру алюмосиликатных и силикатных клинкерных минералов существенно различается. Основную роль в случае портландцемента будут играть силикатные минералы (C_3S и C_2S), присутствующие в преобладающем количестве. Вместе с тем для цементов различного минералогического состава влияние алюмосиликатных фаз может заметно проявляться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горчаков, Г.И. Строительные материалы [Текст] / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1986. — 688 с.
2. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. — М. : Высш. шк., 1989. — 384 с.
3. Бойкова, А.И. Твердые растворы цементных минералов [Текст] / А.И. Бойкова. — Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. — 100 с.
4. Бойкова, А.И. Изоморфные примеси в решетках клинкерных фаз — главный фактор их химической активации [Текст] / А.И. Бойкова // Цемент. — 1986. — № 9. — С. 3–7.

БЕРДОВ Геннадий Ильич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ИЛЬИНА Лилия Владимировна, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 09.07.12

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

INTERACTION ALUMINATE CLINKER MINERALS FROM AQUEOUS ELECTROLYTE SOLUTION

The interaction between aluminate clinker minerals (C_3A and C_4AF) with aqueous solutions of salts, acids, alkalis, with a concentration of 0,01 to 0,1 M. Detected output of calcium ions in the solution of minerals and pH change of the solution. Found that the effect of salt solutions with the charge of the cation to 3 leads to a slowing of hydrate occurrence of neoplasms and preservation of the minerals.

Key words: portland cement clinker, the normal storage, grain size analysis, mechanical strength and mineral supplements.

REFERENCES

1. Gorchakov, G.I. Construction materials [Text] / G.I. Gorchakov, Yu.M. Bazhenov. — M. : Stroyizdat, 1986. — 688 p.
 2. Kuznetsova, T.V. Physical chemistry of binders [Text] / T.V. Kuznetsova, I.V. Kudryashov, V.V. Timashev. — M. : Higher School, 1989. — 384 p.
 3. Boikova, A.I. Solid solutions of cement minerals [Text] / A.I. Boikova. — L. : Nauka. Leningrad. dep., 1974. — 100 p.
 4. Boikova, A.I. Isomorphic impurities in lattices of clinker phases — the main factor of their chemical activation [Text] / A.I. Boikova // Cement. — 1986. — N 9. — P. 3–7.
-

УДК 691.327:539.4

О.М. СМИРНОВА

**ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА
С ДОБАВКАМИ НА ПОЛИКАРБОКСИЛАТНОЙ ОСНОВЕ
ОТ СВОЙСТВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА
ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ**

Даны рекомендации по расходам пластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов, гранулометрическому и химико-минералогическому составу портландцементов с целью значительного снижения его расхода и обеспечения требуемой прочности бетона после тепловлажностной обработки при температуре изотермической выдержки 40 °C.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сборный железобетон, пластифицирующие добавки на основе эфиров поликарбоксилатов, портландцемент, гранулометрический состав портландцемента, тепловлажностная обработка.

Повышению ранней прочности бетона может способствовать применение пластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов. Быстрое твердение бетона дает возможность получать требуемую отпускную или передаточную прочность после тепловлажностной обработки (ТВО) при снижении температуры изотермической выдержки и расхода портландцемента по сравнению с бетоном без добавок. При этом необходимо учитывать совместимость портландцемента и добавок. В области производства сборного предварительно напряженного железобетона под вопросом совместимости портландцементов с добавками на основе эфиров поликарбоксилатов следует понимать влияние свойств портландцемента на водоредуцирующее действие добавок, сохранение подвижности бетонной смеси, почасовую кинетику набора ранней прочности бетона.

Значительное снижение расхода воды в равноподвижных смесях при введении небольшого расхода добавки на основе эфиров поликарбоксилатов ускоряет гидратацию портландцемента. Опубликованные работы по изучению водоредуцирующего действия таких добавок можно разделить по следующим направлениям: влияние химико-минералогического состава и тонкости помола цемента [1]; вида и расхода минеральной добавки [2]; химической основы пластифицирующей добавки, структуры ее молекул, скорости адсорбции добавок на гидратирующихся цементных зернах [3]. Недостаточно исследованы эти вопросы для жестких бетонных смесей.

В данной работе поставлена задача определения изменений в расходе пластифицирующей добавки на поликарбоксилатной основе или воды в жестких бетонных смесях, а также в прочностных показателях бетона после ТВО продолжительностью 12 ч с пониженной температурой изотермической выдержки при изменениях в исходных свойствах портландцемента. ТВО продолжительностью 12 ч применяют в производстве сборного железобетона с двукратной оборачиваемостью форм в сутки. Сни-

жение температуры изотермической выдержки способствует улучшению эксплуатационных характеристик бетона.

В исследованиях использованы портландцементы ПЦ500-Д0-Н шести российских заводов-производителей, соответствующие ГОСТ 30515-97 «Цементы. Общие технические условия» и портландцементы ЦЕМ I 42,5Н двух заводов, соответствующие ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия». Портландцементы имели содержание $C_3S = 59,1\text{--}66,4\%$; $C_3A = 4,1\text{--}9,9\%$; $R_2O = 0,52\text{--}1,15\%$. В качестве добавок были выбраны пластифицирующие добавки на основе эфиров поликарбоксилатов, способствующие повышению ранней прочности бетона, которые были обозначены как ПК1, ПК2. В качестве заполнителей использован песок и щебень в соответствии с ГОСТ 8736-93 и ГОСТ 8267-93. За контрольный был принят состав бетона класса В40, применяемый в производстве сборного предварительно напряженного железобетона при двукратной оборачиваемости форм в сутки и температуре изотермической выдержки 80 °С. Жесткость бетонных смесей составляла 18–20 с.

При исследовании применялись методы: анализ гранулометрического состава частиц цемента (лазерный дифракционный анализатор размера частиц MicroSizer 201), термокинетический анализ (микрокалориметр типа Кальве). Кинетика набора пластической прочности цементного теста изучена с помощью конического пластометра по методике П.А. Ребиндера [4]. Испытания проводились с интервалом погружения конуса, равным 30 мин. В качестве критерия использовалась величина предельного напряжения сдвига (пластической прочности) в МПа, определяемая из выражения:

$$P_m = K \frac{Fg}{100\,000h^2}, \quad (1)$$

где F — нагрузка, г;

h — глубина погружения конуса, см, $h = 1$ см;

K — коэффициент, зависящий от угла конуса при вершине, при 45° $K = 0,656$.

Результаты определения пластической прочности, возрастающей по мере формирования структуры, выражаются графически в виде пластограммы, на которой можно различить два характерных участка: начальный период формирования коагуляционной структуры (индукционный период) и период быстрого роста пластической прочности, т.е. переход в коагуляционно-кристаллизационную структуру.

Водореуцирующее действие добавок оценивалось по формуле:

$$B_d = (B/\bar{C}_{np} - B/\bar{C}_{pl})/B/\bar{C}_{np} \times 100\%, \quad (2)$$

где B/\bar{C}_{np} , B/\bar{C}_{pl} — водоцементное отношение соответственно непластифицированной и пластифицированной бетонной смеси.

Производство сборного железобетона с добавками значительно снижает расход портландцемента за счет введения добавки, поэтому выбору портландцемента необходимо уделять большое внимание.

Сравнение гранулометрических составов портландцементов показало, что зерен цемента размером менее 2, 3, 5 и 10 мкм в ПЦ-1, ПЦ-2, ПЦ-3 и ПЦ-4 содержится меньше, чем в остальных цементах (таблица).

При изучении кинетики набора пластической прочности установлено, что портландцементы, имеющие более короткий первый (индукционный) период твердения и более интенсивный набор пластической прочности во втором периоде твердения, содержали повышенное количество

Гранулометрический состав портландцементов, %

Цемент	Содержание зерен размером менее, мкм					
	2	3	5	10	16	32
ПЦ-1	7,2	9,9	15,9	25,7	37,8	59,6
ПЦ-2	6,3	8,6	14,1	23,7	48,8	68,9
ПЦ-3	9,7	13,6	20,2	33,8	44,2	71,6
ПЦ-4	9,0	12,5	19,8	36,7	47,1	72,6
ПЦ-5	14,8	20,8	28,7	42,9	51,3	70,7
ПЦ-6	11,6	16,6	23,7	38,6	49,2	75,2
ПЦ-7	6,6	11,5	24,0	38,9	45,8	71,0
ПЦ-8	13,9	19,7	27,4	42,2	51,8	73,8

зерен размером менее 10 мкм, которое составляло 36–42 % (рис. 1). Применение таких портландцементов позволяет сокращать продолжительность предварительной выдержки бетона перед ТВО.

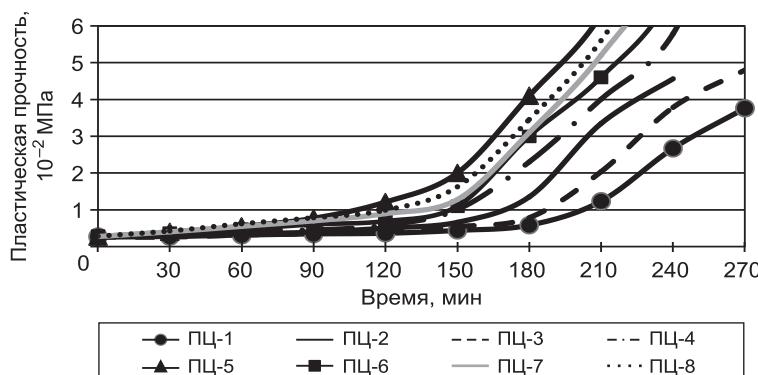


Рис. 1. Влияние вида портландцемента на кинетику набора пластической прочности равноподвижного цементного теста

Установлено, что передаточную прочность бетона класса В40 (34,9 МПа) после ТВО продолжительностью 12 ч с температурой изотермической выдержки, равной 40 °С, можно получить на портландцементах с содержанием зерен размером менее 3 мкм в пределах 17–21 % (рис. 2).

Как показали дальнейшие эксперименты, не всегда высокое значение прочности бетона на портландцементах, содержащих установленное количество частиц тонких фракций, является характеристикой, позволяющей гарантировать высокую раннюю прочность бетона на этих портландцементах с добавками на основе эфиров поликарбоксилатов. Водореду-

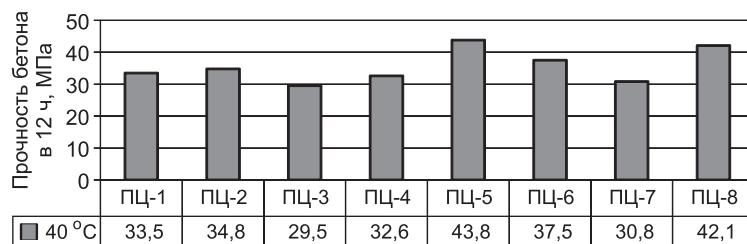


Рис. 2. Прочность бетона после ТВО в зависимости от вида портландцемента и температуры изотермической выдержки

цирующее действие добавок на основе эфиров поликарбоксилатов в жестких бетонных смесях зависит от химико-минералогического состава портландцемента. С увеличением в портландцементе содержания C_3A происходит уменьшение водоредуцирующего действия добавок (рис. 3). Содержание SO_3 и щелочных металлов в цементах ПЦ-1, ПЦ-2, ПЦ-3 было приблизительно одинаковое, поэтому их влиянием на пластифицирующее действие добавок можно пренебречь.

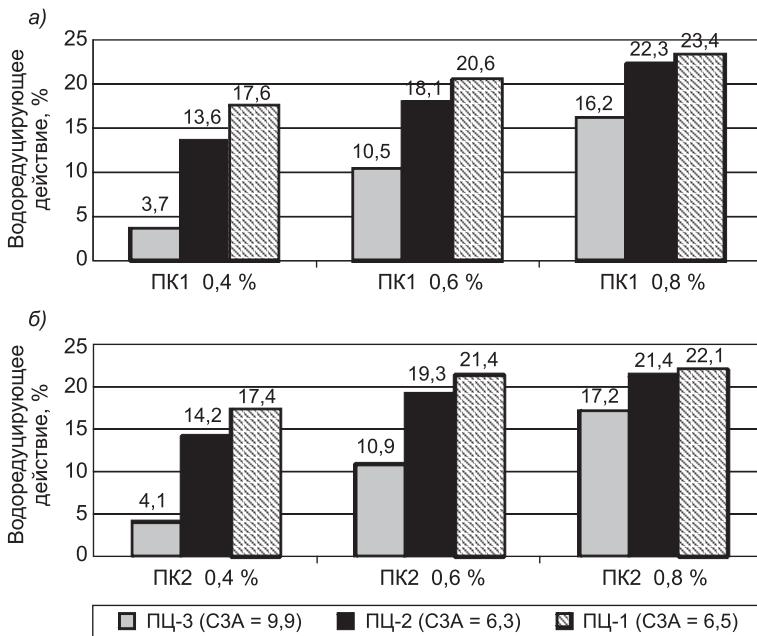


Рис. 3. Водоредуцирующее действие добавки ПК1 (а) и ПК2 (б) в зависимости от вида цемента

Снижение расхода воды в пределах 16–17 % было получено в бетонных смесях на портландцементе с $C_3A = 6,5$ при введении 0,4 % добавки и на портландцементе с $C_3A = 9,9$ при введении 0,8 % добавки. Следует отметить, что с повышением расхода добавок уменьшается различие между их водоредуцирующим действием. При введении этих добавок в количестве 0,6 % и более наблюдалось значительное замедление набора прочности бетона на всех портландцементах, что не позволило получить требуемую прочность бетона после ТВО в течение 12 ч.

Существуют и другие факторы, помимо содержания C_3A , определяющие недостаточное снижение водопотребности жестких бетонных смесей при введении добавок на основе поликарбоксилатов. На портландцементах с содержанием щелочных металлов в пересчете на оксид натрия ($R_2O = Na_2O + 0,658K_2O$) в пределах 0,79–1,15 % отмечалась быстрая потеря удобоукладываемости бетонных смесей с добавками через 8–15 мин от момента затворения. В то время как в равножестких бетонных смесях на этих портландцементах без добавок быстрой потери удобоукладываемости не наблюдалось. Это согласуется с данными, полученными при исследовании тепловыделения цементного теста с добавкой ПК1 (0,4 %) с помощью термокинетического анализа (рис. 4, 5).

Показано влияние содержания щелочных металлов в цементах на величину первого экзоэффекта. В цементном teste на ПЦ-2 ($R_2O = 0,55$) он наступает через 3–5 мин, т.е. практически в период приготовления

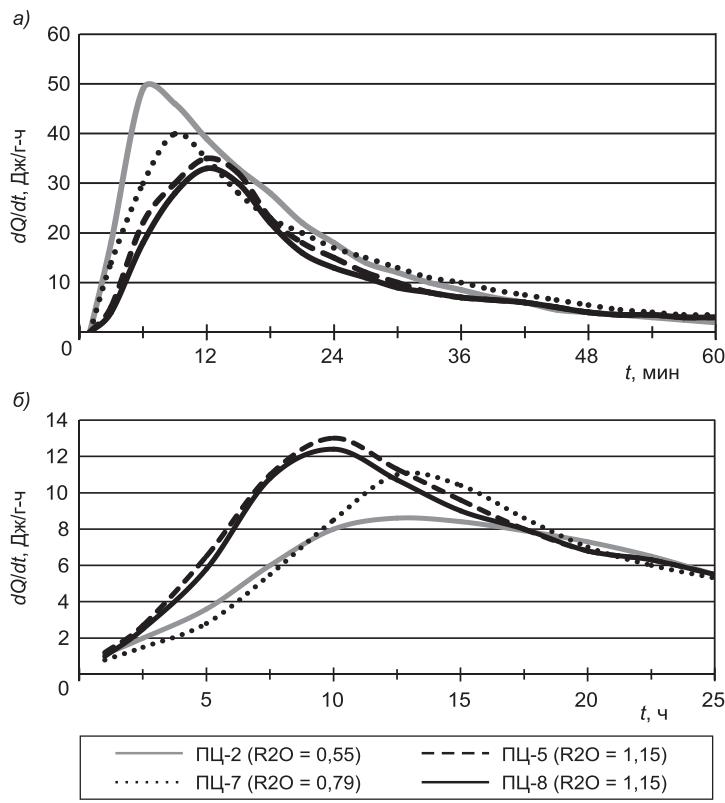


Рис. 4. Скорость тепловыделения цементов в течение 60 мин (а) и 25 ч (б) гидратации

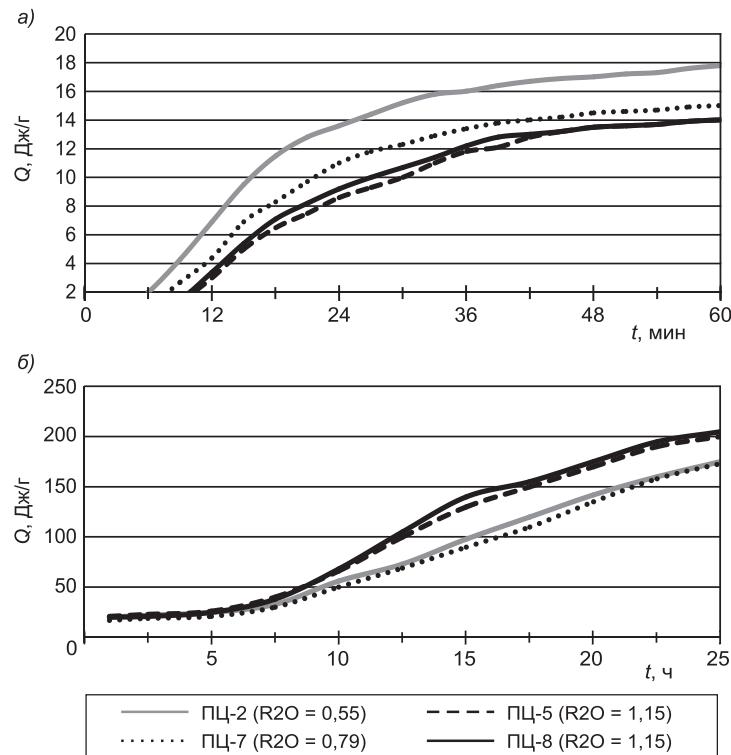


Рис. 5. Суммарное тепловыделение цементов в течение 60 мин (а) и 25 ч (б) гидратации

бетонной смеси. При увеличении содержания щелочных металлов в цементах до $R_2O = 1,15$ он появляется через 8–12 мин. Согласно Г. Вербеку тепловыделение пропорционально количеству новообразований, следовательно, в случае портландцементов с повышенным содержанием щелочных металлов происходит интенсивный рост новообразований и наблюдается быстрая потеря подвижности бетонной смеси. Второй экзоэффект наступил на цементах ПЦ-5 и ПЦ-8 раньше, чем на остальных цементах, что согласуется с данными о более высокой прочности бетона на этих цементах в возрасте 12 ч.

Для того чтобы избежать потери подвижности жесткой бетонной смеси с добавками на основе эфиров поликарбоксилатов на портландцементах, содержащих повышенное количество щелочных металлов, необходимо вводить воду затворения в два приема, при этом добавку вводить со второй частью воды и увеличивать продолжительность перемешивания на 1–2 мин. При отсутствии возможности введения воды в два приема увеличивать ее количество на 5–7 %.

Однако увеличение количества воды затворения привело к снижению прочности бетона, изготовленного на портландцементах с содержанием щелочных металлов в пределах $R_2O = 0,79–1,15$ и добавок на основе эфиров поликарбоксилатов. В связи с этим, несмотря на то, что бетоны на портландцементах ПЦ-5 и ПЦ-8 имели более тонкий помол и показали высокую прочность после ТВО продолжительностью 12 ч с изотермийей 40 °C (см. рис. 2), использование добавок не позволило получить значительную экономию портландцемента (рис. 6).

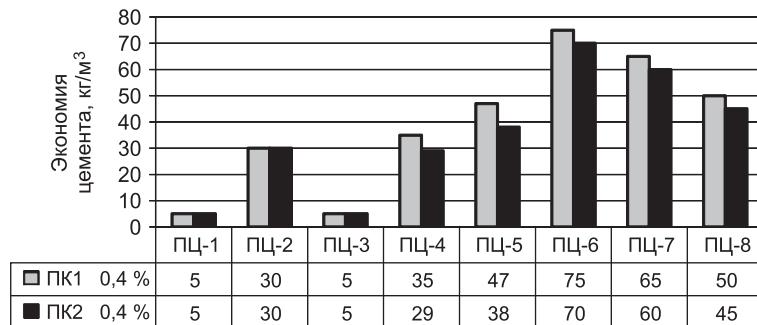


Рис. 6. Снижение расхода портландцемента после ТВО

Таким образом, по результатам исследований восьми портландцементов видно, что для обеспечения эффективного водоредуцирующего действия добавок на основе эфиров поликарбоксилатов и исключения быстрой потери подвижности жестких бетонных смесей, необходимо обращать внимание на содержание C_3A и R_2O в портландцементах. Высокое снижение расхода портландцемента за счет введения пластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов получено в бетоне на портландцементах ПЦ-6 и ПЦ-7, имеющих схожий химико-минералогический состав с ПЦ-2, но отличающихся более высоким содержанием зерен цемента тонких фракций.

Выходы. Результаты исследования могут быть использованы в производстве сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций с добавками на основе эфиров поликарбоксилатов на технологических линиях с двукратной оборачиваемостью форм в сутки. Обеспече-

чить высокое водоредуцирующее действие этих добавок при их небольших расходах в жестких бетонных смесях можно за счет учета влияния химико-минералогического состава портландцемента. При расходе добавок, равном 0,4 %, отмечалась наибольшая зависимость их водоредуцирующего действия от содержания С₃А в портландцементе, а с повышением расхода добавок уменьшилось различие между их водоредуцирующим действием.

В работе даны рекомендации по расходам добавок на основе эфиров поликарбоксилатов, гранулометрическому и химико-минералогическому составу портландцементов с целью значительного снижения расхода портландцемента и обеспечения требуемой прочности бетона после ТВО при температуре изотермической выдержки 40 °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Erdogdu, S. Compatibility of superplasticizers with cements different in composition [Text] / S. Erdogdu // Cement and Concrete Research. — 2000. — N 30(5). — P. 767–773.
2. Petrova, T.M. Some properties of plasticized compositions of Portland cement-granulated blast furnace slag [Text] / T.M. Petrova, O.M. Smirnova, R.O. Shabiev // Proceedings of XIII International Congress on the chemistry of cement. — Madrid, 2011. — P. 135; CD-ROM.
3. Yamada, K. Working mechanism of polycarboxylate superplasticizer considering the chemical structure and cement characteristics [Text] / K. Yamada, S. Hanehara // Proceedings of 11th International Congress on the Chemistry of Cement. — 2003. — P. 538–549.
4. Ребиндер, П.А. О методе погружения конуса для характеристики структурно-механических свойств пластично-вязких тел [Текст] / П.А. Ребиндер, Н.А. Семененко // Докл. АН СССР. — 1949. — Т. 64, № 6. — С. 835–838.

*Смирнова Ольга Михайловна, асп.; E-mail: smirnovaolgam@rambler.ru
Петербургский государственный университет путей сообщения*

Получено после доработки 20.07.12

Smirnova Olga Michailovna, post-graduate student; E-mail: smirnovaolgam@rambler.ru, Petersburg State Transport University, Russia

DEPENDENCE OF STRENGTH OF CONCRETE WITH POLYCARBOXYLATE-BASED SUPERPLASTICIZERS ON PORTLAND CEMENT PROPERTIES AFTER LOW HEAT-STEAMING TREATMENT

Application of polycarboxylate-based superplasticizers can contribute to the increase of concrete early strength. It makes possible to obtain the concrete of the required strength after heat-steaming treatment with decreasing the isothermal temperature and the Portland cement quantity compared to concrete without admixtures. Doing this it is necessary to take into account the compatibility of Portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers. Considering the problem of the compatibility of Portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in precast concrete production it is also necessary to take into account the influence of chemical and mineralogical compositions of Portland cement on the water-reducing effect of polycarboxylate-based superplasticizers, on the retention of workability of fresh concrete as well as on the growth of early concrete strength.

Key words: precast prestressed concrete, polycarboxylate-based superplasticizers, Portland cement, particle size distribution of Portland cement, heat-steaming treatment.

REFERENCES

1. Erdogdu, S. Compatibility of superplasticizers with cements different in composition [Text] / S. Erdogdu // Cement and Concrete Research. — 2000. — N 30(5). — P. 767–773.
 2. Petrova, T.M. Some properties of plasticized compositions of Portland cement-granulated blast furnace slag [Text] / T.M. Petrova, O.M. Smirnova, R.O. Shabiev // Proceedings of XIII International Congress on the chemistry of cement. — Madrid, 2011. — P. 135; CD-ROM.
 3. Yamada, K. Working mechanism of polycarboxylate superplasticizer considering the chemical structure and cement characteristics [Text] / K. Yamada, S. Hanehara // Proceedings of 11th International Congress on the Chemistry of Cement. — 2003. — P. 538–549.
 4. Rebinder, P.A. Method of cone immersion for the characteristic of structural-mechanical properties of plastic-viscous bodies [Text] / P.A. Rebinder, N.A. Semenenko // Reports of the Academy of Sciences of the USSR. — 1949. — Vol. 64, N 6. — P. 835–838.
-

УДК 691.42:666.31

А.Е. БУРУЧЕНКО, С.И. МУШАРАПОВА

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС

Рассмотрено влияние минералогического состава отходов производства цветных металлов на процесс спекания керамических масс. Отмечено, что при введении белого кека в керамической массе при обжиге наблюдается рост кристаллов анортита и волластонита, придающих изделиям необходимые эксплуатационные свойства. Введение красного кека способствует росту кристаллов анортита.

Ключевые слова: керамика, обжиг, минералогический состав, волластонит, анортит.

При производстве керамических изделий большое внимание уделяется процессу обжига. Выбор оптимального режима способствует формированию фазового состава, необходимого для получения изделий с заданными физико-механическими свойствами. С целью интенсификации процесса спекания, расширения его интервала и для улучшения эксплуатационных свойств изделий в керамические массы вводят различного рода добавки, в качестве которых могут быть использованы отходы промышленности. В большинстве случаев отходы не нуждаются в дополнительной обработке. Их использование в технологии производства строительных материалов обусловит снижение себестоимости выпускаемой продукции и будет способствовать улучшению экологии окружающей среды.

На разных этапах промышленных производств образуются отходы, имеющие минералогический состав, отличный друг от друга. Поэтому при разработке технологий производства керамических изделий важно знать, как количественное содержание минералов влияет на физико-химические процессы, проходящие в керамических массах при обжиге, на фазовый состав и на свойства изделий.

Нами исследовалась возможность получения керамической плитки с использованием отходов производства цветных металлов — кеков ОАО «Красцветмет». Кек образуется в результате производственной деятельности из маточных растворов, содержащих ионы железа, натрия, аммония, хлора и сульфата. На заводских очистительных сооружениях растворы подвергаются нейтрализации известковым молоком, отдуву в газовую фазу амиака и многократному фильтрованию пульпы. После фильтрования образуется осадок (kek) из сульфата кальция, гидроксидов железа и карбонатодержащих компонентов, он более чем на 90 % состоит из гипса и гидроксидов железа. Данные отходы производства используются для получения строительных растворов и сухих строительных смесей.

© Бурученко А.Е., Мушарапова С.И., 2012

Химический состав кеков и глины Компановского месторождения, %

Сырье	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	П.п.п.
Белый кек	2,14	1,32	0,21	—	33,58	1,08	—	—	—
Красный кек	1,28	—	27,17	—	22,40	4,64	—	—	—
Глина	67,40	18,50	3,08	0,82	1,63	1,89	1,06	0,12	5,5

В нашей работе для оценки возможности применения отходов рассматривалось два вида кеков — белый и красный, которые получаются на разных стадиях промышленного производства и отличаются минералогическим составом. Данные спектрального анализа представлены в таблице. Методом рентгенофазового состава в пробах кека отмечено присутствие карбоната кальция (CaCO_3), образованного в результате карбонизации Ca(OH)_2 на воздухе. На дериватограммах исходных кеков имеются выраженные эндоэффекты с максимумами при 160–170 и 210–220 °C, характерными для ступенчатой дегидратации гипса, а также при 770 °C, обусловленные диссоциацией CaCO_3 .

В качестве глинистой составляющей была взята тугоплавкая глина Компановского месторождения Красноярского края. Химический состав глины приведен в таблице.

Рентгенофазовый анализ глины показал, что глинообразующими минералами являются каолинит и монтмориллонит, присутствуют кварц, полевой шпат в виде альбита и ортоклаза и в незначительном количестве — оксид железа.

Для изучения влияния вида отходов обогащения цветных металлов на формирование микроструктуры керамической плитки в процессе обжига в глинистую массу вводили красный и белый кеки в количестве 5, 10, 15 и 20 %. Глину после сушки размалывали в фарфоровой мельнице до остатка на сите 0,05 мм не более 5 % и смешивали с кеками в необходимой пропорции. Керамические массы с влажностью 10–12 % формировали полусухим способом при давлении 25 МПа.

Образцы обжигали в силитовой печи при 800–1250 °C с интервалом 50 °C и выдержкой при конечной температуре 20 мин. После обжига рассчитывали огневую усадку образцов, водопоглощение, прочность на сжатие и проводили их рентгенофазовый анализ.

Из анализа кривых зависимости огневой усадки образцов от температуры обжига видно, что увеличение количества красного кека в образце уменьшает огневую усадку. При этом температура, на которую приходится начало спекания, смещается в область более низких значений. Так, для состава с 5%-й добавкой красного кека она равна 1100 °C, с 20%-й — 1050 °C. Водопоглощение образцов с увеличением количества кека в керамической массе возрастает.

При изучении кривых зависимости прочности образцов при сжатии от температуры обжига выяснилось, что с увеличением содержания красного кека в керамической массе прочность образцов снижается незначительно. Наибольшая прочность образцов всех составов достигается при температуре 1150 °C.

Рассматривая изменения огневой усадки, водопоглощения и прочности, а также анализируя рентгенограммы, снятые с образцов, обожженных при разных температурах, можно сказать, что спекание происходит

в присутствии жидкой фазы, которая образуется за счет плавления альбита. В стеклофазе идет растворение кварца и формирование анортита. Образованию жидкой фазы и новых кристаллических фаз способствует оксид железа. Так, при температуре 1150 °C (рис. 1, 2) образуется наибольшее количество анортита, что сказывается на прочностных характеристиках образцов.

Для составов керамических масс из тугоплавкой глины и различного количества белого кека в процессе обжига наблюдаются сложные физико-химические процессы, как в присутствии жидкой фазы, так и при прохождении твердофазных реакций. Отмечается рост кристаллов анортита, так же как и для составов, включающих красный кек. Однако кристаллы растут более интенсивно и их качественное содержание значительно больше. Наряду с увеличением содержания анортита происходит также рост кристаллов волластонита, а при более высокой температуре и мул-

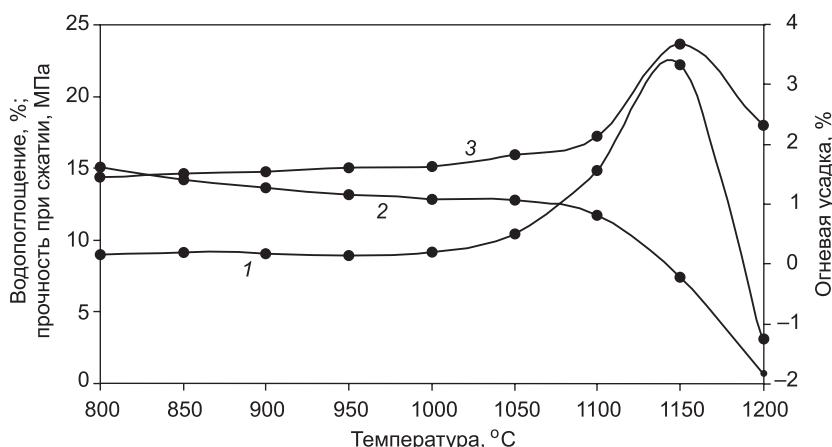


Рис. 1. Изменение физико-механических характеристик образцов от температуры обжига для состава компановская глина 85 % + кек красный 15 %

1 — огневая усадка; 2 — водопоглощение; 3 — прочность при сжатии

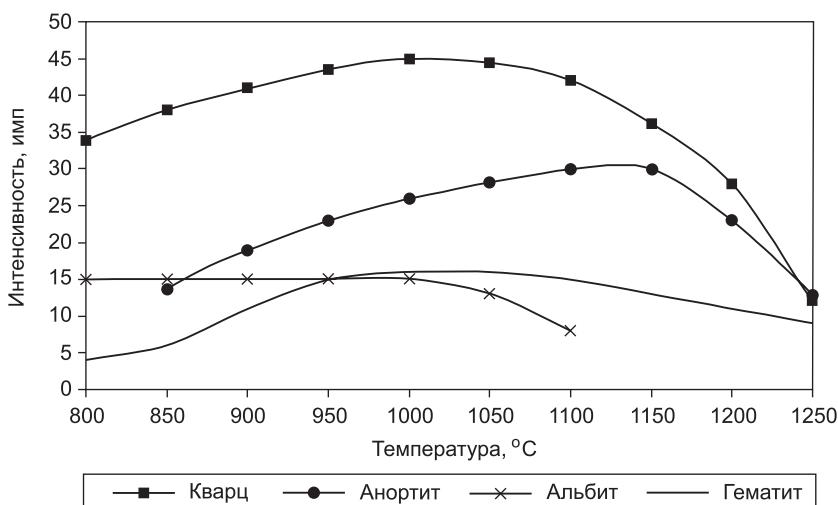


Рис. 2. Изменение интенсивности аналитических линий минералов от температуры обжига для состава компановская глина 85 % + кек красный 15 %

лита. Одновременное формирование стеклофазы и образование в ней кристаллов анортита, волластонита и муллита обусловливают малую усадку образцов. Прочностные характеристики образцов с белым кеком возрастают по сравнению с образцами на основании тугоплавкой глины и красного кека. График зависимости физико-механических характеристик образцов для состава с 15%-й добавкой кека приведен на рис. 3, зависимость аналитических пиков от температуры обжига для этого состава — на рис. 4.

