

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 (621)
Сентябрь 2010 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.А. Попов, Ю.П. Правдивец,
В.Г. Себешев, 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 13.10.10. Формат 70×108¹/16.
Усл. печ. л. 10,50+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 699.

ООО «Партнеры Сибири»,
630005, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16.

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Пустовой Н.В., Левин В.Е., Красноруцкий Д.А.** Расчет тросов с применением нелинейных уравнений стержня 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Перфилов В.А., Аткина А.В., Кусмарцева О.А.** Применение модифицирующих микроармирующих компонентов для повышения прочности ячеистых материалов 11

- Ильина Л.В., Бердов Г.И.** Рентгенофазовый анализ цемента и клинкера после длительного хранения в различных условиях 15

- Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Музалевская Н.В., Балабаева Т.С.** Безусадочные цементно-зольные композиции 20

- Лыткина Е.В.** Ксиолитовые и костролитовые строительные материалы с использованием композиционного магнезиального вяжущего, содержащего диабаз 26

- Корнеева Е.В.** Использование вторичных минеральных ресурсов для производства бесцементных вяжущих, бетонов и закладочных смесей 30

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Болотин С.А., Дадар А.Х. Выбор чувствительности шкалы для оценки качества организаций строительства	34
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Букреев В.И., Дегтярев-мл. В.В., Чеботников А.В. Эволюция ондулярного бора в прямоугольном канале ограниченной длины	39
Гахова Л.Н., Кузнецова Ю.А. Решение плоской задачи квазистатической термоупругости для сталежелезобетонных турбинных водоводов	46
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Калашников М.П., Аюрова О.Б., Ванчиков А.В. Тепловой баланс контейнерного плодоовощехранилища в цикле естественной конвекции	53
Кононова М.С. Исследование влияния некоторых геометрических параметров зданий на их теплоэнергетические показатели	60
Пазенко Т.Я., Колова А.Ф. Обработка промывных вод фильтров водоподготовки	65
Халтурин Т.И., Чурбакова О.В., Курилина Т.А. Кондиционирование осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий	69
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Столбов Ю.В., Столбова С.Ю., Нагаев Д.О., Кокуленко К.С. Обоснование допусков на строительные и геодезические работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог	75
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дроздов Н.М., Дьячков Н.М., Ткаченко О.В. Пневматический ударный механизм с центральным выпускным каналом для проходки скважин в грунтовых средах	81
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Иванова Е.Г. Русские средневековые и супрематические ансамбли: композиционные параллели	87
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Андреев В.И., Барменкова Е.В., Матвеева А.В. О нелинейном эффекте при расчете конструкции и фундамента с учетом их совместной работы	95
Байков В.Н., Волынов М.А. Сопоставление гидравлических характеристик осесимметричных и плоских течений при ламинарном и турбулентном движении жидкости	100
Чернышев Д.Д., Яшуков К.В., Атаманчук А.В. Исследование обтекания двух близкорасположенных квадратных зданий с помощью метода контрольных объемов	107
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Кокорин Д.Н. Влияние податливости опор на прочность железобетонных конструкций по наклонным сечениям при кратковременном динамическом нагружении	113

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 539.3 : 624.04

Н.В. ПУСТОВОЙ, В.Е. ЛЕВИН, Д.А. КРАСНОРУЦКИЙ

РАСЧЕТ ТРОСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ СТЕРЖНЯ*

Рассмотрено применение геометрически нелинейных уравнений стержня к расчету статического деформирования и малых колебаний весьма длинных стержней-тросов. В качестве примера приведен расчет троса на двух опорах по модели стержня, результаты со-поставлены с известными.

Ключевые слова: стержень, трос, деформирование, нелинейные уравнения, малые колебания.

В строительстве, где требуются длинные, гибкие и легкие структурные элементы, широко используются тросовые системы. Классические теории тросов и кабелей построены на предположении, что эти элементы конструкций работают только на растяжение и не воспринимают сжимающие, изгибающие и крутильные нагрузки (модель нити) [1, 2]. Ряд исследователей обращают внимание, что в некоторых случаях к такой модели необходимо добавлять свойства стержней — сопротивление изгибу, кручению и сжатию. Поэтому возникла задача: используя общие уравнения стержня, осуществить численный предельный переход от модели стержня к модели нити. Это и показано в данной работе.

Для расчета статического и динамического поведения стержня применяются различные математические модели. Основная группа этих моделей использует гипотезу Бернулли, применение которой, по существу, сводит деформирование стержня к деформированию его осевой линии [1, 3].

В данной работе используются нелинейные уравнения, описывающие большие перемещения и повороты пространственного криволинейного упругого стержня [3]:

$$\frac{dU_i}{d\xi} = (1 + \varepsilon)x_{j,\xi}\lambda_{ji} - x_{i,\xi}, \quad i = 1, 2, 3;$$

$$-\frac{\partial\lambda_{mn}}{\partial\omega_j}\frac{d\omega_j}{d\xi}\beta_{3m}\lambda_{kn}\beta_{2k} = \frac{M_p\beta_{1k}\lambda_{kp}}{EJ_1}\frac{ds}{d\xi};$$

$$\frac{\partial\lambda_{mn}}{\partial\omega_j}\frac{d\omega_j}{d\xi}\beta_{3m}\lambda_{kn}\beta_{1k} = \frac{M_p\beta_{2k}\lambda_{kp}}{EJ_2}\frac{ds}{d\xi};$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы 2009–2010 гг.» (проект РНП.2.1.2.1051).

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\omega_j}{d\xi} \beta_{lm} \lambda_{kn} \beta_{2k} = \frac{M_p \beta_{3k} \lambda_{kp}}{GJ_p} \frac{ds}{d\xi}; \\
& \frac{dQ_i}{ds} = -q_i \frac{ds}{d\xi} (1 + \varepsilon), \quad i = 1, 2, 3; \\
& \frac{dM_i}{d\xi} = \left(-m_i \frac{ds}{d\xi} - x_{j,s} \lambda_{jp} Q_r + x_{j,s} \lambda_{jr} Q_p \right) (1 + \varepsilon), \quad \begin{cases} i = 1, 2, 3 \\ p = 2, 3, 1; \\ r = 3, 1, 2 \end{cases} \\
& \varepsilon = \frac{x_{j,s} \lambda_{jk} Q_k}{EF} \left(\frac{ds}{d\xi} \right)^{-1}, \quad \frac{ds}{d\xi} = (x_{k,\xi} x_{k,\xi})^{1/2},
\end{aligned} \tag{1}$$

где ξ — параметр, связанный с длиной, определяет текущее положение точки осевой линии стрелки;

$x_{1,2,3}(\xi)$ — координаты точек осевой линии в глобальной системе координат с базисом $\vec{i}_1, \vec{i}_2, \vec{i}_3$;

$\beta_{ij}(\xi)$ — компоненты матрицы, определяющей направление ортов $\vec{e}_{1,2,3}(\xi)$, т.е. $\vec{e}_j(\xi) = \beta_{jk}(\xi) \vec{i}_k$ (связаны непосредственно с геометрией осевой линии стержня);

$\vec{e}_{1,2}(\xi)$ — векторы, направленные вдоль главных осей инерции сечения;

$\vec{e}_3(\xi)$ — вектор, направленный вдоль оси стержня;

$EJ_{1,2}(\xi), GJ_p(\xi)$ — соответственно изгибные и крутильная жесткости;

$EF(\xi)$ — жесткость на растяжение-сжатие;

$U_{1,2,3}(\xi)$ — проекции вектора перемещения точки осевой линии в результате деформирования;

$Q_{1,2,3}(\xi)$ — проекции вектора внутренних усилий;

$M_{1,2,3}(\xi)$ — проекции вектора внутренних моментов;

$q_{1,2,3}(\xi)$ — проекции вектора распределенной нагрузки;

$m_{1,2,3}(\xi)$ — проекции вектора распределенного момента, действующего на стержень;

$\omega_{1,2,3}(\xi)$ — проекции вектора конечного поворота [3].

Упомянутые проекции являются проекциями на оси глобальной системы координат. Проекции вектора конечного поворота описывают поворот тройки ортов, связанной с каждой точкой осевой линии, посредством матрицы поворота $\lambda_{ij}(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$

$$\vec{i}_j^* = \lambda_{jk} \vec{i}_k; \quad \vec{e}_j^* = \beta_{jk} \vec{i}_k^* = \beta_{jk} \lambda_{kn} \vec{i}_n, \tag{2}$$

звездочкой обозначены орты, полученные в результате поворота при деформировании. Компоненты матрицы поворота λ_{ij} выражаются через проекции вектора конечного поворота ω_i :

$$\begin{aligned}
\lambda_{ii} &= 1 - \frac{1 - \cos \omega}{\omega^2} (\omega_j^2 + \omega_k^2); \quad \lambda_{ij} = \frac{\sin \omega}{\omega} \omega_k + \frac{1 - \cos \omega}{\omega^2} \omega_i \omega_j; \\
\lambda_{ik} &= -\frac{\sin \omega}{\omega} \omega_j + \frac{1 - \cos \omega}{\omega^2} \omega_i \omega_k; \quad \omega^2 = \omega_i \omega_i, \quad \begin{cases} i = 1, 2, 3 \\ j = 2, 3, 1, \\ k = 3, 1, 2 \end{cases}
\end{aligned} \tag{3}$$

где $\vec{\omega} = \omega_j \vec{i}_j$ — вектор конечного поворота.

Описание искривления осевой линии стержня на основе вектора конечного поворота не накладывает никаких ограничений на величину самого поворота: ориентация определяется для любых проекций вектора.

При решении краевой задачи для системы нелинейных дифференциальных уравнений можно использовать метод пристрелки [3]. Суть метода состоит в подборе таких значений неизвестных начальных условий на левом конце интервала интегрирования, чтобы с определенной точностью удовлетворить известным краевым условиям на правом конце интервала. Метод пристрелки [3] хорошо зарекомендовал себя при решении многочисленных нелинейных задач плоского и пространственного деформирования упругого криволинейного стержня, но при переходе от стержневой модели к тросу в рамках модели стержня (например, при уменьшении его относительного поперечного размера) потребовался более тонкий подход к решению нелинейной краевой задачи. В методе пристрелки начальное приближение задается в виде вектора-столбца из шести неизвестных значений функций на левом конце стержня. Как выяснилось, такого определения начального приближения оказалось недостаточно для построения решения краевой задачи. Более того, численное интегрирование уравнений приводило к накоплению достаточно большой ошибки, и процесс расходился. Поэтому было принято решение решать нелинейную краевую задачу конечно-разностным методом [4].

В случае линейной краевой задачи ее конечно-разностная схема приводит к системе линейных уравнений, которую обычно решают стандартными методами. В случае нелинейной краевой задачи, конечно-разностная схема приводит к системе нелинейных уравнений. Нелинейная краевая задача посредством метода Ньютона [4] сводится к последовательности линейных краевых задач.

Для реализации приближенного метода Ньютона [4] решения нелинейной краевой задачи, поиска деформированной конфигурации, описываемой (1), была использована стандартная подпрограмма BVPFD пакета FORTRAN.

На основе уравнений (1) получим систему уравнений малых колебаний относительно деформированного состояния равновесия. Рассмотрим новое равновесное состояние как малое отклонение от (1). В результате малого отклонения все двенадцать функций U_i, ω_i, Q_i, M_i получат малые приращения $\Delta U_i, \Delta \omega_i, \Delta Q_i, \Delta M_i$. Тогда, раскладывая матрицу поворота в ряд и отбрасывая слагаемые, в которые входят степени $\Delta \omega_i$ выше первой, получим

$$\lambda_{ij}^*(\omega_1^*, \omega_2^*, \omega_3^*) = \lambda_{ij}^*(\omega_k^*) \cong \lambda_{ij}(\omega_k) + \Delta \omega_m \frac{\partial \lambda_{ij}(\omega_k)}{\partial \omega_m}$$

или

$$\lambda_{ij}^* \cong \lambda_{ij} + \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{ij}}{\partial \omega_k}. \quad (4)$$

С учетом (4) можно получить

$$\frac{\partial \lambda_{mn}^*}{\partial \omega_j} \frac{d\omega_j^*}{d\xi} = \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\omega_j}{d\xi} + \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\Delta \omega_j}{d\xi}. \quad (5)$$

В приращения распределенных нагрузок и моментов при отклонениях входят приращения следящих нагрузок и моментов, обусловленные малым отклонением

$$\Delta q_k = \Delta q_k^{glob} + \Delta q_k^{loc}, \quad \text{где} \quad \Delta q_k^{loc} = q_i^{loc} \beta_{ij} \Delta \omega_l \frac{\partial \lambda_{jk}(\omega_l)}{\partial \omega_l};$$

$$\Delta m_k = \Delta m_k^{glob} + \Delta m_k^{loc}, \quad \text{где} \quad \Delta m_k^{loc} = m_i^{loc} \beta_{ij} \Delta \omega_l \frac{\partial \lambda_{jk}(\omega_l)}{\partial \omega_l}, \quad (6)$$

где Δq_k^{glob} , Δm_k^{glob} — приращения глобальных распределенных сил и моментов;
 Δq_k^{loc} , Δm_k^{loc} — приращения следящих распределенных сил и моментов.

Будем рассматривать малые движения стержня относительно состояния равновесия, поэтому приращения глобальных распределенных сил обусловлены инерционными силами

$$\Delta q_1^{glob} = -\rho F \Delta \ddot{U}_1, \quad \Delta q_2^{glob} = -\rho F \Delta \ddot{U}_2, \quad \Delta q_3^{glob} = -\rho F \Delta \ddot{U}_3. \quad (7)$$

Приращения распределенных моментов Δm_1^{glob} , Δm_2^{glob} и Δm_3^{glob} также обусловлены инерционными моментами

$$\Delta m_1^{glob} = -\rho J_p \ddot{\omega}_1^K, \quad \Delta m_2^{glob} = -\rho J_p \ddot{\omega}_2^K, \quad \Delta m_3^{glob} = -\rho J_p \ddot{\omega}_3^K. \quad (8)$$

Здесь $\omega_n^K = \beta_{3i} \lambda_{in} \beta_{3j} \lambda_{jk} \Delta \omega_k$ — проекции вектора поворота вокруг касательной к оси стержня, вектор является проекцией приращения вектора поворота $\Delta \vec{\omega} = \Delta \omega_k \vec{i}_k$ на вектор \vec{e}_3^* .

Решение о собственных колебаниях с частотой Ω будем искать в виде:

$$\begin{aligned} \Delta U_k(\xi, t) &= \Delta U_k(\xi) e^{i\Omega t}, & \Delta \omega_k(\xi, t) &= \Delta \omega_k(\xi) e^{i\Omega t}, \\ \Delta Q_k(\xi, t) &= \Delta Q_k(\xi) e^{i\Omega t}, & \Delta M_k(\xi, t) &= \Delta M_k(\xi) e^{i\Omega t}, \quad k = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (9)$$

Подставляя (4)–(9) в систему уравнений (1) и линеаризуя выражения относительно малых приращений, вычтем первоначальное равновесное состояние, также описываемое (1). Тогда, пропуская промежуточные выкладки для амплитуд $\Delta U_{1,2,3}(\xi)$, $\Delta \omega_{1,2,3}(\xi)$, $\Delta Q_{1,2,3}(\xi)$, $\Delta M_{1,2,3}(\xi)$, получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta U_m}{d\xi} &= (1+\varepsilon) x_{j,\xi} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{jm}}{\partial \omega_k} + x_{j,\xi} \lambda_{jm} \Delta \varepsilon, \quad m = 1, 2, 3; \\ -\frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\Delta \omega_j}{d\xi} \beta_{3m} \lambda_{rn} \beta_{2r} &= \frac{\Delta M_p \beta_{li} \lambda_{ip} + M_p \beta_{li} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{ip}}{\partial \omega_k}}{EJ_1} \cdot \frac{ds}{d\xi} + \\ &+ \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\omega_j}{d\xi} \beta_{3m} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{rn}}{\partial \omega_k} \beta_{2r}; \\ \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\Delta \omega_j}{d\xi} \beta_{3m} \lambda_{rn} \beta_{1r} &= \frac{\Delta M_p \beta_{2i} \lambda_{ip} + M_p \beta_{2i} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{ip}}{\partial \omega_k}}{EJ_2} \cdot \frac{ds}{d\xi} - \\ &- \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d\omega_j}{d\xi} \beta_{3m} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{rn}}{\partial \omega_k} \beta_{1r}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d \Delta \omega_j}{d \xi} \beta_{lm} \lambda_{rn} \beta_{2r} = \frac{\Delta M_p \beta_{3i} \lambda_{ip} + M_p \beta_{3i} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{ip}}{\partial \omega_k}}{GJ_p} \cdot \frac{ds}{d\xi} - \\
& - \frac{\partial \lambda_{mn}}{\partial \omega_j} \frac{d \omega_j}{d \xi} \beta_{lm} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{rn}}{\partial \omega_k} \beta_{2r}; \\
& \frac{d \Delta Q_m}{d \xi} = -\Omega^2 \rho F \Delta U_m \frac{ds}{d \xi} (1+\varepsilon) - \Delta q_m^{loc} \frac{ds}{d \xi} (1+\varepsilon) - q_m \frac{ds}{d \xi} \Delta \varepsilon, \quad m=1, 2, 3; \\
& \frac{d \Delta M_m}{d \xi} = \left[\begin{array}{l} -\Omega^2 \rho J_p \beta_{3i} \lambda_{im} \beta_{3j} \lambda_{jk} \Delta \omega_k \frac{ds}{d \xi} - \Delta m_m^{loc} \frac{ds}{d \xi} - \\ - x_{j,\xi} \lambda_{jp} \Delta Q_r - x_{j,\xi} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{jp}}{\partial \omega_k} Q_r + \\ + x_{j,\xi} \lambda_{jr} \Delta Q_p + x_{j,\xi} \Delta \omega_k \frac{\partial \lambda_{jr}}{\partial \omega_k} Q_p \end{array} \right] (1+\varepsilon) + \\
& + \left[\begin{array}{l} -m_m \frac{ds}{d \xi} - x_{j,\xi} \lambda_{jp} Q_r + x_{j,\xi} \lambda_{jr} Q_p \end{array} \right] \cdot \Delta \varepsilon, \quad \begin{cases} m = 1, 2, 3 \\ p = 2, 3, 1 \\ r = 3, 1, 2 \end{cases} \quad (10)
\end{aligned}$$

Система уравнений (10) описывает малые колебания пространственного стержня относительно достигнутого при деформировании состояния (1).

В этой статье рассматривается приложение уравнений (1) и (10) для расчета деформирования и колебаний весьма длинных стержней, в предельном случае стержней-тросов (нитей). Хотя уравнения состояния нитей при их нагружении можно получить предельным переходом [3], тем не менее представляет интерес модернизация алгоритма численного решения общих уравнений (1) и (10), в которые заложены произвольные пространственные движения, жесткости на растяжение, изгиб и кручение.

Используемый ранее подход к решению задачи малых колебаний, описываемых системой линейных дифференциальных уравнений (10), сводящийся к вычислению определителей, показал неплохие результаты при решении довольно большого круга задач.

Для реализации численного перехода от модели стержня к модели нити появилась необходимость применить другой метод. Для аппроксимации дифференциальных уравнений и сведения задачи о малых колебаниях к обобщенной проблеме собственных значений был использован метод конечных разностей [4].

Запишем систему уравнений малых колебаний (10) в матричном виде

$$\frac{dY}{d\xi} = [F(\xi) - \Omega^2 \cdot E(\xi)] \cdot Y, \quad (11)$$

здесь

$$Y = \begin{Bmatrix} \Delta U_{1,2,3} \\ \Delta \omega_{1,2,3} \\ \Delta Q_{1,2,3} \\ \Delta M_{1,2,3} \end{Bmatrix}, \quad F(\xi) = \begin{Bmatrix} F_1(\xi) \\ F_2(\xi) \\ F_3(\xi) \\ F_4(\xi) \end{Bmatrix}, \quad E(\xi) = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ E_3(\xi) \\ E_4(\xi) \end{Bmatrix}. \quad (12)$$

Вектор-столбец Y имеет 12 элементов, матрицы-функции $\bar{F}(\xi)$ и $\bar{E}(\xi)$ имеют размерность 12 на 12, нулем обозначены блоки с нулевыми элементами.

Запишем разностную схему для системы (12) с постоянным шагом

$$[I + \tau F(\xi_i) - \Omega^2 \tau E(\xi_i)] \cdot Y_i - Y_{i+1} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (13)$$

где Y_i — вектор-столбец, содержащий 12 значений неизвестных функций $\Delta U_{1,2,3}$, $\Delta \omega_{1,2,3}$, $\Delta Q_{1,2,3}$, $\Delta M_{1,2,3}$ в точке $\xi_i = \xi_L + \frac{i-1}{N} (\xi_R - \xi_L)$;

I — единичная матрица 12 на 12;

$\tau = \frac{\xi_R - \xi_L}{N}$ — шаг сетки по параметру.

Краевые условия можно представить в виде

$$[K_L] Y_1 = 0, \quad [K_R] Y_{N+1} = 0. \quad (14)$$

Система уравнений (13)–(14) в матричном виде может быть записана

$$([A] - \Omega^2 [B]) \{Z\} = 0 \quad (15)$$

или

$$\left(\begin{bmatrix} A_1 & -I & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & -I & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & A_N & -I \\ K_L & 0 & 0 & \dots & 0 & K_R \end{bmatrix} - \Omega^2 \begin{bmatrix} B_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & B_N & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \dots \\ Y_N \\ Y_{N+1} \end{Bmatrix} = 0,$$

где

$$A_i = I + \tau \bar{F}(\xi_i), \quad B_i = \tau \bar{E}(\xi_i), \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (16)$$

нулем обозначены матрицы размером 12 на 12, у которых все элементы равны нулю; $\{Z\} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{N+1}\}^T$ — вектор-столбец, содержащий $(N+1)$ векторов Y_i , которые в свою очередь содержат по 12 значений неизвестных функций $\Delta U_{1,2,3}$, $\Delta \omega_{1,2,3}$, $\Delta Q_{1,2,3}$, $\Delta M_{1,2,3}$ в точках ξ_i ; т.е. $\{Z\}$ имеет размерность $12(N+1)$.

Система уравнений (15) является обобщенной проблемой собственных значений. Для ее решения была использована стандартная подпрограмма GVCRG пакета FORTRAN.

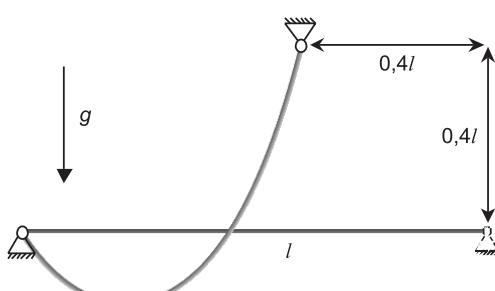


Рис. 1. Расчетная схема

В качестве примера приложения описанного алгоритма рассмотрим такую задачу. Стальной нерастяжимый трос с круглым поперечным сечением диаметром $d = 1$ см, длиной $l = 100$ м подвешен за оба конца (как показано на рис. 1) и находится в поле сил тяжести ($g = 9,80665 \text{ м/с}^2$). Модуль упругости стали равен $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, плотность стали $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.

Сначала трос представляет собой прямолинейный стержень. Потом правый конец перемещается на заданное расстояние влево и вверх, а затем прикладывается весовая нагрузка. Стержень принимает вид троса на двух опорах (см. рис. 1). Деформированная конфигурация троса удовлетворяет нелинейным уравнениям стержня (1).

Собственные числа для такой модели нити, соответствующие колебаниям троса в плоскости его провисания, приведены в книге В.А. Светлицкого [1].

Задача о малых колебаниях решалась в пространственной постановке. В таблице приведены собственные числа из [1] и вычисленные по общей модели упругого стержня, с помощью описанного подхода. Количество разбиений осевой линии стержня для аппроксимации уравнений малых колебаний по методу конечных разностей выбрано равным $N=200$, при этом количество уравнений — 2412. Собственное число Λ связано с частотой собственных колебаний $\omega^2 = \Lambda^2 \frac{g}{l}$.

Как видно из таблицы, частоты колебаний троса, рассчитанные по общей модели стержня, близки к частотам колебаний нити. На рис. 2 и 3 представлены соответствующие формы колебаний, нормированные к величине 0,1. Низший тон колебаний такого троса соответствует колебаниям из плоскости.