Визуальный метод наблюдения структуры вещества определялся методом электронной микроскопии. Микрокристаллическая структура керамической плитки, обожженной при температуре 1050 °C, в основном представлена зернами кварца (размер от 1 до 5 мкм) и вытянутыми кристаллами анортита и волластонита (рис. 5).

На основании экспериментальных данных можно отметить, что с введением красного кека в керамическую массу при термической обработ-

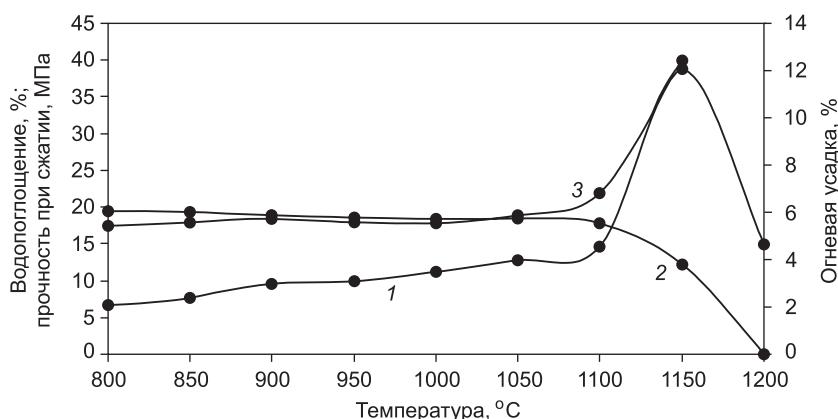


Рис. 3. Зависимость физико-механических характеристик образцов от температуры обжига для состава компановская глина 85 % + кек белый 15 %

1 — огневая усадка; 2 — водопоглощение; 3 — прочность при сжатии

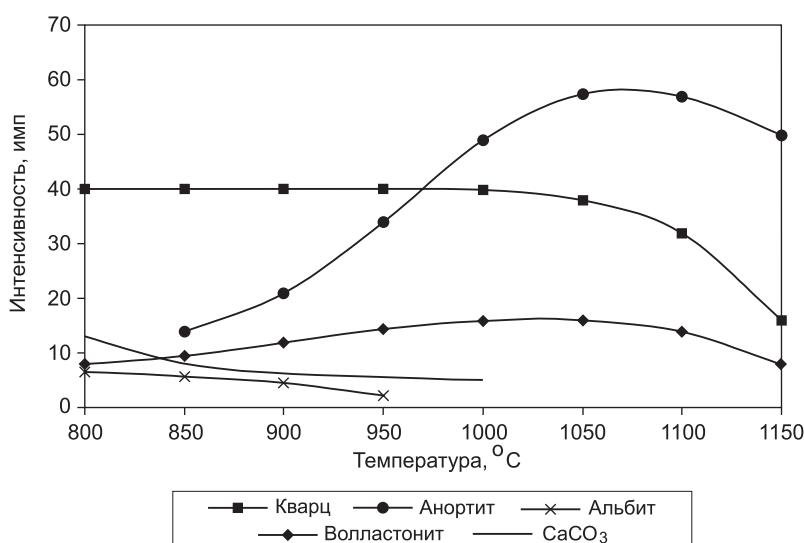
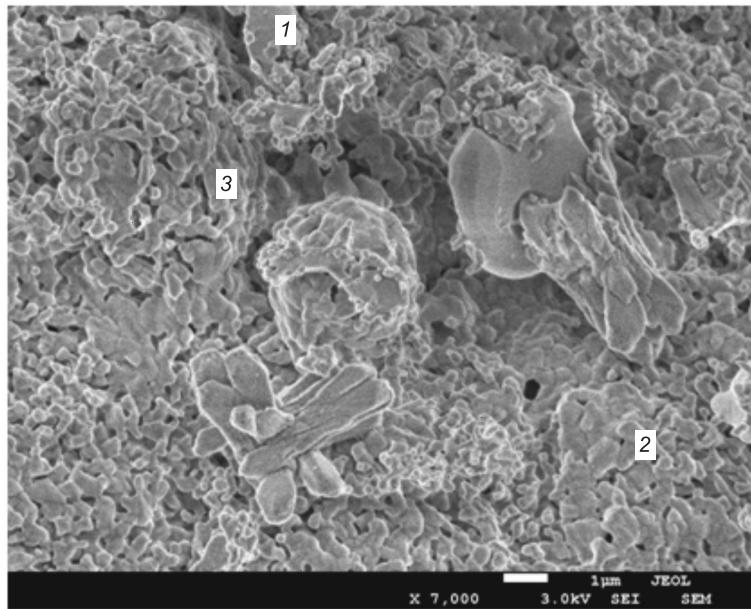


Рис. 4. Изменение интенсивности аналитических линий минералов от температуры обжига для состава компановская глина 85 % + кек белый 15 %



*Рис. 5. Микрофотография керамической плитки на основе компановской глины 85 % и белого кека 15 %
1 — кварц; 2 — аортит; 3 — волластонит*

ке появляется жидкая фаза за счет плавления альбита, оксидов железа и кальция. Она способствует растворению кварца и формированию аортита.

При введении белого кека с большим содержанием оксида кальция жидкая фаза, образующаяся за счет плавления альбита и кальция, вызывает формирование аортита, волластонита и муллита, придающих наибольшие прочностные характеристики керамической плитке. Наиболее оптимальные для получения керамической плитки — составы с содержанием отходов промышленности цветных металлов до 15 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурученко, А.Е. Строительная керамика с использованием суглинков и отходов алюминиевого производства [Текст] / А.Е. Бурученко, С.И. Мушарапова // Строит. материалы. — 2010. — № 12. — С. 28–30.
2. Верещагин, В.И. Расширение сырьевой базы для производства строительной керамики в Сибири [Текст] / В.И. Верещагин, В.И. Кащук, Р.А. Назиров, А.Е. Бурученко // Строит. материалы. — 2004. — № 2. — С. 39–45.

БУРУЧЕНКО Александр Егорович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: fizika4ifp@yandex.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
МУШАРАПОВА Светлана Ильинична, ст. препод.; E-mail: swetmush@mail.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено 24.07.12

Buruchenko Alexander Egorovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: fizika4ifp@yandex.ru, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
Musharapova Svetlana Ilinichna, senior lecturer; E-mail: swetmush@mail.ru, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

INFLUENCE OF MINERALOGICAL COMPOSITION OF WASTES OF PRODUCTION OF THE COLOURED METALS ON PROCESS OF SINTERING OF CERAMIC MASSES

Influence of mineralogical composition of wastes of production of the coloured metals is considered on the process of sintering of the ceramic masses. It is marked that at introduction of white cake to ceramic mass there is a height of crystals of anorthite and wollastonite at burning, which provides the necessary product performance characteristics. Introduction of the red cake contributes to the growth of crystals anorthite.

Key words: ceramics, burning, mineralogical composition, wollastonite, anorthite.

REFERENCES

1. Buruchenko, A.E. Building ceramics with the use of loams and wastes of aluminium production [Text] / A.E. Buruchenko, S.I. Musharapova // Construction materials. — 2010. — N 12. — P. 28–30.
 2. Vereshchagin, V.I. Expansion of a raw material base for production of building ceramics in Siberia [Text] / V.I. Vereshchagin, V.I. Kashchuk, R.A. Nazirov, A.E. Buruchenco // Construction materials. — 2004. — N 2. — P. 39–45.
-

УДК 691.327: 666.972.7.002.3

Д.О. БАЙДЖАНОВ, В.Н. НЭМЕН, Д.Г. БАКИРОВА

ТОНКОМОЛОТОЕ СТЕКЛО — АКТИВНАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА

Рассмотрены вопросы замещения в составе тяжелого бетона части цемента тонкомолотым стеклом. В экспериментах тонкость помола стекла соответствовала тонкости помола цемента, что проверялось ситовым анализом и с помощью электронного микроскопа Teskan Vega II. Применение этого микроскопа позволило также установить, что зерна стекла не имеют игольчатой формы. Микрошлифы различных образцов показали наличие у тонкомолотого стекла вяжущих свойств. Установлено, что замена 10 % массы цемента тонкомолотым стеклом не только не снижает прочности бетона, но и несколько ее повышает.

Ключевые слова: тонкомолотое стекло, помол, ситовый анализ, микроскоп, микрошлиф.

В литературе [1, 2] приведены исследования возможности замещения тонкомолотым стеклом части цемента в составе тяжелого бетона. Аналогичная работа выполнена и в Карагандинском государственном техническом университете.

Оконное стекло, использованное в экспериментах, имеет следующий усредненный состав (%): SiO_2 — 71,9; Al_2O_3 — 1,9; MgO — 3,8; CaO — 7,0; Na_2O — 14,7; Fe_2O_3 — 0,2; SO_3 — 0,5. Как видно, в нем присутствует около 7 % оксида кальция.

По некоторым литературным данным, материалы, содержащие менее 10 % CaO , вяжущими свойствами не обладают. В то же время отмечается значительное увеличение пущцолановой реакции в тонкомолотых шлаках, что позволяет сделать аналогичный вывод по отношению к тонкомолотому стеклу, т.е. вяжущие свойства оксида кальция будут проявляться лишь при значительном измельчении стекла. В качестве первого приближения была принята тонкость помола, равная тонкости помола цемента, когда, согласно ГОСТ 10178–85, через сито с сеткой № 008 должно проходить не менее 85 % пробы.

В эксперименте помол стекла был произведен на шаровой мельнице. Ситовый анализ тонкости помола стекла выполнен с использованием виброгрохота analysett 3 PRO фирмы FRITISCH, взвешивание — на электронных весах. Установлено, что дисперсность стеклянного порошка практически соответствует дисперсности цемента (рис. 1).

На рис. 1 представлены результаты измерений гранул молотого стекла и цемента, полученные с помощью растрового электронного микроскопа Teskan Vega II (производство Teskan, Чехия). Как видно, тонкость помола стекла вполне соответствует тонкости помола цемента, а зерна стекла не имеют игольчатой формы (рис. 2).

Для определения границ применения тонкомолотого стекла в качестве активной минеральной добавки и уточнения механизма твердения цементно-песчаного раствора проведены специальные эксперименты. Всего было отформовано и испытано 90 образцов, разбитых на 10 серий. Кажд-

© Байджанов Д.О., Нэмэн В.Н., Бакирова Д.Г., 2012

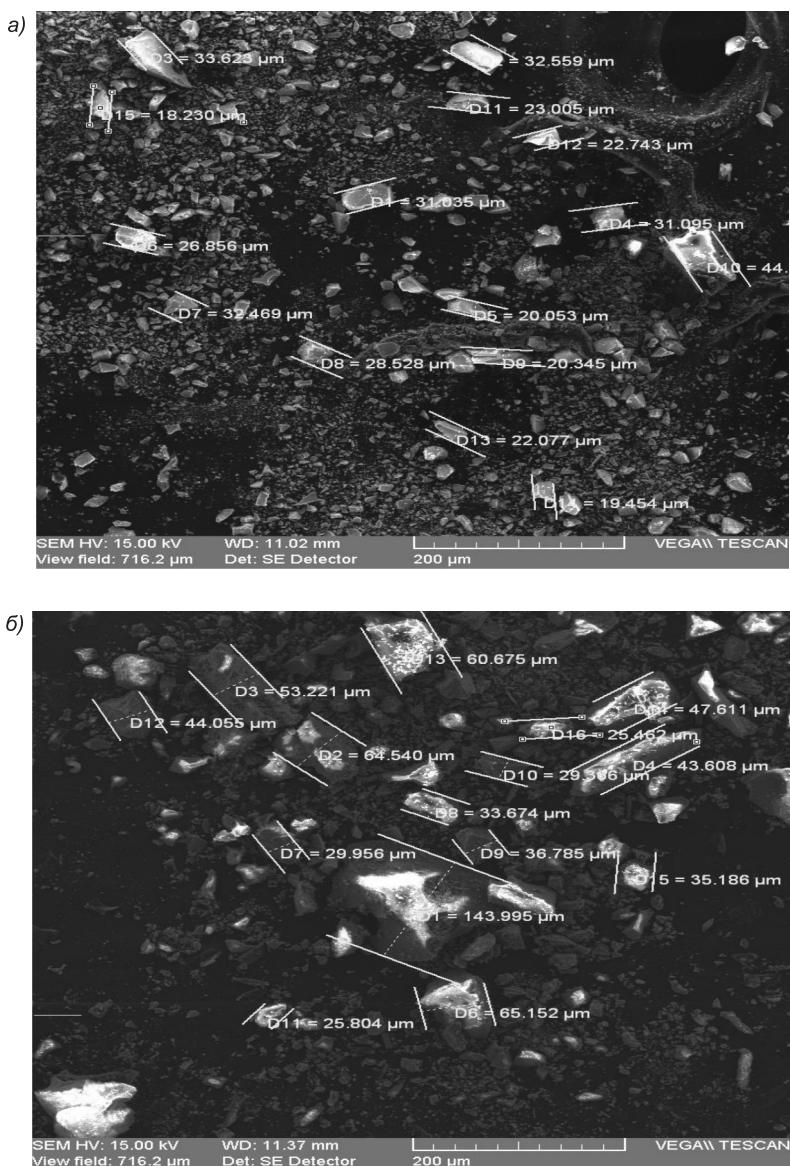


Рис. 1. Фотометрия зернового состава стекла (а) и цемента (б)

дую серию составляли 3 образца без тонкомолотого стекла, 3 содержали 10 % стекла от массы цемента и 3 образца — 20 % стекла; количество цемента соответственно уменьшалось.

Образцы — призмы из цементно-песчаного раствора соотношением 1:3. Их размеры, 4 × 4 × 16 см, технология изготовления и обработка результатов приняты согласно ГОСТ 310.4—81. Портландцемент марки 400 Карагандинского цементного завода. Образцы хранились в нормальных температурно-влажностных условиях, испытания — в возрасте 28 дней.

При замене 10 % массы цемента тонкомолотым стеклом прочность образцов при сжатии в 8 сериях из 10 была выше прочности чисто цементных образцов. Превышение составляло от 10 до 30 %. Аналогичные данные получены при испытании на изгиб. В 2 сериях прочность оказалась ниже. Однако снижение составляло не более 6,0 %. Полученные результаты были закреплены в инновационном патенте Республики Казахстан № 21793 С04В 28/02.

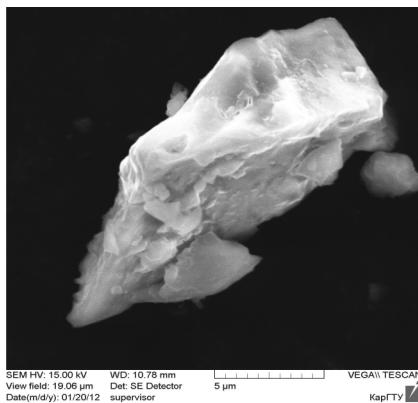


Рис. 2. Зерно молотого стекла

При замене 20 % массы цемента тонкомолотым стеклом прочность образцов при сжатии и изгибе лишь в 3 случаях из 10 превышала прочность чисто цементных образцов. Таким образом, замена 20 % цемента тонкомолотым стеклом снижает прочность раствора и потому является избыточной. Этот результат подтвердили данные исследований [1, 2], определивших максимальную величину добавки стекла в 15 % от массы цемента.

Микрошлифы образца из смеси 1 : 0,6 (стекло — вода) показывают, что основная масса шлифа сложена сцепленными тонкими пылеватыми зернами (менее 0,001 мм) аморфного стекла, реже отмечаются единичные угловатые отломки размерами 0,01–0,025 мм, повсеместны гнезда зародышевых кристаллов удлиненного габитуса (рис. 3). Приведенные данные показывают наличие у тонкомолотого стекла вяжущих свойств. При испытании образца на сжатие разрушающее напряжение составило 2,7 МПа. Для работы со шлифами использовался микроскоп Полам 211-Л с увеличением 1910^х.

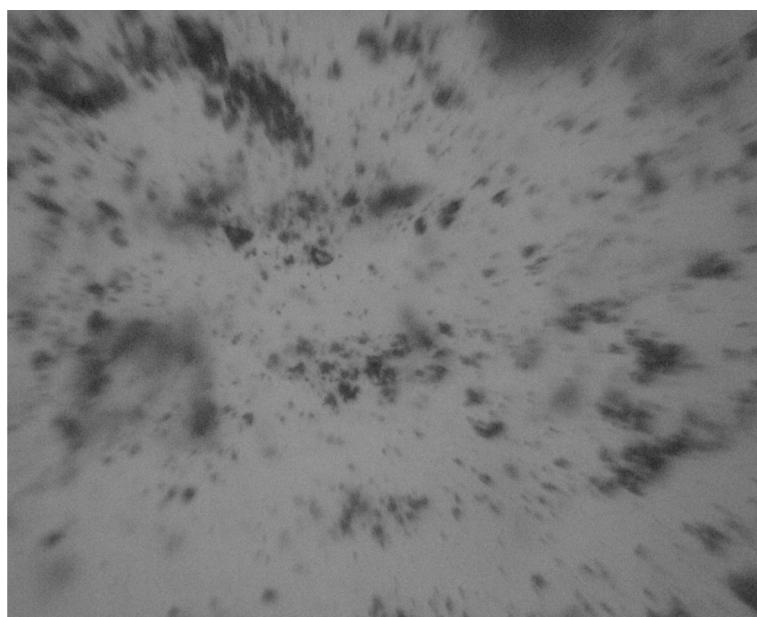


Рис. 3. Микрошлиф образца «стекло — вода»

На рис. 4, а представлен шлиф 1 цементно-песчаного образца с добавкой тонкомолотого стекла. Его анализ с помощью микроскопа показал, что зерна песка размером от 2,0 мм имеют разнообразную форму и состав. Цемент базальный, глинисто-карбонатный скрытокристаллический с примесью пылеватых частиц (менее 0,005 мм) аморфного стекла, которое образует скопления неправильной формы, в отдельных случаях появляется регенерационная каемка вокруг мелких песчаных обломков, поэтому зерна теряют четкую и резкую границу. На шлифе 2 (см. рис. 4, б) у зерен песка, размером от 1,0 мм и менее, резко выражен-

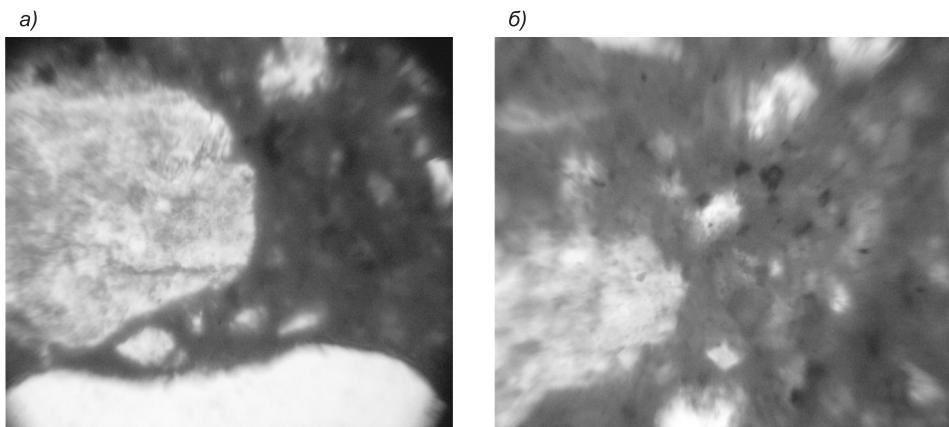


Рис. 4. Микрошлифы образцов 1 (а) и 2 (б) с добавкой тонкомолотого стекла

ная регенерационная кайма, цемент глинисто-карбонатного состава базальный, скрытокристаллический с гнездами скопления аморфного гелеобразного вещества. Зерна песка не имеют резких границ. Наличие реакции взаимодействия отмечено в работе [3].

Таким образом, можно утверждать, что замена 10 % массы цемента тонкомолотым стеклом не только не снижает прочности цементно-песчаного раствора, но даже увеличивает ее на 10–15 %. Полученные данные о возможности применения тонкомолотого стекла взамен цемента требуют подтверждения при испытании бетонных образцов. С этой целью были выполнены дополнительные эксперименты.

На основании рекомендаций были подобраны составы: А — тяжелого бетона без добавок стекла; Б — тяжелого бетона с заменой 10 % цемента тонкомолотым стеклом; В — тяжелого бетона с заменой 15 % цемента тонкомолотым стеклом. Портландцемент М400 Карагандинского завода с добавками: тонкомолотого шлака до 20 %, двуводного гипса до 6 % и оксида серы до 2,5 %. Фактическая активность отдельных серий составляла 320–380 кгс / см².

Нормальная густота цементного теста (ГОСТ 310.3–76) была достигнута при добавлении: 115 см³ воды для чисто цементной композиции, 114 см³ воды для композиции из 360 г цемента и 40 г тонкомолотого стекла, 113 см³ воды для композиции из 340 г цемента и 60 г тонкомолотого стекла. Сроки схватывания составляли: для композиции серии А начало — через 3 ч 20 мин, конец — 5 ч 40 мин; серии Б начало — через 3 ч 0 мин, конец — 5 ч 24 мин; для композиции серии В начало — через 3 ч 30 мин, конец — 4 ч 55 мин.

Из каждого состава формовалось по три куба при одинаковом виброрировании на лабораторном столе с частотой 3000 колебаний в минуту. Серии образцов выдерживались в стандартных условиях в течение 28, 56 сут. Испытания проводились согласно ГОСТ 10180–90 на сертифицированном прессе ПСУ-125. Учитывались лишь результаты испытаний кубов, имевших стандартный характер разрушения. Всего было изготовлено и испытано 99 кубов. Количество образцов в серии принималось согласно требований ГОСТ 10180–90. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Незначительное снижение прочности в образцах с тонкомолотым стеклом наблюдается лишь в двух случаях. Таким образом, эксперименты подтвердили возможность замены до 15 % цемента тонкомолотым стеклом. Представленные результаты получены при использовании тон-

Таблица 1

Результаты испытаний бетонных кубов

Куб	Содержание молотого стекла, мас. % цемента	Водо-потребность, л/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность бетона на сжатие (МПа) в возрасте, сут	
				28	56
1А	—	178,6	2340	—	36,82
1Б	10	178,6	2347	—	36,45
1В	15	171,4	2377	—	36,39
2А	—	178,6	2349	—	35,87
2Б	10	178,6	2386	—	38,11
2В	15	171,4	2382	—	36,83
3А	—	197,1	2356	31,54	—
3Б	10	178,6	2370	29,43	—
3В	15	171,4	2338	32,59	—
4А	—	197,1	2324	32,26	—
4Б	10	178,6	2353	35,91	—
4В	15	171,4	2355	33,57	—
5А	—	197,1	2360	33,65	—
5Б	10	178,6	2375	34,20	—
5В	15	171,4	2350	33,80	—
6А	—	197,1	2288	—	25,12
6Б	10	178,6	2367	—	30,01
6В	15	171,4	2302	—	29,26
7А	—	191,4	2360	20,6	—
7Б	10	188,6	2388	22,75	—
7В	15	181,4	2400	20,90	—
8А	—	191,4	2358	18,9	—
8Б	10	188,6	2338	20,0	—
8В	15	181,4	2318	19,5	—
9А	—	185,7	2393	19,6	—
9Б	10	182,8	2373	—	—
9В	15	175,7	2402	20,0	—
10А	—	185,7	2400	19,81	—
10Б	10	182,8	2372	20,12	—
10В	15	175,7	2383	21,25	—
11А	—	197,1	2388	—	33,38
11Б	10	197,1	2463	—	36,50
11В	15	197,1	2427	—	34,25

комолотого стекла возрастом до 1,5 лет при хороших условиях хранения. Теряются ли его пущцолановые свойства, если возраст составит более двух лет при тех же условиях хранения? Ответ на этот вопрос дала серия специальных экспериментов (табл. 2).

Как видно, снижение прочности наблюдается в подавляющем числе случаев. Следовательно, можно считать, что к условиям и срокам хранения тонкомолотого стекла необходимо предъявлять те же требования, что и к цементу.

Таблица 2

Результаты дополнительных испытаний бетонных кубов

Куб	Содержание молотого стекла, мас. % цемента	Водо-потребность, л/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность бетона на сжатие (МПа) в возрасте, сут	
				28	56
13А	—	197,1	2432	28,36	—
13Б	10	178,6	2427	29,16	—
13В	15	171,4	2402	26,18	—
14А	—	197,1	2445	32,63	—
14Б	10	178,6	2388	23,27	—
14В	15	171,4	2380	21,40	—
15А	—	197,1	2373	—	24,8
15Б	10	197,1	2357	—	26,5
15В	15	197,1	2368	—	22,5
16А	—	197,1	2370	28,0	—
16Б	10	178,6	2370	21,5	—
16В	15	171,4	2353	22,7	—

Отформованные образцы серий А, Б, В были подвергнуты термо-влажностной обработке по режиму 2 + 12 + 2 ч. Испытания показали превышение до 25 % прочности образцов серий Б и В над прочностью образцов серии А, не содержащей тонкомолотого стекла.

Таким образом, установлено, что замена 10–15 % цемента тонкомолотым стеклом не только не снижает прочности тяжелого бетона, но даже несколько ее повышает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отходы стекла в бетоне [Текст] // Бюл. иностр. науч.-техн. информ. по стр-ву, архитектуре, строит. материалам, конструкциям и жил.-коммун. сфере. — 2004. — № 3. — С. 33–36. (По материалам Concrete. — 2004. — Vol. 38, N 1 (англ.)).
2. Свойства цементного раствора, содержащего наночастицы диоксида кремния (Корея) [Текст] // Бюл. иностр. науч.-техн. информ. по стр-ву, архитектуре, строит. материалам, конструкциям и жил.-коммун. сфере. — 2007. — № 6. — С. 25–27. (По материалам ACI Materials J. — 2007. — Vol. 104. — N 3 (англ.)).
3. Бектемесов, А.С. Экотехнологическое производство сухих строительных смесей с применением стекольного боя : Автoref. ... канд. техн. наук [Текст] / А.С. Бектемесов. — Алматы, 2007.

БАЙДЖАНОВ Джумагельды Омарович, д-р техн. наук; E-mail: BDO3@yandex.ru
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан
НЭМЕН Владимир Николаевич, канд. техн. наук, проф.; E-mail: vniemen@list.ru
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан
БАКИРОВА Дана Габдуалиевна, ст. препод.; E-mail: strelec6767@mail.ru
Карагандинский государственный технический университет, Казахстан

Получено после доработки 19.07.12

Baidzhanov Dzhumageldy Omarovich, doctor of technical sciences; E-mail: BDO3@yandex.ru, Karagandy State Technical University, Kazakhstan

Niemen Vladimir Nikolaevich, candidate of technical sciences, professor; E-mail: vniemen@list.ru, Karagandy State Technical University, Kazakhstan

Bakirova Dana Gabdualievna, senior lecturer; E-mail: strelec6767@mail.ru, Karagandy State Technical University, Kazakhstan

POWDERED GLASS — ACTIVE MINERAL ADDITION

Replacement questions as a part of heavy concrete of part of cement are considered by finely ground glass. In experiments the subtlety of a grinding of glass corresponded to a subtlety of a grinding of cement that was checked by the screen analysis and by means of electronic microscope Teskan Vega II. Application of this microscope allowed to establish also that grains of glass have no needl form. Micro thin section varions samples showed existence at finely ground glass of knitting properties. Replacement of 10 % of weight of cement with finely ground glass not only doesn't reduce concrete durability, but also raises a little is establish.

Key words: finely ground glass, flour milling, screen analysis, microscope, micro thin section.

REFERENCES

1. Departure of glass in concrete [Text] // The report of foreign scientific-technological information about construction, architecture, building materials, structure and housing and communal service. — 2004. — N 3. — P. 33–36. (Source: Concrete. — 2004. — Vol. 38, N 1 (eng.)).
 2. Properties of grout with silica nano particles (Korea) [Text] // The report of foreign scientific-technological information about construction, architecture, building materials, structure and housing and communal service. — 2007. — N 6. — P. 25–27. (Source: ACI Materials J. — 2007. — Vol. 104, N 3 (eng.)).
 3. Bektemesov, A.S. Eco technological production of dry mortars by applying a glass powdering : the report on achieving the Candidate of Technical Sciences Degree [Text] / A.S. Bektemesov. — Almaty, 2007.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.878.2 : 621.396

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

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ДИСТАНЦИОННОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫМИ МАШИНАМИ

Рассматриваются варианты построения систем дистанционного автоматического управления движением землеройно-транспортных машин для реализации оптимального в смысле минимизации функционала потерь алгоритма управления.

Ключевые слова: землеройно-транспортные машины, дистанционное адаптивное управление, принципы построения систем.

Важным направлением повышения эффективности применения землеройно-транспортных машин (ЗТМ) и безопасности жизнедеятельности оператора является развитие систем дистанционного радиоуправления [1]. Математические модели динамических процессов при движении ЗТМ, описанные в технической литературе, обычно разработаны в предположении детерминированного характера возмущений и при большом количестве ограничений, идеализирующих реальные условия эксплуатации [1, 2]. Разработка математической модели с учетом всех возможных возмущений практически неосуществима. Применение статистических методов позволяет получить удовлетворительное приближение, но, естественно, требует обработки большого объема информации. В этих условиях обеспечение на практике необходимой точности дистанционного управления обычными средствами регулирования представляется затруднительным. Решение задачи, вероятно, следует искать в направлении адаптации отдельных звеньев системы автоматического регулирования (САР), способных вносить определенную коррекцию в ее передаточную функцию при возникновении возмущающих воздействий, превышающих некоторый критический уровень.

Распространенный операторный метод, базирующийся на представлении входных и выходных сигналов их преобразованиями Лапласа, позволяет путем стандартных процедур находить решения линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, что обусловило его широкое применение в научных исследованиях и инженерных расчетах.

Важнейшей характеристикой, на которой основан операторный метод, является отношение изображений выходного и входного сигналов

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)},$$

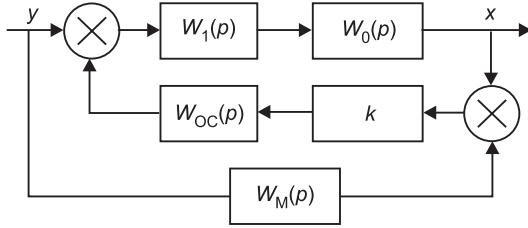


Рис. 1. Схема самонастраивающейся системы с моделью $W_M(p)$

в цепь обратной связи $W_{OC}(p)$ основного контура объекта (звенья $W_1(p)$, $W_0(p)$) включено звено с большим коэффициентом усиления k ; при этом y — входное воздействие, x — выходное воздействие.

Передаточную функцию системы можно представить в виде

$$W(p) = \frac{W_0(p)W_1(p)(1+kW_{OC}(p)W_M(p))}{1+kW_0(p)W_1(p)W_{OC}(p)}. \quad (1)$$

В области частот, где $kW_0(p)W_1(p)W_{OC}(p) \gg 1$ и $kW_{OC}(p)W_M(p) \gg 1$, имеет место приближенное равенство

$$W(p) \approx W_M(p), \quad (2)$$

т.е. передаточная функция системы при изменении параметров системы приблизительно равна передаточной функции модели, и реакция системы на возмущение примерно совпадает с реакцией модели.

Другой принцип построения САР основан на применении релейных устройств, линеаризуемых автоколебаниями в цепи обратной связи, коэффициент усиления которых может изменяться в широких пределах (рис. 2). Объект регулирования с характеристикой $W_0(p) = k$ в зависимости от возмущений может в широких пределах и непосредственным образом изменять значение своего коэффициента усиления k . Для компенсации этих изменений в схеме последовательно включено звено $W_p(p) = k_p$ с искусственно изменяемым коэффициентом усиления k_p так, чтобы произведение $k \cdot k_p = \text{const}$. Например, k_p можно установить обратно пропорциональным k , что совместно с $W_0(p)$ образует линеаризованное релейное устройство.

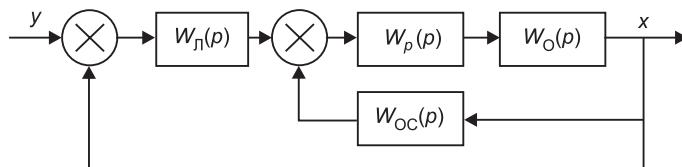


Рис. 2. Схема устройства с линеаризацией в цепи обратной связи

Наиболее перспективными представляются системы с использованием вычислительного устройства (ВУ) для выработки управляющего сигнала по специальному адаптивному алгоритму. Входной сигнал САР, пропорциональный разности координат фактического положения ЗТМ и заданного, приведенный к боковому отклонению от требуемого местоположения, считается возмущением для адаптивных звеньев при условии превышения некоторого критического (порогового) значения r_{kp} . На рис. 3 приведена структурная схема, где С — управляемая линейная

называемое передаточной функцией или операторным коэффициентом передачи изучаемой системы.

Рассмотрим один из возможных способов построения адаптивной самонастраивающейся системы (СНС) с моделью $W_M(p)$, допускающей весьма большие коэффициенты усиления (рис. 1). В схеме

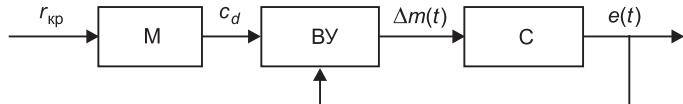


Рис. 3. Схема выработки управляющего сигнала по адаптивному алгоритму

система, M — модуль, вырабатывающий сигнал реакции при адаптации системы.