Таким образом, удалось применить общие нелинейные уравнения пространственного криволинейного стержня для расчета весьма длинных стержней-тросов. Для реализации численного перехода от общей модели стержня к модели троса были применены следующие алгоритмы. Для решения задачи о статическом деформировании стержня-троса был применен так называемый итерационный метод Ньютона для сведения нелинейной краевой задачи к последовательности линейных, решение которых можно получить методом конечных разностей. Для решения задачи

Результаты расчета

№ тона	Собственные числа Λ	
	предлагаемая методика	[1]
1 (из плоскости)	1,942	—
2 (в плоскости)	2,588	2,643
3 (из плоскости)	3,638	—
4 (в плоскости)	4,663	4,572
5 (из плоскости)	5,398	—
6 (в плоскости)	6,625	6,510
7 (из плоскости)	7,200	—
8 (в плоскости)	8,525	8,492

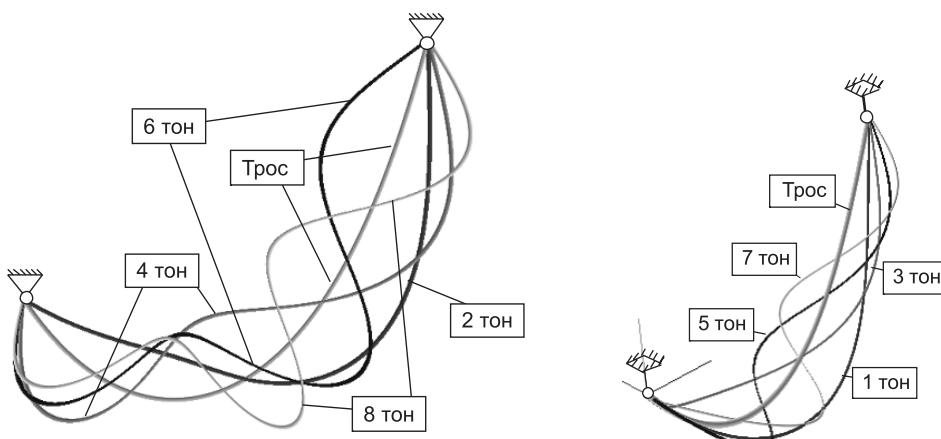


Рис. 2. Формы малых колебаний в плоскости провисания

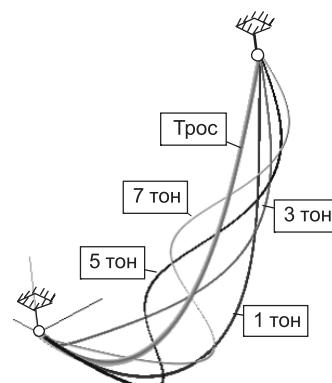


Рис. 3. Формы малых колебаний из плоскости провисания

динамики предварительно деформированного стержня система уравнений при малых колебаниях (10) аппроксимирована конечно-разностной схемой (17), что в совокупности с краевыми условиями, записанными в матричном виде для узловых значений неизвестных функций (18), привело к обобщенной проблеме собственных значений (19).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Светлицкий, В.А. Механика абсолютно гибких стержней [Текст] / В.А. Светлицкий. — М. : МАИ, 2001. — 432 с.
2. Irvine, H.M. Cable Structures [M]. — London England : The Mit Press, 1981.
3. Левин, В.Е. Механика деформирования криволинейных стержней [Текст] / В.Е. Левин, Н.В. Пустовой : монография. — Новосибирск : НГТУ, 2008. — 208 с.
4. Холл, Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Дж. Холл, Дж. Уатт. — М. : Мир, 1979. — 312 с.

ПУСТОВОЙ Н.В., д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный технический университет
ЛЕВИН В.Е., д-р техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный технический университет
КРАСНОРУЦКИЙ Д.А., асп.*

Новосибирский государственный технический университет

Получено 30.07.10

Pustovoy N.V., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State Technical University, Russia

Levin V.E., doctor of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State Technical University, Russia

Krasnorutsky D.A., post-graduate student, Novosibirsk State Technical University, Russia

CALCULATION OF CABLES USING NONLINEAR EQUATIONS OF ROD

Application of geometrically nonlinear equations of rod for the calculation of static deformation and small vibrations of cables is considered. As an example calculation of cable on two supports by the model of rod is presented. Results obtained compared with results obtained from classic cable model.

Key words: rod, cable, deformation, nonlinear equations, small vibrations.

REFERENCES

1. Svetlitsky, V.A. Mechanics of absolutely flexible rods [Text] / V.A. Svetlitsky. — M. : MAI, 2001. — 432 p.
2. Irvine, H.M. Cable Structures [M]. — London England : The Mit Press, 1981.
3. Levin, V.E. Mechanics of deformation of curved rods [Text] / V.E. Levin, N.V. Pustovoy : monograph. — Novosibirsk : NSTU publishing house, 2008. — 208 p.
4. Hall, G. Modern Numerical Methods for Ordinary Differential Equations [Text] / G. Hall, J.M. Watt. — Clarendon Press, Oxford, 1976.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.31:678.06

В.А. ПЕРФИЛОВ, А.В. АТКИНА, О.А. КУСМАРЦЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ МИКРОАРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЯЧЕИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработаны новые составы ячеистых материалов с улучшенными физико-механическими свойствами. Введение в сырьевую смесь полимерных и базальтовых волокон-фибр, а также пластифицирующей и модифицирующей добавок способствовало увеличению прочности и коэффициента конструктивного качества фибропенобетона.

Ключевые слова: фибробетоны, модифицирующие нанодобавки, суперпластификаторы, прочность, трещиностойкость.

В настоящее время возрастаёт потребность в применении легких теплоизоляционных элементов ограждающих конструкций, обладающих необходимой прочностью на сжатие и растяжение, высокой трещиностойкостью и долговечностью. Этим требованиям в полной мере соответствуют дисперсно-армированные пенобетоны неавтоклавного твердения. В качестве армирующих бетонную матрицу компонентов наибольшее распространение получили полимерные и базальтовые фибровые волокна, которые, обладая малой плотностью, способствуют трехмерному повышению прочности и препятствуют образованию микротрещин.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что бетоны, упрочненные полимерными и базальтовыми волокнами, имеют высокие значения физико-механических характеристик. Армирование высокодисперсными волокнистыми наполнителями позволяет компенсировать главные недостатки обычного бетона — низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения (трещиностойкость). Применение высокодисперсных волокнистых наполнителей в цементных бетонах оказывает положительное влияние на процессы структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства бетона. Это достигается за счет улучшенной адгезии волокон к цементной матрице, сравнительно высокой прочности и модуля упругости волокон, их стойкости по отношению к щелочной среде [1].

Задача научных исследований — увеличение прочности на сжатие и растяжение и увеличение коэффициента конструктивного качества ячеистых материалов с использованием полимерных и базальтовых дисперсных волокон, а также повышение эффективности процесса приготовления сырьевой смеси.

При изготовлении ячеистых материалов подбор составов фибробетонов осуществляли по разработанной компьютерной программе ЭВМ [2].

В качестве связующего использовался портландцемент М 500 (ПЦ 500) Себряковского цементного завода. В качестве заполнителя при-

менялся дробленый керамзитовый гравий крупностью 0–5 мм, а также кварцевый песок с модулем крупности 1,8–2,0. Для повышения прочности (особенно на растяжение) ячеистых материалов на микроуровне применялась дисперсная арматура в виде тончайшего строительного микроподкрепляющего волокна (ВСМ) диаметром 20–50 мкм и длиной 3–18 мм с прочностью на разрыв до 500 МПа, производимого компанией ООО «Си Айрлайд» [3] по ТУ 2272-006-13429727-2007, а также в виде базальтового волокна диаметром 13–17 мкм и длиной 6–12 мм с прочностью на растяжение до 2000 МПа.

Применение полимерных и базальтовых волокон-фибр способствует на стадии перемешивания образованию реологически однородной смеси с высокой пластичностью и нерасслаиваемостью. После затвердевания полученный фибробетон имеет пространственно армированную микроструктуру цементного камня, препятствующую образованию усадочных трещин.

Создание пористой структуры ячеистых материалов осуществлялось путем применения пенообразователя ПБ-2000 в соответствии с ТУ 2481-185-05744685-01. Плотность пены составляет 1,07 г/см³, кратность — не менее 9,0, а ее устойчивость — не менее 720 с.

В качестве суперпластификатора использовалась поверхностно-активная добавка Sika ViscoCrete-3, представляющая собой водный раствор акриловых полимеров 30%-ной концентрации, без содержания формальдегидов, плотностью 1,076 кг/л. Она удовлетворяет требованиям для суперпластификаторов ONORM EN 934-2. Добавка не содержит хлориды или другие вещества, вызывающие коррозию, поэтому она может быть использована в железобетонных конструкциях. При введении указанного полимерного суперпластификатора происходит его адсорбция на поверхности частиц цемента, приводящая к эффекту межмолекулярного отталкивания цементных частиц и повышению подвижности смеси при снижении водоцементного отношения, что способствует последующему увеличению прочности затвердевшего ячеистого материала.

В составе добавки, модифицирующей микро- иnanoструктуру ячеистых материалов, использовались многослойные углеродные нанотрубки диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм. Использование наноуглеродных трубок значительно изменяет микро- и nanoструктуру материалов. Этот эффект связан с тем, что высокопрочные нанотрубки являются центрами кристаллизации новообразований цементного камня. В результате образуется упрочненная микроструктура цементного камня, что значительно повышает прочность затвердевших ячеистых материалов.

Способ приготовления сырьевой смеси для изготовления ячеистых материалов заключается в следующем.

Так как углеродные нанотрубки нерастворимы в воде, приготовили суспензию с применением ультразвукового диспергатора. Предварительно суперпластификатор Sika ViscoCrete-3 совместно с водой затворения и дополнительно вводимой модифицирующей добавкой — углеродными нанотрубками обрабатывают в течение 30–60 с в ультразвуковом диспергаторе с частотой 20 кГц. Полученный продукт перемешивают в смесителе при последующем введении компонентов связующего, заполнителя, пенообразователя и волокон в течение 5–6 мин.

Предлагаемый способ получения модифицированной сырьевой смеси позволяет упрочнить структуру ячеистых материалов на микро- и nanoуровнях.

Для экспериментальной проверки сырьевой смеси, полученной предлагаемым способом, изготовили по стандартной методике образцы-балочки размером 10×10×40 см, твердеющие в естественных условиях.

ях. Составы и физико-механические свойства ячеистых материалов, приготовленных по предлагаемому способу, в сравнении с известными составами [4] представлены в таблице.

Анализ данных таблицы показывает, что введение в сырьевую смесь, приготовленную по предлагаемому способу, дисперсной арматуры из полимерных и базальтовых волокон, суперпластификатора Sika ViscoCrete-3 и многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм способствует при указанных соотношениях входящих в нее компонентов, согласно предлагаемому составу № 1, увеличению прочности на сжатие по сравнению с известным составом–1 [4] на 8,3 %, прочности на растяжение при изгибе — на 18,8 %, повышению коэффициента конструктивного качества при сжатии — на 8,7 %, на растяжение при изгибе — на 19,0 %. Прирост прочности предлагаемой сырьевой смеси (состав № 2) по сравнению с известным составом–6 [4]: при сжатии — 9,0 %, на растяжение при изгибе — 10,5 %, а увеличение коэффициента конструктивного качества при сжатии составляет 10,4 %, на растяжение при изгибе — 12,9 %.

Таким образом, применение в составе сырьевой смеси дисперсной арматуры из полимерных и базальтовых волокон, суперпластификатора Sika ViscoCrete-3 и многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм способствует увеличению прочности и коэффициента конструктивного качества ячеистых материалов, приготовленных по предлагаемому способу.

Составы и физико-механические свойства ячеистых материалов

Составы	Вид и массовая доля, %					Средняя плотность, кг / м ³	Прочность, МПа	Коэффициент конструктивного качества
	Связующее	Заполнитель	Порообразователь	Дисперсная арматура	Суперпластификатор			
Известный состав–1 [4]	ПЦ 500, 41	Мел, 39	ПО-6, 0,01	Параполиамидная, 0,1	—	CaCl ₂ , 0,001	19,889	552 2,4 1,6 4,35 2,9
Предлагаемый состав № 1	ПЦ 500, 45	Керамзит дробленый, 32	ПБ-2000, 2	Полимерное волокно строительное микроподкрепляющее (BCM), 3	Sika ViscoCrete-3, 0,2	Многослойные углеродные нанотрубки, 0,4	17,4	550 2,6 1,9 4,73 3,45
Известный состав–6 [4]	НЦ, 42	Гранитная крошка, 28	ПО-1, 2,5	Базальтовая, 12	—	ALCL ₃ , 1,5	15	743 3,78 1,9 5,09 2,55
Предлагаемый состав № 2	ПЦ 500, 40	Песок, 32	ПБ-2000, 2	Базальтовая, 10	Sika ViscoCrete-3, 0,2	Многослойные углеродные нанотрубки, 0,4	15,4	730 4,12 2,1 5,62 2,88

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перфилов, В.А. Фибробетоны с высокодисперсными волокнистыми наполнителями [Текст] / В.А. Перфилов, А.В. Аткина, О.А. Кусмарцева // Междунар. науч.-практ. конф. «Малоэтажное строительство» в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России : технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области». — Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. — С. 89–91.
2. Перфилов, В.А. Расчет фибробетона с нанодобавкой [Текст] / В.А. Перфилов, С.П. Митяев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612195, от 29.4.2009 г.
3. Компания ООО «Си Айрлайд», www.airlaid.ru.
4. Пат. № 2206544 РФ. Сыревая смесь для изготовления ячеистых материалов и способ ее изготовления [Текст] / Л.В. Моргун, В.Н. Моргун от 20.06.2003 г.

ПЕРФИЛОВ В.А., д-р техн. наук, доц.; E-mail: Perfilov.V@mail.ru
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
АТКИНА А.В., асп.
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
КУСМАРЦЕВА О.А.
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 14.07.10

Perfilov V.A., doctor of technical sciences, assistant professor; E-mail: Perfilov.V@mail.ru, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Atkina A.V., post-graduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Kusmarceva O.A. Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE APPLICATION OF MODIFYING MICROFITTING COMPONENTS FOR STRENGTH INCREASE OF POROUS MATERIALS

New structures of porous materials with the improved physico-mechanical properties are developed. The introduction in a raw mix of polymer and basalt thread-like fibers and also application of plastic and modifying components promoted the increase of strength and the coefficient of constructing quality of fibreconcrete.

Key words: fibreconcretes, modifying addition, superplastic, strength, cracking.

REFERENCES

1. Perfilov, V.A. Fibreconcrete with highly dispersed fibre components [Text] / V.A. Perfilov, A.V. Atkina, O.A. Kusmarceva // International scientific and practical conference «Small flooring building» in National project «Available and comfort dwelling for citizens of Russia: technologies and materials, problems and perspectives in Volgograd region». — Volgograd : VolgSACU, 2009. — P. 89–91.
2. Perfilov, V.A. Calculation fibreconcrete with modifying addition [Text] / V.A. Perfilov, S.P. Mityaev // The certificate on the state registration of the computer program № 2009612195, from 29.4.2009.
3. Company ООО «Sea Irelaid», www.airlaid.ru.
4. Patent № 2206544 RF. Raw mix for porous materials and method of its preparing [Text] / L.V. Morgun, V.N. Morgun from 20.06.2003.

УДК 691.54:666.9.059.002.612

Л.В. ИЛЬИНА, Г.И. БЕРДОВ

РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ЦЕМЕНТА И КЛИНКЕРА ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Установлено, что в случае длительного хранения (4 мес) цемента во влажной среде происходит изменение интенсивности рефлексов на дифрактограммах, что свидетельствует о процессе гидратации клинкерных минералов, сопровождаемом образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В случае аналогичного хранения клинкера не выявлено заметных признаков гидратационных превращений, вместе с тем обнаруживаются рефлексы, относящиеся к SiO_2 . Причиной их появления может быть кристаллизация SiO_2 в виде β -кварца из стеклообразной фазы, присутствующей в клинкере.

Ключевые слова: портландцемент, клинкер, длительное хранение, рентгенофазовый анализ, дифрактограммы, интенсивность рефлексов.

При длительном хранении портландцемента его свойства ухудшаются. Вместе с тем в ряде случаев такое хранение неизбежно. В значительной мере это относится к отдаленным районам Сибири, Севера, Дальнего Востока, в которых нет цементных заводов и доставка цемента производится в течение краткосрочной навигации речным транспортом.

В данной работе исследован портландцемент производства ООО «Искитимцемент» (Новосибирская область) марки ПЦ 400 Д-20. Минеральный состав его, мас. %: C_3S — 50–55, C_2S — 18–22, C_3A — 7–11, C_4AF — 12–15. Химический состав цемента, мас. %: SiO_2 — 20,7; Al_2O_3 — 6,9; Fe_2O_3 — 4,6; CaO — 65,4; MgO — 1,3; SO_3 — 0,4; п.п.п. — 0,5. Клинкер хранили в виде гранул размером 10–20 мм. Перед приготовлением образцов для определения механической прочности клинкер измельчали до удельной поверхности 320 $\text{m}^2/\text{кг}$.

Исследованы образцы цемента и клинкера после хранения в течение 7 сут при нормальных условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность не более 60 %), после хранения в течение 4 и 12 мес в среде с влажностью около 80 % при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и после 4 мес хранения в такой же среде и дополнительного искусственного «состаривания» (влажность более 90 %, температура 70–80 °C) в течение 48 ч.

Механическая прочность при сжатии и при изгибе определена на образцах размерами $40 \times 40 \times 160$ мм, приготовленных из портландцемента и измельченного клинкера при соотношении вяжущее : песок, равном 1:3.

Определена прочность образцов после тепловлажностной обработки, а также после 3, 7, 14 и 28 сут твердения при нормальных условиях.

При определении механической прочности образцов из портландцемента и клинкера, хранившихся в различных указанных выше условиях, установлено следующее. Уже после хранения в течение 4 мес во влажной среде портландцемент значительно утрачивает активность. При этом снижение прочности при сжатии и при изгибе составляет: после тепловлажностной обработки (ТВО) соответственно 30 и 27 %, после 28 сут

твердения при нормальных условиях — 41 и 51 %. Дополнительное искусственное «состаривание» цемента приводит к дальнейшему уменьшению прочности образцов при сжатии и изгибе.

Хранение портландцемента в течение 12 мес в среде с повышенной влажностью приводит к снижению прочности при сжатии и изгибе образцов после тепловлажностной обработки соответственно на 55 и 33 %, после твердения в течение 28 сут при нормальных условиях на 61 и 52 %.

Значительно меньшее снижение активности при гидратационном твердении наблюдается при хранении клинкера того же состава, что и портландцемент. После 4 мес хранения клинкера во влажной среде снижение прочности при сжатии и изгибе образцов после ТВО составило соответственно 8 и 6 %, после 28 сут твердения при нормальных условиях — 5 и 7 %. После 12 мес хранения клинкера во влажных условиях снижение прочности при сжатии и изгибе составило 28 % как в случае ТВО, так и при твердении в течение 28 сут при нормальных условиях.

Рентгенофазовый анализ проводился на автоматизированном порошковом дифрактометре ДРОН-3М ($R = 192$ мм, $\text{Cu}K_{\alpha}$ -излучение, Ni-фильтр, детектор сцинтилляционный с амплитудной дискриминацией, щели Солле-ра на первичном и отраженном пучках $2,5^{\circ}$) в области углов 2θ от 5 до 85° , с шагом сканирования углов $0,03^{\circ}$, время накопления в точке 1 с.

Для проведения рентгенофазового анализа все исследованные образцы готовили следующим образом. Исследуемое вещество истирали в агатовой ступке с добавлением этилового спирта. Полученную таким образом суспензию наносили на полированную сторону стандартной кварцевой кюветы. После высыхания спирта образец представлял собой слой толщиной не более 0,1 мм.

Идентификация фаз проводилась при помощи электронной базы данных дифракционных порошковых эталонов PDF-2.

На рис. 1 приведена дифрактограмма цемента, хранившегося в течение 7 сут в нормальных условиях. Отмечены рефлексы C_3S , C_3A , C_4AF .

После «состаривания» цемента (т.е. его длительного хранения во влажной среде) отмечены существенные изменения на дифрактограмме (см. рис. 1). При этом интенсивность ряда рефлексов, в первую очередь C_3S , уменьшается. Появляются рефлексы, соответствующие $\text{Ca}(\text{OH})_2$, например при $2\theta = 18,009^{\circ}$.

В работе приведены экспериментально определенные значения углов отражения, которые могут быть достаточно просто пересчитаны в межплоскостные расстояния по уравнению Брэгга — Вульфа [1, 2].

Следует отметить изменение соотношения интенсивности рефлексов, соответствующих значениям $2\theta = 32,247$ и $34,317^{\circ}$. Причем последний рефлекс увеличен по интенсивности, вероятно, вследствие наложения отражений от $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и других продуктов гидратации. Значительно изменяется интенсивность рефлекса с $2\theta = 51,88^{\circ}$, также относящегося к C_3S . Рефлексы, принадлежащие C_3A и C_4AF , достаточно малы по интенсивности, вместе с тем можно отметить их уменьшение в случае «состаренного» цемента. Таким образом, в условиях «состаривания» происходит процесс гидратации клинкерных минералов, в первую очередь C_3S , что сопровождается уменьшением интенсивности их рефлексов на дифрактограмме и появлением рефлексов $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Клинкер, как отмечено выше, хранили в исходном состоянии — в виде гранул размерами 10–20 мм. Перед проведением рентгенофазового анализа гранулы измельчались. Отдельно исследован состав поверхностных слоев гранул. После хранения этот слой специально соскабливали с поверхности гранул клинкера.

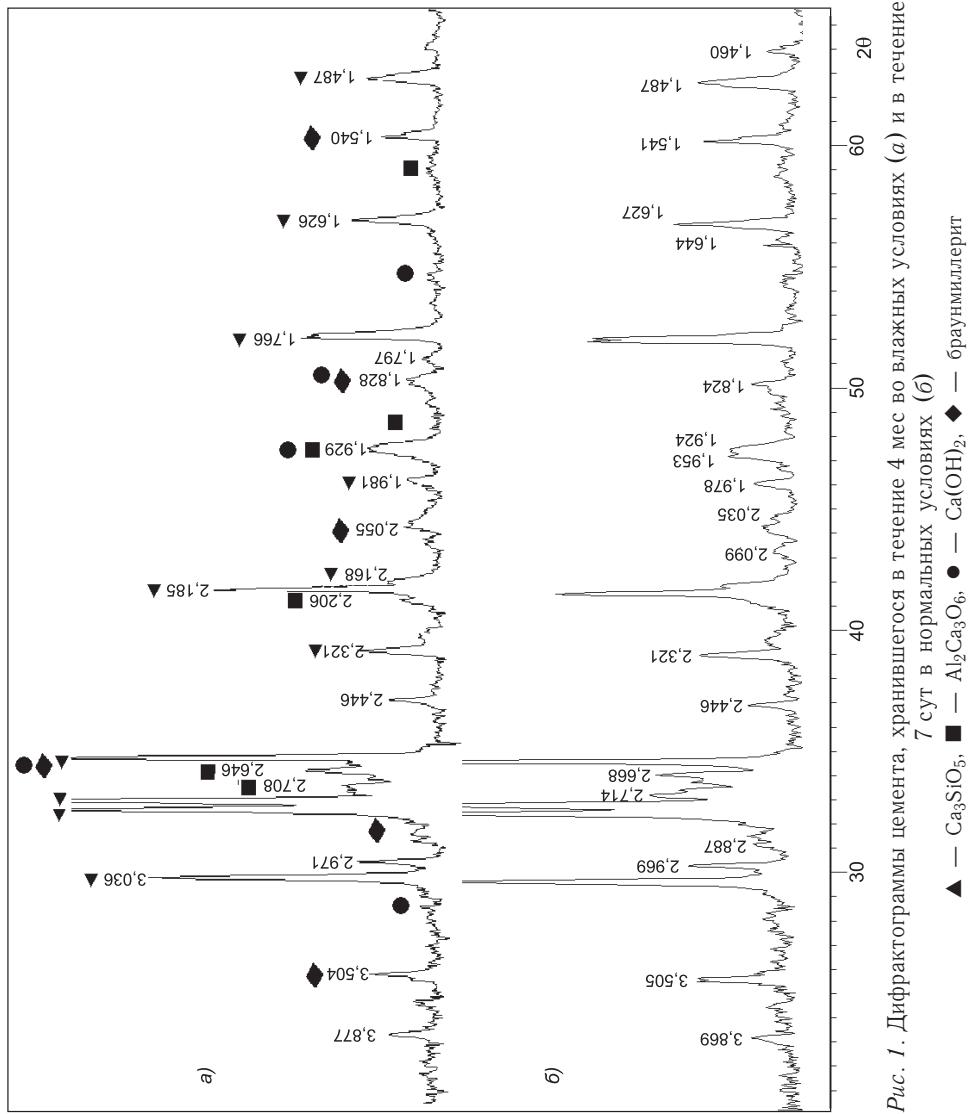


Рис. 1. Дифрактограммы цемента, хранившегося в течение 4 мес во влажных условиях (а) и в течение 7 сут в нормальных условиях (б)

В случае хранения клинкера того же состава, что и портландцемент, в течение 4 мес во влажных условиях дифрактограмма (рис. 2) по соотношению рефлексов, соответствующих C_3S , ближе к дифрактограмме цемента, хранившегося 7 сут в нормальных условиях, чем «состаренного» цемента. Это четко проявляется при сравнении рефлексов, соответствующих значениям 2θ , равным 32,231 и 34,384°. На дифрактограмме отсутствуют рефлексы $Ca(OH)_2$. Вместе с тем обнаруживаются рефлексы, относящиеся к SiO_2 ($2\theta = 26,635^\circ$). Причиной их появления может быть превращение силикатов кальция в соединения, содержащие большее количество CaO , например, C_2S в C_3S . Однако такие реакции термодинамически невозможны. Более вероятной представляется кристаллизация SiO_2 в виде β -кварца из стеклообразной фазы, присутствующей в клинкере [3]. Такой процесс может интенсифицироваться в условиях длительного хранения клинкера во влажной среде.