Пусть в некоторый момент времени реакция системы C на внешнее воздействие $r_{kp}(t)$ равна $c_1(t)$, а желаемая реакция для получения требуемого переходного процесса может быть обозначена $c_d(t)$. Предположим также, что фактическая обработка рассогласования равна $m_1(t)$, а требуемая реакция должна быть $m_d(t)$. При допущениях, что изменения $r_{kp}(t)$, $c_1(t)$ достаточно малы, как и ошибки

$$e(t) = c_d(t) - c_1(t), \\ \Delta m(t) = m_d(t) - m_1(t),$$

происходящие за интервал времени ΔT (интервал выдачи корректирующих импульсов от вычислительного устройства), при которых можно рассматривать систему как линейную и стационарную, определим выражение для требуемой величины $c_d(t)$, применив интеграл свертки [3],

$$c_d(t) = c_1(t) + e(t) = \int_{-\infty}^t m_d(\tau)g(t-\tau)d\tau = \\ = \int_{-\infty}^{-t} m_1(\tau)g(t-\tau)d\tau + \int_{-\infty}^t \Delta m(\tau)g(t-\tau)d\tau,$$

где $g(t)$ — импульсная переходная характеристика цепи (реакция на воздействие δ -функции). Вычислительное устройство должно выдавать корректирующие импульсы $\Delta m(t)$ в дискретные моменты ΔT .

Рассмотрим задачу определения процедур управления объектом в самом общем виде. Пусть система автоматического управления (САУ) состоит из четырех основных элементов (рис. 4) — объекта управления ОУ, устройства управления УУ, связей между ними A и B . Связь A — устройство для измерения выходных величин (параметров) управляемого объекта, B — преобразователь сигнала от УУ в управляющее воздействие u . Предполагается, что ОУ подвержен воздействию шумов A_1 , а системы связи A и B подвергаются воздействию шумов A_2 и A_3 соответственно.

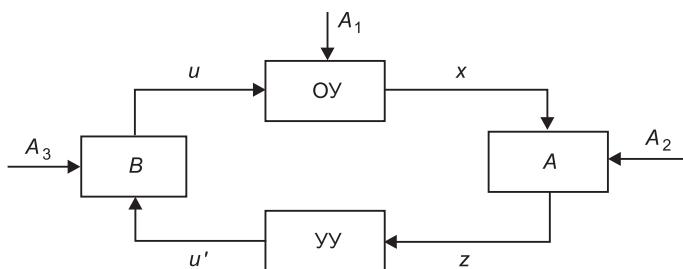


Рис. 4. Общая схема системы автоматического управления ЗТМ

Пусть поведение объекта управления (при начальном условии $x(0) = x_0$) описывается системой дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = F(t, x, u, v),$$

где x — координаты объекта в пространстве X ; u — управляющие воздействия, определенные в пространстве воздействий U ; v — случайная функция, описывающая влияние шума A_1 на объект управления.

Измерительное устройство A представляет собой преобразователь

$$z(t) = \varphi(x(t), v(t)),$$

где $v(t)$ — случайная функция, описывающая влияние шума измерений A_2 .

Функция $z(t)$ определена в пространстве Z . Систему связи B можно описать аналогично:

$$u(t) = \Psi(u'(t), \xi(t)),$$

где u' — сигнал от ОУ, преобразуемый в B в управляющее воздействие u ; ξ — случайная функция для шума A_3 .

Управление объектом осуществляется непрерывно (считая пренебрежимо малыми интервалы на измерение координат ОУ и выработку управляющего воздействия) в течение фиксированного отрезка времени $[0, T]$, $T \in [0, \infty)$.

Качество управления характеризуется функционалом потерь [3]

$$I = \Phi_1(x(T)) + \int_0^T \Phi_2(t, u, x) dt,$$

где одна из функций потерь Φ_1 или Φ_2 может равняться нулю без потери общности [4].

При таких предположениях необходимо найти алгоритм управления, при котором работа ОУ происходила бы оптимально в смысле минимизации функционала потерь. В дальнейшем для упрощения, но без нарушения общности, из рассмотренной системы можно исключить преобразователь B .

В детерминированном случае (шумы A_1 и A_2 отсутствуют) поведение объекта управления описывается как

$$\dot{x} = F(t, x, u),$$

а элемент A — преобразованием

$$z(t) = \varphi_0(x(t)).$$

Оптимальное управление может быть найдено в форме обратной связи с использованием переходной характеристики, являющейся реакцией на воздействие единичной функции

$$u(t) = h(z(t), T - t), \text{ для } \forall t \in [0, T].$$

Пусть L — класс всех возможных функций $h(z, T)$, кусочно-непрерывных по T и таких, что

$$h(z, T) \in U^\circ \text{ для всех } z \in Z \text{ и } T \in [0, \infty).$$

Выберем произвольную функцию $h(z, T)$ из класса L . По условию функционал потерь, построенный на решении системы уравнений

$$\ddot{x} = F(t, x, h(\varphi_0(x), T - t))$$

с начальным условием $x(0) = x_0$, однозначно зависит от x_0 , T и h . Обозначим эту зависимость через $I(x_0, T, h)$. Необходимо найти такую функцию $h^*(z, T)$ из класса L , для которой

$$I(x_0, T, h^*) = \min I(x_0, T, h) = S(x_0, T), \quad \text{для } \forall x_0 \in X \text{ и } T \in [0, \infty).$$

С учетом методов динамического программирования [4] решение задачи заключается в интегрировании уравнения

$$\frac{\partial S}{\partial(T-\tau)} = \min_{u(t) \in U^0} \left[\frac{\partial \tilde{S}}{\partial x} \int_0^T F(t, x, u) dt + \Phi_2(t, x, u) \right]$$

с граничным условием $S(x, 0) = \Phi_1(x)$, здесь \sim операция транспонирования.

При наличии шума A_1 поведение объекта управления описывается системой

$$\dot{x} = F(t, x, u) + F(t, x, u)\eta,$$

где η — многомерный белый шум с нулевым средним (гауссов шум); $z(t) = \varphi_0(x(t))$.

Выберем произвольную функцию $h(z, T)$ из класса L . Обозначим среднее значение функционала потерь, построенного на решении системы

$$\ddot{x} = F(t, x, h(\varphi_0(x), T-t)) + F_0(t, x, h(\varphi_0(x), T-t))\eta,$$

на интервале времени $[t_1, T]$ с начальным условием $x(t_1) = x_0$ через $S(x, t)$. Следовательно, для заданной функции $z = \varphi_0(x)$ надо найти такую функцию $h^*(z, T)$ из класса L , для которой

$$I(x_0, T-t_1, h^*) = \min I(x_0, T-t_1, h) = s(x_0, T-t_1)$$

для всех $x_0 \in X$, $t_1 \in [0, T]$, $T \in [0, \infty)$.

Решение последней задачи методом динамического программирования сводится к интегрированию уравнения [4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial S(x, T-t)}{\partial(T-\tau)} &= \min_{u(t) \in U^0} \left[\frac{\partial \tilde{S}}{\partial x} \int_0^T F(t, x, u) dt + \Phi_2(t, x, u) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \operatorname{Tr} \tilde{F}_0(t, x, u) \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} \int_0^T F_0(t, x, 0) dt \right] \end{aligned}$$

с граничным условием $S(x, 0) = \Phi_1(x)$ и обозначением Tr — след матрицы.

Таким образом, для реализации управления, оптимального в смысле минимизации функционала потерь, необходимо для каждого $t \in [0, T]$ оперативно решать задачу динамического программирования, что требует применения быстродействующих микропроцессорных устройств. К настоящему времени отработаны решения этого уравнения для $\Phi_2 = 0$ при условии, что $\varphi_0(x) = x$ и η — одномерный шум.

В частных случаях задача обычно упрощается и сводится к решению системы линейных дифференциальных уравнений, которое может быть также реализовано специализированным вычислительным устройством, установленным на ЗТМ.

Проведенные исследования имеют практическое значение и могут быть полезны при разработке систем дистанционного управления ЗТМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А в д е е в, Ю.В. К вопросу исследования радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов, В.Н. Аникин // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 10. — С. 86–92.
2. У с т и н о в, Ю.Ф. Проблема построения систем дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.Ф. Устинов, И.М. Тепляков, Ю.В. Авдеев, А.А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 1. — С. 83–86.
3. В о р о н о в, А.А. Основы теории автоматического управления. Ч. 3 [Текст] / А.А. Воронов. — М. : Энергия, 1970. — 327 с.
4. Б е л л м а н, Р. Прикладные задачи динамического программирования [Текст] / Р. Беллман, С. Дрейфус. — М. : Наука, 1965. — 372 с.

АВДЕЕВ Юрий Валентинович, канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

КОНОНОВ Александр Давыдович, канд. физ.-мат. наук, доц.

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

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

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 06.07.12

Avdeev Yuriy Valentinovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kononov Aleksandr Davydovich, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kononov Andrey Alexandrovich, doctor of technical sciences; E-mail: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE ANALYSIS OF PRINCIPLES OF A REMOTE ADAPTIVE TECHNIQUE BY MOTORGRADERS, SCRAPERS AND BULLDOZERS

The versions of build-up of systems of remote automatic control of driving of motorgraders, scrapers and bulldozers for embodying optimum in sense of minimization of a functional of losses of the control algorithm are considered.

Key words: motorgraders, scrapers and bulldozers, remote adaptive technique, principles of build-up of systems.

REFERENCES

1. Avdeev, Yu.V. To a problem of examination of a wave duct of a remote control system by the motorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov, V.N. Anikin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 10. — P. 86–92.
2. Ustinov, Yu.F. A problem of build-up of remote control systems by motorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.F. Ustinov, I.M. Teplyakov, Yu.V. Avdeev, A.A. Kononov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2006. — N 1. — P. 83–86.
3. Voronov, A.A. A fundamentals of the theory of automatic control. P. 3 [Text] / A.A. Voronov. — M. : Energia, 1970. — 327 p.
4. Bellman, R. Application problems of a dynamic programming [Text] / R. Bellman, S. Dreyfus. — M. : Science, 1965. — 372 p.

УДК 69.003:658.566

В.В. ГЕРАСИМОВ, О.А. КОРОБОВА, А.В. ЛЕВЧЕНКО

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Разработан методический подход по обоснованию организационной безопасности материального обеспечения строительных объектов на основе системы многокритериальной оценки.

Ключевые слова: оценка, безопасность, материалы, обеспечение, строительство, объект, методика, решения.

Безопасность строительного производства обусловлена тремя составляющими: обеспечения, организации и технологий строительства. В практике инжиниринга организационные решения подготавливаются проектно-сметной документацией, а технологические и обеспечивающие — исполнителями строительных операций. В этом случае учет взаимовлияния изменений и отклонений параметров процессов на стадии проектирования и строительства становится сложной и актуальной задачей.

Организационная безопасность строительного производства определяется вероятностными границами параметров процессов, что создает основу для последующего проектирования объектов и управления их реализацией в условиях риска. Строительное производство представляет собой комплексный процесс, в котором осуществляется взаимодействие его структур и процессов. Управление организационными параметрами — сложная и недостаточно разработанная методическая задача. При этом идентификация возможных потерь результатов строительных проектов важна как на стадии проектирования, в котором устанавливаются нормативные уровни результативности, так и на стадии реализации, где происходит координация изменяемых параметров проекта [1–3].

Материальное обеспечение производства предшествует строительству и определяет форму организации материальных процессов. За счет интеграции организации процессов обеспечения и строительства достигаются рациональные решения потоков ресурсов. Организация потоков работ в строительстве объектов является базовой по отношению к процессам материального обеспечения. Синергия устанавливается возможностью получения дополнительного эффекта от совместной оптимизации параметров: собственной — для обеспечения и системной — для обеспечения и строительства объектов.

Вопросы анализа, оценки и выбора решений изучены достаточно полно и раскрываются в методологии проектного анализа [4]. Его особенность — представление параметров проекта в виде технико-экономической системы, включающей затраты на всех этапах жизненного цикла, каждый из которых различным образом влияет на основные оценочные базы: затраты, продолжительности работ и риски. В этом случае базы как специальные наборы инструментов в значительной степени обусловлены организационными и технологическими факторами и определяют резуль-

таты строительного производства. Вместе с этим методиками не регламентируются положения о порядке оценки решений по структурированию внутрипроизводственных процессов, что снижает достоверность реализации проектов.

В рыночных условиях факторы и параметры строительства стали вероятностными, что в значительной степени определило проблему оценки результата проекта с учетом фактора риска. Поэтому формирование стохастических нормативов и методов их оценок — актуальная методическая задача подготовки системы оценок организационных решений. Учитывая ее недостаточную разработанность ниже приведен методический подход по формированию системы оценки безопасности проектов в области организационных стохастических решений, полученных по данным исследований¹⁻³.

В качестве объектов оценки рассматривалась интегрированная система строительного производства, которая включает три блока: «обеспечение — строительство — реализация». В составе блока обеспечения принимались подблоки: материального, технического, промышленного обеспечения; блока строительства: подблоки жилых объектов по вариантам материалов стен, этажности, элитности; блока реализации: подблоки продажи, аренды, лизинга. С позиций организационного подхода, предусматривающего оценку и выбор структурно-процессных решений объекта исследований, важны решения следующих задач:

- формирование системы организационной надежности материального обеспечения при подготовке строительного производства;
- разработка моделей организационной надежности материального обеспечения;
- создание системы оценки организационной надежности материального обеспечения;
- исследование надежностей структур и процессов материального обеспечения;
- определение областей организационной безопасности строительных объектов.

В системе подготовки строительного производства организационная надежность материального обеспечения является локальной и определяется ожидаемым уровнем снижения основных параметров структур и процессов в зависимости от внешних и внутренних факторов. Внешние факторы обусловлены системными изменениями, влияющими на производительность труда, внутренние — качественными характеристиками состояния потенциала. К факторам первой группы относится появление новых возможностей и опасностей организационных решений, второй — уровень развитости потенциала и схемы взаимодействия локального с базовым блоком системы. Уровень потенциала зависит от множества качественных характеристик, определяющих производительность труда, а схемы взаимодействия — от вариантов поставок материалов с учетом затрат и рисков работ. Поскольку внешние факторы влияют на систему в целом, важна дифференциация надежности структур и процессов в за-

¹ Волков И.М., Грачева М.В. Проектный анализ: Продвинутый курс. М.: ИНФРА-М, 2004.

² Герасимов В.В., Пятых Н.В., Михальченко О.Ю. Методический подход к оценке экономической эффективности инновационных технологий // Междунар. науч.-техн. конф. Технологии ресурсосбережения. Новосибирск: НГАУ, 2009. С. 56–63.

³ Герасимов В.В., Кунц А.Л., Михальченко О.Ю. Интегрированная надежность эффективности управления реализацией проектов // Сб. науч. тр. Теория и практика инновационной стратегии региона. Кемерово: КТУ, 2011. С. 76–82.

висимости от внутренних факторов. Она позволяет проводить работы по регулированию отклонений, возникающих в результате действия этих факторов. Модель надежности системы строительного производства, включающая элементы структурообразования, имеет вид

$$S_{\text{сп}} = (\text{СР}(\text{МО}, \text{ТО}, \text{ПО}), \text{СБ}); \quad (1)$$

$$\text{НД}(S_{\text{сп}}) = 3(S_{\text{сп}}) / (3(S_{\text{сп}}) + \Delta 3(S_{\text{сп}})); \quad (2)$$

$$\text{НД}(S_{\text{сп}}) = U \text{ НД}(S_{\text{сп}})_i; \quad (3)$$

$$\text{НД}(\text{МО}) = 3(\text{МО}) / (3(\text{МО}) + \Delta 3(\text{МО})) > \text{НД}(S_{\text{сп}}), \quad (4)$$

где $S_{\text{сп}}$ — система строительного производства;

СР , МО , ТО , ПО , СБ — соответственно строительство, материальное, техническое, промышленное обеспечение, сбыт;

$\text{НД}(S_{\text{сп}})$ — надежность системы;

$3(S_{\text{сп}})$ — затраты системы;

Δ — отклонение параметра i -го подблока;

$U \text{ НД}(S_{\text{сп}})_i$ — множество надежностей i -й подсистемы.

Из уравнений (1)–(4) следует, что материальное обеспечение является фактором надежности подблока строительства, оптимизация которого основана на нормализации двух моделей: локальной — собственной для подблока и системной — «материальное обеспечение — строительство».

В соответствии с системной локальной моделью надежности материального обеспечения должна отображать: структуру работ; организационные процессы строительства объектов; вероятности реализации структур и процессов материального обеспечения. Модель надежности материального обеспечения имеет вид

$$3(\text{МО}) = \Sigma 3(\text{МО})_i; \quad (5)$$

$$3(\text{МО})_i = \Sigma 3(\text{МО})_j; \quad (6)$$

$$T(\text{МО}) = \Sigma T(\text{МО})_i; \quad (7)$$

$$T(\text{МО})_i = \Sigma T(\text{МО})_j; \quad (8)$$

$$\Delta 3(\text{МО}) = [\Delta 3 + \Delta 3(\Delta T)]B, \quad (9)$$

где $3(\text{МО})$, $T(\text{МО})$ — соответственно затраты и продолжительность процессов материального обеспечения объектов строительства;

i — индекс комплексного процесса;

j — индекс составляющих комплексного процесса;

$\Delta 3$, ΔT — отклонение затрат и продолжительности, вызванное множеством факторов;

B — вероятность события.

Из уравнений (5)–(9) следует, что формирование затрат и продолжительности процессов в структуре материальных потоков составляет вариационные возможности описания сопряжения структурных звеньев материального обеспечения со структурными звеньями строительных процессов, а вероятность отклонений от установленных нормативов создает возможность для имитационного моделирования отклонений для различных классов потоков строительных объектов и работ по их материальному обеспечению.

Система оценки организационной надежности материального обеспечения необходима для выбора оптимальных вариантов последующей

разработки проекта. Основными требованиями к оценке являются: системность отображения внутренних связей объекта, количественных и качественных свойств объекта и возможность интеграции оценок с включением важностей локальных оценок в общей системе.

Критерий организационной эффективности определен моделями вида:

$$\mathcal{E}_o = f(p, n, k, i); \quad (10)$$

$$\mathcal{E}_e = f(t); \quad (11)$$

$$H_o = f(\Delta); \quad (12)$$

$$P_k = f(H_o, B); \quad (13)$$

$$Z(OC) = \Sigma Z(MO)P_k(MO) + Z(CP)P_k(CP) \Rightarrow \min; \quad (14)$$

$$\mathcal{E}_i = (\mathcal{E}_e\beta_1 + \mathcal{E}_o\beta_2)P_k, \Sigma\beta = 1, \quad (15)$$

где \mathcal{E}_o , \mathcal{E}_e , \mathcal{E}_i — соответственно организационный, экономический, интеграционный эффект;

p , n , k , i , t — соответственно критерии равномерности, непрерывности, комплексности, интенсивности, продолжительности;

β — важность вида эффекта;

H_o — организационная надежность;

P_k — риск;

$Z(OC)$ — затраты по сферам обеспечения строительства;

$Z(MO)$ — затраты материального обеспечения;

$Z(CP)$ — затраты строительства.

Уравнение (10) отображает качественные характеристики потоков ресурсов, (11) — эффект от изменения продолжительности потоков ресурсов, (12), (13) — характеристики стохастичности решения, (14) — балансовая модель затрат сфер обеспечения и строительства, (15) — интегрированный эффект от структурных (\mathcal{E}_o) и процессных (\mathcal{E}_e) характеристик схем материального обеспечения строительных объектов.

Надежность системы материального обеспечения исследована применительно к объектам жилищного строительства в направлении получения зависимостей влияния параметров вариантов схем: координации потоков материального обеспечения и строительных потоков; создание страховых запасов материальных ресурсов в обеспечении и строительстве; потоков строительных объектов. В качестве вариантов потоков материального обеспечения использовались: схемы поставок на весь объект, гарантирующие низкий риск обеспечения материалов для строительства и повышенные затраты на хранение материалов; схемы поставок под каждый специализированный объект строительства, при которых увеличиваются затраты на содержание запасов в сфере материального обеспечения, но снижаются затраты при строительстве объектов; схемы поставок под каждый пооперационный объект строительства, при которых возрастают затраты на содержание в сфере материального обеспечения, но снижаются затраты и риск при строительстве объектов. Вариантное множество формировали в статистическое поле данных и методом статистических испытаний распределяли отклонения для каждого из вариантов схем. В результате имитационного моделирования всех сочетаний отклонений параметров, границы диапазона которых вычислены на основании специальных исследований, получены зависимости вида:

$$B_{ijk} = f(\Delta_{ijk}); \quad (16)$$

$$B_{ijk} \max = \Delta_{ijk}^h, \quad (17)$$

где Δ_{ijk} — отклонение i -го варианта схем потоков;
 j -й вариант схем страхования рисков;
 k -й вариант объемно-конструктивных решений жилых объектов;
 Δ_{ijk}^h — нормативное значение отклонения варианта.

Шкалу отклонений по каждому варианту определяли в соответствии со спецификой схем организации структур и процессов материального обеспечения.

На основании исследований системы обеспечения процессов строительного жилищного комплекса Новосибирска разработаны области организационной безопасности, которыми обусловлен уровень влияния организационных схем на величину детерминированных затрат, устанавливаемых традиционными методами. Поправки при учете влияния факторов надежности на эффективность организационных решений приведены в таблице.

Области организационной безопасности для схем потоков на примере жилых объектов

Базовые схемы	Локальные схемы		$\Delta Z, \%$	$\Delta T, \%$	H_o , доля	P_k , доля	O_{ob}
CX_1	CX_A	CX_x	0,06	0,09	0,72	0,28	3
		CX_y	0,07	0,10	0,73	0,24	3
		CX_z	0,08	0,11	0,74	0,20	2
CX_2	CX_B	CX_x	0,07	0,10	0,73	0,24	2
		CX_y	0,08	0,11	0,74	0,20	2
		CX_z	0,09	0,12	0,75	0,22	2
CX_3	CX_C	CX_x	0,08	0,11	0,74	0,20	1
		CX_y	0,09	0,13	0,75	0,18	1
		CX_z	0,12	0,15	0,88	0,16	1

Причина. CX_1, CX_2, CX_3 — схема организации обеспечения соответственно объекта, специализированных видов работ, локальных видов работ; CX_A, CX_B, CX_C — схема принятия рисков соответственно сферой обеспечения, строительства, обеспечения и строительства в равной доле; CX_x, CX_y, CX_z — схема потоков 9-этажного жилого дома соответственно крупнопанельного, кирпичного, монолитного; O_{ob} — область прибыли от производства работ по обеспечению и строительству объекта: 1 — положительной, 2 — нулевой, 3 — отрицательной.

Следовательно, факторами влияния на организационную безопасность сферы материального обеспечения являются структурная и процессная координация затрат, продолжительности работ и рисков по отношению к строительным объектам, имеющая структуру многопараметрической ориентации параметров. Разнонаправленность влияния факторов затрат и рисков в схемах взаимодействия потоков ресурсов и работ предопределит возможность их оптимизации и управления в процессе реализации объектов строительства. Области организационной безопасности материального обеспечения определяются характеристиками вариаций схем организации структур и процессов, обусловленных затратами, продолжительностями и рисками, которые могут использоваться в практике проектирования потоков материального обеспечения.

Методическим подходом предусматривается выполнение следующих этапов работ⁴:

- структурирование и классификация множества параметров и факторов по всем блокам системы материального обеспечения и строительства объектов;
- моделирование параметров схем организации материального обеспечения с учетом факторов риска;
- оценка эффективности вариантов схем организации материального обеспечения с установлением характеристик уровня эффективности;
- определение областей организационной безопасности с учетом факторов, принятых для проекта.

Аналитический комплекс может быть использован для решения следующих научно-практических задач:

- нормализации параметров организационных решений проекта обеспечения с учетом установленного их качества;
- оптимизации нормализованных параметров проекта обеспечения с учетом реализации строительного проекта;
- выбора инновационных организационных решений в процессе формирования вариантов проекта строительного производства и его реализации.

Решение первой задачи основано на применении методик и средств автоматизации структурно-сетевой организации работ с вычислением качества организационных решений по критерию уровня организованности процессов на основе определения критериев равномерности, непрерывности, комплексности, интенсивности процессов.

Решение второй задачи базируется на использовании специальных методик и средств автоматизации структурно-сетевой организации работ с вычислением качества сопряжения процессов обеспечения и строительства объектов на основе балансовых моделей и методов интегрированной эффективности решений.

Третья задача решается с помощью специальных методик и средств автоматизации структурно-сетевой организации работ с использованием новых форм и процессов организации материального обеспечения и строительства объектов на основе междисциплинарных методов и инструментов преобразований технико-экономических решений проекта строительного производства⁴.

Разработанный методический подход позволяет в дополнение к методу надежности потоков оценивать и выбирать параметры организационных решений материального обеспечения строительства объектов, что создает возможности формирования нормативно-методической базы для разработки проектов материального обеспечения и проектных структур по их реализации с целью последующего развития проектного подхода в строительстве. Практическая проверка методики в ряде проектов показала возможность и целесообразность ее в практике строительного инжиниринга⁵.

Выводы. 1. В рыночных условиях важной методической задачей является разработка систем безопасности проектов на всех этапах строи-

⁴ Герасимов В.В., Коробова О.А., Пименов А.Т., Михальченко О.Ю. Основы интегрированной безопасности строительных систем // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 2. С. 48–55.

⁵ Герасимов В.В., Коробова О.А., Пименов А.Т., Михальченко О.Ю. Оценка организационно-технологической безопасности строительных проектов // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 3. С. 21–27.

тельного производства. Материальное обеспечение из-за большой материалоемкости строительных объектов становится наиболее важной областью, которой определяется эффективность реализации строительных объектов.

2. Методикой обоснования уровня организационной безопасности предусматривается использование динамической модели многокритериальной оценки параметров сопряжения параметров потоков материального обеспечения и строительных работ, что обеспечивается интегрированным эффектом реализации ресурсов в сфере строительства. Организационная безопасность определяется выявленными рисками и схемами их снижения.

3. Методы оценки параметров необходимы для формирования проектных схем организации и планирования материальных потоков, проектирования организационных форм управления системой материального обеспечения.

4. Нормативной базой оценки организационной безопасности проектов материального обеспечения предусматривается определение трех критериев: эффективности организационных решений как инструмента качественной оценки разработки нормативов параметров проекта с учетом факторов риска; эффективности решений по реализации проекта как инструмента качественной оценки применения нормативов проекта в зависимости от факторов риска; позиционирования проекта в области его безопасности в зависимости от факторов риска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов, В.В. Управление программными рисками территориальных систем [Текст] / В.В. Герасимов, Е.А. Саломатин, Н.В. Пятых // Новые технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск : НГАУ, 2012. — С. 156–161.
2. Герасимов, В.В. Управление безопасностью социально-экономических систем [Текст] / В.В. Герасимов, Е.С. Лабутин, Н.В. Пятых // Новые технологии в строительном материаловедении. — Новосибирск : НГАУ, 2012. — С. 161–166.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М. : Госстрой РФ, 1999. — 623 с.
4. Герасимов, В.В. Управление организационно-экономической надежностью строительных проектов [Текст] / В.В. Герасимов, Е.С. Лабутин, Н.В. Пятых, О.Ю. Михальченко // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 4. — С. 104–108.

*ГЕРАСИМОВ Виталий Владимирович, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*
*КОРОБОВА Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*
*ЛЕВЧЕНКО Александр Викторович, асп.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 02.07.12

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

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

Levchenko Aleksandr Viktorovich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ESTIMATION TO ORGANIZING SAFETY OF THE MATERIAL PROVISION BUILDING OBJECT

Methodical approaches to the justification of organizational safety material support construction projects on the basis of the evaluation system with multi criterions is developed.

Key words: estimation, safety, materials, provision, construction, object, methods, decisions.

REFERENCES

1. Gerasimov, V.V. Management programme risk territorial systems [Text] / V.V. Gerasimov, E.A. Salomatin, N.V. Pyatyh // New technologies in building material technology. — Novosibirsk : NGAU, 2012. — P. 156–161.
 2. Gerasimov, V.V. Management social-economic systems [Text] / V.V. Gerasimov, E.S. Labutin, N.V. Pyatyh // New technologies in building material technology. — Novosibirsk : NGAU, 2012. — P. 161–166.
 3. Methodical recommendations on estimation of efficiency investment proektov. — M. : State Building RF, 1999. — 623 p.
 4. Gerasimov, V.V. Management organizing-economic reliability building proektov [Text] / V.V. Gerasimov, E.S. Labutin, N.V. Pyatyh, O.Yu. Mihalchenko // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 4. — P. 104–108.
-

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.84.001.24

Л.Н. ГАХОВА, Ю.А. КУЗНЕЦОВА

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБИННОГО ВОДОВОДА В СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Приводятся результаты расчета напряженного состояния турбинных водоводов с использованием метода граничных интегральных уравнений в строительный период при обетонировании водоводов летом и зимой, с применением опалубки с различными теплоизоляционными свойствами.

Ключевые слова: турбинные водоводы, напряженно-деформированное состояние, метод граничных интегральных уравнений, строительный период, технологическое обжатие.

К ответственным зонам гидротехнических сооружений относятся проложенные в большинстве случаев на низовой грани бетонных плотин турбинные водоводы, железобетонные оболочки которых подвержены при строительстве и эксплуатации интенсивному трещинообразованию. Натурные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов ГЭС показали, что в строительный период в железобетонных конструкциях возникают напряжения, вызванные технологическими факторами, в том числе температурным воздействием. Формирующиеся при этом остаточные напряжения могут существенно влиять на напряженное состояние конструктивных элементов при эксплуатации.

Одним из наиболее эффективных путей повышения трещиностойкости, прочности и долговечности массивных железобетонных конструкций, к которым относятся турбинные водоводы, является предварительное напряжение конструкций. В массивных гидротехнических конструкциях обжатие бетона достигается путем целенаправленного регулирования температуры и влажности бетона [1, 2]. При строительстве высоконапорных плотин для предотвращения трещинообразования в железобетонных облицовках турбинных водоводов проводятся конструктивные и технологические мероприятия по воздействию на термонапряженное состояние бетона, включающие:

- использование цементов с умеренным тепловыделением;
- регулирование температуры бетонной смеси;
- применение опалубки с теплозащитными свойствами;
- определенный порядок распалубливания боковых граней блоков в холодный период;
- теплозащиту горизонтальных граней блоков зимой.

В настоящей работе приведены результаты оценки остаточных напряжений в оболочке и арматуре водоводов, подвергенных естественным (температура воздуха) и технологическим (экзотермический разогрев бетона) температурным воздействиям. Исследовалось термонапряженное со-

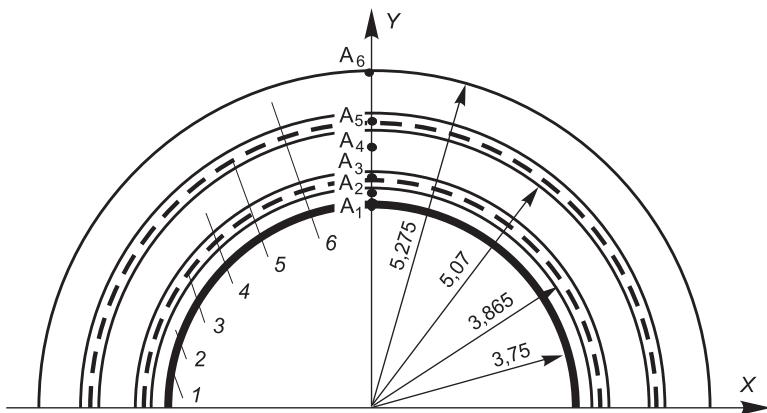


Рис. 1. Расчетная схема

1 — металлическая оболочка; 2, 4, 6 — бетон; 3, 5 — арматурное кольцо

Таблица 1

Физико-механические свойства конструктивных элементов сталежелезобетонных водоводов

Физические параметры массива	Стальная оболочка	Бетон	Материал арматурных колец
Модуль упругости E , МПа	$2,1 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^5$
Плотность ρ , кг / м ³	7794	2400	7784
Коэффициенты:			
Пуассона v	0,28	0,17	0,25
линейного теплового расширения α , 1 / °C	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,95 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
теплопроводности k , Вт / (м ² · °C)	35	1	30
температуропроводности κ , м ² / с	$7,32 \cdot 10^{-6}$	$0,54 \cdot 10^{-6}$	$0,84 \cdot 10^{-6}$
теплоотдачи α_1 , Вт / (м ² · °C)	3,51	0,87	2,1

стояние сталежелезобетонного водовода при его бетонировании в летний и зимний периоды с применением опалубки, имеющей различные теплозащитные свойства. Расчеты выполнены методом граничных интегральных уравнений (МГИУ) [2–4].

Изучалось НДС конструктивных элементов сталежелезобетонного водовода Саяно-Шушенской ГЭС, представляющего собой многослойное кольцо, состоящее из стальной оболочки и железобетонной обделки с двумя слоями кольцевой арматуры (рис. 1). Толщина арматурного кольца принята равной диаметру арматуры. Предполагалось, что метал оболочки, бетон и арматурные кольца — линейно деформируемые материалы. В табл. 1 приведены исходные данные для расчета напряженного состояния сталежелезобетонного турбинного водовода. Результаты расчетов представлялись в точках A_1 — A_6 .

Предполагалось, что температура внутри водовода и наружного воздуха одинакова и принимается в соответствии с рис. 2: летний период — с 15 мая (среднесуточная температура > 5 °C); зимний — с 15 ноября (среднесуточная температура < -5 °C). Температура бетонной смеси 20 °C. В расчетах варьировались ко-

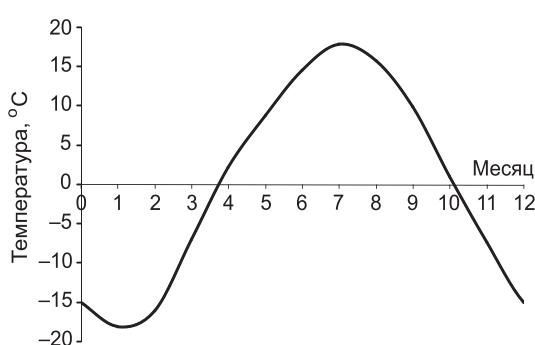


Рис. 2. Сезонное колебание температуры воздуха

эффициенты теплопередачи опалубки ($\beta_1 = 0,87$; $\beta_2 = 3,51 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [1]) и температуры экзотермического разогрева бетона ($t_1 = 35 \text{ °C}$; $t_1 = 50 \text{ °C}$).