Дополнительное введение гипса при измельчении клинкера существенно не изменяет вид дифрактограммы.

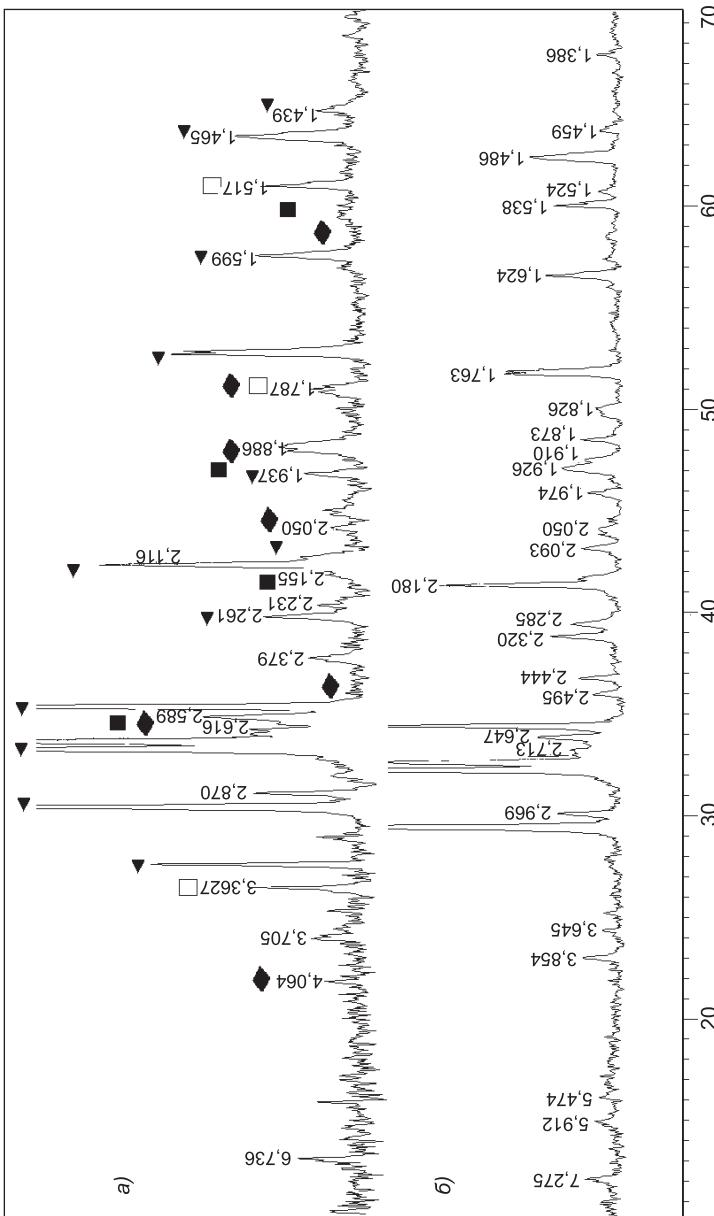


Рис. 2. Дифрактограммы клинкера (а) и поверхностного слоя клинкера (г), хранившихся в течение 4 мес во влажных условиях

▲ — Ca_3SiO_5 , ■ — $\text{Al}_2\text{Ca}_3\text{O}_6$, ◆ — браунмиллерит, □ — SiO_2

Исследование поверхностного слоя клинкера, хранившегося в течение 4 мес во влажных условиях, показывает, что интенсивность некоторых рефлексов C_3S на дифрактограмме понижена, например соответствующего $2\theta = 34,15^\circ$. Рефлексов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и SiO_2 не обнаружено (см. рис. 2). То есть процессы на поверхности зерна клинкера, хранившегося во влажных условиях, развиваются иначе, чем в объеме гранул, и регистрируемой гидратации C_3S в поверхностном слое не происходит.

После дополнительного искусственного «состаривания» зерен клинкера, хранившихся в течение 4 мес во влажной среде, во всех случаях (составы без гипса, с введением гипса, поверхностный слой) дифрактограммы (см. рис. 2) таковы же, что и у образцов безнского «состаривания». Вместе с тем рефлексов SiO_2 в этом случае не обнаружено.

Таким образом, при длительном хранении цемента («состаривание») происходит его гидратация, сопровождаемая образованием $\text{Ca}(\text{OH})_2$, установленная при рентгенофазовом анализе. Аналогичное хранение

клинкера не выявляет заметных признаков гидратационных превращений. Возможно, при длительном хранении цемента наряду с большой поверхностью частиц, которая способствует гигроскопическому увлажнению, значительную роль играет гидратация клинкерных минералов, в первую очередь C_3S , за счет взаимодействия с гипсовым камнем. Термодинамический анализ показывает возможность такого взаимодействия с образованием $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ или $CaSO_4$. Эти изменения структуры цемента и клинкера при длительном хранении в условиях с повышенной влажностью целесообразно учитывать при выборе способа длительного хранения клинкерных материалов и определении способов повышения стойкости цемента к длительному хранению, а также методов восстановления активности длительно хранившегося цемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пиккеринг, У.Ф. Современная аналитическая химия [Текст] / У.Ф. Пиккеринг. — М. : Химия, 1977. — 560 с.
2. Зубехин, А.П. Физико-химические методы определения тугоплавких неметаллических и силикатных материалов [Текст] / А.П. Зубехин, В.И. Страхов, В.Г. Чеховский. — СПб. : Синтез, 1995. — 190 с.
3. Горчаков, Г.И. Строительные материалы [Текст] / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1986. — 688 с.

*Ильина Л.В., канд. техн. наук, доц.; E-mail: nsklika@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

*Бердов Г.И., д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 15.06.10

Iliyna L.V., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: nsklika@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Berdov G.I., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

X-RAY DIFFRACTION OF CEMENT AND CLINKER AFTER PROLONGED STORAGE DIFFERENT CONDITIONS

Found that in the case of long-term storage (4 months) cement in a wet environment changes the intensity of the reflections on the diffrac-togrammeh, indicating that the process of hydration of clinker mineralogical-fishing, accompanied by the formation of $Ca(OH)_2$. In the case of a similar stor-tion of clinker is not revealed significant signs of hydration transformations-tion, however, found the reflexes related to SiO_2 . The reason for their appearance may be the crystallization of SiO_2 in the form of β -quartz glass-varying phases present in the clinker.

Key words: portland cement, clinker, long-term storage, X-ray analysis, X-ray patterns, the intensity of reflexes.

REFERENCES

1. Pikkering, U.F. Modern analytical chemistry [Text] / U.F. Pikkering. — M. : Chemistry, 1977. — 560 p.
2. Zubehin, A.P. Physico-chemical methods for the determination of refractory non-metallic and silicate materials [Text] / A.P. Zubehin, V.I. Strakhov, V.G. Chekhovsky. — SPb. : Synthesis, 1995. — 190 p.
3. Gorchakov, G.I. Building materials [Text] / G.I. Gorchakov, Yu.M. Bazhenov. — M. : Stroyizdat, 1986. — 688 p.

УДК 691.327:666.973.2:662.613.11

Г.И. ОВЧАРЕНКО, Е.Ю. ХИЖИНКОВА, Н.В. МУЗАЛЕВСКАЯ,
Т.С. БАЛАБАЕВА

БЕЗУСАДОЧНЫЕ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИИ

Изложены результаты исследования влияния свободных оксидов кальция, магния и SO_3 на собственные деформации цементно-зольного камня, твердевшего при автоклавировании, и раствора на его основе в нормальных условиях. Разработаны математические модели деформаций расширения камня в зависимости от содержания оксидов и свойств высококальциевых зол.

Ключевые слова: цементно-зольные композиции, собственные деформации, усадка, расширение, оксиды кальция, магния, SO_3 , математические модели.

Твердение портландцемента сопровождается усадочными деформациями, приводящими к трещинообразованию материалов на его основе. Для устранения этого явления необходимо применять безусадочные или расширяющиеся цементы. Факторами, способствующими расширению таких композиций, являются: образование этtringита (AFt фазы), позднее образование гидроксидов кальция и магния из «пережженных» оксидов и их совместное действие. Для расширяющихся цементов на основе синтеза этtringита необходимо учитывать термодинамические условия существования AFm и AFt фаз, а также температуру их твердения [1].

Один из материалов, способствующих расширению растворов и бетонов, — высококальциевая зола (ВКЗ) ТЭЦ. Благодаря ее фазовому составу [2, 3], включающему алюминаты кальция, алюмоферритно-стекловидную фазу, ангидрит, свободные CaO и MgO , расширение будет обеспечиваться как за счет гидратации «пережженных» оксидов кальция и магния, так и за счет образования дополнительного количества этtringита и этtringитоподобных фаз. Однако при оценке степени расширения золосодержащих композиций необходимо учитывать постоянно изменяющийся состав ВКЗ. Поэтому цель настоящего исследования — оценка собственных деформаций цементно-зольных материалов с учетом статистической изменчивости состава и свойств используемых зол в различных условиях твердения.

В исследованиях использовались портландцемент Голухинского цементного завода ПЦ 400 Д20, высококальциевая зола от сжигания бурых углей КАТЭКа на Барнаульской ТЭЦ-3, песок обской с модулем крупности $M_{kp} = 1,07$.

Полученные в ходе исследования характеристики проб зол свидетельствуют о колебаниях их свойств в широком диапазоне. Очевидны колебания по срокам схватывания зол: начало схватывания (нач. схв.) изменяется в пределах от 5–7 мин до 1 ч 30 мин и конец (кон. схв.) — от 14 мин до 2 ч 20 мин, остаток на сите № 008 колеблется от 1,6 до 14,2 %. Содержание свободного открытого CaO ($\text{CaO}_{отк}^{св}$) находится в пределах от 1,17 до 7,45 %; закрытой свободной извести ($\text{CaO}_{закр}^{св}$) — от 0,41 до 2,8 %, суммарной свободной извести ($\text{CaO}_{сум}^{св}$) — от 2,08 до 8,6 %; сво-

бодного MgO ($MgO_{\text{своб}}$) — от 1,5 до 5,1 % и SO_3 — от 1,27 до 5,72 %. Температурный эффект ранней гидратации золы — критерий ΔT — изменяется от 0,1 до 7 °C, нормальная густота зольного теста (ТНГ) составляет 19–31,7 %.

Собственные деформации золопортландцементного (ЗПЦ) камня определялись по ГОСТ 25818–91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов» путем испытания в автоклаве при давлении 2,1 МПа образцов-призм размером 2,5×2,5×28,0 см, изготовленных из цементно-зольного теста нормальной густоты.

Собственные деформации растворного камня стяжки для пола определялись на образцах, твердевших в нормальных условиях, изготовленных из золоцементно-песчаного раствора подвижностью П3 по ГОСТ 28013–98, размером 4×4×16 см с реперами на индикаторе часового типа. Первые 2 нед твердения замеры производились через день, а затем через каждые трое суток.

Проведенный статистический анализ состава и свойств высококальциевой золы с величиной удлинения камня из золопортландцемента показал наличие многочисленных корреляционных взаимосвязей (таблица). Все приведенные уравнения проверены на адекватность.

Найденные двухпараметрические зависимости удлинения образцов от состава и свойств ВКЗ выявили, что наибольшее влияние на деформации золопортландцементного камня после автоклавирования оказывает, в основном, содержание свободных оксидов кальция и магния (рис. 1), а также содержание серного ангидрида (рис. 2) совместно с другими факторами. Так, учет совместного действия только свободных оксидов кальция и магния дает коэффициент корреляции $r = 0,73$ (см. таблицу, уравнение 2). В то время как эффект от действия свободной извести и SO_3 золы обеспечивает $r = 0,92 - 0,94$ (уравнения 1, 4). Так как состав золы связан с ее свойствами, то деформации камня можно прогнозировать и по свойствам. Например, ТНГ и конец схватывания (уравнение 3), ТНГ и ΔT (см. таблицу, уравнение 6).

Как видно из рис. 1, свободная открытая известь золы приводит к экспоненциальному росту деформаций, в то время как периклаз в исследованном диапазоне — к незначительному удлинению золоцементного камня.

На рис. 2 показано дополнительное влияние SO_3 золы на эффекты деформаций от свободной открытой извести. Такое заметное влияние SO_3 на деформации не очевидно, особенно в автоклавных условиях.

Ранее большинство исследователей связывали деструктивные явления в затвердевшем цементно-зольном камне в основном только с объемным расширением мертвобожженных $MgO_{\text{своб}}$ и $CaO_{\text{своб}}$ при их высоком содержании в вяжущем¹ [4]. Полученные результаты еще раз указывают на то, что кроме пережженных свободных оксидов на процессы деструкции в затвердевшем камне влияют сульфатсодержащие фазы и связанное с этим образование этtringита (см. рис. 2).

В случае высококальциевой золы роль SO_3 , содержащегося в ней, сводится не только к синтезу дополнительного количества AFt фаз, но и к частичному блокированию гидратации свободной извести [3], что приводит к возрастанию суммарного эффекта деформаций. Поэтому использование многопараметрической модели вида $y = f(x_1, x_2, x_3)$ позволило по-

¹ Меренцева Г.С., Федорова Т.С., Пискунова И.В., Мозговая Т.В. Деструктивные процессы золоцементного вяжущего // Эколог. и прогресс. технол. в стр-ве для условий Сибири и Севера: Матер. респ. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Горн. Алтай-93». Барнаул, 1993. С. 23–25.

Уравнения и коэффициенты корреляций двухпараметрических взаимосвязей между величиной удлинения ΔL ЗПЦ камня при испытании его на равномерность изменения объема в автоклаве и составом, свойствами ВКЗ

№ п/п	$\Delta L = f$ (состав и свойства ВКЗ)	Коэффициент корреляции r	Уравнение регрессии
1	$\Delta L = f$ ($\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}}$; SO_3)	$r = 0,92$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,62(\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}})^2 + 3,33(\text{SO}_3)^2 - 2,65\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}} \cdot \text{SO}_3 + 1,44\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}} - 5,78\text{SO}_3 + 5,01$
2	$\Delta L = f$ ($\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}}$; $\text{MgO}_{\text{своб}}$)	$r = 0,73$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,54(\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}})^2 + 0,01(\text{MgO}_{\text{своб}})^2 - 0,28\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} \cdot \text{MgO}_{\text{своб}} - 3,36\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} + 1,16\text{MgO}_{\text{своб}} + 5,92$
3	$\Delta L = f$ (ТНГ; кон.схв.)	$r = 0,84$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,434\text{THG}^2 + 0,0004 \text{кон.схв.}^2 - 0,035\text{THG} \cdot \text{кон.схв.} - 18,65\text{THG} + 0,78\text{кон.схв.} + 202,14$
4	$\Delta L = f$ ($\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}}$; SO_3)	$r = 0,94$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,45(\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}})^2 + 3,23(\text{SO}_3)^2 - 2,43\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} \cdot \text{SO}_3 + 3,6\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} - 8,68\text{SO}_3 + 5,57$
5	$\Delta L = f$ (нач.схв.; $\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}}$)	$r = 0,83$	$\Delta L_{\text{авт}} = -0,001 \text{ нач.схв.}^2 + 0,6(\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}})^2 + 0,03 \text{ нач.схв.} \cdot \text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} - 0,05 \text{ нач.схв.} - 5,5\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} + 11,94$
6	$\Delta L = f$ (ТНГ; ΔT)	$r = 0,82$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,17\text{THG}^2 - 0,07\Delta T^2 + 0,42\text{THG} \cdot \Delta T - 8,76\text{THG} - 9,1\Delta T + 113,97$
7	$\Delta L = f$ (кон.схв.; $\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}}$)	$r = 0,78$	$\Delta L_{\text{авт}} = -0,0002 \text{ кон.схв.}^2 + 0,57(\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}})^2 + 0,01 \text{ кон.схв.} \cdot \text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} + 0,04 \text{ кон.схв.} - 4,75\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} + 9,41$
8	$\Delta L = f$ (ТНГ; SO_3)	$r = 0,76$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,04\text{THG}^2 + 0,08(\text{SO}_3)^2 + 0,28\text{THG} \cdot \text{SO}_3 - 2,23\text{THG} - 6,08\text{SO}_3 + 30,38$
9	$\Delta L = f$ (ΔT ; $\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}}$)	$r = 0,76$	$\Delta L_{\text{авт}} = -0,09\Delta T^2 + 0,035(\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}})^2 + 0,68\Delta T \cdot \text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}} - 3,28\Delta T - 1,49\text{CaO}_{\text{сум}}^{\text{св}} + 8,25$
10	$\Delta L = f$ (ТНГ; нач. схв.)	$r = 0,74$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,232\text{THG}^2 + 0,002 \text{ нач.схв.}^2 - 0,08\text{THG} \cdot \text{ нач.схв.} - 8,21\text{THG} + 1,73 \text{ нач.схв.} + 70,8$
11	$\Delta L = f$ (ΔT ; SO_3)	$r = 0,69$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,23\Delta T^2 + 1,4(\text{SO}_3)^2 - 0,77\Delta T \cdot \text{SO}_3 + 0,95\Delta T - 5,79\text{SO}_3 + 8,5$
12	$\Delta L = f$ (ΔT ; $\text{MgO}_{\text{своб}}$)	$r = 0,66$	$\Delta L_{\text{авт}} = 0,13\Delta T^2 + 0,3(\text{MgO}_{\text{своб}})^2 + 1,03\Delta T \cdot \text{MgO}_{\text{своб}} - 3,35\Delta T - 4,44\text{MgO}_{\text{своб}} + 12,19$

Примечание. $\Delta L_{\text{авт}}$ — деформации золопортландцементного камня после автоклавирования.

лучить еще более отчетливую зависимость собственных деформаций золопортландцементного камня в автоклаве от содержания свободных CaO , MgO и SO_3 золы с коэффициентом корреляции (r), близким к 1. $\Delta L = 0,59(\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}})^2 + 3,56(\text{SO}_3)^2 + 0,156(\text{MgO}_{\text{своб}})^2 - 1,06\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} - 20,04\text{SO}_3 - 10,81\text{MgO}_{\text{своб}} - 1,03\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} \cdot \text{SO}_3 + 3,98\text{SO}_3 \cdot \text{MgO}_{\text{своб}} + 1,46\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} \cdot \text{MgO}_{\text{своб}} - 0,6\text{CaO}_{\text{откр}}^{\text{св}} \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{MgO}_{\text{своб}} + 35,24$; $r = 0,98$.

Полученные многочисленные модели позволяют прогнозировать деформации золосодержащих материалов в зависимости от изменяющихся состава и свойств применяемых зол. При этом деформации можно прогнозировать как по химическому и фазовому составу, так и по свойствам золы, связанным с ее составом.

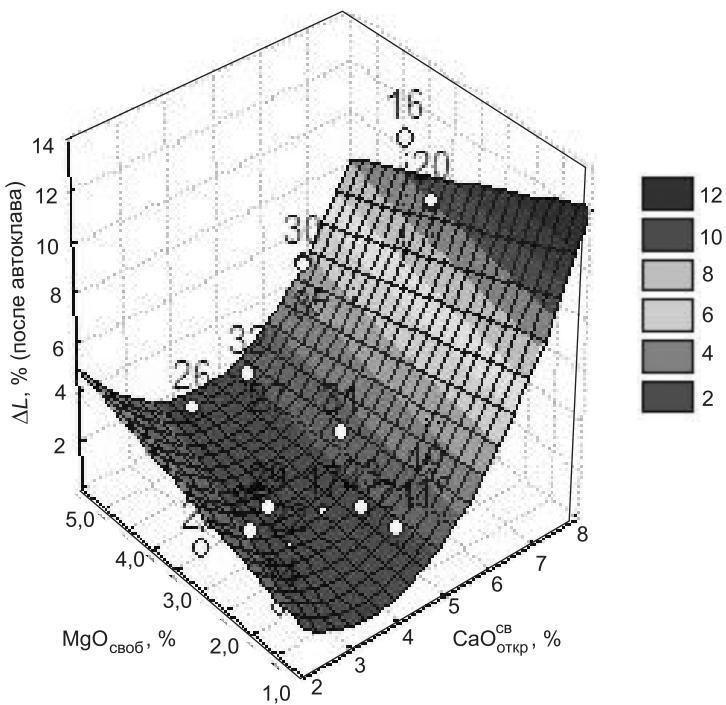


Рис. 1. Зависимость удлинения золоцементного камня при испытании в автоклаве от количества свободной открытой извести и свободного оксида магния в золе

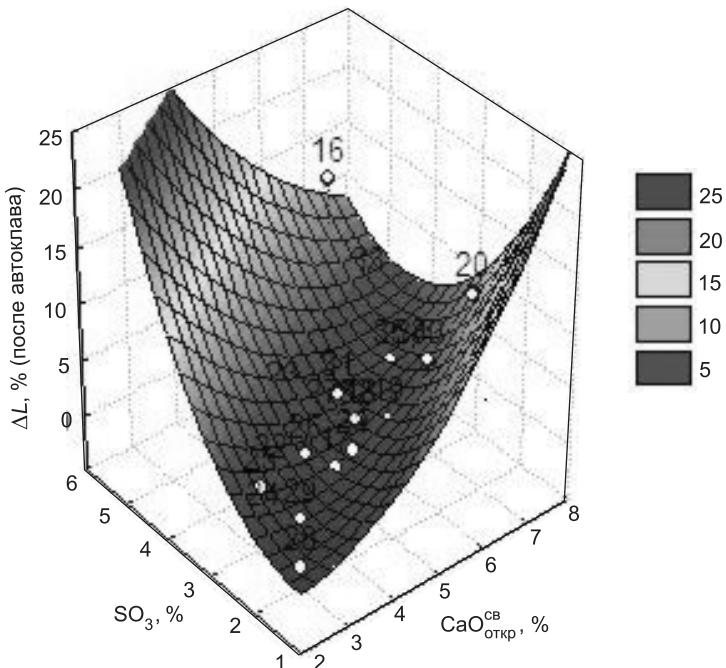


Рис. 2. Зависимость удлинения камня из золопортландцемента после автоклава от количества свободной открытой извести и серногого ангидрида в ВКЗ

На рис. 3 приведена зависимость линейных деформаций стяжки для пола на основе ВКЗ от содержания в ней свободного CaO и времени твердения в нормальных условиях. Эта статистическая модель устанавливает

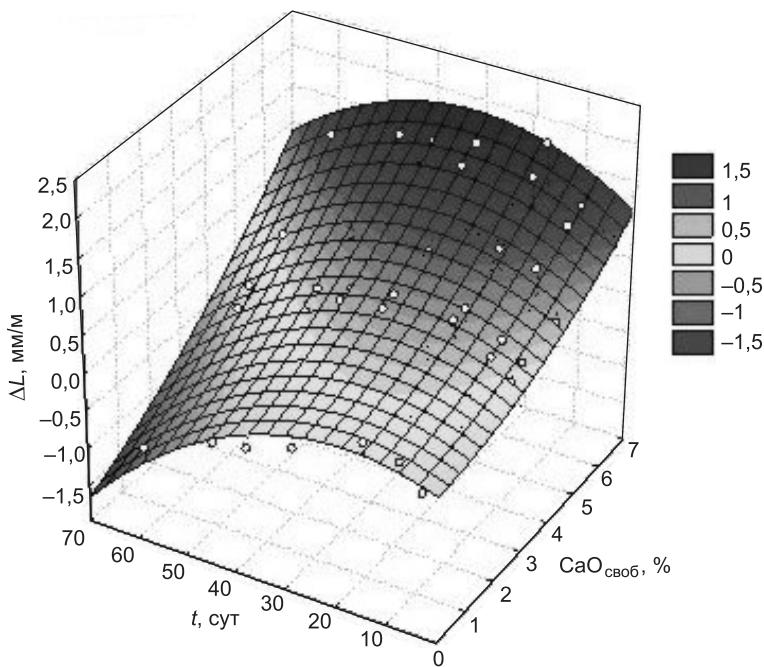


Рис. 3. Зависимость линейных деформаций растворного камня стяжки для пола от содержания свободного CaO в золе и времени твердения

$$R = 0,95 \quad \Delta L = 0,02304(CaO_{\text{своб}})^2 - 0,65e^{-3t^2} + 0,00305CaO_{\text{своб}}t + 0,00439CaO_{\text{своб}} + 0,02245t - 0,03786$$

граничные значения по содержанию в золе свободной извести, обеспечивающей линейное расширение растворного камня. Для данного конкретного состава стяжки содержание в золе менее 2,5 % свободной извести не обеспечит безусадочность.