На рис. 3 дано распределение температуры в радиальном направлении и динамика температурного поля зимой и летом без разогрева и после экзотермического разогрева бетона (до 35 °C), приводящего к увеличению

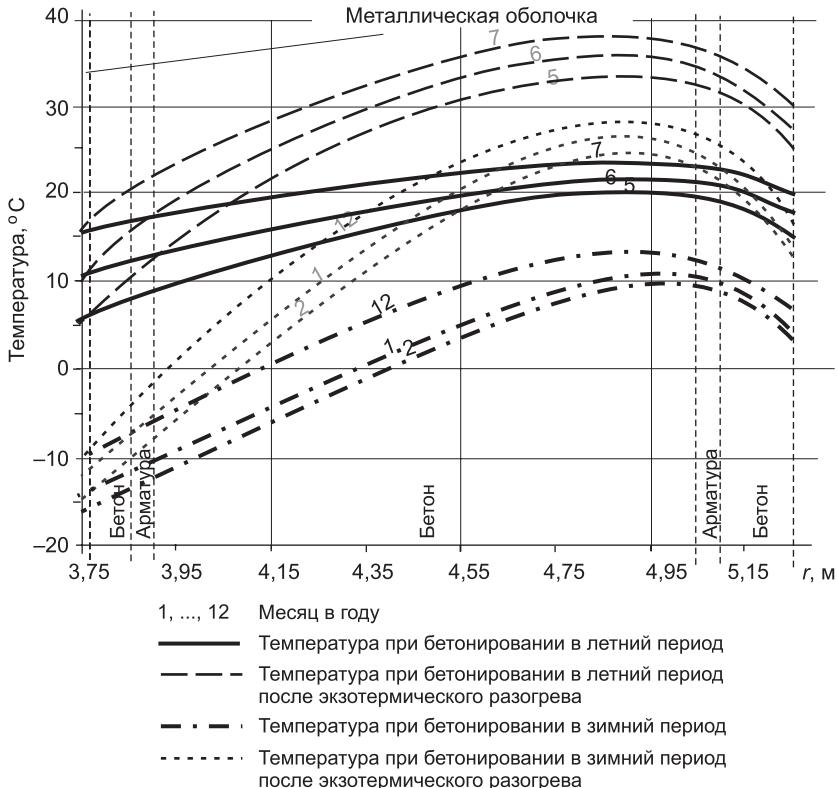


Рис. 3. Распределение температуры по сечению водовода и динамика температурного поля без разогрева бетона и после экзотермического разогрева

температуры внутреннего слоя бетона в летний период бетонирования на $12\text{--}14 \text{ °C}$ и наружного на $9\text{--}11 \text{ °C}$; в зимний период — на $16\text{--}17$ и $8\text{--}10 \text{ °C}$ соответственно. В данном варианте расчетов коэффициент теплопередачи опалубки $\beta_1 = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Бетонирование в опалубке с более высоким коэффициентом теплопередачи ($\beta_2 = 3,51 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$) приводит к более интенсивному остыванию наружного слоя бетона даже летом (рис. 4).

При остывании конструкции напряженное состояние характеризуется появлением значительных сжимающих напряжений в металлической оболочке (до $-32,3 \text{ МПа}$ при бетонировании летом и до $-24,3 \text{ МПа}$ при бетонировании зимой, табл. 2). Во внутреннем арматурном кольце сжимающие напряжения достигают $-10,2$ и $-6,1 \text{ МПа}$ соответственно; во внешнем арматурном кольце появляются растягивающие напряжения (6,5 и $8,1 \text{ МПа}$). Бетонирование в менее теплой опалубке снижает сжимающие напряжения в металлической оболочке на $\approx 11 \%$ летом и на $\approx 13 \%$ зимой. В то же время растягивающие напряжения во внешнем арматурном кольце возрастают на $\approx 40 \%$ в летний и более чем на $\approx 45 \%$ в зимний периоды.

При экзотермическом разогреве бетона до 50 °C наибольшие остаточные сжимающие напряжения в металлической оболочке формируются при использовании теплой опалубки и в летнее время достигают

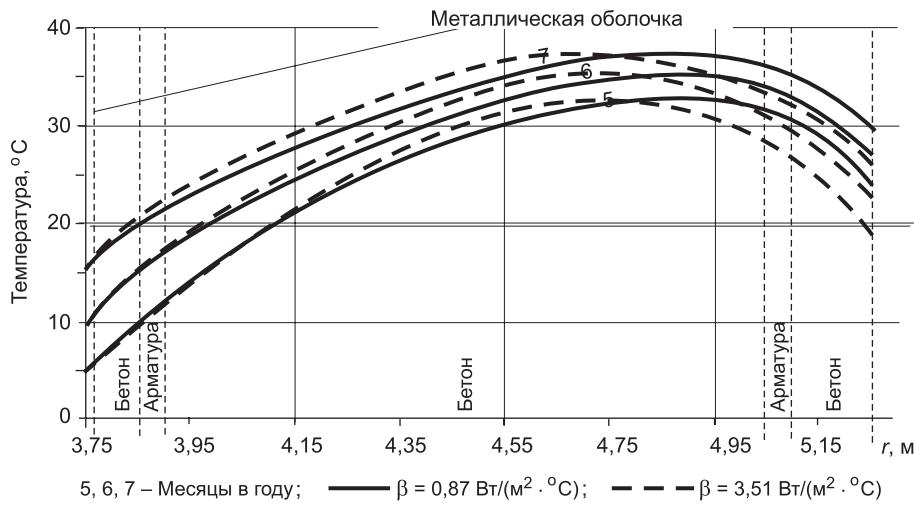


Рис. 4. Динамика температурного поля и распределение температуры по сечению водовода летом после экзотермического разогрева бетона для двух вариантов коэффициента теплопередачи опалубки

–46,3 МПа. Растворяющие напряжения во внешнем арматурном кольце в 1,5 раза меньше, чем в аналогичных условиях при экзотермическом разогреве до 35 °C (см. табл. 2). Наибольшие растворяющие напряжения во внешнем арматурном кольце формируются при бетонировании в зимнее время в «холодной» опалубке.

Приведенные результаты свидетельствуют о более эффективном технологическом формировании напряженного состояния конструктивных элементов водовода в летний период (технологическом обжатии). Замедленное остывание конструкции летом по сравнению с зимой способствует увеличению формируемого обжатия металлической оболочки и снижению растворяющих напряжений во внешнем арматурном кольце.

Следствием технологического обжатия является снижение суммарных растворяющих напряжений металлической оболочки и внутреннего арматурного кольца при нагружении водовода гидростатическим давлением.

Таблица 2
Тангенциальные напряжения (σ_θ , МПа) конструктивных элементов сталежелезобетонного водовода после остывания конструкции

Кольцо	Конструктивный элемент	Бетонирование в летний период		Бетонирование в зимний период	
		$\beta_1 = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$\beta_2 = 3,51 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$\beta_1 = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$\beta_2 = 3,51 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Экзотермический разогрев бетона до 35 °C

1	Металлическая оболочка	–32,3	–28,7	–26,3	–22,9
3	Внутреннее арматурное кольцо	–10,2	–6,4	–6,1	–3,9
5	Внешнее арматурное кольцо	6,5	9,1	8,1	11,7

Экзотермический разогрев бетона до 50 °C

1	Металлическая оболочка	–46,3	–42,4	–29,1	–25,2
3	Внутреннее арматурное кольцо	–18,2	–13,5	–12,1	–7,4
5	Внешнее арматурное кольцо	4,2	5,4	5,7	7,8

Примечание. Напряжения приведены непосредственно в арматуре внешнего и внутреннего кольца.

Оценка эффективности предварительного обжатия дает возможность влиять на выбор конструктивных параметров водовода (уменьшение толщины металлической оболочки и арматурных стержней) и технологический режим бетонирования (температура экзотермического разогрева).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркун, Л.М. Методы воздействия на напряженное состояние бетонных массивов гидротехнических сооружений [Текст] / Л.М. Гаркун, А.П. Епифанов, В.Б. Идельсон, В.И. Сильницкий, С.Н. Старшинов, В.А. Уляшинский. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 112 с.
2. Кузнецова, Ю.А. Напряжено-деформированное состояние турбинных водоводов высоконапорных гидроузлов. Дис. ... канд. техн. наук [Текст] / Ю.А. Кузнецова. — Новосибирск, 2011.
3. Гахова, Л.Н. К вопросу об альтернативных расчетах напряженно-деформированного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / Л.Н. Гахова // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 1. — С. 56–59.
4. Гахова, Л.Н. Решение плоской задачи квазистатической термоупругости для сталежелезобетонных турбинных водоводов [Текст] / Л.Н. Гахова, Ю.А. Кузнецова // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 9. — С. 46–52.

ГАХОВА Лидия Николаевна, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kuznecovaj.2010@yandex.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 02.07.12

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

Kuznetsova Yuliya Anatolyevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kuznecovaj.2010@yandex.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

STRESS STATE OF STRUCTURAL COMPONENTS OF A POWER CONDUIT DURING THE CONSTRUCTION PERIOD

The article gives the calculation data of stress state of power conduits, using the method of integral boundary elements during the construction period when casting water conducts in summer and in winter, using a form work having different heat insulation properties.

Key words: power conduits, stress-strain state, construction period, technological prestressing.

REFERENCES

1. Garkun, L.M. Methods of stress state stimulation of concrete blocks of hydraulic structures [Text] / L.M. Garkun, A.P. Yepifanov, V.B. Idelson, V.I. Silnitsky, S.N. Starshinov, V.A. Uliasinsky. — M. : Energoatomizdat, 1987. — 112 p.
2. Kuznetsova, Yu.A. Strain-stress state of power conduits of high-head water power developments: Candidate's thesis in Engineering Science [Text] / Yu.A. Kuznetsova. — Novosibirsk, 2011.
3. Gakhova, L.N. Alternative Calculations of the Stress-Strain State of Sayano-Shushenskaya Power Dam [Text] / L.N. Gakhova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2004. — N 1. — P. 56–59.
4. Gakhova, L.N. Quasistatic thermoelastic plane solution for steel and concrete power conduits [Text] / L.N. Gakhova, Yu.A. Kuznetsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 9. — P. 46–52.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.16 : 518

Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ, О.А. БОЙКО, С.М. ЗЕРКАЛЬ,
С.В. РОГАЗИНСКИЙ, Е.Л. ВОЙТОВ, А.Ю. СКОЛУБОВИЧ

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА-ОСВЕТЛИТЕЛЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЕГО СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Выполнен анализ математической модели, отображающей работу взвешенной фильтрующей загрузки реактора-осветителя из горелой породы и кварцевого песка. Разработанная модель адекватно отражает работу реактора с двумя различными фильтрующими материалами.

Ключевые слова: ошибки измерения, устойчивость, математическая модель, фильтрующий слой, реактор-осветитель, взвешенная загрузка, коэффициент, плотность, прилипание, горелая порода, дробленый кварц, структура.

При решении конструкторских задач на этапе проектирования комплексов очистки природных и сточных вод ведущая роль безусловно принадлежит натурному (прямому) физическому моделированию. Однако для выработки рекомендаций при подготовке и планировании эксперимента значение численного моделирования, использующего математические идеализации особенностей исследуемого природного явления, трудно переоценить [1]. Идеальным является отыскание возможностей обращения причинно-следственных связей, т.е. постановка соответствующих обратных задач и алгоритмическое обеспечение их решения. Если это не удается, то решение обратной задачи заменяется многократным модельным перебором вариантов прямой задачи с определенной последовательностью начальных данных. При этом следует учитывать отягощение исходной информации разного рода погрешностями, оказывающими существенное влияние на искомое решение, особенно при итеративном подходе, когда происходит мультиплективное накопление ошибки. Таким образом, исследование зависимости устойчивости решения задачи к дестабилизирующему факторам — важный этап при выработке рекомендаций по планированию натурных экспериментов*.

В данной работе изучается в компьютерном эксперименте влияние ошибок измерения физических параметров взвешенного фильтрующего слоя пилотной установки реактора-осветителя на итоговую картину процесса фильтрации. Показана согласованность результатов численного моделирования с результатами физического эксперимента для двух типов фильтрующих загрузок. Вычислительные эксперименты и анализ их результатов описаны ниже.

* Titov E. Analyses of Numerical Errors in the Kinetic Modeling of Microthruster Devices // Journal of thermophysics and heat transfer. 2007. Vol. 21, N 3. P. 616–627.

Исходные данные: параметры взвешенной загрузки реактора-осветителя.

Загрузка представлена следующей моделью (рис. 1) [2, 3]:

1. Высота взвешенного слоя составляет $H = 1,4$ м.

2. Радиус зерен загрузки равен $r_3 = 0,6$ мм.

3. Концентрация мутности в исходной воде, в фильтрате после загрузки из дробленого кварца и горелых пород приведена на рис. 2.

4. Скорость подачи очищаемой воды составляет $v = 8$ м/ч.

5. Начальный и конечный относительный объем зерен загрузки для обоих ее типов принимался соответственно 0,47 и 0,62.

Численный эксперимент с использованием наполнения фильтрующего слоя дробленым кварцем приведен в работе [4], где и определено оптимальное значение коэффициента плотности прилипания для фильтрующего слоя, которое равно 160. В данной работе аналогичные исследования для горелых пород позволили определить значение этого коэффициента, равным 120.

При сравнении численных результатов для разного типа фильтрующих загрузок наблюдается следующая картина. Для загрузки, состоящей из дробленого кварца, имеется хорошее согласование результатов моделирования с экспериментом на всем протяжении работы фильтрующего слоя реактора-осветителя [4]. Для загрузки, состоящей из горелых пород (рис. 3), достаточное согласование результатов численного моделирования с экспериментальными данными отмечается только в начале работы реактора-осветителя (первые 5 ч) и в конце (последние 10 ч).

Соответственно, можно сделать следующие выводы об адекватности математической модели для взвешенной фильтрующей загрузки реактора-осветителя, состоящей из горелых пород:

1. Поставленная математическая модель хорошо согласуется в начале работы фильтрующей загрузки, что свидетельствует о правильном предпо-

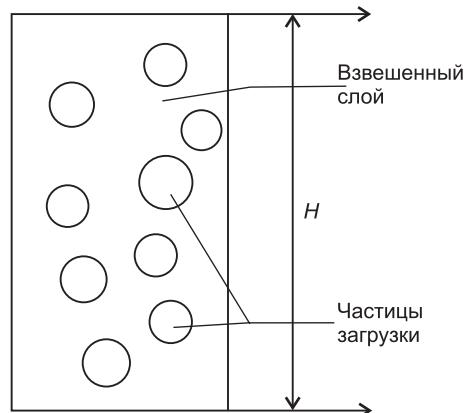


Рис. 1. Общая структура взвешенной загрузки

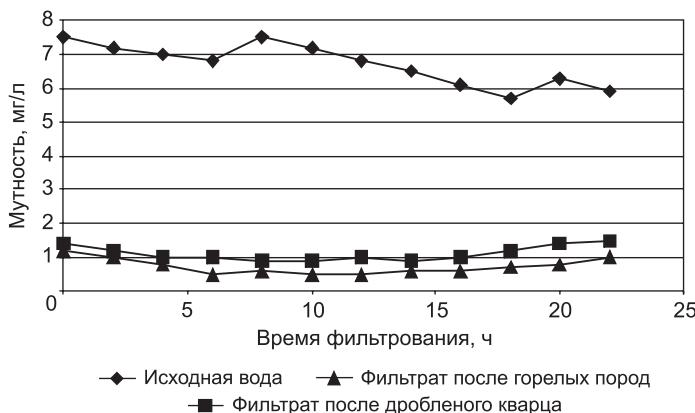


Рис. 2. Зависимость качества воды от продолжительности фильтрования для фильтрующих материалов из дробленых пород и дробленого кварца



Рис. 3. Сравнение результатов моделирования для загрузки, состоящей из горелых пород

ложении характерных (основных) физических процессов, происходящих внутри псевдоожженного слоя во время работы реактора-осветлителя.

2. В середине работы осветлителя согласование отсутствует. В данный момент времени наблюдается переходный момент от свободной структуры взвешенного слоя до фиксированной (решетчатой). Такое различие говорит о том, что данная математическая модель не соответствует промежуточным физическим процессам, проходящим в фильтрующем слое, состоящем из горелых пород, и требует дальнейшей проработки. Также возможен вариант, что горелые породы имеют более сложную (неровную) структуру поверхности, а значит, и более высокую рабочую площадь прилипания, что способствует ускоренному задержанию частиц примеси. Необходимо уточнение как самого процесса задержания примеси в фильтрующем слое, так и более детальное отслеживание результатов эксперимента и математического моделирования по времени и пространству (в данном случае, высоте взвешенного слоя), например, пористость взвешенного слоя, удельный вес осадка.

3. В третьей временной части работы реактора (последние 10 ч) отмечается высокое согласование результатов численного моделирования с экспериментальными данными. Следовательно, поставленную математическую модель можно использовать как при начальном состоянии фильтрующего слоя, так и при загрязненном состоянии.

Дальнейшие исследования проводились для загрузки, состоящей из дробленого кварца. По результатам моделирования наблюдается хорошее согласие представленной математической модели с результатами эксперимента на фильтрующем материале из дробленого кварца. Расхождение δ составляет около 8,5 %, которое вычислялось по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{11} (C^h(t_i) - C^*(t_i))^2}{\sum_{i=0}^{11} C^*(t_i)^2}}, \quad (1)$$

где $C^h(t_i)$ — остаточная концентрация примеси в t_i момент времени по результатам математического моделирования;

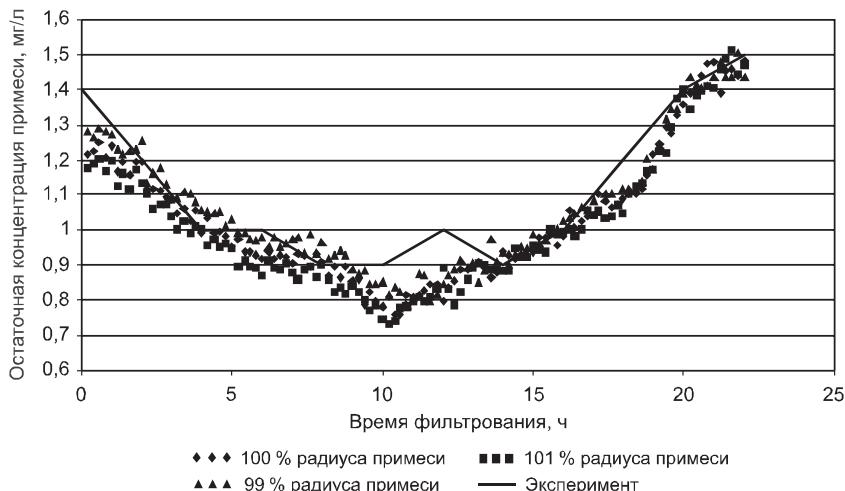


Рис. 4. Зависимость результата моделирования остаточной концентрации примеси от изменения на 1 % среднего радиуса примеси

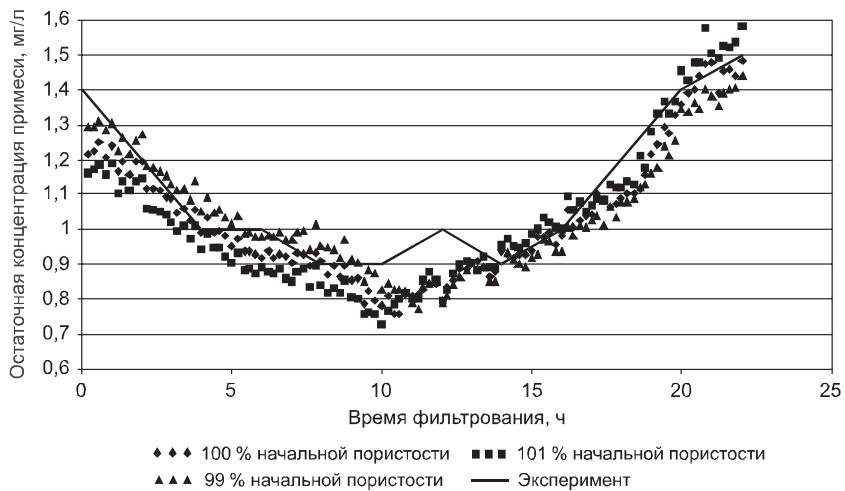


Рис. 5. Зависимость результата моделирования остаточной концентрации примеси от изменения на 1 % начальной пористости взвешенного слоя

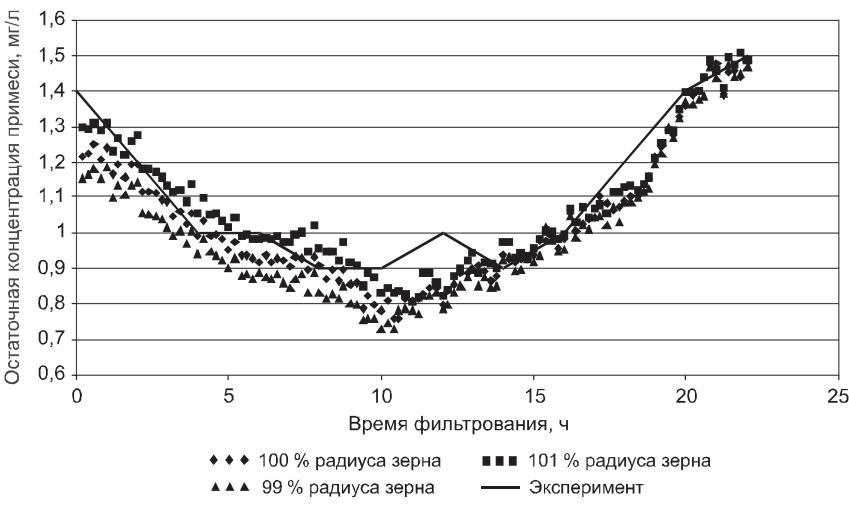


Рис. 6. Зависимость результата моделирования остаточной концентрации примеси от изменения на 1 % среднего радиуса зерна загрузки

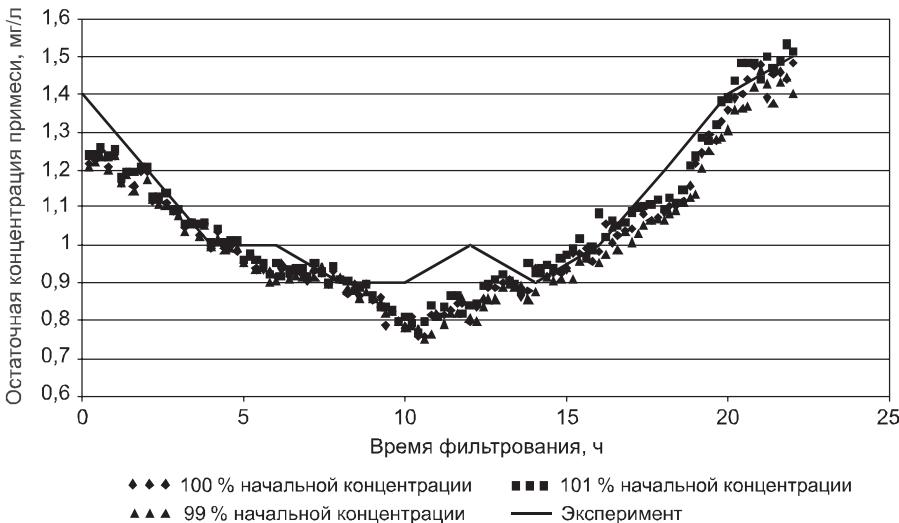


Рис. 7. Зависимость результата моделирования остаточной концентрации примеси от изменения на 1 % исходной концентрации примеси

$C^*(t_i)$ — остаточная концентрация примеси в t_i момент времени по результатам физического эксперимента.

Измерения проводились с шагом 2 ч.

Изменение на 1 % радиуса примеси, начальной пористости, радиуса зерна загрузки или начальной концентрации дает увеличение расхождения до 10,7 % по формуле (1) моделируемой остаточной концентрации от экспериментальной (рис. 4–7), что свидетельствует о сильной чувствительности модели к точности измерения исходных данных.

Выводы. 1. Построенная математическая модель «функционирует» устойчиво и адекватно отображает работу реактора-осветителя с загрузкой из дробленого кварца и горелых пород.

2. Существенным достоинством является моделирование при наличии только одного подбираемого коэффициента плотности прилипания частиц примеси к фильтрующему материалу, при этом остальные параметры либо задаются априорно, либо вычисляются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Rogasinsky, S.V. Statistical modelling of the solution of the nonlinear Boltzmann equation in the spatially inhomogeneous case [Text] / S.V. Rogasinsky // Russ. J. Numer. Analys. Math. Modelling. — 2009. — Vol. 24, N 5. — P. 495–513.
- Войтов, Е.Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением : моногр. [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 217 с.
- Сколубович, Ю.Л. Физическая модель процесса очистки водных суспензий во взвешенном слое контактной массы [Текст] / Ю.Л. Сколубович, С.М. Зеркаль, Б.Л. Паклин, Е.Л. Войтов, А.Ю. Сколубович // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 4. — С. 116–121.
- Сколубович, Ю.Л. Численное моделирование процесса очистки водных растворов в псевдоожженном слое контактной массы [Текст] / Ю.Л. Сколубович, О.А. Бойко, С.М. Зеркаль, С.В. Рогазинский, Е.Л. Войтов, А.Ю. Сколубович // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 7–8. — С. 38–44.

СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

БОЙКО Ольга Александровна, ст. препод.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ЗЕРКАЛЬ Сергей Михайлович, д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

РОГАЗИНСКИЙ Сергей Валентинович, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

ВОЙТОВ Евгений Леонидович, канд. техн. наук, доц.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

СКОЛУБОВИЧ Алексей Юрьевич, канд. техн. наук

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 26.07.12

Skolubovich Yury Leonidovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Boyko Olga Alexandrovna, senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Zerkali Sergey Mihaylovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Rogazinsky Sergey Valentinovich, doctor of physical and mathematical sciences, senior researcher, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Russia

Voytov Evgeniy Leonidovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Skolubovich Alexey Yuryevich, candidate of technical sciences, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THE NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE MISTAKE MEASUREMENTS PHYSICAL PARAMETER REACTOR-CLARIFIER ON STABILITY ITS STATISTICAL MODEL

Is executed analysis to mathematical model, displaying work weighted filtering loading the reactor-clarifier of the charred soil and quartz sand. The designed model adequately reflects functioning the reactor with two different filtering material.

Key words: the measuring mistakes, stability, mathematical model, filtering layer, the reactor-clarifier, weighted loading, factor, density, adhesion, charred soil, crushed quartz, structure.

REFERENCES

1. Rogasinsky, S.V. Statistical modelling of the solution of the nonlinear Boltzmann equation in the spatially inhomogeneous case [Text] / S.V. Rogasinsky // Russ. J. Numer. Analys. Math. Modelling. — 2009. — Vol. 24, N 5. — P. 495–513.
2. Voytov, E.L. Preparation of drinking water from surface sources with raised natural and anthropogenous contamination : monograph [Text] / E.L. Voytov, Yu.L. Skolubovich. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2010. — 217 p.
3. Skolubovich, Yu.L. The Physical model of the process peelings water suspenziy in weighted layer of the contact mass [Text] / Yu.L. Skolubovich, S.M. Zerkali, B.L. Paklin, E.L. Voytov, A.Yu. Skolubovich // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 4. — P. 116–121.
4. Skolubovich, Yu.L. The Numerical modeling of the process peelings water solution in weighted layer of the contact mass [Text] / Yu.L. Skolubovich, O.A. Boyko, S.M. Zerkali, S.V. Rogazinsky, E.L. Voytov, A.Yu. Skolubovich // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 7–8. — P. 38–44.

УДК 628.336

Т.И. ХАЛТУРИНА, О.В. ЧУРБАКОВА, Е.В. КОЛДЫРЕВ

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ
ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Представлены результаты исследований интенсификации обезвоживания осадка хромсодержащих сточных вод при регулировании криогенной обработки в естественных условиях.

Ключевые слова: осадок, хромсодержащие сточные воды, рентгенофазовый анализ, термогравиметрический анализ, состав, структура осадка.

При очистке сточных вод металлообрабатывающих предприятий наиболее сложной проблемой является утилизация труднофильтруемых осадков. Известно [1, 2], что для улучшения водоотдающих свойств осадков промышленных сточных вод применяется криогенная обработка. Широкому внедрению криогенных технологий в Сибири и на Крайнем Севере препятствует недостаточная изученность закономерности процессов замораживания в естественных условиях. Для интенсификации обезвоживания необходимо регулировать процесс криогенеза осадка [3].

На кафедре Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета (ИСИ СФУ) разработана установка [4] для обработки осадков путем замораживания в естественных условиях с целью улучшения их водоотдающей способности.

В настоящей работе исследовали процесс обезвоживания осадка хромсодержащих сточных вод, полученного при гальванокоагуляционной обработке с использованием гальванопары Fe-СГН (углерод-минеральный сорбент).

В лаборатории физико-химических методов анализа ИСИ СФУ провели рентгенофазовый и термогравиметрический анализ осадка.

Структуру осадка изучали с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре ADVANCE D8, фирма Bruker (Germany), в интервалах углов 2θ $10-70^\circ$. Дифрактограмма осадка представлена на рис. 1.

Как следует из дифрактограммы, осадок представлен в основном гематитом и его модификациями. Основу кристаллической фазы составляет гематит Fe_2O_3 ($d = 3,68; 2,69; 2,2; 1,84; 1,49; 1,45$) и магнетит Fe_3O_4 ($d = 2,51; 1,69; 1,6$). Кроме того, на дифрактограмме присутствуют следы дополнительных фаз, возможно, оксигидроксидов хрома, которые сложно идентифицировать.

Термогравиметрический анализ осадка провели на приборе NETZSCH STA 449F1, в диапазоне $30/100$ (К/мин)/1000, в режиме: ДСК-ТГ, где ТГ — кривая изменения массы, %. На термограмме (рис. 2) при $t = 264,5^\circ\text{C}$ $3,1322 \text{ мкВ}/\text{мг}$ и $t = 283,9^\circ\text{C}$ $3,163 \text{ мкВ}/\text{мг}$ наблюдаются экзоэффекты, которые, вероятно, связаны с полиморфным переходом оксигидратных форм железа и хрома.

© Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Колдырев Е.В., 2012

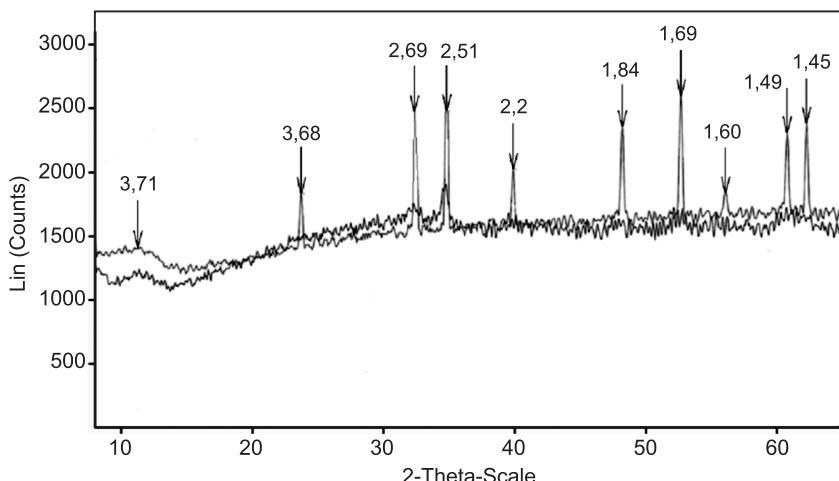


Рис. 1. Дифрактограмма осадка

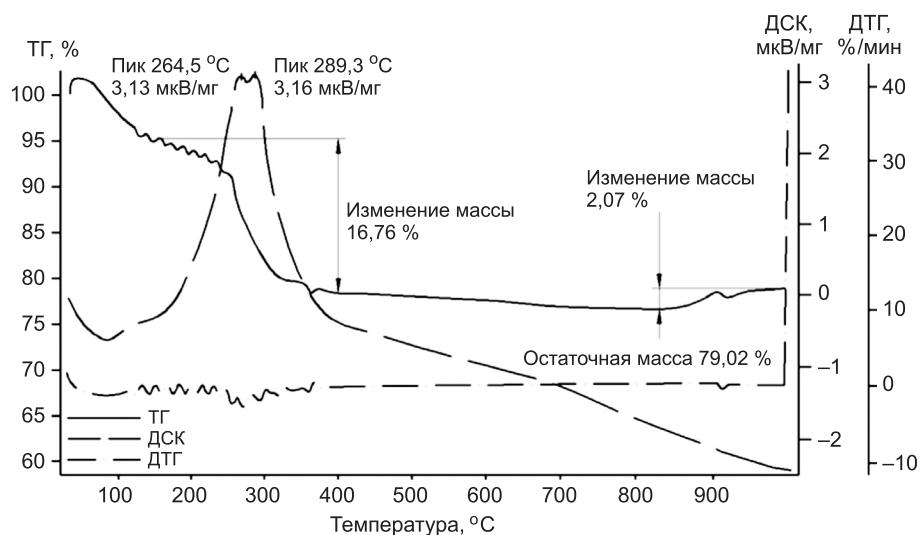


Рис. 2. Термограмма осадка

Были изучены свойства осадка после гальванокоагуляционной обработки хромсодержащих сточных вод (табл. 1).

Осадок обладает повышенными значениями влажности и удельного сопротивления фильтрации. Плохие водоотдающие свойства объясняются его аморфной структурой, что подтверждено дифрактограммой. Данные эксперимента показали, что свойства осадка определяются исходной концентрацией Cr^{+6} и режимами гальванообработки. Так как известно [1], что замораживание и отстаивание приводит к изменению физико-хи-

Таблица 1
Свойства осадка после гальванокоагуляционной обработки

Концентрация хрома в сточной воде, мг / дм ³	Влажность, %	Сухой остаток, г / дм ³	Прокаленный остаток, г / дм ³		П.п.н., г / дм ³		Удельное сопротивление фильтрации, см / г
			%	800 °C	%	800 °C	
35	99,31	6,72	89	6,0	11	0,72	$146,63 \cdot 10^{10}$
65	98,85	11,17	88	9,88	12	1,19	$249,27 \cdot 10^{10}$
95	99	18,3	92,6	16,95	7,4	1,35	$407,89 \cdot 10^{10}$

мической структуры осадка вследствие перераспределения различных форм связи влаги с твердыми частицами, были проведены исследования по изучению влияния условий замораживания на водоотдачу гидроксидного осадка хромсодержащих сточных вод. Кинетику процесса замораживания определяли следующим образом: в емкости заливали равный объем (100 мл) гидроксидного осадка с различным физико-химическим составом. Удельная поверхность промораживания $S_{уд} = 60,8 \text{ мм}^2/\text{дм}^3$ (во всех случаях была одинакова). Через определенные промежутки времени ($\tau = 60, 120, 180, 240, 300, 420 \text{ мин}$) при различных температурах фиксировалась глубина промерзания h .

Результаты экспериментальных данных обработали в табличном процессоре Excel, что позволило построить графические зависимости и получить уравнения аппроксимации (рис. 3).

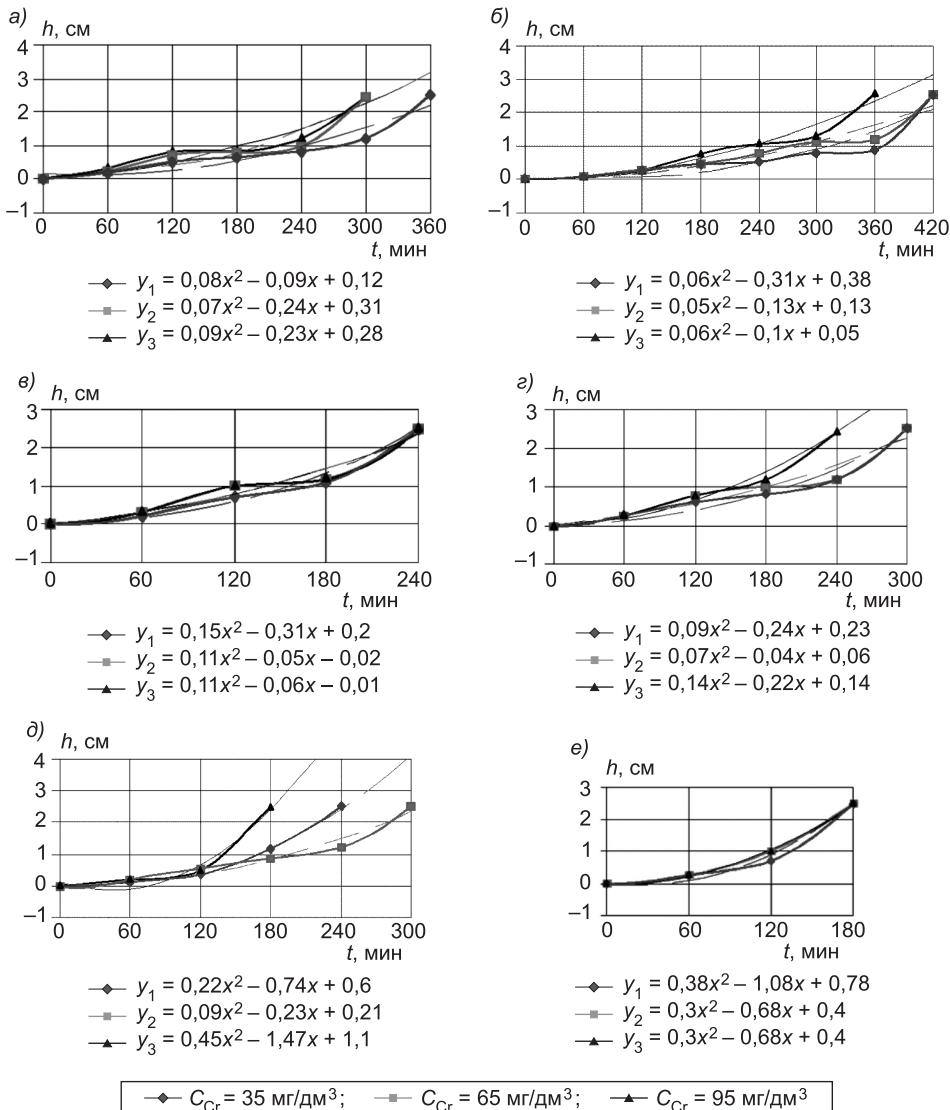


Рис. 3. Графические зависимости глубины промерзания от времени при различных условиях замораживания осадка

a — $V_B = 2,2 \text{ м/c}$, $t = -3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; б — $V_B = 1,2 \text{ м/c}$, $t = -6 \text{ }^{\circ}\text{C}$; в — $V_B = 0,7 \text{ м/c}$, $t = -7 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
г — $V_B = 0,7 \text{ м/c}$, $t = -8 \text{ }^{\circ}\text{C}$; д — $V_B = 1,5 \text{ м/c}$, $t = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; е — $V_B = 1,2 \text{ м/c}$,
 $t = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}$

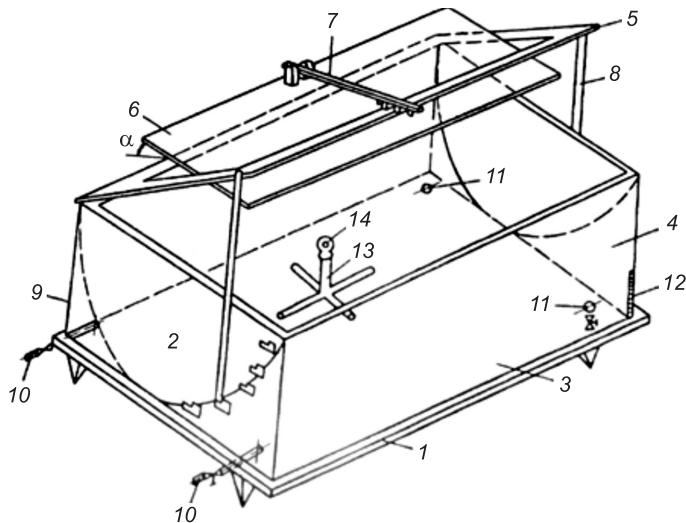


Рис. 4. Схема устройства по замораживанию осадка

1 — площадка охлаждения; 2 — торцевая стенка рабочей камеры; 3 — рабочая камера; 4 — передняя стенка рабочей камеры; 5 — щит; 6 — плоскость-элерон; 7 — система подъема элерона; 8 — система подъема рабочего щита; 9 — гидроотсеки; 10 — патрубки для подачи горячей воды; 11 — патрубки для сброса горячей воды; 12 — термодатчик; 13 — траверса; 14 — монтажная петля траверсы

Исследования процесса криогенной обработки были проведены в установке, схема которой представлена на рис. 4.

Установка работает следующим образом: осадок помещается в передвижную емкость с рабочей камерой 3 и монтажной траверсой 13. После чего емкость закрывается щитом 5, в который вмонтирована плоскость-элерон 6, и устанавливается на площадке охлаждения 1. Учитывая скорость ветра и температуру окружающей среды, плоскость-элерон размещали под требуемым углом α с помощью систем подъема рабочего щита и элерона 7, 8. Для удаления замороженного осадка в гидроотсеки 9 осуществляется подача горячей воды через патрубки 10, где она контактирует с цилиндрической поверхностью рабочей камеры. По термодатчику 12 определяется время появления нулевой изотермы на зонной поверхности осадка рабочей камеры, тем самым исключается сцепление замороженного осадка с внутренней поверхностью камеры. С помощью траверсы 13 осадок (как эскимо) удаляется для оттаивания, а передвижной резервуар направляется на следующий цикл замораживания.

Рабочая камера оборудована щитом, в который вмонтирована плоскость-элерон. Конструкция щита с плоскостью-элероном позволяет регулировать высоту оси элерона над промораживаемым осадком для рассредоточения угла атаки воздушного потока от элерона по всей поверхности обрабатываемого осадка.

Для исследования принципиальной возможности и эффективности применения установки с плоскостью-элероном для регулирования процесса замораживания осадка хромсодержащих сточных вод проводились эксперименты по определению оптимального угла наклона элерона.

Как видно из табл. 2, применение плоскости-элерона, устанавливаемой на определенный угол наклона, позволяет изменить скорость движения воздуха над охлаждающейся поверхностью осадка, интенсифицировать теплообмен и кинетику процесса промораживания, так как условия теплообмена зависят от общей жесткости погоды, которая определяется

Таблица 2

Влияние угла наклона элерона на изменение скорости ветра

α , °C	t , °C	$V_{\text{атм}}$, м/с	$V_{\text{элер}}$, м/с	ΔV , м/с
15	-5,5	2,2	2,22	0,02
30	-5,5	2,2	2,51	0,31
45	-5,5	2,2	2,75	0,55
60	-5,5	2,2	2,88	0,68
75	-5,5	2,2	2,48	0,28

как $F = (t_h^B, W)$, где t_h^B — температура наружного воздуха, °C; W — скорость ветра, м/с. Следовательно, скорость ветра влияет на интенсивность процесса замораживания.

Данные по изучению условий замораживания на изменение свойств осадка представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние угла наклона элерона и скорости ветра на свойства осадка

		Концентрация хрома, мг/дм ³	Температура замораживания, °C	Скорость ветра, м/с	Угол наклона элерона, град.	Объем осадка, %	Удельное сопротивление, см/г · 10 ¹⁰	Сухой остаток, г/л	Прокаленный остаток, г/л	Потери при прокаливании, г/л
35	Без обработки	—	—	—	95	146,63	6,75	6,0	0,72	
	После замораживания	-5,5	2,2	30	3,8	26,66	11,54	10,14	1,4	
		-4	1,0	45	4,5	29,32	10,77	9,96	0,81	
		-7	1,2	60	6,8	37,32	10,6	9,2	1,4	
		-7	1,0	0	7,5	86,64	13,05	11,93	1,12	
65	Без обработки	—	—	—	94	249,27	11,17	9,88	1,19	
	После замораживания	-5,5	2,2	30	3	85,31	25,79	23,72	2,07	
		-5,5	2,2	45	4,5	87,99	26,84	21,54	5,30	
		-4	1,0	60	4,9	88,29	24	22,13	1,87	
		-7	1,2	0	8	90,64	21,14	20,01	1,13	
95	Без обработки	—	—	—	98	407,89	18,3	16,95	1,35	
	После замораживания	-5,5	2,2	30	5,25	162,15	26,49	25,81	0,68	
		-4	1,0	45	4,9	143,96	26,58	25,00	1,58	
		-4	1,2	60	4,5	109,30	31,42	28,38	3,04	
		-7	1,0	0	6,1	179,31	30,05	26,73	3,32	

Исследования по влиянию угла наклона элерона на влажность осадка и его объем показали, что для установки элерона под углом α при определенных условиях замораживания необходимо учитывать состав осадка для снижения объема и удельного сопротивления фильтрации.

Выводы. 1. Проведен рентгенофазовый и термогравиметрический анализ осадков хромсодержащих сточных вод, позволивший определить их состав.

2. При исследовании криогенеза осадка установлено, что регулирование процесса замораживания осадка приводит к улучшению его водоотдающих свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Любарский, В.М. Осадки природных вод и методы их обработки [Текст] / В.М. Любарский. — М. : Стройиздат, 1980. — 129 с.
2. Туровский, И.С. Обработка осадка сточных вод [Текст] / И.С. Туровский. — М. : Стройиздат, 1988. — 146 с.
3. Чурбакова, О.В. Обработка и утилизация осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий : автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / О.В. Чурбакова. — Новосибирск, 2001.
4. А. с. 1495316 СССР. МКИ С 02 F 11/20 Установка для обезвоживания сточных вод [Текст] / Б.Ф. Турутин, Т.И. Халтурина, Э.А. Котанова, Т.Я. Пазенко; Опубл. 23.07.89, Бюл. № 27.

*ХАЛТУРИНА Тамара Ивановна, канд. хим. наук, проф.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
ЧУРБАКОВА Ольга Викторовна, канд. техн. наук, доц.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
КОЛДЫРЕВ Евгений Васильевич, студ.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Получено 19.07.12

Khalturina Tamara Ivanovna, candidate of chemical sciences, professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Churbakova Olga Victorovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Koldirev Evgeniy Vasilyevich, student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

THE INTENSIFICATION OF THE PROCESS DEWATERING OF SEWAGE SLUDGE METAL ENTERPRISES

The paper presents the results of studies on the intensification of the process dewatering wastewater chromium in the regulation of cryogenic treatment in vivo.

Key words: sediment, chromium-containing waste water, X-ray analysis, thermogravimetric analysis, composition, structure of the sediment.

REFERENCES

1. Lubarsky, V.M. Precipitation in natural waters and methods for their treatment [Text] / V.M. Lubarsky. — M. : Stroyizdat, 1980. — 129 p.
 2. Turovsky, I.S. Treatment of sewage sludge [Text] / I.S. Turovsky. — M. : Stroyizdat, 1988. — 146 p.
 3. Churbakova, O.V. Handling and disposal of sewage sludge metal enterprises : abstract of thesis ... candidate technical sciences [Text] / O.V. Churbakova. — Novosibirsk, 2001.
 4. А. с. 1495316 USSR. C 02 F 11/20 Installation of dewatering sewage [Text] / B.F. Turutin, T.I. Khalturina, E.A. Kotanova, T.Ya. Pazenko ; Publ. 23.07.89, Bul. N 27.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

А.С. ДЕДОВ, Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, А.В. ГРУЗИН

ВЛИЯНИЕ КАМЕРЫ ФОРСАЖА ХОЛОСТОГО ХОДА НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДРОССЕЛЬНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА

Проведено численное исследование влияния камеры форсажа со стороны камеры холостого хода дроссельного пневматического ударного механизма на изменение температуры и давления в его камерах.

Ключевые слова: дроссель, камера форсажа, расход воздуха, температура, давление, частота ударов.

Принципиальные схемы механизмов. Известна схема дроссельного пневматического ударного механизма (ДПУМ) (рис. 1), имеющего подвижную центральную трубку и ударник, совершающий возвратно-поступательные движения за счет разницы импульсов давления со стороны камер рабочего и холостого ходов [1]. Численное исследование данного механизма проводилось по предложенной физико-математической модели путем расчета на ЭВМ при помощи программы, составленной на языке Turbo Pascal.

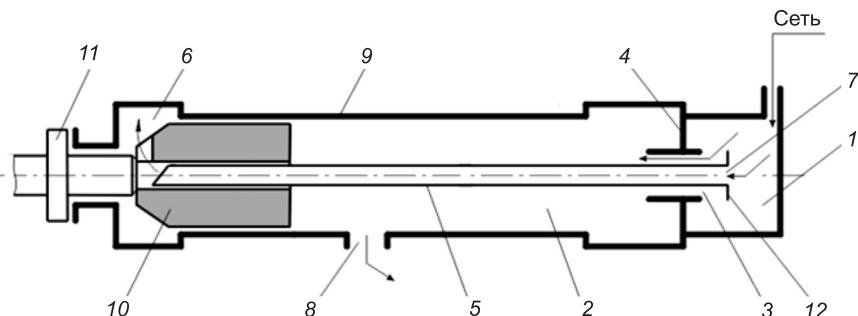


Рис. 1. Дроссельный пневматический ударный механизм

1 — камера сетевого воздуха; 2 — камера рабочего хода; 3 — кольцевой дроссель впуска;
4 — крышка; 5 — трубка воздухоподводящая; 6 — камера холостого хода; 7 — дроссель впуска в трубке; 8 — канал выпуска отработавшего воздуха; 9 — корпус; 10 — ударник;
11 — хвостовик рабочего инструмента; 12 — буртик

Также известна схема дроссельного пневматического ударного механизма с камерой форсажа холостого хода (ДПУМ(ФХ)) (рис. 2) [2]. Данный механизм содержит камеру форсажа холостого хода, которая образуется путем отделения требуемого объема от объема камеры холостого хода. Для исследования ДПУМ(ФХ) была составлена физико-математическая модель [3], численное решение которой также выполнялось на ЭВМ при помощи программы Turbo Pascal.

© Дедов А.С., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Грузин А.В., 2012

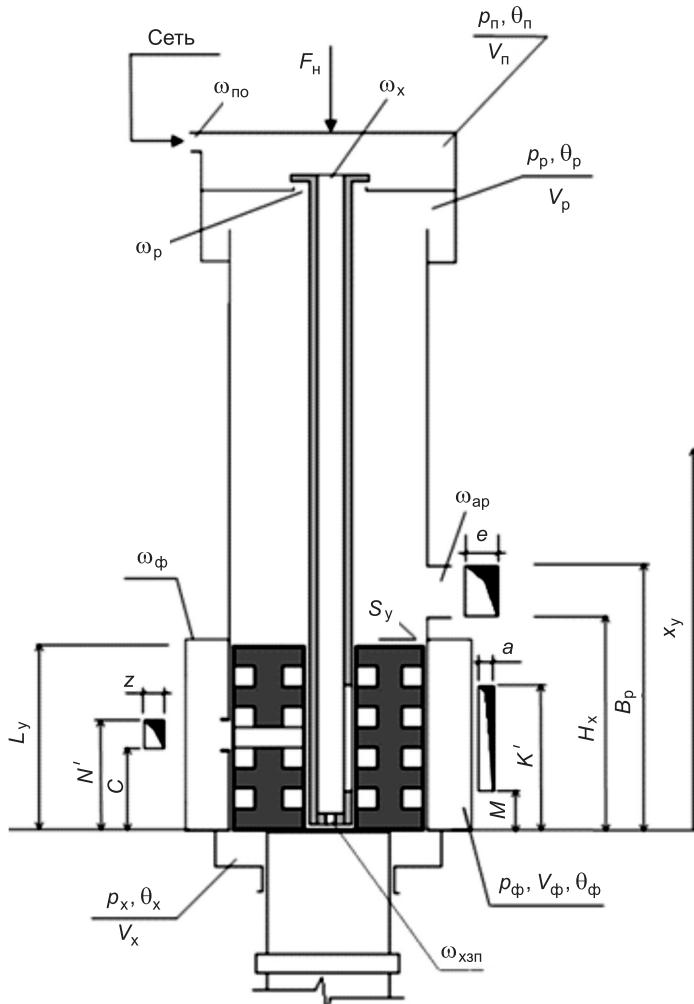


Рис. 2. Дроссельный пневматический ударный механизм с камерой форсажа холостого хода

x_y, L_y, S_y — перемещение, длина и площадь сечения ударника; H_x, B_p , C, N' — соответственно координаты отсекающих кромок срезов каналов выпуска и форсажа; K', M — координаты кромок щелевидного канала в трубке; e, z, a — соответственно ширина каналов выпуска, форсажа и щели в трубке; F_h — усилие нажатия на корпус; $\omega_{ap}, \omega_p, \omega_x, \omega_{po}, \omega_\phi$ — соответственно проходные сечения каналов выпуска и впуска в камеры рабочего и холостого ходов, предкамеру и из камеры форсажа в камеру холостого хода; $\omega_{xзп}$ — проходное сечение дросселя запуска камеры холостого хода при выпуске из предкамеры; p_n, p_p, p_x, p_ϕ — давление воздуха соответственно в предкамере, камерах рабочего, холостого ходов и форсажа; $\theta_n, \theta_p, \theta_x, \theta_\phi$ — температура воздуха соответственно в предкамере, камерах рабочего, холостого ходов и форсажа; V_n, V_p, V_x, V_ϕ — объемы соответственно предкамеры, камеры рабочего, холостого ходов и форсажа

Оценка давления и расхода воздуха пневматическим ударным механизмом (ПУМ). Основные энергетические параметры ДПУМ(ФХ) и ДПУМ представлены для сравнения в табл. 1. Численные исследования выполнены по одной программе для одинаковых суммарных объемов рабочих камер, масс и диаметров ударника.

Общий вывод по сравнению параметров сводится к следующему. При незначительном (до 6 %) расхождении по ударной мощности скорость

Таблица 1
Основные энергетические параметры ПУМ и их величины

Параметр	Тип ПУМ	
	ДПУМ(ФХ)	ДПУМ
Энергия единичного удара, Дж	837,091	902,749
Частота ударов, Гц	13,33	13,15
Скорость соударения, м/с	12,335	11,878
Расход воздуха, м ³ /с	0,36342	0,41545
Объем воздуха за 1 цикл, м ³ /цикл (м ³ /Гц)	0,02726	0,03159

соударения ударника с хвостовиком инструмента выше на 4 % в ДПУМ(ФХ) из-за меньшего импульса противодавления в камере холостого хода. Расход воздуха (м³/с) снизился на 11,5 %, что позволило уменьшить объем воздуха (м³/цикл) до 14 %.

Под параметрами расхода воздуха полагаем: расход воздуха (м³/с); удельный расход воздуха (м³/(с · Вт) ≡ м³/Дж) и расход воздуха за цикл (м³/цикл, как на 1 Дж, так и на 1 Вт). Отсчеты для указанных параметров выполнили для $p_0 = 0,5; 0,6; 0,7$ МПа, что соответствует максимально возможным колебаниям давления воздуха при расчетном его значении 0,6 МПа. Заметим, что расход воздуха за цикл является наиболее представительным показателем работы механизма при единовременном единичном расходе (затратах) на общую энергию, получаемую за счет единичного расхода при частоте ударов на 1 Гц. После этого можно перейти к единичному расходу воздуха на 1 Дж (м³/Дж) или на 1 Вт (м³/Вт).

Максимальное давление воздуха в камере холостого хода ДПУМ(ФХ) на 17,6 % выше, и к моменту соударения ударника с инструментом различия снижаются до 5,6 % в сравнении с ДПУМ. При этом разница в давлениях воздуха в ДПУМ(ФХ) в начале сообщения камеры форсажа с камерой холостого хода и в конце сообщения достигает 11,6 %, что характеризует достаточно интенсивный процесс смешения воздуха и выравнивание давления в обеих камерах.

Взаимозависимости между давлениями воздуха и координатами (геометрическими параметрами) каналов впуска из предкамеры в камеру форсажа и из нее в камеру холостого хода определяются различием в давлениях воздуха в начале открытия канала выпуска и в конце его полного открытия в 42–44 %. Давление в камере холостого хода перед ударом по хвостовику инструмента и камере форсажа отличается более чем вдвое (213, 15 %), что подтверждает достаточное опорожнение камеры форсажа и ее полное разобщение с камерой холостого хода (табл. 2). При этом фиксируется возрастание давления воздуха в камере форсажа после разобщения с камерой холостого хода до последующего сообщения с ней при холостом ходе до максимального (0,575 МПа), что составляет 95,83 % от величины сетевого давления 0,6 МПа. Таким образом, потери давления воздуха в предкамере и перепускном канале — до 4,2 %.

Результаты, приведенные для давлений воздуха, обусловлены его расходом между камерами, включая расход по запуску (менее 10 % (9,33 %) от суммарного расхода воздуха камерой холостого хода). При этом расход воздуха камеры холостого хода в ДПУМ(ФХ) ниже на 3,85 % расхода в ДПУМ и доля расхода воздуха камерой форсажа колеблется от 90 до 91 %. Суммарный расход воздуха камерой рабочего хода у ДПУМ(ФХ) ниже на 16,16 %, камерой холостого хода — на 3,85 %. Такая незначительная добавка воздуха в камеру холостого хода вполне могла ликвидировать разницу (6,01%) в ударной мощности между

Таблица 2

Изменения давлений воздуха в рабочих камерах ПУМ, МПа

Параметр	Модели ПУМ	
	ДПУМ(ФХ)	ДПУМ
Камера рабочего хода		
Давление воздуха в камере рабочего хода:		
— в конце холостого хода	0,535	0,540
— максимальное давление	0,565	0,570
— в начале выпуска	0,476	0,476
— в конце выпуска	0,100	0,100
— перед соударением	0,260	0,225
Камера холостого хода		
Давление воздуха в камере холостого хода:		
— в начале сжатия	0,100	0,100
— перед выпуском	0,225	0,225
— максимальное	0,535	0,455
— в начале соединения с камерой форсажа	0,225	—
— в конце соединения с камерой форсажа	0,251	—
— перед соударением	0,475	0,450
Камера форсажа холостого хода		
Давление воздуха в камере форсажа:		
— в начале сжатия	0,100	—
— в начале впуска	0,100	—
— максимальное	0,535	—
— в начале выпуска из камеры в камеру холостого хода	0,225	—
— в начале соединения с камерой холостого хода	0,575	—
— в конце соединения с камерой холостого хода	0,251	—
— перед соударением с хвостовиком инструмента	0,535	—

ДПУМ(ФХ) и ДПУМ, поскольку расход воздуха за цикл у ДПУМ(ФХ) снижен до 12,77 %, что видно из табл. 3.

Объем воздуха, потребляемый ДПУМ(ФХ) за цикл, меньше ДПУМ на 15,14 %. Другие единичные показатели представлены в табл. 3. Отметим, что снижение сил отдачи у ДПУМ(ФХ) уменьшает отход назад пневмодвижителя и увеличивает скорость прокладки новой трубы водоотведения.

Оценка изменений температуры воздуха в рабочих камерах на характерных участках рабочего цикла. Для сравнительной оценки температур воздуха использованы осциллограммы моделирования рабочих процессов при установленных режимах работы ДПУМ(ФХ) и ДПУМ. Результаты обработки осциллограмм для характерных точек температур сведены в табл. 4.

Оценим тенденции изменения температуры воздуха в камере форсажа со стороны камеры холостого хода в ДПУМ(ФХ). Пониженная температура (на 16 K) в сравнении с температурой атмосферы (290 K) объясняется истечением воздуха в камеру холостого хода, т.е. расширением с уменьшением давления и температуры воздуха. После разобщения с камерой холостого хода давление и температура увеличиваются за счет сжатия имеющегося воздуха и втекающего в камеру из предкамеры, поскольку $p_{\text{п}} > p_{\text{фх}}$. По мере выравнивания давлений выравнивается тем-

Таблица 3
Расход воздуха рабочими камерами ПУМ

Параметр	Модели ПУМ	
	ДПУМ(ФХ)	ДПУМ
Расход воздуха, м ³ /с:		
— камерой рабочего хода, максимум	0,2179	0,2599
— камерой холостого хода	0,1500	0,1560
— каналом запуска холостого хода	0,0140	—
— камерой форсажа холостого хода	0,1360	—
— камерой рабочего хода, минимум	0,0050	0,0050
Удельный расход воздуха, общий, м ³ /(с · Вт)	$3,256 \cdot 10^{-5}$	$3,500 \cdot 10^{-5}$
Объем воздуха за 1 цикл, общий, м ³	$2,726 \cdot 10^{-2}$	$3,163 \cdot 10^{-2}$
— на 1 Вт, м ³ /Вт	$2,443 \cdot 10^{-6}$	$2,661 \cdot 10^{-6}$
— на 1 Дж, м ³ /Дж	$3,256 \cdot 10^{-5}$	$3,500 \cdot 10^{-5}$
— на 1 Гц, м ³ /Гц	$2,726 \cdot 10^{-2}$	$3,163 \cdot 10^{-2}$

Таблица 4
Характерные изменения температуры в рабочих камерах ПУМ, К

Параметр	Модели ПУМ	
	ДПУМ(ФХ)	ДПУМ
Камера рабочего хода		
Температура воздуха в камере рабочего хода		
— максимальная	342,84	356,25
— в начале выпуска	285,70	296,88
— в конце выпуска	199,99	231,25
— в конце холостого хода	217,13	248,39
Камера холостого хода		
Температура в камере холостого хода		
— максимальная	466,64	417,56
— перед соударением	466,64	417,56
— в начале соединения с камерой форсажа	407,38	—
— в конце соединения с камерой форсажа	399,98	—
— в начале сжатия	274,06	282,43
— в начале выпуска из камеры	340,72	309,46
— в конце выпуска из камеры	259,25	251,41
Камера форсажа холостого хода		
Температура воздуха в камере форсажа		
— в начале наполнения	274,06	—
— максимальная	466,64	—
— в начале соединения с камерой холостого хода	407,38	—
— в конце соединения с камерой холостого хода	399,98	—

температура воздуха до 466,64 К, что выше температуры в предкамере за счет сжатия воздуха в камере поступающим воздухом. При этом поддерживается соотношение $p_n > p_{\phi x}$, но $\theta_{\phi x} > \theta_n$.

Отметим совпадение значений температур воздуха в камере форсажа и камере холостого хода: максимальной (466,64 К), в начале соединения камер (407,38 К) и в конце соединения камер (399,98 К), что характери-

зует практически мгновенное смешивание воздуха в малых объемах камер в случае их сообщения. Этому обстоятельству соответствует значительно большее проходное сечение $\omega_{\text{хф}}$ в сравнении с $\omega_{\text{фп}}$. Такое эффективное смешивание можно считать положительным процессом в выравнивании параметров состояния воздуха в обеих камерах.

Тенденции изменения температуры в камерах рабочего хода ДПУМ(ФХ) и ДПУМ сводятся к следующим выводам качественного и количественного характера. В ДПУМ температура воздуха имеет более высокие значения, что можно объяснить большей скоростью ударника при холостом ходе, а следовательно, более интенсивным сжатием воздуха в камере холостого хода при рабочем ходе в сравнении с ДПУМ(ФХ).

Соответственно при больших скоростях ударника воздух расширяется более интенсивно, что приводит к большему массовому количеству впускаемого в камеру рабочего хода воздуха из предкамеры (сети). Этому также способствует увеличение давления воздуха в камере холостого хода и камере форсажа при рабочем ходе ударника, за счет чего возрастает давление воздуха в предкамере. Разница давлений на впуске в камеру рабочего хода предопределяет повышение расхода воздуха камерой, т.е. при увеличении отношения $p_{\text{n}}/p_{\text{p}}$ следует уменьшение расхода воздуха и, несмотря на его расширение за счет втекаемого воздуха из предкамеры, температура в ДПУМ остается более высокой в сравнении с ДПУМ(ФХ).

В камере холостого хода ДПУМ(ФХ) в период рабочего хода ударника температура возрастает из-за сжатия более ограниченного объема V'_{x} камеры, который уменьшился за счет введения объема $V_{\text{фх}}$ камеры форсажа, так как отношение $V_{\text{p}}/V_{\text{x}} = V_{\text{p}}/(V'_{\text{x}} + V_{\text{фх}})$ равно $\lambda_{\text{рац}} = \text{const}$. Несколько большее противодавление потребовалось сохранить в ДПУМ(ФХ) для обеспечения импульса давления со стороны камеры холостого хода.

Большее значение температуры воздуха в начале сжатия в камере холостого хода у ДПУМ можно объяснить отсутствием дополнительного объема в виде камеры форсажа, а следовательно, большим количеством воздуха в одном сжимаемом объеме V_{x} . Это приводит к уменьшению в ДПУМ отношения $p_{\text{n}}/p_{\text{p}}$, что предопределяет повышенный массовый расход воздуха для камеры холостого хода и, как следствие, начало сжатия большего количества воздуха с большей интенсивностью при большей скорости ударника в сравнении с ДПУМ(ФХ). На всех остальных участках значения температуры воздуха выше у ДПУМ(ФХ).

Различие температур в начале сжатия в камере холостого хода подтверждается изменением температур в камере форсажа, т.е. в раздельных объемах V'_{x} и $V_{\text{фх}}$ температура повышается за счет сжатия в объеме V'_{x} с выпусктом некоторого количества воздуха из предкамеры посредством канала запуска с проходным сечением ω_{3x} .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутумов, А.А. Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов: моногр. [Текст] / А.А. Кутумов, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. — 376 с.
2. Пат. 2336990 Российская Федерация, B25D9/04, E21B1/30. Пневматический молот с дроссельным воздухораспределением [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.Г. Гаревских, А.С. Дедов, Г.А. Мазалов, Е.С. Проскурникова ; заявитель и патентообладатель НГАСУ (Сибстрин). — № 2006125891/02 ; заявл. 17.07.2006; опубл. 27.10.08. Бюл. № 30.

3. Дедов, А.С. Пневматическое устройство ударного действия с дроссельным возду-хораспределением [Текст] / А.С. Дедов, В.Ю. Ильюченко, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков // Актуальные проблемы современности : Междунар. науч. журн. — Караганды. — 2007. — № 2 (15). — С. 283–293.

ДЕДОВ Алексей Сергеевич, ст. препод.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

АБРАМЕНКОВ Дмитрий Эдуардович, д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

АБРАМЕНКОВ Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ГРУЗИН Алексей Владимирович, студ.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 02.07.12

Dedov Alexey Sergeevich, senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Abramenkov Dmitry Eduardovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Abramenkov Eduard Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Gruzin Alexey Vladimirovich, student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

EFFECT OF FORSAGE CHAMBER IDLE FOR THERMODYNAMIC PARAMETERS OF THROTTLE PNEUMATIC HAMMER MECHANISM

A numerical study of the effect of the forsage chamber camera idle throttle pneumatic impact mechanism to changes in temperature and pressure in his chambers.

Key words: throttle, forsage chamber, air flow, temperature, pressure, frequency.

REFERENCES

1. Kutumov, A.A. Mounted pneumatic hammers for breaking frozen ground: a monograph [Text] / A.A. Kutumov, D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov // Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2008. — 376 p.
2. Path. 2336990 Russian Federation, B25D9/04, E21B1/30. Pneumatic hammer with throttle air distribution [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, A.G. Garevskich, A.S. Dedov, G.A. Mazalov, E.S. Proskurnikova ; applicant and patentee NGASU (Sibstrin). — N 2006125891/02 ; appl. 17.07.2006 ; publ. 27.10.2008, Bull. N 30.
3. Dedov, A.S. Pneumatic Impact with throttle air-distribution [Text] / A.S. Dedov, V.Yu. Ilyuchenko, D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov // Actual problems of modern times. International J. — Karagandy. — 2007. — N 2 (15). — P. 283–293.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 728.2.(571.1)

Ю.И. ТАРАСОВА

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОХОДНЫХ ДОМОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В КОНЦЕ XIX — НАЧАЛЕ XX ВЕКА

Рассматривается историческая среда крупных сибирских городов: Томска, Омска, Новосибирска (бывший Новониколаевск), активное развитие которых относится к концу XIX — началу XX века, когда в связи с изменившимися социально-экономическими отношениями возник новый тип жилищного строительства — доходный дом, обращение к которому становится актуальным в XXI веке.