В случае низкого содержания свободных CaO и MgO в конкретных партиях золы и усаживающихся стяжек нами разработаны составы с добавками гипса, гипса и глиноземистого цемента, расширяющиеся за счет синтеза дополнительного количества этtringитоподобных фаз.

Таким образом, используя установленные взаимосвязи, можно получать многочисленные золосодержащие материалы с контролируемой усадкой или расширением при применении высококальциевых зол нестабильного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штарк, Й. Цемент и известь [Текст] / Й. Штарк, Б. Вихт ; пер. с нем. А. Тулаганова ; под ред. П. Кривенко. — Киев, 2008. — 480 с.
2. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКА и их использование в тяжелых бетонах [Текст] / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен. — Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1997. — 149 с.
3. Овчаренко, Г.И. Золы углей КАТЭКА в строительных материалах [Текст] / Г.И. Овчаренко. — Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. — 216 с.
4. Рамачандран, В. Наука о бетоне: Физико-химическое бетоноведение [Текст] / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн. — М. : Стройиздат, 1986. — 278 с.

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

*ХИЖИНКОВА Е.Ю., канд. техн. наук
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул
МУЗАЛЕВСКАЯ Н.В., асп.; E-mail: muza-nat@mail.ru
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул
БАЛАБАЕВА Т.С., студ.; E-mail: tania5105@mail.ru
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул*

Получено после доработки 16.08.10

Ovcharenko G.I., doctor of technical sciences, professor; E-mail: egogo1980@mail.ru, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

Khizhinkova E.Yu., candidate of technical sciences, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

Muzalevskaya N.V., post-graduate student; E-mail: muza-nat@mail.ru, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

Balabaeva T.S., student; E-mail: tania5105@mail.ru, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

NONSHRINKAGE CEMENT-ASHES COMPOSITIONS

In article are stated results of the study of the influence free oxides calcium, magnesium and SO₃ on own deformation cement-ash stone, hardened under steaming and autoclaving. The mathematical models the expansion of stone is designed depending on contents oxides and characteristic of ashes.

Key words: cement- ash compositions, own deformation, shrinkage, expansion, oxides calcium, magnesium, SO₃, mathematical models.

REFERENCES

1. Shtark, J. Cement and lime [Text] / J. Shtark, B. Wicht ; trans. from german. — A. Tulaganova ; edition by P. Krivenko. — Kiev, 2008. — 480 p.
2. Ovcharenko, G.I. Estimation of properties of ashes from coal of KATEK and their using in concrete [Text] / G.I. Ovcharenko, L.G. Plotnikova, V.B. Franzen. — Barnaul : Edition by ASTU, 1997. — 149 p.
3. Ovcharenko, G.I. Ashes from coal of KATEK in a building materials [Text] / G.I. Ovcharenko. — Krasnoyarsk : Edition by Krasnoyarsk University, 1992. — 216 p.
4. Ramachandran, V. Science about the beton: Physical and chemical properties of beton [Text] / V. Ramachandran, R. Feldman, J. Boduen. — M. : Stroyizdat, 1986. — 278 p.

УДК 691.51/.55 : 666.941.2

Е.В. ЛЫТКИНА

КСИЛОЛИТОВЫЕ И КОСТРОЛИТОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО, СОДЕРЖАЩЕГО ДИАБАЗ

Установлено, что введение 70 % мас. диабаза, представляющего отход производства, имеющего удельную поверхность $2000\text{--}2500 \text{ см}^2/\text{г}$, обеспечивает существенное повышение водостойкости магнезиального вяжущего вещества. Использование такого вяжущего позволяет получать ксилолитовые и костролитовые строительные материалы, имеющие высокую водостойкость и низкую теплопроводность.

Ключевые слова: ксилолит, костра льна, магнезиальное вяжущее, диабаз, механическая прочность, водостойкость.

Проблема рационального использования и экономии материальных ресурсов охватывает все стороны хозяйственной деятельности общества. Одной из областей народного хозяйства, которая может и должна использовать значительные количества техногенных отходов, является промышленность строительных материалов. Использование отходов промышленности позволяет сократить дефицит строительных материалов, снизить стоимость строительства и расходов, связанных с ликвидацией отвалов.

Для изготовления легких бетонных материалов используют отходы производства: опилки — отход обработки древесины и костру льна. Образуемые на их основе — ксилолит и костролит представляют собой легкие искусственные пластичные композиционные материалы. При этом используется магнезиальное вяжущее, содержащее при необходимости тонкодисперсные минеральные добавки.

Традиционные магнезиальные вяжущие вещества, такие как каустический магнезит или доломит, обладают рядом несомненных достоинств. Они имеют нейтральный химический состав продуктов твердения, достаточно высокую механическую прочность, относительно низкие сроки схватывания. Вместе с тем для них характерна низкая водостойкость и усадочные явления при твердении, что ограничивает их применение. Для повышения водостойкости магнезиальных вяжущих веществ в их состав вводят минеральные добавки. В качестве таких добавок используются природные силикаты магния, известняк, микрокремнезем, цеолиты, гранулированные доменные шлаки, золы ТЭЦ и т.д.

Анализ свойств минеральных наполнителей, наиболее эффективно повышающих механическую прочность и водостойкость композиционных магнезиальных вяжущих веществ, показывает, что они должны обладать высокой твердостью, иметь значения удельной энталпии образования, энергии кристаллической решетки и энтропии, близкие к аналогичным характеристикам оксида магния. К числу таких добавок относятся, например, волластонит и диопсид [1, 2].

Вместе с тем на камнеобрабатывающих предприятиях Западно-Сибирского региона имеются тонкодисперсные материалы, которые могут использоваться как эффективные тонкодисперсные наполнители. К их

числу относится тонкодисперсный порошок диабаз, образующийся при дроблении диабазовой породы для получения щебня (месторождение пос. Горный, Новосибирская область). Минеральный состав диабаза представлен полевыми шпатами, слюдой, хлоритами, каолинитом, диопсидом. Химический состав диабаза приведен в табл. 1.

Таблица 1
Химический состав диабаза

Содержание оксидов, мас. %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	П.п.п.
47,36	16,86	16,71	3,85	7,75	3,08	0,11	0,2

В исходном состоянии порошок диабаза характеризуется насыпной плотностью, равной 1420 кг/м³, истинной плотностью 2780 кг/м³, удельной поверхностью 2240 см²/г. Применяемый отход от дробления диабаза подвергался дополнительному измельчению в шаровой мельнице до полного прохождения массы через сито № 008.

Композиционные магнезиальные вяжущие готовились следующим образом. MgO и тонкодисперсные добавки смешивались в соотношении, равном 30:70, и затворялись раствором хлорида магния плотностью 1,2 г/см³ с Ж/Т = 0,8. Производилось формование смеси методом литья. Согласно результатам, приведенным в [2, 3], такое соотношение оксида магния и тонкодисперсного минерального наполнителя является оптимальным. Свойства композиционного магнезиального вяжущего материала с введением диабаза приведены в табл. 2.

Таблица 2
Физико-механические свойства композиционного магнезиального вяжущего

Вид добавки	Содержание добавки, мас. %	Средняя плотность, г/см ³	Прочность на сжатие при твердении на воздухе, МПа, через		Прочность на сжатие при твердении в воде, МПа, через	
			28 сут	60 сут	28 сут	90 сут
Диабаз	70	1,49	12,0	13,4	9,2	8,9

Введение в магнезиальное вяжущее тонкодисперсного диабаза приводит к снижению или исчезновению высоловообразования за счет уменьшения содержания свободного оксида магния. Такой материал набирает прочность в ранние сроки твердения. Использование тонкодисперсного порошка диабаза в составе композиционного вяжущего обеспечивает получение водостойких изделий.

Для получения ксилолитовых и костролитовых материалов использовали композиционное магнезиальное вяжущее, содержащее 70 % мас. диабаза.

Для изготовления ксилолита применяли древесные опилки хвойных пород фракции 1,25–0,63 мм со следующими характеристиками: насыпная плотность — 150 кг/м³, истинная плотность — 1250 кг/м³, пустотность — 84 %, влажность — 20 %, набухание в течение 0,5 ч — 2,15 %, в течение 24 ч — 6,32 %.

Для приготовления литых ксилолитовых материалов использован состав с соотношением вяжущее : опилки = 1:1, Ж/Т = 2. Производилось прессование в две ступени для удаления воздуха под нагрузкой 2,5/5 МПа (здесь указано давление прессования на первой (числитель) и второй (зна-

Таблица 3

Физико-механические свойства ксилолитовых и костролитовых композитов

№ состава	Наполнитель	Образцы	Средняя плотность, кг/м ³	$\sigma_{10\%}^{\text{сух}}$, МПа	$R_{\text{сж}}^{\text{сух}}$, МПа	$R_{\text{сж}}^{\text{п.в.}}$, МПа	Капиллярный подсос, через 12 ч, %	Водопоглощение, W_v , %	Коэффициент размягчения, K_p
1	Ксилолит	Прессованный	830	1,80	7,0	3,3	70,7	82,0	0,47
2	Костролит		508	1,0	3,7	3,3	25,1	45,3	0,88
3	Контрольный		446	0,72	4,9	0,8	38,8	52,0	0,17
4	Костролит	Литой	630	0,5	1,4	0,6	32,6	42,3	0,40
5	Ксилолит		530	0,82	1,9	0,4	73,5	48,9	0,18
6	Контрольный		520	0,4	1,1	0,2	45,2	52,0	0,18

менатель) ступенях). Свойства полученных материалов приведены в табл. 3, где даны значения, соответствующие 10%-й деформации образцов ($\sigma_{10\%}^{\text{сух}}$) и прочности при их разрушении в сухом состоянии $R_{\text{сж}}^{\text{сух}}$.

Литые образцы ксилолитовые имеют достаточно низкую прочность при сжатии, низкий коэффициент размягчения и относительно низкое водопоглощение, но в то же время низкую среднюю плотность и теплопроводность (0,169 Вт/м²·°C), соответствующие теплоизоляционным материалам.

Наряду с ксилолитовыми исследованы также костролитовые материалы.

В Сибири льнозаводы расположены на территории Омской, Новосибирской областей, Алтайского края. В работе использована костра льна Легостаевского льнозавода (Искитимский район Новосибирской области). Она имеет насыпную плотность — 110...120 кг/м³, влажность — 15...20 %, гигроскопичность — 24...26 %, истинную плотность — 1120 кг/м³, пустотность — 78 %, набухание в течение 0,5 ч — 0,72 %, в течение 24 ч — 2,25 %.

Аналогично прессованным ксилолитовым изделиям изготовлены образцы с использованием костры льна фракцией 1,25–0,63 см и композиционных магнезиальных вяжущих указанного выше состава. Они изготовлены при давлении прессования 2/4 МПа и влажности смеси 75 %, а также способом литья. Образцы твердели на воздухе и в воде 7, 28 сут. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

По сравнению с ксилолитовыми прессованными образцами, костролитовые изделия отличаются низкой средней плотностью (499–508 кг/м³), низкой теплопроводностью (0,150–0,164 Вт/м²·°C), что соответствует теплоизоляционным материалам, и высоким коэффициентом размягчения, соответствующим водостойким материалам.

Следует отметить, что, если диабазовый наполнитель не вводить в состав магнезиального вяжущего, водостойкость получаемого материала мала — составляет 0,17. Она резко возрастает ($K_p = 0,88$) в случае введения 70 % мас. тонкодисперсного диабаза в состав магнезиального вяжущего вещества.

С использованием композиционных вяжущих с применением наполнителя (диабаза) были изготовлены отделочные изделия в форме диаметром 40 мм под давлением 4/8 МПа, затворенные раствором хлорида магния. Без пигmenta образцы имеют светло-серый оттенок, среднюю плотность 1650 кг/м³, прочность при сжатии 6,50 МПа. При малом со-

держании раствора $MgCl_2$ (влажность смеси 27 %) образцы имеют низкую водостойкость — 0,34 при водопоглощении 8 %. При увеличении влажности смеси до 50 % повышается прочность образцов при сжатии и коэффициент размягчения до 12,0 МПа и 1,0 соответственно.