Ключевые слова: доходный дом, историческая среда городов Сибири, застройка центральной части города, деревянное и каменное зодчество, архитектурно-художественные стили, современный доходный дом.

Активное развитие сибирских городов в конце XIX — начале XX века, вызванное строительством железной дороги, отразилось на разрастании инфраструктуры и формировании планировочных каркасов, застройке центральных магистралей и увеличении городских функций с последующим притоком жителей из сельской местности. Рост численности населения привел к ускорению темпов жилищного строительства, а в результате — к возникновению нового типа жилого здания — доходного дома, ставшего одним из важных формирующих элементов застройки центральной части городов.

В начале XIX века строительство в Сибири велось повсеместно в деревне. Застройка складывалась из однообразно повторяющихся жилых домов-срубов, архитектура которых была аналогична крестьянской избе с планировочной основой в виде клети и ее вариаций — пятистенок, крестовый дом. Однако оригинальное декоративно-художественное оформление фасадов каждого дома делало облик застройки неповторимым.

С применением кирпича появились комбинированные здания: каменный цоколь или первый этаж, второй — из бруса или обшилый тесом. Каменные жилые дома были редким явлением и строились только в центре. Так формировалась смешанная застройка. Новый строительный материал (кирпич) определял престижность дома и статус владельца.

С учащением пожаров деревянное строительство в кварталах, где преобладали каменные здания, и возведение деревянных пристроек к ним было запрещено. Центральная часть застраивалась только каменными торговыми и жилыми домами.

Важными функциями сибирских городов, помимо исторически сложившейся — торговой, стали: промышленная, административная, научно-интеллектуальная. Города Сибири: Томск, Омск, Новониколаевск, превращались в культурные центры, способные воспринимать новые столичные тенденции в архитектуре и применять их в местном зодчестве.

Строительный бум в регионе совпал и с распространившимся из европейской части России стилем модерн. Он позволил лабильнее подходить к планировочным решениям и внес разнообразие в архитектурное убранство фасадов. Модерн повлиял на интересные архитектурные решения сибирских доходных домов. Состояние строительной промышленности и финансовые возможности ведущих слоев населения давали возможность воплощать в жизнь самые смелые идеи, заложенные архитекторами в проектах.

Архитектурно-художественный облик застройки в историческом ядре сибирских городов в конце XIX — начале XX века во многом обязан профессиональным архитекторам Москвы и Санкт-Петербурга. Выпускники столичных вузов работали в Томске (А.К. Бруни, К.К. Лыгин, П.П. Наанович, В.Ф. Оржешко, П.Ф. Федоровский и др.), Омске (И.Г. Хворинов, М.И. Шухман), Новониколаевске (А.Д. Крячков).

Несмотря на некоторое отставание «архитектурной моды» Сибири в первой половине XIX века, из-за удаленности от культурного центра России, облик городов к концу столетия наверстал упущенное и отразил все стилистические приемы, присущие архитектуре европейской части страны. В художественных решениях нашли отражение эклектика, «кирпичный стиль», модерн в большей степени, неоклассицизм и различные течения в русле определенного стиля, например, «северный» модерн. Высота подобных домов в крупных городах региона, как правило, не превышала трех этажей, в отличие от их прототипов в европейской части, где они были пяти-, шестиэтажными. Декоративное убранство фасадов выглядело гораздо скромнее столичных домов, но имело региональные особенности в применении материалов и стилистическом оформлении зданий (деревянный модерн Томска, каменное зодчество Новониколаевска).

Значительное влияние на формирование застройки центральной части городов оказало купечество, обладавшее большими экономическими и финансовыми возможностями. Купцы делились на три гильдии: к первой и второй относились крупные и зажиточные, к третьей — «средней руки». Крупным купцам принадлежали самые дорогостоящие и значимые здания, под строительство которых выбирались наиболее престижные районы и улицы. Торговые, жилые, доходные дома, а также магазины, склады, промышленные предприятия строились для собственных нужд, создавая планировочный каркас, обогащая пространство городской среды и облик исторического центра.

Поскольку торговля служила основной сферой вложения капиталов, строительство велось в наиболее оживленных городских кварталах, закрепляя местоположение центральных улиц и площадей в планировочной структуре. Так, в Томске появились две площади, явившиеся градостроительными узлами: главная и древнейшая на месте слияния Томи и Ушайки — Базарная и Соборная (совр. пл. Ленина и Новособорная), соединявшиеся главной магистралью города [1]. В Новониколаевске образовался четкий градостроительный каркас с главной улицей — Николаевским проспектом (ныне Красный проспект) с пересекающими его площадями на правом берегу Оби — главной Базарной или Ярмарочной — Старо-Базарной (совр. пл. Ленина) и Ново-Базарной (близ устья Каменки). Не менее важной была Базарная площадь, соединявшая Закаменский район с центром города (в настоящее время — пл. Пименова в Октябрьском районе) [2].

Помимо значимых зданий торгового, административного и промышленного назначения, крупные купцы возводили собственные жилые дома, выбирая престижные улицы центра, стремясь расположиться ближе к

главным площадям. В конце XIX века среди самых распространенных жилых купеческих домов — особняков появился новый тип — «доходный», зародившись сначала в европейской части России. В Сибири, перенимавшей столичные тенденции, такие дома активно внедрялись в городскую среду Омска, Томска, Новониколаевска и др.

На рубеже XIX–XX столетий происходила постепенная трансформация городской купеческой усадьбы, совмещавшей жилые помещения с торговыми, складскими и другими постройками. Появляется двухчастное деление дома по вертикали: торговые функции на первом этаже и жилые — на втором. Многие купцы, владея особняками в центре города, сдавали их внаем, предпочитая жить в деревянных теремках на тихих улочках в зелени на периферии.

Квартиры в доходных домах дифференцировались на «богатые», «средней руки» и дешевые.

«Богатые» находились на верхних этажах самых престижных и дорогостоящих зданий в центре города, которые строили крупные купцы первой гильдии. Первые этажи отводились под торговые функции, часть или весь второй этаж сдавался в том числе и под конторы. Примеры таких зданий приведены в табл. 1. К «богатой» аренде относились и собственные особняки купцов, как правило, второй гильдии.

Таблица 1
Примеры доходных домов, различающихся по статусу

«Богатый»	«Средний»	Дешевый	
Купцы 1-й гильдии	Купцы 2-й гильдии, военнослужащие высокого ранга	Купцы 3-й гильдии, военнослужащие, интеллигенция, частично мещане	
Томск			
Доходный дом Голованова	Доходный дом Флеера	Доходный дом Москвина	
Омск			
Доходный дом Кадыша	Доходный дом Давыдовой	Доходный дом полковника В.И. Волкова	Доходные дома не сохранились
Новониколаевск			
Доходный дом Бузолиной	Доходный дом	Доходный дом Куклина	Доходный дом

«Средний» доходный дом располагался близ центра и его собственниками зачастую являлись купцы третьей гильдии или состоятельные мещане. Эти дома были деревянными или комбинированными, их отличали усложненная объемно-пространственная композиция, богатая пластика фасада и обилие резного декора. Среди «средних» имелись и каменные.

Дешевые дома со съемными квартирами вытеснялись на периферию города.

Кроме купцов среди владельцев домов доходного типа встречались представители интеллигенции — писатели, архитекторы, а также военнослужащие. В Томске писатель В.Я. Шишков имел доходный дом рядом с собственным. Архитектор С.В. Хомич сдавал часть площадей личного особняка под частные квартиры.

Помимо социального-экономического уровня собственника и престижности местоположения в городе, статус доходного дома определяли строительные и отделочные материалы и в значительной степени выразительность архитектурного облика. Градостроительные регламенты по застройке кварталов и ограничения по применению дерева вносили свои корректировки в формирование различных типов доходного дома и художественного облика города.

Важными особенностями застройки центра городов Сибири явились:

1. Переход от торцевого расположения дома к продольному и последующее увеличение протяженности фасада.

2. Уплотнение планировочного ядра, повлекшее образование сплошных фасадов.

Постепенно облик центральных улиц превратился в протяженные каменные фасады. Однако индивидуальный подход к проектированию торговых сооружений и доходного строительства, учитывающий систему застройки и среду города, позволил сохранить неповторимость оформления каждого здания.

Омск ярко иллюстрирует наиболее развитые тенденции в доходном каменном домостроении, формирующем центральные улицы со сплошными фасадами. Отличительной особенностью каменных доходных домов являлись многоэтажность и архитектурный стиль, среди которых были распространены двух- и трехэтажные, иногда и выше (до шести), щедро декорированные. Интересы омских зодчих обращались к конструктивному и функциональному совершенству зданий. Деревянных домов, к сожалению, в городе не сохранилось [3]. В Томске уцелела историческая деревянная застройка центра с кварталами доходных домов. В отличие от старших собратьев Новониколаевск (Новосибирск) — самый молодой город, успел за короткий срок своего стремительного развития пережить все этапы формирования доходного дома. Однако сохранились лишь единичные как двухэтажные деревянные, так и трехэтажные каменные здания.

Анализируя сибирское доходное домостроение, отметим следующее:

1. «Богатые», дорогие доходные дома, размещаемые в центре, были каменными, двух- и трехэтажными, в стиле модерн или «кирпичном стиле», богато и обильно декорированными, с продуманным и удобным функциональным зонированием.

2. Доходные дома «средней руки», расположенные близ центра, — каменные двухэтажные, деревянные или комбинированные (кирпич, дерево) двух- и трехэтажные.

3. Дешевый доходный дом чаще оставался деревянным двухэтажным и занимал периферийное положение.

В архитектурно-художественном убранстве доходных домов отразились все стили конца XIX — начала XX века: эклектика, «кирпичный

стиль», модерн. Дорогие доходные дома в стиле эклектика выполнялись из красного кирпича, иногда с декоративными элементами из желтого песчаника. Множество зданий различного статуса возводилось в «кирпичном стиле». Уделялось большое внимание кладке, перевязке и толщине швов, качеству кирпича, так как большинство построек не штукатурилось. Модерн особенно обогатил архитектурный облик доходных домов, внеся металлический декор в кровли, водосточные трубы, дымники, карнизы, наличники, ограждения и прочее оформление. Вместе с новым стилем появились дома в виде замков-крепостей.

Доходные дома сибирских городов дореволюционного периода облашают исторической, градостроительной, архитектурно-эстетической и эмоционально-художественной ценностью, отразившейся в исторических зданиях центра, построенных с учетом тенденций европейской части России. Исторический опыт строительства домов подобного типа позволяет реанимировать идею «доходного дома» в XXI веке в связи с новыми социально-экономическими условиями, в чем-то аналогичными рубежу XIX–XX столетий. Такие дома уже появились в сибирских городах, что дает возможность проведения сравнительного анализа (табл. 2). Сопос-

Таблица 2
**Сравнительная характеристика исторических
и современных доходных домов Сибири**

Показатель	Исторический (конец XIX — начало XX века)	Современный (XXI век)
1	2	3
Владелец дома	Купечество (буржуазия)	Ведущая власть города
Социальный «ранг» жильцов, арендующих квартиры в доходном доме	<ul style="list-style-type: none"> — Богатые — «Средней руки» — Бедные (дешевая аренда) 	<ul style="list-style-type: none"> — Элитные слои населения (люкс) — Средний класс — Социальный слой (эконом-класс)
Основные требования к проектированию и строительству	<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение в городе и на участке 2. Удобная функционально-планировочная структура дома 3. Привлекательное архитектурно-художественное убранство главного фасада 4. Общественное обслуживание для города 5. Учет последних инженерных разработок (туалет, освещение, горячая вода и др.) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение в городе и на участке 2. Комфортная функционально-планировочная структура дома 3. Привлекательное и престижное архитектурно-художественное оформление всех фасадов 4. Общественное обслуживание для города и дома 5. Высокий уровень инженерного обеспечения
Градостроительные решения	<ul style="list-style-type: none"> — Город (положение в центральной части города, на главных площадях и центральных улицах) — Квартал (формирование дворового пространства — ворота, арки и пр.) 	<ul style="list-style-type: none"> — Город (положение в центральной части города, на центральных престижных улицах) — Квартал (формирование изолированного дворового пространства — шлагбаум, охрана, детские площадки и т.д.)
Функционально-планировочная структура дома	<ul style="list-style-type: none"> — Вертикальное зонирование: двухчастное (первые этажи — общественные функции; выше — приватные, жилые) — Функциональное зонирование: удобные квартиры со свободной планировочной структурой 	<ul style="list-style-type: none"> — Вертикальное зонирование: двухчастное (первые этажи — общественные функции; выше — приватные, жилые) — Функциональное зонирование: комфортные квартиры со свободной планировочной структурой

Окончание табл. 2

1	2	3
Архитектурно-художественные особенности	1. Разнообразие в применении строительных и отделочных материалов 2. Широкий спектр стилистических решений, распространенных в европейской части страны	1. Разнообразие в применении строительных и отделочных материалов 2. Свободный подход в стилистических решениях, основанный на столичном и мировом опыте
Общественное обслуживание	Зависимость состава общественных функций от окружающей городской среды, ее развития и изменения	Зависимость состава общественных функций от окружающей городской среды, ее развития и изменения, от категории жильцов дома
Инженерное обеспечение	1. Тенденции к высокому уровню инженерного обслуживания дома 2. Сочетание новых европейских технологий с региональными традициями в строительстве	1. Высокий уровень инженерного обслуживания дома (видеонаблюдение, домофон, лифт, кондиционирование и пр.) 2. Стремление к новым высокотехнологичным и экологичным решениям

тавление исторического доходного домостроения и современного отражает как общие черты (социально-экономические условия, градостроительные требования и пр.), так и кардинальные отличия (инженерно-техническое оснащение, применение современных строительных и отделочных материалов и т.д.).

В новом строительстве доходных домов существуют тенденции, сформированные историей доходного домостроения конца XIX — начала XX века (следование функциональному зонированию, высокому уровню современного обслуживания, разнообразию строительных материалов), подчеркивающие преемственность определенных традиций в зодчестве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Богданова, О.В. Главные площади Томска [Текст] / О.В. Богданова // Проектирование и строительство в Сибири. — 2004. — № 4 (22). — С. 14–18.
- Горюшкин, Л.М. Новосибирск в историческом прошлом (конец XIX — начало XX в.) [Текст] / Л.М. Горюшкин, Г.А. Бочanova, Л.Н. Цепляев. — Новосибирск : Наука, 1978. — 296 с.
- Энциклопедия города Омска : в 3 т. [Текст]. — Омск : ЛЕО, 2009. — Т. 1 : Омск: от прошлого к настоящему (период с 1716-го по 2008 год) / сост. Д. Алисов. — 919 с.

*ТАРАСОВА Юлия Игоревна, асп.; E-mail: y.i.tarasova@gmail.com
Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия (НГАХА)*

Получено 03.07.12

Tarasova Yuliya Igorevna, post-graduate student; E-mail: y.i.tarasova@gmail.com, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Art, Russia

THE CONSTRUCTION OF PROFITABLE HOUSES IN LARGE CITIES OF WESTERN SIBERIA IN THE LATE XIX — EARLY XX CENTURY

Considers the historical environment of the large Siberian cities: Tomsk, Omsk, Novosibirsk (Novonikolaevsk), active development of which dates from the late XIX — early XX century.

XX centuries. In this period in connection with the new socio-economic relations are developing a new type of housing — the profitable house, access to which becomes relevant in the XXI century.

Key words: the profitable house, the historical environment of the cities in Siberia, building the central part of town, wood and stone architecture, the architectural and artistic styles, the modern profitable house.

REFERENCES

1. Bogdanova, O.V. The main square of Tomsk [Text] / O.V. Bogdanova // Designing and construction in Siberia. — 2004. — N 4 (22). — P. 14–18.
 2. Gorushkin, L.M. Novosibirsk in the historical past (the late XIX – early XX century) [Text] / L.M. Gorushkin, G.A. Bochanova, L.N. Tseplyaev. — Novosibirsk : Nauka, 1978. — 296 p.
 3. The encyclopedia of Omsk : in 3 vol. [Text]. — Omsk : LEO, 2009. — Vol. 1 : Omsk: from the past to the present (the period from 1716 to 2008) / comp. D. Alisov. — 919 p.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

УДК 624.012.45

В.В. РООТ, Д.С. ШМАКОВ

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АППРОКСИМАЦИЙ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассматривается задача «о возникновении трещины нормального отрыва в изгибающихся железобетонных элементах с применением различных видов аппроксимирующих функций для описания диаграммы деформирования бетона при растяжении». Установлено, что для математического описания поведения железобетонных конструкций в стадии «до образования трещины» допустимо применять кусочно-линейные функции для описания поведения бетона под нагрузкой, а использование в расчетах «условных» диаграмм деформирования бетона при растяжении приводит к значительному изменению уровня деформаций в арматуре вследствие существенного различия между величинами накопленной удельной энергии деформирования разрушаемой части сечения.

Ключевые слова: коэффициент армирования, бетон, арматура, момент трещинообразования, трещина нормального отрыва, прогиб, динамика, плотность энергии деформирования разрушаемой части сечения, обратимая часть плотности энергии деформирования бетона разрушаемой части сечения.

Целью работы является исследование влияния вида аппроксимирующей функции для описания диаграммы деформирования бетона при растяжении (далее по тексту «вида функции») на изменение напряженно-деформированного состояния в расчетном сечении изгибающегося железобетонного элемента. В [1, 2] построена последовательность математических моделей, образующих основу алгоритмического комплекса для «сквозного» расчета железобетонного элемента при изгибе. В данной работе используются результаты первого этапа «сквозного» расчета. При оценке степени влияния вида функций на напряженно-деформированное состояние (НДС) в разрушаемом сечении изгибающегося железобетонного элемента физически адекватно учитывалось поведение материалов под нагрузкой.

В зависимости от режимов и скоростей нагружения диаграммы деформирования бетона (далее по тексту «диаграмма») одного и того же класса могут быть аппроксимированы различными функциями. Координаты узлов интерполяции могут изменяться в достаточно широком диапазоне. Ниспадающая ветвь, как правило, имеется на диаграмме при «жестком» нагружении. Например, в [3] предложена математическая модель, позволяющая переходить от «мягкого» к «жесткому» нагружению. При расчете реальных конструкций невозможно указать режим и скорости нагружения. Традиционно используемые величины предельных сопротивлений и предельных деформаций обладают большой степенью неопределен-

ленности [4]. В данной работе в качестве основной физической характеристики бетона предлагается величина удельной энергии разрушения.

«Условные» диаграммы деформирования бетона при растяжении строились при условии выполнения следующих гипотез:

1 — плотность удельной энергии деформирования в состоянии предразрушения является постоянной, т.е.

$$\int_0^{\varepsilon_{bt,ult}} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon = \text{const}; \quad (1)$$

2 — начальный модуль деформаций бетона (при кратковременном нагружении) величина постоянная, т.е.

$$E_{bt,0} = \frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon} \Big|_{\text{при } \varepsilon=0} = \text{const}. \quad (2)$$

Диаграммы деформирования бетона приняты согласно [1, 2]. Значения напряжений и деформаций в узловых точках диаграмм представлены в табл. 1. Для описания зависимостей между напряжениями и деформациями использованы сплайн-функции второго и первого порядка. Схематический вид «эталонной» диаграммы деформирования представлен на рис. 1.

Таблица 1

Координаты узловых точек «эталонной» диаграммы деформирования для бетонов класса В15

Параметр	Узел				
	1	2	3	4	5
ε_i	$-4,8 \cdot 10^{-3}$	$-1,4 \cdot 10^{-3}$	0	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$
σ_i , МПа	-17,5	-20,0	0	0,6050	0,4960

В работе [4] выполнен анализ различных видов аппроксимаций диаграмм деформирования бетона, полученных после обработки экспериментальных данных. Анализ показал, что при использовании сплайн-функций второго порядка и более сложных сплайнов отличие результатов составляет не более 7 %.

Общий вид функции, аппроксимирующей диаграмму растяжения бетона

$$\sigma(\varepsilon) = \begin{cases} A_{b3}\varepsilon^2 + B_{b3}\varepsilon + C_{b3} & \text{при } \varepsilon_{b3} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{b4} \\ A_{b4}\varepsilon^2 + B_{b4}\varepsilon + C_{b4} & \text{при } \varepsilon_{b4} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{b5}. \end{cases} \quad (3)$$

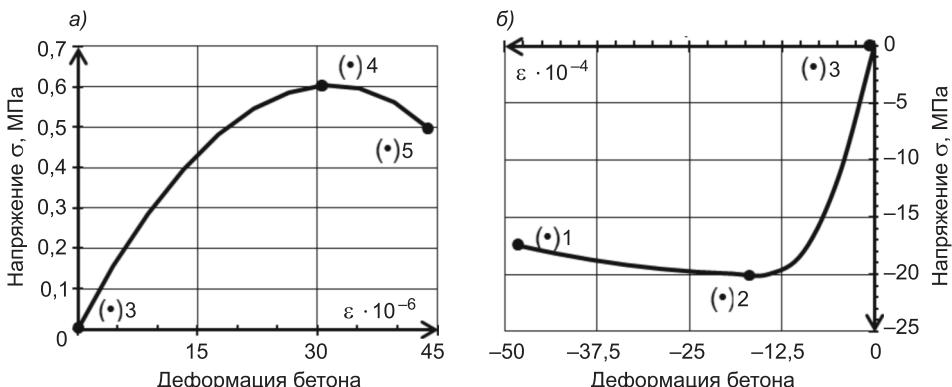


Рис. 1. «Эталонная» диаграмма деформирования для бетонов класса В15 при растяжении (а) и сжатии (б)

В зависимости от вида нагружения рассмотрены следующие виды аппроксимирующих функций:

- полином второго порядка (парабола) для описания «жесткого» и «мягкого» нагружения;
- кусочно-линейная (упругопластическая диаграмма Прандтля) диаграмма в соответствии с СП 52-101-03¹.

Постоянные в соотношениях (3) определяются из условий:

$$\sigma(0) = 0; \quad \sigma(\varepsilon_{b4}) = \sigma_{b4}; \quad \sigma(\varepsilon_{b5}) = \sigma_{b5}; \quad \sigma'(0) = E_{bt,0};$$

$$\sigma'_+(\varepsilon_{b4}) = \sigma'_-(\varepsilon_{b4}); \quad \sigma''_+(\varepsilon_{b4}) = \sigma''_-(\varepsilon_{b4}); \quad \int_0^{\varepsilon_{b5}} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon = W,$$

где W — величина удельной энергии разрушения для «эталонной» диаграммы деформирования бетона при растяжении.

Ниже рассмотрены аппроксимации диаграмм деформирования растяжения при различных режимах кратковременного нагружения (тип 1) и кусочно-линейные диаграммы, рекомендуемые СП 52-101-03. Диаграммы типа 1 аппроксимируются параболическими сплайнами. Построение диаграммы типа 1 и 2 осуществлялось для уровня максимальных напряжений, изменяющихся в интервале от 1 до $1,5\sigma_{b4}$.

Полученные значения для узловых точек диаграмм типа 1 и 2 представлены в табл. 2, схематический вид диаграмм на рис. 2.

Задача об образовании трещины в изгибаемом железобетонном элементе решена в [1, 2]. Реализован алгоритм расчета с использованием па-

Таблица 2
Координаты узловых точек диаграмм деформирования
типа 1 и типа 2 для бетонов класса В15

Тип	Параметр	Узел	
		4	5
1.1	ε_i	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,996 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,479	0,726
1.2	ε_i	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,889 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,489	0,787
1.3	ε_i	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,787 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,501	0,847
1.4	ε_i	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,688 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,513	0,907
2.1	ε_i	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4,061 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,605	0,605
2.2	ε_i	$1,92 \cdot 10^{-5}$	$3,38 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,726	0,726
2.3	ε_i	$2,08 \cdot 10^{-5}$	$3,59 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,787	0,787
2.4	ε_i	$2,24 \cdot 10^{-5}$	$3,45 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,847	0,847
2.5	ε_i	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$3,37 \cdot 10^{-5}$
	σ_i , МПа	0,907	0,907

¹ СП 52-101-03. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М., 2003. 126 с.

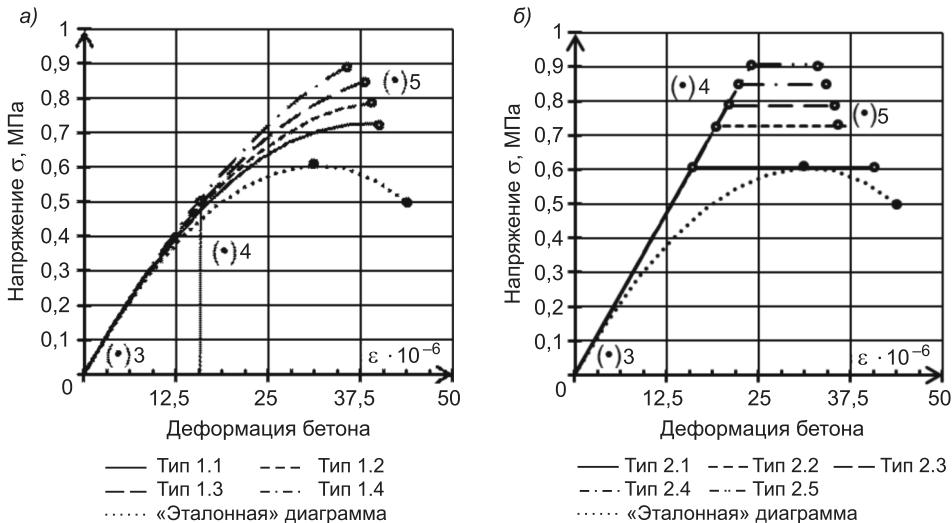


Рис. 2. Схематичный вид «условных» диаграмм деформирования для бетонов класса В15
а — тип 1; б — тип 2

раболической аппроксимации диаграммы растяжения. В данной работе этот алгоритм реализуется для различных аппроксимаций диаграмм.

В расчете приняты следующие геометрические характеристики элемента: длина элемента $L = 1,2$ м; высота элемента $h = 0,14$ м; ширина элемента $b = 0,07$ м; «рабочая» высота сечения $h_0 = 0,125$ м; площадь растянутой арматуры $A_s = 0,00 - 1,23 \text{ см}^2$, что соответствует значениям коэффициента армирования $0,0 - 1,3\%$. Нормирующий множитель $\sigma_0 = 400$ МПа.

Характеристики армирующего слоя соответствуют арматуре класса А400. Для описания поведения материала под нагрузкой используется упругопластическая диаграмма Прандтля с упрочнением. Условный предел текучести соответствует точке, в которой $\varepsilon_{s4} = 0,002$, $\sigma_{s4} = 390$ МПа, предельные деформация и напряжение при растяжении: $\varepsilon_{s5} = 0,014$, $\sigma_{s5} = 590$ МПа. Схематическая диаграмма представлена на рис. 3.

Анализ основывается на результатах работы [1], дополненных решениями с применением «условных» диаграмм деформирования бетона, полученных в данной статье. Проведены расчеты для разных типов диаграмм деформирования бетона при растяжении с различными значениями коэффициента армирования.

Использование в стадии «предобразования» трещины различных типов «условных» диаграмм деформирования, построенных по гипотезам (1) и (2), приводит к значительному изменению параметров, описывающих НДС в расчетном сечении, по сравнению с параметрами, найденными по «эталонной» диаграмме. В табл. 3 приведены отклонения параметров НДС, полученные с применением «условных» диаграмм, от параметров «эталонной» диаграммы в состоянии «предобразования» трещин.

Расчеты с использованием диаграммы типа 2.1 в стадии «предобразования» трещины показали более близкий результат с решением, полученным по «эталонной» диаграмме, из всех предлагаемых видов диаграмм.

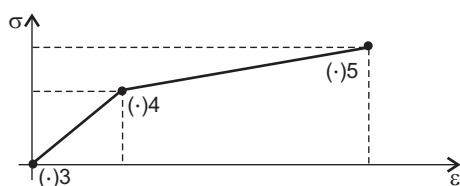


Рис. 3. Схематичный вид диаграммы деформирования арматуры

Таблица 3
**Отклонения параметров НДС в состоянии
«предобразования» трещин, %**

Параметр НДС сечения	min	max	Среднее
ε_b^*	1,84	2,59	2,05
ε_s^*	9,89	9,96	9,94
ξ^*	3,16	4,11	3,78
\bar{M}^*	2,76	5,53	4,53
\bar{u}^*	3,77	4,68	4,07

Таблица 4
**Отклонения параметров НДС в состоянии
«образования» трещин, %**

Параметр НДС сечения	min	max	Среднее
ε_b^d	9,31	9,38	9,36
ε_s^d	10,93	23,82	17,91
ξ^d	0,67	2,27	1,49
H_t	4,88	8,84	6,81
\bar{u}^d	8,54	11,59	10,24
ΔW_t	20,06	55,66	33,70
ΔW_t^y	39,71	95,34	64,55

Использование в стадии «образования» трещины различных типов «условных» диаграмм деформирования, построенных по гипотезам (1) и (2), значительно изменяет параметры, описывающие НДС в расчетном сечении, по сравнению с параметрами, найденными по «эталонной» диаграмме. В табл. 4 приведены отклонения параметров НДС, полученные с применением «условных» диаграмм, от параметров «эталонной» диаграммы в состоянии «образования» трещин.

Различие деформаций в растянутой арматуре объясняется различным количеством накопленной удельной энергии деформирования разрушаемой части сечения для «условных» диаграмм.

Наиболее приемлемой диаграммой для описания поведения элемента под нагрузкой для стадии «образования» трещины является диаграмма типа 2.1.

Выводы. 1. Использование в расчетах «условных» диаграмм деформирования бетона при растяжении приводит к незначительному (не более 10 %) изменению параметров НДС сечения в состоянии «предобразования» трещины.

2. Результаты расчета с использованием диаграммы типа 2.1 (кусочно-линейная аппроксимация) на стадии «предобразования» трещины более близки к результатам решения, полученного по «эталонной» диаграмме.

3. Использование в расчетах «условных» диаграмм деформирования бетона при растяжении значительно изменяет уровень деформаций в арматуре вследствие существенного различия между величинами накопленной удельной энергии деформирования разрушаемой части сечения.

4. Для математического описания поведения железобетонных конструкций в стадии «до образования трещины» допустимо применять кусочно-линейные функции для описания поведения бетона под нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адищев, В.В. Динамический эффект при образовании трещины нормального отрыва в изгибающихся железобетонных элементах [Текст] / В.В. Адищев, В.М. Митасов, В.В. Роот, Д.С. Шмаков // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 2. — С. 3–14.
2. Адищев, В.В. Экспериментальное исследование процесса возникновения трещин нормального отрыва в изгибающихся армированных элементах [Текст] / В.В. Адищев, А.Г. Демешкин, В.В. Роот // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 3. — С. 119–126.
3. Крусь, Ю.А. Трансформирование диаграмм деформирования бетона при центральном сжатии и растяжении [Текст] / Ю.А. Крусь // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 7. — С. 113–122.
4. Адищев, В.В. Применение кластерного анализа для построения нечетких аппроксимаций диаграмм деформирования бетона [Текст] / В.В. Адищев, Д.С. Шмаков // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 4. — С. 60–70.

ROOT Виталий Викторович, ст. препод.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ШМАКОВ Дмитрий Сергеевич, асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 09.07.12

Root Vitaliy Viktorovich, senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Shmakov Dmitriy Sergeevich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

USING VARIOUS TYPES OF APPROXIMATING FUNCTION FOR DESCRIBING THE STRAIN DIAGRAM OF CONCRETE AT CONCRETE TENSION FOR BENDING ELEMENTS, WITH THE FORMATION OF A CRACK NORMAL SEPARATION

The problem of «the emergence of a crack in the normal separation of bendable concrete elements with different kinds of approximating functions to describe the strain diagram of concrete in tension». Defined ranges of reinforcement ratio in percent (for different ways of describing the chart deformation of concrete in tension) for which the effect of clarifying the approximating functions is insignificant.

Key words: reinforcement ratio, concrete, rebar, cracking moment, the crack normal separation, deflection, the dynamics, the energy density of the destroyed section of the deformation, the reversible part of the energy density of concrete deformation of the destroyed section.

REFERENCES

1. Адищев, В.В. Dynamic effects in cracking normal lead in the bending of reinforced concrete elements [Text] / В.В. Адищев, В.М. Митасов, В.В. Root, Д.С. Шмаков // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 2. — P. 3–14.
2. Адищев, В.В. Experimental investigation process crack initiation normal fracture in the bent reinforced elements [Text] / В.В. Адищев, А.Г. Демешкин, В.В. Root // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 3. — P. 119–126.
3. Крусь, Ю.А. Transformation deformation diagram of concrete at the central compression and tension [Text] / Ю.А. Крусь // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 7. — P. 113–122.
4. Адищев, В.В. Application of cluster analysis for construction of fuzzy approximations of the deformation curves of concrete [Text] / В.В. Адищев, Д.С. Шмаков // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 4. — P. 60–70.

УДК 624.014

С.Д. ШАФРАЙ

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Рассмотрены особенности работы фланцевых соединений в стальных рамках каркасов зданий. Отмечено, что высокопрочные болты в таких соединениях в зависимости от их конструктивно-технологической формы и жесткости фланцев могут работать на внецентрное растяжение. Это обстоятельство не учитывается действующими строительными нормами и требует проведения дополнительных исследований. Приведен пример усиления дефектного фланцевого соединения.

Ключевые слова: фланцевые соединения, болты, усиление, прочность, расчетная схема.

Общеизвестно, что в несущих каркасах зданий в большинстве случаев применяют балочные (безраспорные) либо рамные (распорные) системы. В таких системах, как правило, в качестве несущих конструкций для перекрытия пролетов используются решетчатые (фермы) или сплошностенчатые (балки) ригели. Рамные системы в некоторых случаях являются более предпочтительными по отношению к балочным, так как в них высота ригеля существенно меньше.

Рамы часто собирают с помощью фланцевых соединений (ФС), от точности изготовления и конструктивных особенностей которых зависит работоспособность всего каркаса здания. Так, создание рамного узла в сопряжении ригеля (решетчатого или сплошностенчатого) с колонной вызывает определенные трудности, особенно если в нем должен быть монтажный стык¹. В таких узлах, согласно типовым решениям, предполагается, что изгибающий момент от ригеля к колонне будет передаваться через фланцы, обжатые высокопрочными болтами, а поперечная сила — через опорный столик на колонне. Такое разделение функций, т.е. наличие болтов и опорного столика, предполагает точную сборку рамы каркаса с тем, чтобы одновременно можно было произвести плотное касание опорного ребра ригеля и столика и поставить болты. Это не всегда удается из-за возможной разности отметок обреза уровня фундаментов, которые возникают при их бетонировании, а также качества изготовления самих металлоконструкций. Схожие трудности возникают и в балочных системах при условно шарнирном сопряжении ригеля с колонной. Здесь теоретически опорная реакция от ригеля на колонну передается через опорный столик, а болты выполняют лишь крепежную фиксирующую функцию. Практически такое условие осуществить сложно.

В работе [1] утверждается, что болты в данном узле «работают на растяжение от не учитываемых при расчетах и проектировании каркасов зданий факторов». Растягивающие усилия в болтах обусловлены наличи-

¹ Сахновский М.М. Технологичность строительных стальных конструкций. Киев: Будивельник, 1980. 264 с.



Рис. 1. Дефекты в узлах опирания ферм на колонны (а, б) и их устранение с помощью усиления опорного узла ферм (в)

ем начальных монтажных зазоров между опорным ребром и колонной, температурными деформациями ригелей, угловыми перемещениями в узле при больших нагрузках на ригель и т.д. В упомянутом исследовании приводится описание восьми случаев за двухлетний период обрушения конструкций покрытия из-за горизонтального смещения опорного ребра фермы с опорного столика колонны. Такие примеры для ферм не единичны. Для устранения дефекта во ФС опорного узла (рис. 1, в) осуществлена подводка опорных ребер, объединяющих нижние пояса ферм с монтажными столиками на колоннах. В нашем случае анализируется появление дефектов во ФС, а также определяются граничные условия для расчета прочности ФС и пути повышения их работоспособности в стальных фермах и балках покрытий.

ФС широко применяются в монтажных стыках и сопряжениях несущих элементов рамных конструкций. К достоинствам таких соединений относят их простоту, допустимость возведения каркаса здания при любых климатических условиях и возможность его демонтажа без повреждения несущих элементов. Вместе с тем ФС требуют высокой точности изготовления из-за отсутствия в них компенсационной способности. Так, следствием неточностей изготовления конструкции, превышающих регламентированные нормами допустимые отклонения, являются зазоры между контактирующими поверхностями фланцев [2].

На рис. 2 представлены различные варианты образования рамных узлов с использованием ФС. Варианты 1 и 3 технологичны с точки зрения монтажа, поскольку ригель не нужно поддерживать на весу при оформлении узлов. Его проектная отметка по высоте автоматически задается опорными элементами колонны. Однако при незначительном отклонении в процессе сборки каркаса от проектных решений могут возникнуть клиновидные зазоры между фланцами (вариант 3) и между фланцем и опорным ребром (вариант 1), что ведет к принципиальному различию в дейст-

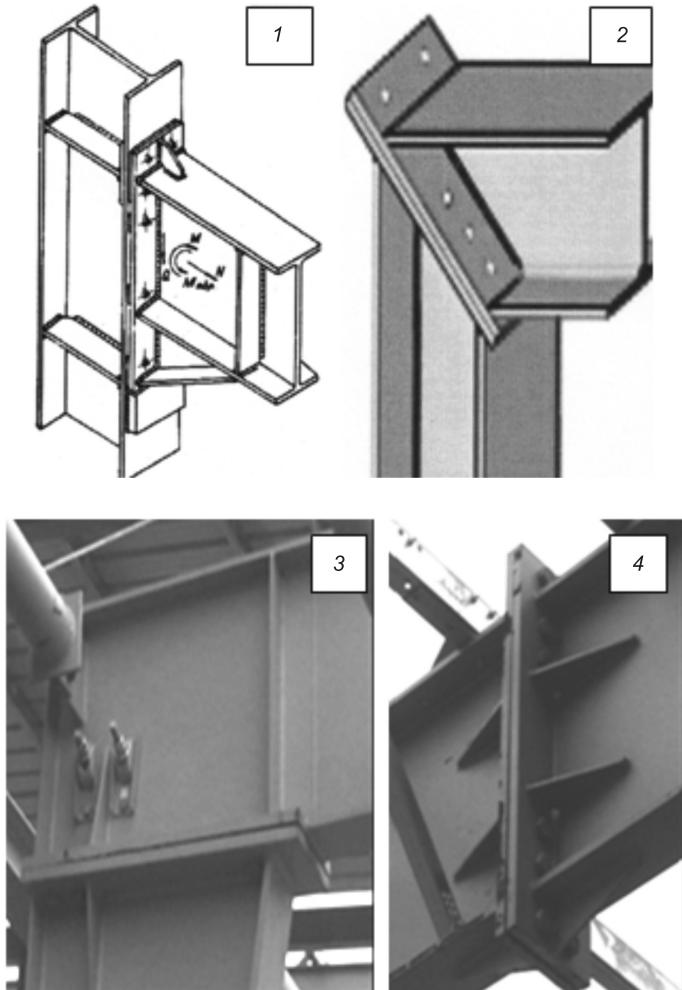


Рис. 2. Варианты рамных узлов

1 — вертикальное соединение ригеля и колонны; 2, 3 — соединение по наклонной и горизонтальной плоскостям; 4 — фланцевое соединение ригеля в пролете по серии 1.420.3.38.07 «Каркасы стальные «УНИКОН-РК1»»

вительной работе болтов и фланцев между этими вариантами. Для варианта 1 поперечная сила от ригеля будет передаваться на колонну через болты, которые кроме растяжения дополнительно должны работать на срез с изгибом и обеспечить необходимую для восприятия опорной реакции силу трения между фланцем и колонной. Вновь возникшее условие работы соединения не соответствует расчетной схеме узла и снижает его несущую способность.

В варианте 3 передача поперечной силы будет осуществляться по-прежнему через фланцы. Изменится лишь распределение усилий между фланцами и болтами, но болты не будут участвовать в восприятии опорной реакции всего пролетного строения, как в варианте 1, поэтому решение по варианту 3 более надежно. Вариант 2 менее металлоемок за счет отсутствия ряда ребер, однако требует более высокой точности изготовления. Он менее удобен с точки зрения монтажа. Необходимо отметить, что в соответствии с зарубежным опытом проектирования рам из сплошностенчатых профилей в рамных узлах широко используется вариант 3. Вариант 1 применяется без стационарных опорных столиков. Для

удобства монтажа предусмотрены временные опорные устройства, которые фиксируются на колонне. Фланец в таких узлах делается более развитым для того, чтобы было возможно за счет сил трения, создаваемых высокопрочными болтами, воспринять опорную реакцию.

В приведенных узлах болты в зависимости от жесткости фланцев могут работать на растяжение с изгибом. В проектных расчетах подобная ситуация не предусмотрена и требует дополнительных исследований для оценки их действительной несущей способности.

Рассмотрим более подробно работу ФС сплошностенчатого ригеля, выполненного в пролете по серии 1.420.3.38.07 «Каркасы стальные «УНИКОН-РК1»» (см. рис. 2). В данном узле высокопрочные болты по фланцу расположены неравномерно. Большая их часть расположена в зоне фланца, примыкающего к нижней полке ригеля для восприятия растягивающих усилий от изгибающего момента. По высоте фланца от нижней полки ригеля к его центру тяжести болты ставятся с большим шагом, регламентируемым требованием СП-102-2004 величиной $8d$ или $12t$, где d и t — диаметр болта и толщина фланца соответственно. В сжатой зоне стенки ригеля болты размещаются только на уровне его верхней полки для «замоноличивания» сечения и возможности восприятия поперечной силы соприкасаемыми плоскостями фланцев. При этом следует учесть, что согласно СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» и СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций» зазор в местах расположения болтов не допускается, «а щуп толщиной 0,1 мм не должен проникать в зону радиусом 40 мм от оси болта после затяжки всех болтов соединения на проектное усилие». В указанных нормах имеются и другие рекомендации: «при изготовлении фланцевого соединения, как правило, следует применять следующие сочетания диаметра болтов и толщины фланцев: dM20-t20, dM24-t25, dM27-t30».

В практике проектирования ФС используются понятия «гибкие» и «жесткие» фланцы, при этом условно считается, что фланцы толщиной до 16 мм следует относить к «гибким». Если обратиться к справочной литературе [3], то пластинки разделяют на толстые, тонкие (гибкие) и мембранные. Работа этих пластинок между собой принципиально отличается. Пластинки, у которых отношение их толщины к наименьшему размеру основания превышает $t/a \leq 1/5$ (см. рис. 5, а), относят к тонким (гибким). Если задаться величиной раскрытия фланцев, равной $f = 0,1$ мм, и отношением раскрытия фланца к наименьшему размеру основания $f/a = 1/400$, то размер основания будет составлять $a = 40$ мм, а толщина $t = 8$ мм. В серии 1.420.3.38.07 «Каркасы стальные «УНИКОН-РК1»» толщина фланцев принята 16 мм, но при большем габарите фланца по ширине, поэтому их можно отнести к разряду «гибких».

Известно, что при сварке тонких профилей возникают усадочные деформации из-за неравномерного нагрева свариваемых элементов, проявляющихся в виде «коробления», «грибовидности», депланации сечения и др. «Приварку фланцев рекомендуется выполнять в следующем порядке: сначала по стенке, а затем по полкам профиля. В случаях необходимости рекомендуется принимать меры к снижению сварочных деформаций (сварка в прижимах и др.)»². Вместе с тем, если

² Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций. М: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1989. 52 с.

сравнить фланцы в элементах ферм и в ригелях рам, то размеры последних будут существенно выше. Поэтому усадочные деформации в длинных фланцах от нагрева при сварке будут больше, чем в коротких. Как следствие, после сварки фланцы в ригелях претерпевают коробление, а при сборке ФС проявляется грибовидность. Положение усугубляется наличием продольных коротких ребер, крепящихся к стенке ригеля и фланцу.

Для уменьшения усадочных деформаций фланцев от нагрева можно перед сваркой объединить фланцы высокопрочными болтами, а затем приварить их к отправочным маркам ригеля из двутавров в следующем порядке: сварить стенки балок с фланцами, затем полки и разъединить ФС, демонтируя высокопрочные болты. При обследовании ФС в рамках пролетом в 24 м, выполненных по серии 1.420.3.38.07 «Каркасы стальные «УНИКОН-РК1»», было установлено, что фланцы, вследствие указанных выше причин, образуют между собой зазор до 20 мм (рис. 3). При установке и затяжке высокопрочных болтов зазоры не устранились. К тому же гайки из-за зазора между фланцами на полную резьбу закрутить не

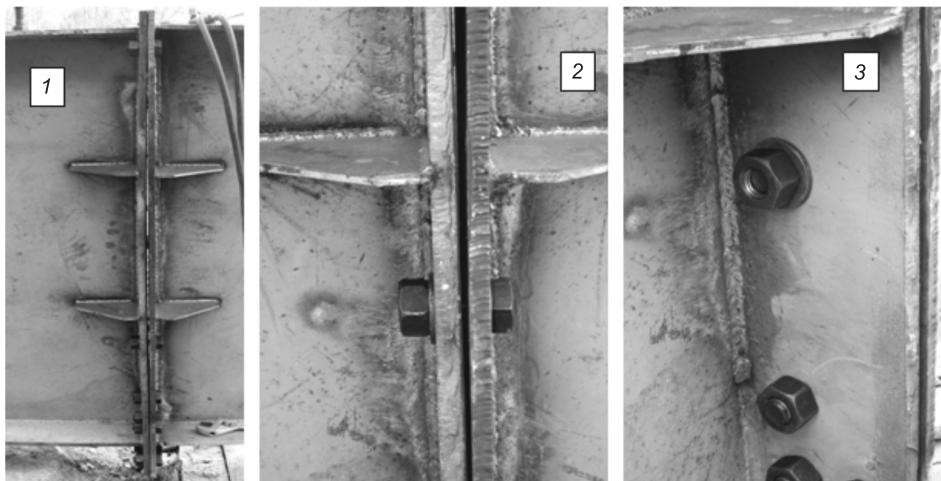


Рис. 3. «Дефектное» фланцевое соединение (по серии 1.420.3.38.07 «Каркасы стальные «УНИКОН-РК1») ригелей рамы в пролете

1 — общий вид фланца; 2 — раскрытие фланца более 20 мм; 3 — болты, поставленные по проекту, затянуть не удалось

удалось. Данное «дефектное» соединение имеет отличную от принятой в проекте расчетную схему, а его работоспособность и надежность остаются под вопросом. Для восстановления работоспособности «дефектного» ФС выполнено его усиление с помощью прутков гладкой арматуры, соединяющих на сварке торцы фланцев по высоте и накладки на нижнюю полку ригеля (рис. 4).

Требования по созданию ФС совпадают с действующими нормативами для сдвигостойчивых соединений. Расчетные предпосылки и расчеты на прочность ФС подробно изложены в работах [2, 4], как с использованием «гибких», так и «толстых, жестких» фланцев. На наш взгляд, расчетные схемы, на которых основан нормируемый расчет на прочность ФС, не учитывают следующих обстоятельств. Во-первых, работа сдвигостойчивого соединения с использованием накладок принци-

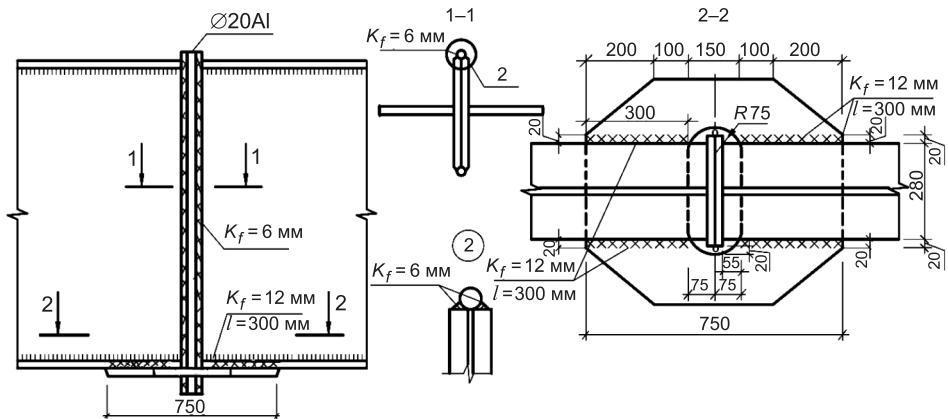


Рис. 4. Усиление фланцевого соединения ригеля рамы

пиально отличается от работы ФС. В сдвигостойчивом соединении болты работают на растяжение, возникающее от сил при затяжке болтов контролируемым усилием (усиление предварительного напряжения болта), в ФС — по аналогии с затяжкой в предварительно напряженных конструкциях³, т.е. в них возникают усилия от затяжки болтов, как в сдвигостойчивом соединении, и усилия самонапряжения при нагружении рамы. Во-вторых, при воздействии изгибающего момента на ригель в ФС контактные напряжения между фланцами ослабевают в растянутой и соответственно усиливаются в сжатой зонах. При растяжении ФС контактные напряжения между фланцами претерпевают ослабление вплоть до нулевых значений, сопровождаемое незначительным раскрытием фланцев. Зоны контактных напряжений перемещаются под шайбы и головки и гайки болтов, что может привести при определенных отношениях жесткостей болтов и фланцев к внецентренному растяжению высокопрочных болтов.

В предложенной модели (рис. 5, в) под шайбами у головки и гайки болта возникает неравномерный отпор, центр тяжести которого не совпадает с осью болта в отличие от принятой в нормах расчетной схемы ФС (рис. 5, б). Эпюра контактных напряжений имеет очертание, близкое к треугольному. Максимальная величина контактных напряжений не превышает расчетного сопротивления стали смятию. Данное явление приводит к смещению осевой силы растяжения болта и появлению эффекта внецентренного растяжения с эксцентризитетом e от действия изгибающего момента $M = N_b e$. При воздействии поперечной силы, передаваемой во ФС, в теле болта также возникают изгибающие напряжения, что можно объяснить следующим образом. Силы трения между фланцами, вследствие их незначительного раскрытия под нагрузкой, будут уменьшаться вплоть до нулевых значений, а зона контакта переместится от фланцев к шайбам и заставит работать болт на поперечный изгиб. Компоненты напряженного состояния в теле болта от изгиба в двух плоскостях не учитываются в действующих строительных нормах и требуют дополнительного исследования для обеспечения работоспособности ФС. Отметим, что строительными нормами не регламентируется

³ Беленя Е.И. Предварительно-напряженные несущие металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1975. 416 с.

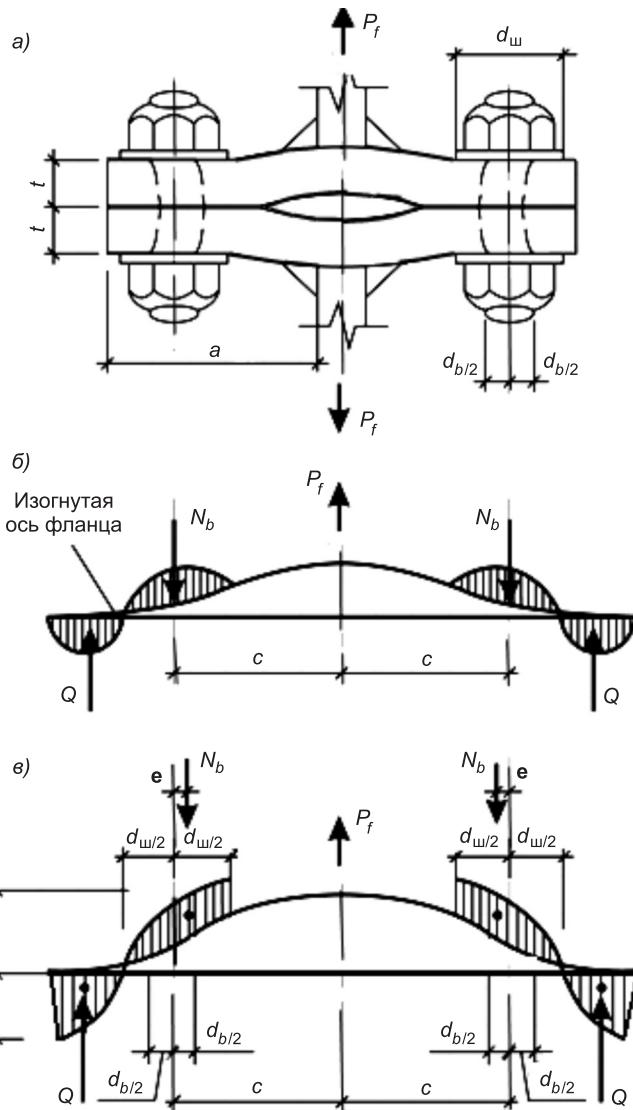


Рис. 5. Расчетная схема и модели ФС

а — деформация ФС; б — расчетная модель ФС согласно [2], в которой болты работают только на растяжение; в — расчетная модель фланцевого соединения, в которой болты работают на внецентренное растяжение

применение высокопрочных болтов с различными способами резьбообразования (нарезания или накатывания). Болты с накатанной резьбой по отношению нарезной имеют более высокие прочностные характеристики, поэтому в ФС целесообразно использовать болты только с накатанной резьбой.

ФС с «гибкими» фланцами не обладают запасом резервирования прочности, так как при его разрушении проявляется эффект «застежки-молнии». Разрушение первого болта от стенки ригеля приводит к последовательному разрушению остальных болтов, расположенных за первым. Здесь уместно сопоставить ФС с соединением на высокопрочных болтах, выполненным с помощью накладок, где проявление вышеупомянутого эффекта невозможно. Вместе с тем при правильном (проектном)

решении рамных узлов с помощью высокопрочных болтов ФС обладают более высокой сопротивляемостью разрушению от воздействия, например сейсмических нагрузок по отношению к подобным сварным. Такое явление объясняется тем, что болтовое соединение имеет несколько равновозможных механизмов разрушения (рез болта, смятие металла соединяемых элементов, фрикционные сдвиги, разрыв болта и т.д.). Перечисленные виды равновероятны, но каждое в отдельности составляет лишь определенную долю от факта разрушения соединения, которое равно 1. Тогда энтропийная энергия при разрушении (энергия рассеивания, переходящая в тепло), оцениваемая как логарифм вероятности разрушения по данному сечению, у болтового соединения будет значительно выше, чем у сварного.

Выводы. Для обеспечения эксплуатационной надежности и необходимого безаварийного срока службы каркасов зданий следует продолжить исследования действительной работы ФС с различными соотношениями жесткостей высокопрочных болтов и фланцев.

Рекомендуется в сплошностенчатых рамках в монтажном стыке ригеля с колонной отдавать предпочтение горизонтальному расположению фланцев в пространстве, как более технологичному с точки зрения монтажа и надежному по работоспособности при возможном разрыве высокопрочных болтов в ФС.

Для уменьшения усадочных деформаций фланцев от нагрева при сварке можно перед сваркой объединить фланцы высокопрочными болтами, сварить стенки балок с фланцами, затем полки и после чего разъединить ФС, демонтировав высокопрочные болты.

Болты в ФС при определенных условиях (неблагоприятном соотношении жесткостей фланцев и болтов) могут работать на внецентрное растяжение и поперечный изгиб от воздействия изгибающих моментов и поперечных сил в ригеле рамы, что не учитывается действующими нормами.

Рекомендуется применять высокопрочные болты в ФС только с накатанной резьбой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горпинченко, В.М. К вопросу о проектировании опорного узла металлических ферм покрытий зданий [Текст] / В.М. Горпинченко, М.И. Егоров, М.И. Гукова, В.Г. Искандеров // Промышленное и гражданское строительство. — 2006. — № 3. — С. 41–43.
2. Перельмутер, А.В. Расчетные модели фланцевых соединений рамных узлов металлических конструкций и их программная реализация в SCAD Office [Текст] / А.В. Перельмутер, Э.З. Криксунов, В.В. Юрченко // CADmaster. — 2010. — № 3(53) (июль — сент.). — С. 110–115.
3. Прочность, устойчивость, колебания : справ. в 3 т. [Текст] / под ред. И.А. Биргера, Я.Г. Пановко. — М. : Машиностроение, 1968. — Т. 1. — 831 с.
4. Катюшин, В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения [Текст] / В.В. Катюшин. — М. : Стройиздат, 2005. — 450 с.

*ШАФРАЙ Сергей Дмитриевич, д-р техн. наук, проф.
Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия*

Shafray Sergey Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

THE INFLUENCE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL FORM OF THE FLANGED CONNECTION ON HIS CAPACITY TO WORK

Features of work of flange connections in steel frames of frameworks of building are considered. It is noted that high-strength bolts in such connections depending on their constructive-technological form and rigidity of flanges can work for stretching out of the center. This circumstance isn't considered by operating construction norms and demands carrying out additional researches. It is given an example strengthenings of defective flange connection.

Key words: flange connections, bolts, strengthening, durability, settlement scheme.

REFERENCES

1. Gorpinchenco, V.M. To question about designing the supporting node farms covering the buildings [Text] / V.M. Gorpinchenco, M.I. Egorov, M.I. Gukova, V.G. Iskanderov // Industrial and civil engineering. — 2006. — N 3. — P. 41–43.
2. Perelimuter, A.V. The Accounting (Rated) models of the flanged joint nodes metallic design and their programme realization in SCAD Office [Text] / A.B. Perelimuter, E.Z. Kriksunov, V.V. Yurchenko // CADmaster. — 2010. — N 3(53) (July — Sept.). — P. 110–115.
3. Toughness, stability, fluctuations: the Reference book(Handbook) in three volumes. [Text] / ed by I.A. Birgera, Ya.G. Panovko. — M. : Mechanical engineering, 1968. — Vol. 1. — 831 p.
4. Kat yushin, V.V. The Buildings with framework from steel paradise of the variable section [Text] / V.V. Kat yushin. — M. : Stroyizdat, 2005. — 450 p.

УДК 691.328.5

Р.Х. МУХАМЕТРАХИМОВ, В.С. ИЗОТОВ

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН

Посредством трехфакторного плана второго порядка исследовано влияние модифицирующих добавок на физико-механические свойства и долговечность фибробетонных плит на основе целлюлозных волокон.

Ключевые слова: фибробетонные плиты, повышение долговечности, модифицированное смешанное вяжущее.

В настоящее время, несмотря на экономический кризис, в стране сохраняются достаточно высокие темпы строительства объектов промышленного и гражданского назначения. Вместе с тем значительная доля зданий, имеющих длительный срок эксплуатации, не отвечает современным теплотехническим и эстетическим требованиям. Для отделки фасадов вновь возводимых и утепления реконструируемых используют вентилируемые фасадные системы, которые позволяют восстановить старые здания и придать им более современный внешний вид. В качестве облицовочного материала в таких системах применяются керамогранит, алюминиевые панели, полимерные материалы, фибробетонные плиты (ФЦП) и др. Большинство из них поступают из других стран, отличаются высокой стоимостью и не всегда могут быть использованы для строительства в наших погодных условиях.

Наиболее распространенным и доступным облицовочным материалом среди отечественных являются ФЦП на основе асBESTовых волокон. Однако спрос на данные изделия ежегодно снижается. Связано это главным образом с появившимися сведениями о канцерогенности асBESTа. Поэтому актуальным становится вопрос разработки нового эффективного облицовочного материала на основе экологически чистого сырья невысокой стоимости, способного обеспечить надежность, долговечность и энергоэффективность эксплуатации зданий с возможностью внедрения на типовых линиях по производству асBESTобетонных плит с максимальным использованием оборудования. Один из таких материалов — ФЦП на основе целлюлозных волокон. Процесс их производства аналогичен получению асBESTобетонных плит. Фактически эти плиты являются фибробетонными, но на рынке России под ФЦП чаще понимают плиты без содержания асBESTа.

К недостаткам ФЦП на основе целлюлозных волокон следует отнести малую прочность, высокое водопоглощение и низкую морозостойкость. В этой связи особо значимы работы, направленные на решение вопросов повышения их качества и долговечности.

В ранее выполненных нами исследованиях [1] определено влияние состава матрицы (Ц:П) при различной степени дисперсности кварцевого песка, коэффициента фибрового армирования, степени помола целлюлозных

волокон на физико-механические характеристики ФЦП. Также исследовано влияние ряда активных минеральных добавок (АМД), отличающихся минералогическим составом и гидравлической активностью, кремнийорганических соединений и добавок полиакриламида (ПАА) на кинетику гидратации смешанного вяжущего и физико-механические свойства ФЦП [2–4].

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по повышению гидравлической активности каолина и физико-механических свойств и долговечности ФЦП на основе целлюлозных волокон, производимых по мокрому способу, за счет совместного использования АМД — активированного каолина, кремнийорганического соединения (КОС) — ФЭС-50 производства ОАО «Химпром» (г. Новочебоксарск) и ПАА «Besfloc K4046» производства «KOLON LIFE SCIENCE, INC.» (Южная Корея).

Гидравлическую активность каолина повышали путем обжига и последующей кислотной активации. Установлено, что термическая обработка каолина увеличивает его гидравлическую активность с 693 до 1238 мг/г, при этом оптимальная температура термической обработки составляет 600 °C, а время обработки 30 мин (рис. 1).

Последующая активация метакаолина 3%-м раствором муравьиной кислоты повышает гидравлическую активность в 2 раза по сравнению с исходным каолином (рис. 2).

Особенности влияния режимов термической и кислотной обработки каолина на изменение его фазового состава изучали с помощью ИК-спектроскопии. Исследования метакаолина, активированного 3%-м раствором муравьиной кислоты (далее метакаолин-А), показали, что в диапазоне волновых чисел 3600–2900 см⁻¹, отвечающих валентным колебаниям связанных OH-групп, и в области 1651–1644 см⁻¹ резко возрастает интенсивность полос. Относительная интенсивность пиков в интервалах частот 913–912 и 1032–1029 см⁻¹, ответственных за возмущения кислорододержащей группы Si—O и связи в октаэдрических слоях Al³⁺ с O²⁻ и OH⁻, уменьшается в 1,6–2,3 раза. Особый интерес вызывает появление в ИК-спектрах метакаолина-А пика в области 2146–2144 см⁻¹, который, возможно, относится к образованию в системе связи Si—H. Характерно, что при росте концентрации муравьиной кислоты в системе с 1 до 3 мас. % интенсивность данной полосы поглощения увеличивается вдвое, что, вероятно, связано с частичным разрушением алюмосиликата под действием муравьиной кислоты.

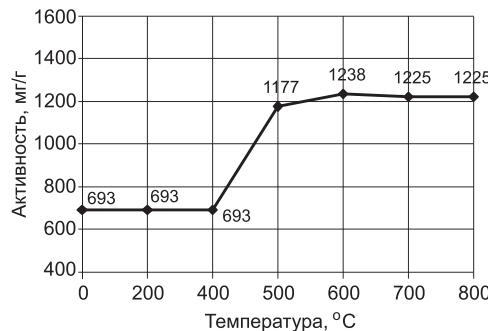


Рис. 1. Влияние температуры обжига каолина на его гидравлическую активность



Рис. 2. Влияние кислотной активации на гидравлическую активность метакаолина
1 — уксусная кислота; 2 — муравьиная кислота

Таким образом, есть основание предположить, что обработка метакаолина муравьиной кислотой позволяет увеличить количество связанных OH-групп в процессе формирования сольватной оболочки на поверхности частиц твердой фазы, а также может приводить к образованию Si-H-связи.

На следующем этапе исследований выполнена оптимизация состава ФЦП повышенной долговечности на основе модифицированного смешанного вяжущего путем реализации трехфакторного плана второго порядка. В качестве исходных независимых переменных определены такие факторы, как содержание: ПАА (X_1); АМД — метакаолина-А (X_2); КОС (X_3) в процентах от массы цемента. В качестве отклика выбраны предел прочности при изгибе ФЦП (R , МПа), водопоглощение (W , %) и морозостойкость (F , циклы).

Обработка результатов математического планирования позволила получить следующие математические зависимости:

$$R = -43,135 + 326,4X_1 + 3,13X_2 + 162,53X_3 + \\ + 0,35X_1X_2 - 2252,9X_1^2 - 0,053X_2^2 - 550,86X_3^2; \quad (1)$$

$$W = 37,44 - 171,98X_1 - 1,82X_2 - 60,73X_3 + 0,095X_1X_2 - \\ - 28,57X_1X_3 - 0,0476X_2X_3 + 1180,21X_1^2 + 0,0369X_2^2 + 174,1X_3^2; \quad (2)$$

$$F = -1757,5 + 13485,9X_1 + 97,58X_2 + \\ + 3476,64X_3 - 91506X_1^2 - 1,952X_2^2 - 9436,4X_3^2. \quad (3)$$

Для определения адекватности полученных уравнений регрессий оценили их статистическую значимость с табличным значением (критерий Фишера).

На рис. 3–5 показана графическая интерпретация результатов обработки математических моделей. Как следует из уравнения регрессии (1)

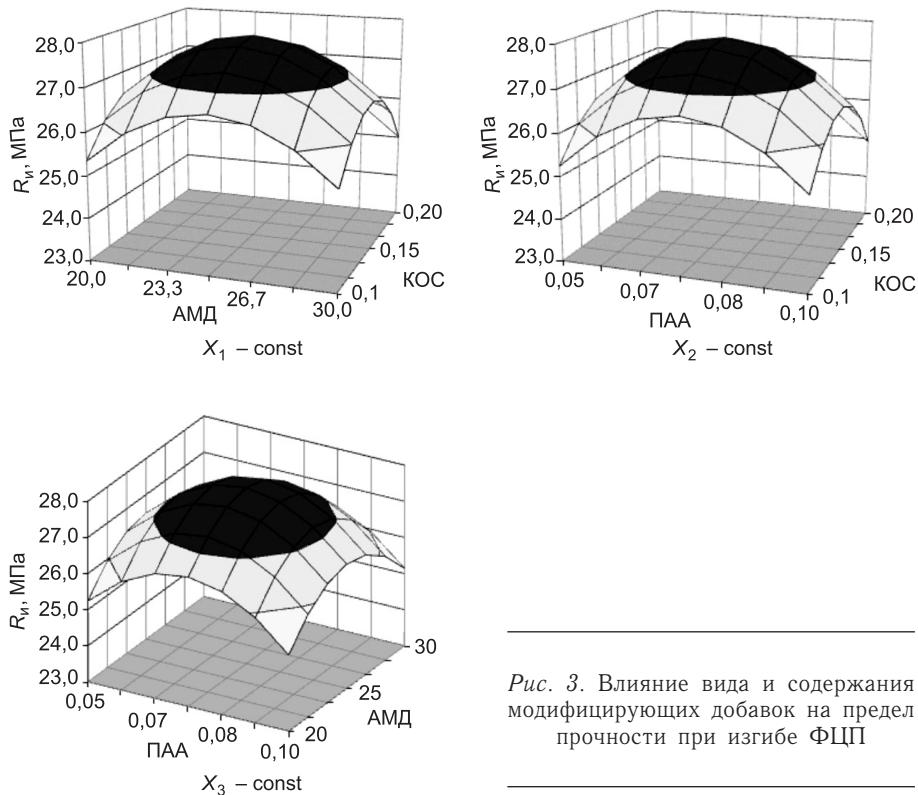


Рис. 3. Влияние вида и содержания модифицирующих добавок на предел прочности при изгибе ФЦП

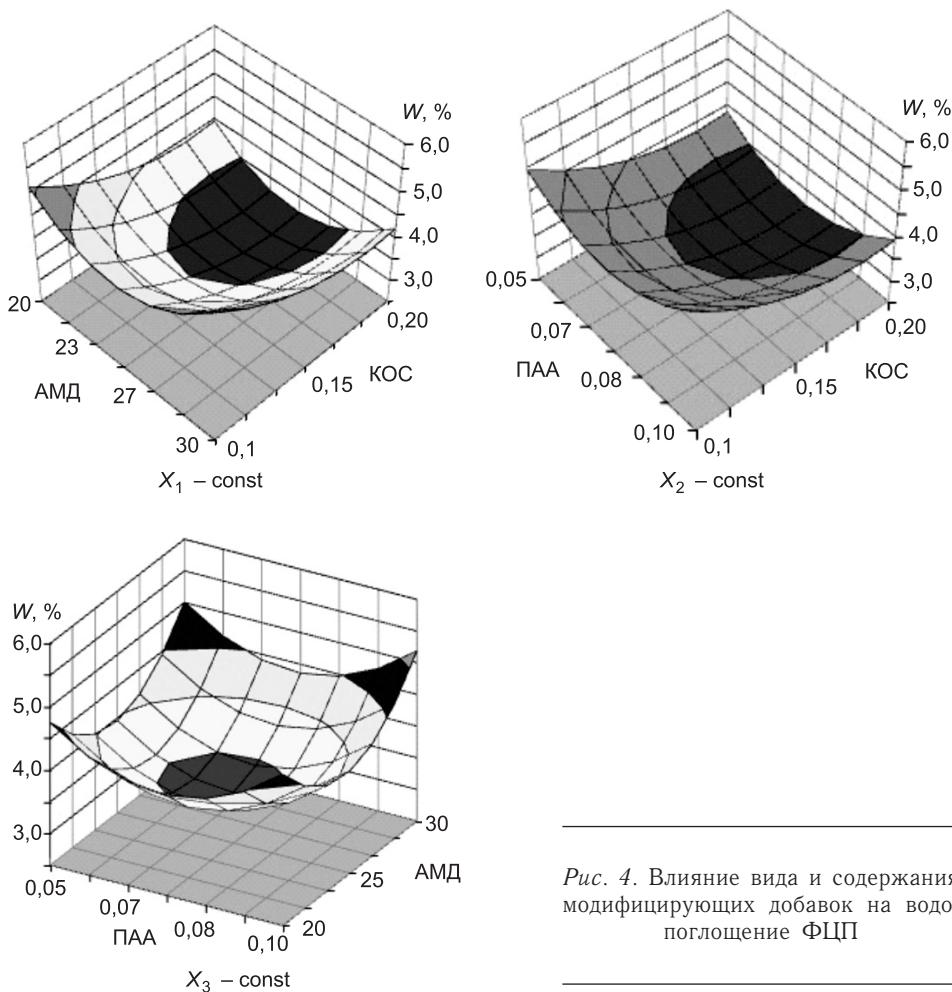


Рис. 4. Влияние вида и содержания модифицирующих добавок на водопоглощение ФЦП

и данных рис. 3, с увеличением расходов АМД и ПАА в составе фибробетонной смеси наблюдается рост прочности ФЦП. Совместное повышение дозировок АМД с ПАА и АМД с КОС приводит к постепенному повышению прочности, а затем к его снижению. Уменьшение прочности ФЦП при повышении дозировок ПАА и КОС, видимо, объясняется блокирующим действием на частицы портландцемента молекул указанных добавок, что особенно проявляется при их совместном введении.

Водопоглощение (математическая зависимость (2) и рис. 4) ФЦП уменьшается при повышении дозировки КОС и возрастает при совместном повышении дозировок ПАА и АМД.

Увеличение морозостойкости, как следует из математической зависимости (3) и рис. 5, происходит при повышении дозировки АМД, а также при совместном действии повышенных добавок АМД и КОС.

Из рис. 3 видно, что при оптимальном содержании модифицирующих добавок наблюдается повышение прочности ФЦП.

Таким образом, на основе математического планирования эксперимента установлены оптимальные дозировки активной минеральной и химических добавок в составе фибробетонной смеси: ПАА — 0,075 %, АМД — 25 %, КОС — 0,15 % от массы цемента. Дальнейшие исследования выполнялись с учетом оптимального содержания модифицирующих добавок в составе фибробетонной смеси. Определено оптимальное со-

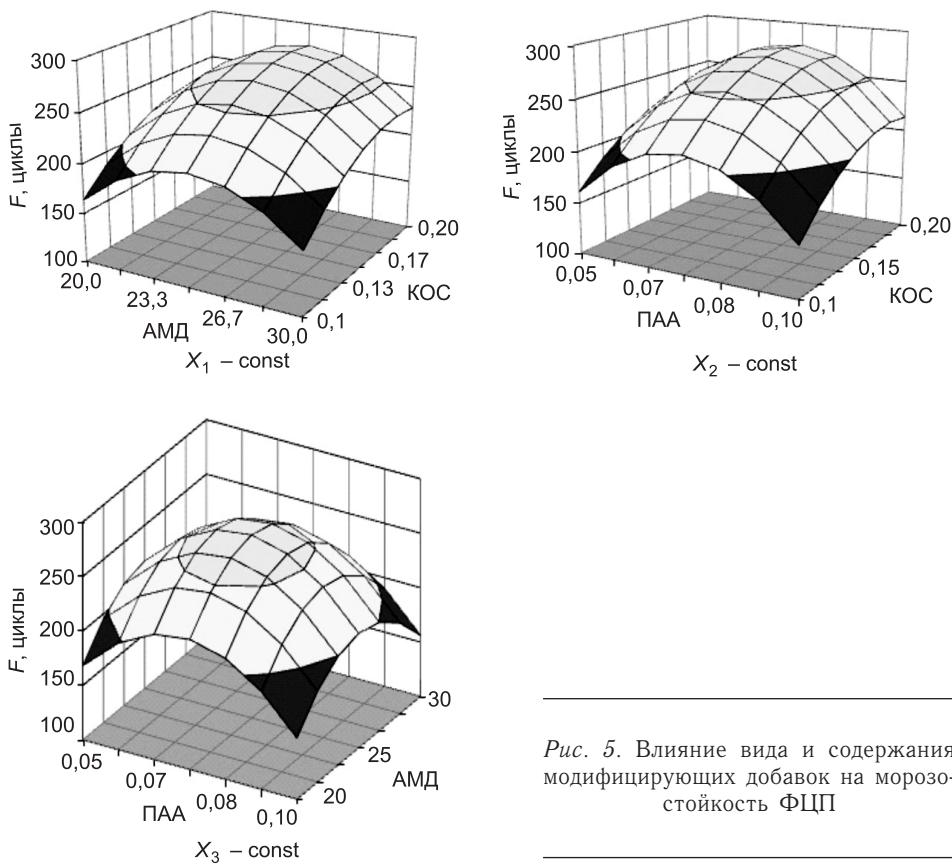


Рис. 5. Влияние вида и содержания модифицирующих добавок на морозостойкость ФЦП

держание компонентов модифицированного смешанного вяжущего для ФЦП повышенной долговечности.

Результаты изучения фазового состава фибробетонной матрицы на основе модифицированного смешанного вяжущего показали, что в целом наблюдается существенное увеличение количества гидросиликатов $C_2SH(C)$ с межплоскостным расстоянием $2,77 \text{ \AA}$, низкоосновных гидросиликатов кальция типа $CSH(A)$ ($2,74 \text{ \AA}$) и тоберморита ($2,97 \text{ \AA}$), а также снижением величины пиков $Ca(OH)_2$ и высокоосновных гидросиликатов типа C_2SH_2 ($2,18 \text{ \AA}$). Уменьшение пика гидроксида кальция объясняется связыванием его АМД в низкоосновные гидросиликаты кальция типа CSH .

Исследования образцов фибробетонной матрицы с использованием дифференциально-термического анализа (ДТА) показали, что в образцах фибробетонной матрицы на основе модифицированного смешанного вяжущего происходит более глубокая гидратация силикатной фазы, о чем свидетельствует увеличение эндоэффекта при температуре $160\text{--}170^\circ\text{C}$. ИК-спектроскопия цементного камня подтверждает результаты РФА и ДТА.

Образцы ФЦП повышенной долговечности подвергали испытаниям на деформации усадки/набухания, воздухостойкость и теплопроводность.

Получены ФЦП со следующими удельными характеристиками: предел прочности при изгибе — $27,5 \text{ МПа}$, теплопроводность — $0,22 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, усадка — $0,2 \text{ мм}/\text{м}$, морозостойкость — 250 циклов , воздухостойкость — 300 циклов , ударная вязкость $2,5 \text{ кДж}/\text{м}^2$.

Выводы. 1. Установлено, что повышение гидравлической активности каолина с 693 до 1338 мг/г обеспечивается с помощью термохимической активации, заключающейся в предварительной термической обработке при температуре 600 °C и последующей кислотной активации в растворе муравьиной кислоты.

2. На основе математического планирования эксперимента определены оптимальные дозировки модифицирующих добавок в составе фибробетонной смеси повышенной долговечности: ПАА — 0,075 %, АМД — 25 %, КОС — 0,15% от массы цемента.

3. Показано, что повышение физико-механических свойств и долговечности фибробетонной матрицы обусловлено формированием оптимальной микроструктуры цементного камня, отличающейся повышенным содержанием гидросиликатов кальция, преимущественно низкоосновного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Изотов, В.С. Цементно-волокнистый композиционный материал для фибробетонных плит [Текст] / В.С. Изотов, Р.Х. Мухаметрахимов, Л.С. Сабитов // Стройт. материалы. — 2011. — № 5 (677). — С. 20–21.
2. Мухаметрахимов, Р.Х. Влияние активных минеральных добавок на гидратацию вяжущего и физико-механические свойства фибробетонных плит [Текст] / Р.Х. Мухаметрахимов, В.С. Изотов // Изв. КазГАСУ.— 2011. — № 2 (16). — С. 213–217.
3. Мухаметрахимов, Р.Х. Исследование влияния кремнийорганических соединений на свойства фибробетонных плит [Текст] / Р.Х. Мухаметрахимов, В.С. Изотов // Изв. КазГАСУ. — 2011. — № 4 (18). — С. 254–259.
4. Мухаметрахимов, Р.Х. Фибробетонные плиты на основе модифицированного смешанного вяжущего [Текст] / Р.Х. Мухаметрахимов, В.С. Изотов // Изв. КазГАСУ. — 2010. — № 2 (14). — С. 250–254.

*МУХАМЕТРАХИМОВ Рустем Ханифович, асп.; E-mail: muhametrahimov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ИЗОТОВ Владимир Сергеевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: v_s_izotov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено после доработки 25.07.12

Moukhametrakhimov Rustem Khanifovich, post-graduate student; E-mail: muhametrahimov@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Izotov Vladimir Sergeevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: v_s_izotov@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

INCREASING OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF FIBER CEMENT BOARDS, BAZED ON CELLULOSE FIBERS

On the basis of the realization three-factor plan for a second-order researched the influence of builders (modifying agents; modifying additives) on physico-mechanical properties and durability of fiber cement boards, based on cellulose fibers.

Key words: fiber cement boards, increasing of durability, modified binder mixed.

REFERENCES

1. Izotov, V.S. Cement fiber composite material for the fiber cement boards [Text] / V.S. Izotov, R.H. Mukhametrakhimov, L.S. Sabitov // Building materials. — 2011. — N 5 (677). — P. 20–21.
 2. Mukhametrakhimov, R.H. Influence of active mineral additives on the hydration of binders and physico-mechanical properties of fiber cement boards [Text] / R.H. Mukhametrakhimov, V.S. Izotov // Izv. KazGASU. — 2011. — N 2 (16). — P. 213–217.
 3. Mukhametrakhimov, R.H. Investigation of the influence of organosilicon compounds on the properties of fiber cement boards [Text] / R.H. Mukhametrakhimov, V.S. Izotov // Izv. KazGASU. — 2011. — N 4 (18). — P. 254–259.
 4. Mukhametrakhimov, R.H. Fiber cement boards, based on a modified binder mixed [Text] / R.H. Mukhametrakhimov, V.S. Izotov // Izv. KazGASU. — 2010. — N 2 (14). — P. 250–254.
-

УДК 532.552

В.Н. ПОСОХИН, А.М. ЗИГАНШИН, А.В. БАТАЛОВА

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ВОЗМУЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Обсуждается вопрос о численном расчете потерь давления и коэффициентов местных сопротивлений возмущающих элементов трубопроводных систем. Приводится пример расчета для поворота с острыми кромками.

Ключевые слова: возмущающий элемент, зона влияния, *Fluent*, потери давления, коэффициент местного сопротивления.

Местные потери давления в трубопроводных системах возникают при изменении скорости, которое связано с наличием в системе возмущающих элементов (ВЭ) — расширения, сужения, повороты, разделение и слияние потоков. Изменение скорости происходит не только в пределах самого ВЭ, но начинается задолго до и заканчивается далеко за ВЭ, т.е. местные потери рассредоточены на большой длине и уместно говорить о зонах влияния (ВЭ) вверх и вниз по потоку. Протяженность этих зон зависит от вида ВЭ, чем сильнее перестраивается поле скоростей в пределах возмущающего элемента, тем больше зона влияния.

Сведения о длинах зоны влияния отрывочны и носят приближенный характер. Так, в справочнике И.Е. Идельчика [1] рекомендуется принимать длину зоны влияния 4–8 калибров — перед возмущающим элементом и 8–12 калибров — после него.

Можно считать, что граница зоны влияния вверх по потоку находится там, где начинается деформация канонического профиля скорости, характерного для течения в длинной прямой трубе. Также и длина, на которой возмущенный профиль скорости принимает канонический вид, определяет протяженность зоны влияния вниз по потоку. Отсутствие достоверных данных о длинах зоны влияния затрудняет вычисление местных потерь и значений коэффициентов местных сопротивлений (КМС) ВЭ.

При теоретическом анализе обычно выделяют контрольный объем жидкости, заключенный в пределах ВЭ, записывают для этого объема уравнения сохранения массы, количества движения, энергии, устанавливают местные потери и КМС. Трудность состоит в том, что для корректной записи указанных уравнений нужно обладать полной информацией о распределении скорости и давления на входе в ВЭ и выходе из него. Возникают сложности и с определением сил, действующих на выделенный объем (реакции стенок, центробежные силы, силы трения). Но даже если удастся преодолеть эти трудности, мы найдем потери только в самом ВЭ, что не является полным решением задачи, так как остаются неизвестными местные потери в зонах влияния. Поэтому правильно было бы выделять контрольный объем, включающий в себя и возмущающий элемент, и зоны влияния. Тогда отпадают трудности, связанные с определением по-

лей скорости и давления на входе и выходе из объема. Однако другие сложности, отмеченные выше, остаются.

И при экспериментальном вычислении КМС важно знать протяженность зон влияния, так как, чтобы избежать погрешностей при измерении давлений, датчики нужно размещать в сечениях, где профиль скорости не деформирован. Современные программные комплексы вычислительной гидродинамики позволяют численно определять все необходимые характеристики течений и в том числе потери энергии, связанные с деформацией скоростных полей. Примеры вычислений местных потерь давления в трубопроводных фитингах различной конфигурации содержатся в работах [2, 3].

В этой статье приведены результаты численного определения значения КМС и длин зон влияния для поворота с острыми кромками (рис. 1). Характеристики плоского течения рассчитываются с помощью пакета программ *Fluent* [4]. Для замыкания системы уравнений турбулентного движения использовалась «стандартная» k - ε модель турбулентности (k — кинетическая энергия турбулентности, ε — скорость диссипации k), а для течения в непосредственной близости от стенок — стандартные пристеночные функции [4].

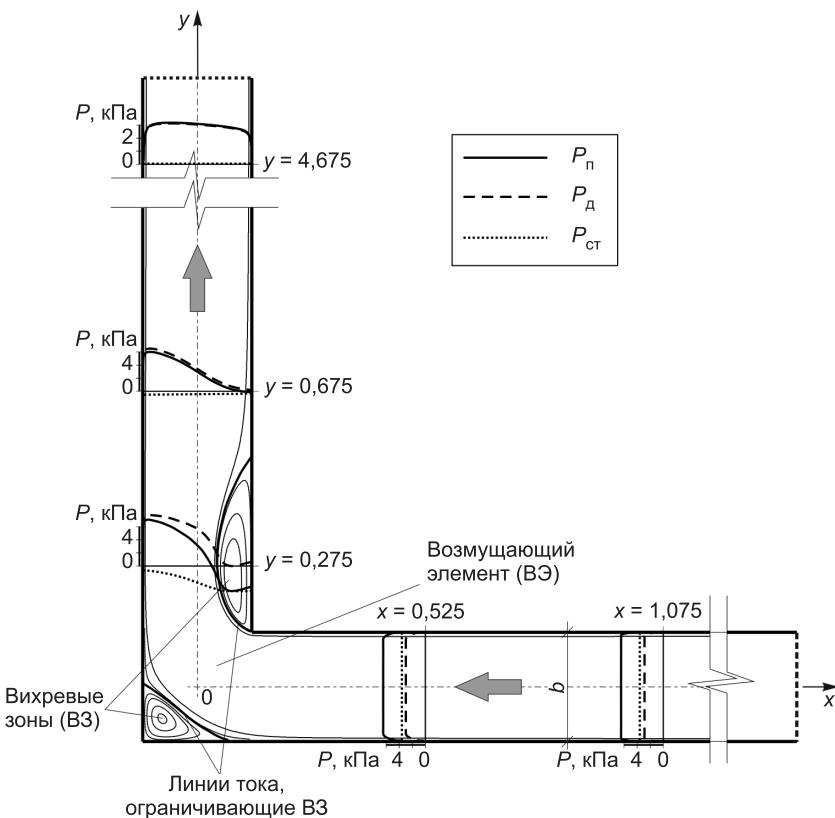


Рис. 1.

Выделенные длины горизонтального и вертикального колен равны соответственно 1,5 и 5 м; высота (ширина) канала $b = 0,25$ м. Граничные условия формулировались следующим образом: на входе в область задавался равномерный профиль продольной скорости, которая направлена по нормали к границе: $u_0 = 68 \text{ м/с}$; $k = 1 \text{ м}^2/\text{с}^2$; $\varepsilon = 1 \text{ м}^2/\text{с}^3$. На выходе ставилось граничное условие «*Pressure Outlet*» (свободная граница) — избыточное

статическое давление равно нулю, при этом никакие параметры в программу не вводятся, а значения искомых величин на границе вычисляются экстраполяцией результатов решения в прилегающих к границе расчетных ячейках. На остальных границах — граничное условие «стенка», т.е. использовались условия непроскальзывания и непроницания.

В результате решения получены распределения статического $P_{\text{ст}}$, динамического $P_{\text{д}}$ и полного $P_{\text{п}}$ давлений в различных сечениях до и после ВЭ, а также очертания вихревых зон при срыве потока с острой кромки (см. рис. 1). На рис. 2 приведены графики осредненных значений давлений в сечениях рассматриваемой области.

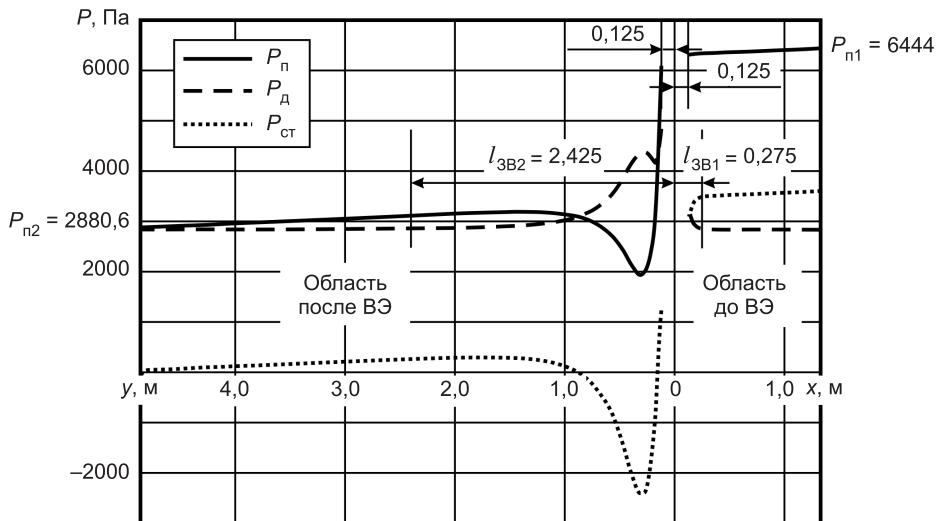


Рис. 2.

Полное давление на входе в колено $P_{\text{п}1} = 6444$ Па. До сечения $x = 0,275$ ($\bar{x} = x / b = 1,1$) динамическое давление постоянно, статическое и полное давления падают линейно, значит на этом участке имеют место только потери на трение, местные потери отсутствуют. Удельная потеря давления на трение равна $R_{\text{уд}1} = 82,3$ Па / м. Строго говоря, здесь есть и местные потери, связанные с перестройкой профиля скорости от заданного равномерного на входе в канал до канонического, характерного для развитого турбулентного течения в прямой трубе. Однако падением давления, возникающим вследствие этого (~ 12 Па), можно пренебречь.

При $\bar{x} < 1,1$ начинается перестройка потока, динамическое давление возрастает, статическое убывает, но полное давление изменяется слабо.

Таким образом, длина зоны влияния колена вверх по потоку равна $l_{\text{зв}1} = 0,275$ ($l_{\text{зв}1} = l_{\text{зв}1} / b = 1,1$).

На отрезках $0 < x < 0,125$, $0 < y < 0,125$ получить осредненные значения давления не удается. При $0,125 < y < 2,425$ ($0,5 < \bar{y} < 9,7$) интенсивная перестройка потока продолжается, давления изменяются сложным образом. Аномальное возрастание полного давления на отрезке $0,325 < y < 1,475$ ($1,5 < \bar{y} < 5,9$), вероятно, связано с переходом части кинетической энергии турбулентности в статическое давление.

Начиная с расстояния $\bar{y} = 9,7$, динамическое давление вновь постоянно, статическое и полное давления падают линейно, $R_{\text{уд}2} = 97,2$ Па / м. Разные значения $R_{\text{уд}}$ во входном и выходном участках колена связаны, очевидно, с различием профилей скорости на этих участках (см. рис. 1).

Полное давление на выходе из колена $P_{\text{п1}} = 2880,6$ Па. Координата $\bar{y} = 9,7$ обуславливает длину зоны влияния колена вниз по потоку $l_{\text{зв2}}$.

Определим КМС колена

$$\zeta = \frac{P_{\text{п1}} - P_{\text{п2}} - \Delta P_{\text{тр}}}{P_{\text{д}}},$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ — потери давления на трение, которые приближенно вычислим по формуле

$$\Delta P_{\text{тр}} = R_{\text{уд1}} l_1 + R_{\text{уд2}} l_2 = 82,3 \cdot 1,5 + 97,2 \cdot 5 = 609,5 \text{ Па},$$

$l_1 = 1,5$ м, $l_2 = 5$ м — длины участков до ВЭ и после него.

$$\text{Динамическое давление } P_{\text{д}} = \frac{\rho u_0^2}{2} = \frac{1,225 \cdot 68^2}{2} = 2832,2 \text{ Па.}$$

Теперь имеем

$$\zeta = \frac{6444 - 2880,6 - 609,5}{2832,2} = 1,04.$$

В справочнике [1] для колена с острыми кромками приводится значение $\zeta = 0,9$. Расхождение расчета и эксперимента может быть связано с погрешностями обоих методов. Отметим, что численное решение дает гораздо более полную информацию о характеристиках исследуемого течения. Описанный подход может быть распространен и на другие геометрические ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик. — 3-е изд. — М. : Машиностроение, 1992. — 672 с.
- Shao, L. Accuracy of CFD for predicting pressure losses in HVAC duct fittings [Text] / L. Shao // Applied Energy. — 1995. — Vol. 51, N 3. — P. 233–248.
- Nikfetrat, K. Computational Fluid and Solid Mechanics 2003 [Text] / K. Nikfetrat // Proceedings Second MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics June 17–20, 2003. — Elsevier, 2003. — P. 1051–1056.
- ANSYS FLUENT 12.0/12.1 Documentation [эл. ресурс]. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent12/index.htm> (дата обращения: 01.12.2012).

ПОСОХИН Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: posohin@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ЗИГАНШИН Арслан Маликович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: amziganshin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет
БАТАЛОВА Александра Витальевна, студ.; E-mail: alex-cat07@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 04.07.12

Posokhin Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: posohin@kgasu.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Ziganshin Arslan Malikovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: amziganshin@kgasu.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Batalova Alexandra Vitalevna, student; E-mail: alex-cat07@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

TO DEFINITION OF PRESSURE LOSS COEFFICIENTS OF DISTURBING ELEMENTS IN PIPELINE SYSTEMS

The numerical calculation of pressure losses coefficients in disturbing elements of piping systems is discussed. Calculations for elbow with sharp bends are performed.

K e y w o r d s: disturbing element, zone of influence, Fluent, the pressure losses, pressure loss coefficient.

REFERENCES

1. I d e l ' c h i k , I.E. Handbook of Hydraulic Resistance [Text] / I.E. Idel'chik. — 3rd edition. — M. : Mashinostroenie, 1992. — 672 p.
 2. S h a o , L. Accuracy of CFD for predicting pressure losses in HVAC duct fittings [Text] / L. Shao // Applied Energy. — 1995. — Vol. 51, N 3. — P. 233–248.
 3. N i k f e t r a t , K. Computational Fluid and Solid Mechanics 2003 [Text] / K. Nikfetrat // Proceedings Second MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics June 17–20, 2003. — Elsevier, 2003. — P. 1051–1056.
 4. ANSYS FLUENT 12.0/12.1 Documentation [online]. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent12/index.htm> (accessed: 01.12.2012).
-

НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Л.В. НУЖДИН

СЕРИЯ НОВЫХ УЧЕБНИКОВ ПО ГЕОТЕХНИКЕ

В 2009–2012 годах сотрудниками кафедры «Геотехника» Санкт-Петербургского государственного университета подготовлена и опубликована в издательстве «Ассоциации строительных вузов» серия учебников для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Строительство». Она включает в себя:

- учебник «Механика грунтов» (авторы: Р.А. Мангушев (отв. за издание), В.Д. Карлов, И.И. Сахаров). — М.: АСВ, 2009. — 215 с.;
- учебник «Основания и фундаменты» (авторы: Р.А. Мангушев (отв. за издание), В.Д. Карлов, И.И. Сахаров, А.И. Осокин). — М.: АСВ, 2011. — 390 с.;
- учебное пособие «Современные свайные технологии» (авторы: Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин). — 2-е доп. изд. / Под ред. Р.А. Мангушева. — М.: АСВ, 2010. — 235 с.;
- учебное пособие «Методы подготовки и устройства искусственных оснований» (авторы: Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков) / Под ред. Р.А. Мангушева. — М.: АСВ, 2012. — 266 с.

Все книги отличаются хорошим изложением, снабжены большим количеством уникального справочного и иллюстративного материала, включая цветные рисунки, оригинальные фотографии, выполненные авторами, данные из новейшей отечественной и зарубежной геотехнической литературы. В учебниках получили отражение материалы новой нормативно-технической документации, в частности, сводов правил СП 50-101–2004 «Проектирование и устройство оснований зданий и сооружений» и СП 50-102–2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов», а также актуализированных СНиП 2.02.01–83* (СП 22.13330.2011) «Основания зданий и сооружений» и СНиП 2.02.03–85 (СП 24.13330.2011) «Свайные фундаменты».

Учебники «Механика грунтов» и «Основания и фундаменты» разработаны в соответствии с новыми государственными образовательными стандартами и рекомендованы научно-методической комиссией Министерства образования и науки для подготовки бакалавров по специальности «Строительство». В них получили освещение все основные вопросы по геотехнике. Рассмотрены основополагающие законы механики грунтов и их приложение к расчету напряженно-деформированного состояния оснований, методы определения осадок фундаментов, устойчивости откосов и подпорных стен. Описаны традиционные и новые конструкции и технологии выполнения фундаментов на естественном, свайном и искусственно улучшенных основаниях. Приведены особенности устройства и основные положения проектирования фундаментов глубокого заложения, фундаментов на структурно-неустойчивых грунтах, а также возводимых в условиях плотной городской застройки, при реконструкции зданий и сооружений, усиления фундаментов. Рассмотрены основные требования и методы проведения геотехнического мониторинга при устройстве



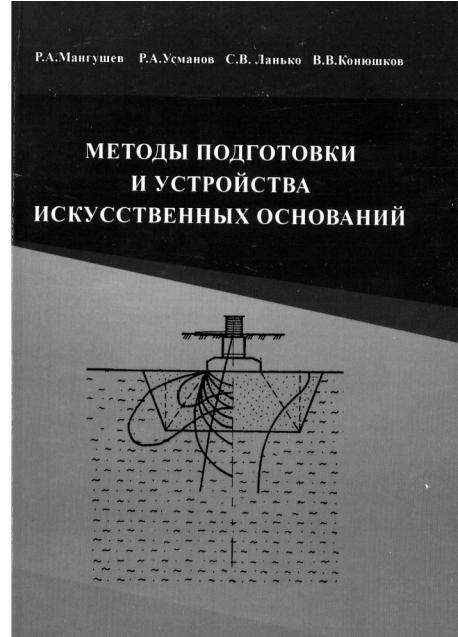
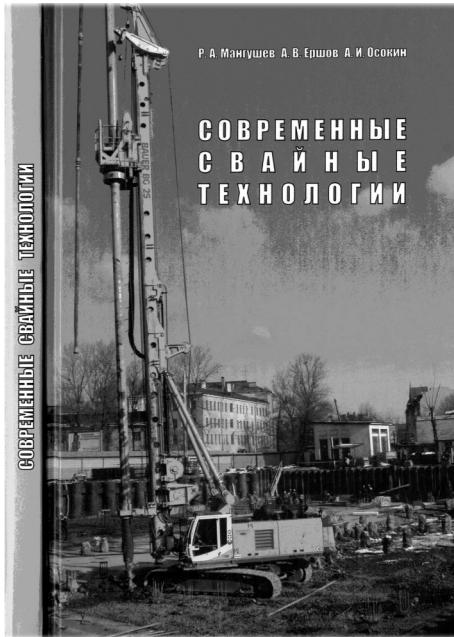
фундаментов и подземных частей сооружений в условиях нового строительства и при реконструкции. Особо следует отметить изложение современных компьютерных расчетов оснований и фундаментов, в том числе совместных численных расчетов грунтовых оснований и конструкций сооружений.

Для облегчения усвоения курса после каждой главы сформулированы контрольные вопросы для самопроверки. В приложении к учебникам приведены словари основных геотехнических терминов с переводом на английский язык. Для удобства самостоятельной работы представленные по главам списки литературы разделены на два: основной и рекомендуемый.

Учебные пособия «Современные свайные технологии» и «Методы подготовки и устройства искусственных оснований» более подробно раскрывают вопросы устройства свайных фундаментов и искусственных оснований. Они могут использоваться для обучения не только студентов по программам подготовки бакалавров, но и магистров по специальности «Строительство», а также студентов по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений» специализации «Строительство подземных сооружений».

В учебном пособии «Современные свайные технологии» подробно проанализированы преимущества и недостатки практически всех современных отечественных и зарубежных технологий изготовления буровых и набивных свай, свай вдавливания, металлических винтовых свай. Рассмотрены возможности их применения при новом строительстве и реконструкции, в условиях плотной застройки. Отдельная глава посвящена методам контроля качества свай. В приложении приведены технические характеристики установок для изготовления различных видов свай.

В учебном пособии «Методы подготовки и устройства искусственных оснований» рассмотрены основные способы подготовки и устройства искусственных оснований как традиционных, так и выполненных по современным технологиям. Изложены методы подготовки оснований поверхностным и глубинным уплотнением, с использованием песчаных или щебеночных подушек, армированием основания геосинтетическими



материалами, с применением струйной и буромесительной технологий. Приведены технологические схемы, порядок производства работ, требования к используемым материалам и контролю качества работ, а также принципы расчета рассмотренных в пособии искусственных оснований.

Серия учебников и учебных пособий, подготовленная коллективом авторов из СПбГАСУ под руководством члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Р.А. Мангушева, является хорошим учебным и справочным материалом для подготовки бакалавров, магистров и инженеров. Они будут полезны аспирантам, слушателям курсов повышения квалификации, а также инженерам, специализирующимся в области геотехники.

*НУЖДИН Леонид Викторович, канд. техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 03.07.12

Nuzhdin Leonid Victorovich, candidate of technical sciences, professor; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Специалистами НГАСУ (Сибстрин) г. Новосибирска разработана технология подготовки питьевой воды из подземных источников с повышенным содержанием железа, марганца, солей жесткости, фенолов, сероводорода.

Технологическая схема предусматривает обработку исходной воды в дегазаторе-окислителе новой конструкции, умягчение и осветление воды в разработанной конструкции реактора-осветлителя с предварительной обработкой реагентами, фильтрование через дробленые горелые породы и, при значительном содержании органических примесей, доочистку на сорбционных фильтрах. Для подземных вод с нормативной жесткостью из предлагаемой технологической схемы может быть исключена ступень обработки в реакторе-осветлителе. Для сооружений производительностью более $25000\text{ м}^3/\text{сут}$ предусматриваются радиальные фильтры. Замкнутая система использования промывной воды с обработкой реагентом «Кемфлок» и СК-1, а также утилизация осадков по разработанной эффективной технологии позволяет отнести ее к категории экологически безопасных.

Технология внедрена в населенных пунктах Кемеровской и Новосибирской областей.



Высокое качество питьевой воды и минимальные затраты при очистке подземных вод по разработанной технологии позволяют решить социальную проблему питьевого водоснабжения населенных пунктов и в других регионах.

На новую технологию получен Патент № 2328454, Россия, «Станция водоподготовки», заявка № 2006107840 от 13.03.2006, опубл. 10.07.2008, Бюл. № 19.

Разработчики: СКОЛУБОВИЧ Ю.Л., д-р техн. наук, проф.,
ВОЙТОВ Е.Л., канд. техн. наук, доц.

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

E-mail: upir@sibstrin.ru

Internet: www.sibstrin.ru

Тел./факс: (383) 266-28-89

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

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

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подпись автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Сыг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотацию на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстраций не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2012 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публикавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2012 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический
В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1500 р.

Цена отдельного номера — 250 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 9 (645) 2012

Научно-теоретический журнал

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