Таким образом, для повышения водостойкости продуктов твердения магнезиальных вяжущих веществ может использоваться добавка диабаза (70 % мас.), представляющая собой отход щебеночного производства, имеющий удельную поверхность 2000–2500 cm^2/g . Применение композиционного магнезиального вяжущего вещества, содержащего диабаз, позволяет получать ксилолитовые и kostrolитовые композиционные материалы, обладающие высокой водостойкостью и низкой теплопроводностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верещагин, В.И. Водостойкие смешанные магнезиальные вяжущие [Текст] / В.И. Верещагин, В.Н. Смиренская, С.В. Эрдман // Стекло и керамика. — 1997. — № 11. — С. 33–37.
2. Зырянова, В.Н. Влияние минеральных наполнителей на свойства магнезиальных вяжущих [Текст] / В.Н. Зырянова, Е.В. Лыткина, Г.И. Бердов // Техника и технология силикатов. — 2010. — № 2. — С 15–17.
3. Зырянова, В.Н. Повышение механической прочности и водостойкости магнезиальных вяжущих веществ при введении минеральных наполнителей [Текст] / В.Н. Зырянова, Е.В. Лыткина, Г.И. Бердов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 3. — С. 21–26.

ЛЫТКИНА Е.В., асп.; E-mail: jenny_lytkina@rambler.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 30.06.10

Lytkina E.V., post-graduate student; E-mail: jenny_lytkina@rambler.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

KSILOLIT AND KOSTROLIT BUILDING MATERIALS WITH USE COMPOSITE MAGNESIALE KNITTING, CONTAINING DIABASE

It is established that introduction of 70 % mac. The diabase representing a withdrawal of manufacture, $2000–2500 cm^2/g$ having a specific surface, essential increase of water resistance magnesiale knitting substance provides. Use of such knitting allows to receive ksilolit and kostrolit the building materials having high water resistance and low heat conductivity.

Key words: ksilolit, a flax fire, magnesiale knitting, diabase, mechanical durability, water resistance.

REFERENCES

1. Vereshchagin, V.I. Waterproof mixed magnesiale knitting [Text] / V.I. Vereshchagin, V.N. Smirenskaya, S.V. Erdman // Glass and ceramics. — 1997. — N 11. — P. 33–37.
2. Zyryanova, V.N. Influence mineral fillers on properties magnesiale knitting [Text] / V.N. Zyryanova, E.V. Lytkina, G.I. Berdov // Technics and technology of silicates. — 2010. — N 2. — P. 15–17.
3. Zyryanova, V.N. Increase of mechanical durability and water resistance magnesiale knitting substances at introduction mineral fillers [Text] / V.N. Zyryanova, E.V. Lytkina, G.I. Berdov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 3. — P. 21–26.

УДК 691.51/.55.004.8

Е.В. КОРНЕЕВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ, БЕТОНОВ И ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Работа посвящена вопросам использования техногенных отходов при изготовлении низкопрочных бетонов и твердеющих смесей. Представлены результаты исследований характеристик нового бесцементного вяжущего.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, техногенные отходы, бесцементное вяжущее, прочность, бетон, закладочные смеси.

В настоящее время одной из основных составляющих ресурсосберегающих технологий производства вяжущих веществ является широкое применение техногенных отходов. Фактически только промышленность строительных материалов способна переработать и использовать в производстве миллионы тонн техногенного сырья, образованного и накопленного в регионах с развитой промышленной инфраструктурой.

Наиболее перспективный вид потенциальных сырьевых материалов — отходы металлургических предприятий (шлаки сталеплавильного производства, объемы которых с каждым годом увеличиваются).

Образование огромного количества отходов добычи и переработки на шахтах, разрезах и рудниках и образование выработанных пространств с оседанием земной поверхности — проблема, комплексное решение которой — разработка дешевой твердеющей закладочной смеси с использованием отходов промпредприятий: шлаков сталеплавильного производства и горелых пород шахтных отвалов.

В применяемых закладочных смесях в качестве вяжущего преимущественно используется цемент, достаточно дорогой и энергоемкий материал, а также природные заполнители (песок, гравий, дробленые горные породы).

Решение задачи активации шлака и разработка состава и технологии бесцементного вяжущего на его основе с использованием техногенного сырья очень актуальны.

Данная работа выполнялась в рамках научных исследований по теме «Разработка технологии переработки марганцовских шлаков (выпускаемых и отвальных)» творческим коллективом ГОУ ВПО «СибГИУ» под руководством профессора С.И. Павленко начиная с 2003 г. (контракт с ООО «Сталь НК» № 4075018 / 25-03).

Научной новизной исследований явилось установление реакционной способности низкоактивного сталелитейного шлака при его помоле в шаровой и планетарной мельнице с добавлением активаторов в виде горелых шахтных пород и шлама, отработанного и нейтрализованного известью электролита кислотных аккумуляторов.

Для активации минеральных систем используются следующие способы: механический (помол, вибрация), химический (введение добавок), тепловой (автоклавная обработка, температурно-влажностная обработка, резкое охлаждение). Предварительная активация шлака позволяет

в значительной мере регулировать прочность и эксплуатационные свойства материала на его основе. Для разработки вяжущего на бесцементной основе применялась комбинированная активация.

Получение строительных материалов из активированных отходов металлургического производства — перспективное направление, позволяющее расширить сырьевую базу промышленности строительных материалов, предотвращая образование новых отвалов, и оборудования новых полигонов.

Используемое техногенное сырье (сталелитейные мартеновские и конверторные шлаки, горелые породы и шлам) подвергалось многоуровневым исследованиям на соответствие государственным стандартам и другим нормативным документам.

Экспериментальные работы проводились в лабораториях и на оборудовании аналитического центра Объединенного института геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения академии наук Российской Федерации (ОИГГиМ СО РАН), аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.510590 (г. Новосибирск); в лаборатории радиационного контроля отделения радиационной гигиены ГУ «ЦЕНТРГОССАНЭПИДНАДЗОРА», аттестат аккредитации № ГСЭН RU.TOA.074 (г. Новокузнецк); в лабораториях Испытательного центра «Строительные материалы и конструкции «Кузбасс»» (ООО ИЦ СМИК «Кузбасс»), Органа сертификации строительной продукции (ОС «Кузбассстройсертификация»), аттестат аккредитации № РОСС RU.9001.21 СЛ64 (г. Новокузнецк); в химлаборатории ОАО «ЗСМК», в лаборатории и Центре испытания материалов УНИ СибГИУ (г. Новокузнецк).

Автором настоящей статьи произведен расчет компонентов состава бесцементного вяжущего на основе выпускаемых сталеплавильных шлаков (мартеновского ООО «Сталь НК», конверторного ОАО «ЗСМК») с добавкой отходов ОАО шахты «Абашевская» ОУК «Южкузбассуголь» (сульфатных активаторов); горелых пород шахтных отвалов и шлама (нейтрализованного отработанного электролита кислотных аккумуляторов из резервуара-накопителя отделения нейтрализации предприятия) с определением основных свойств. Исследованы прочностные характеристики бесцементного вяжущего, структурный состав связующих и новообразований во время набора прочности. Характеристика шлакового вяжущего приведена в таблице.

Следует заметить, что на химический состав электролита влияют как назначение аккумулятора (тяговые, стартерные) и сезонность работы (в зимний период электролит имеет большую плотность), так и степень изношенности. Отработанные кислотные электролиты бульдозеров, автотранспорта и подземных электровозов шахты собираются в резервуар-накопитель отделения нейтрализации предприятия для утилизации.

Электролит отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов, выбранный в качестве активатора для вяжущего, — техногенный продукт, доступный в любом регионе нашей страны, подлежащий утилизации, а значит, не вызывающий удорожание материала за счет транспортных расходов и дополнительной подготовки.

Свинцово-кислотные аккумуляторы — наиболее распространенный на сегодняшний день вид аккумуляторов. Используются преимущественно в стартерных батареях автомобильного транспорта и аварийных источниках электроэнергии (электрические аккумуляторы — это химические источники тока многоразового действия для накопления электроэнергии и автономного питания различных устройств — электротягачей, электропогрузчиков).

Характеристика шлакового вяжущего

Характеристики	Свойства вяжущего		
	из марте-новского шлака	из конверторного шлака	
		окисли-тельный периода плавки	восстанови-тельный периода плавки
Тонкость помола (проход через сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613), %	47,5	45	45
Водошламовое отношение	0,43	0,4	0,4
Расплыв конуса, см	16,2	14,5	14,4
Насыпная плотность в рыхлом состоянии, кг/м ³	1660	1720	1460
Насыпная плотность в уплотненном состоянии, кг/м ³	1830	1900	1610
Начало схватывания, ч	24	20	20
Конец схватывания, ч	50	45	45
Равномерность изменения объема: кипячением лепешек в воде	Выдерживает (трещины, искривления отсутствуют)		
Прочность при естественном твердении 7 сут, МПа:			
при растяжении на изгиб	1,6 4,76	1,66 2,08	3,98 5,68
при сжатии			
Прочность при естественном твердении 28 сут, МПа:			
при растяжении на изгиб	1,94 6,60	2,02 2,89	4,83 7,88
при сжатии			

Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи до сих пор остаются самыми надежными, долговечными и не требующими высоких эксплуатационных затрат химическими источниками тока.

При формировании образцов шлакового вяжущего был использован шлам электролитов из приемного резервуара-накопителя отделения нейтрализации шахты (смешанный состав: кислотных тяговых и стартерных аккумуляторов). Проба взята летом (плотность раствора 1,149 г/см³).

Дальнейшие экспериментальные исследования показали, что прочность бесцементной закладочной смеси и бесцементного мелкозернистого бетона увеличивается с повышением плотности электролита в составе шлама, на основании чего были разработаны оптимальные составы бесцементной литой твердеющей закладочной смеси и бесцементного мелкозернистого бетона с использованием математического метода планирования эксперимента.

В результате проведенных исследований определены оптимальные составы бетонной смеси на основе созданного бесцементного вяжущего, кг/м³:

для марленовского шлака

- предлагаемое вяжущее 1550–1600
- (шлак марленовский — 70 %, горелая порода — 23 %, шлам — 7 %)
- мелкозернистый заполнитель 230–240
- (шлак марленовский с модулем крупности $M_k = 1$)

для конверторного шлака

- предлагаемое вяжущее 1550–1600
- (шлак конверторный — 86 %, горелая порода — 6 %, шлам — 8 %)

- мелкозернистый заполнитель 150–160
(шлак конверторный с модулем крупности $M_k = 1$)

Таким образом, обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения вяжущего из техногенных продуктов в составе бесцементной литой твердеющей закладочной смеси [1] и бесцементного мелкозернистого бетона с прочностью при сжатии 9,82 МПа и пределом прочности на растяжение при изгибе 3,32 МПа (с марганцовским шлаком); с прочностью при сжатии 11,73 МПа и пределом прочности на растяжение при изгибе 8,23 МПа (с конверторным шлаком) по ГОСТ 26633-91 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые». Технические условия [2, 3].

Результаты исследования отходов предприятий Кузбасса — пример решения проблемы утилизации отходов металлургической промышленности, работающей по новой технологии переработки шлаков сталеплавильного производства.

Известно, что сегодня существует огромная потребность в современных бесцементных бетонах и выполненные научные исследования вносят определенный вклад в создание наукоемких инновационных технологий в области ресурсо- и энергосбережения, развитие строительного материаловедения и решение прикладных задач, цель которых — улучшение экологической обстановки промышленных регионов нашей страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеева, Е.В. Композиционное бесцементное вяжущее из промышленных отходов и закладочная смесь на его основе [Текст] / Е.В. Корнеева, С.И. Павленко : монография. — М. : Изд-во АСВ, 2009. — 140 с.
 2. Пат. 2348814 РФ. Состав закладочной смеси [Текст] / Е.В. Корнеева, С.И. Павленко : Опубл. 2009 ; БИ № 7.
 3. Пат. 2377215 РФ. Бетонная смесь [Текст] / Е.В. Корнеева, С.И. Павленко : Опубл. 2009 ; БИ № 36.

*КОРНЕЕВА Е.В., acn.; E-mail: corn@zaoproxy.ru
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк*

Получено после доработки 06.08.10

Korneeva E.V., post-graduate student; E-mail: corn@zaaproxy.ry, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

THE USE OF TECHNOLOGICAL WASTE PRODUCTS FOR MAKING NON-CEMENT BINDING AGENTS. CONCRETE AND FILLING MIXTURE

Present work is devoted to the usage of technological waste for making low strength hardening concrete and mixture are defined. Presented results of the study feature new the non-cement binding agents.

Key words: the experimental researches, technogenic waste products, the non-cement binding agents, strength, concrete, filling mixture.

REFERENCES

1. Korneeva, E.V. Composite non-cement binding agents for technogenic waste products and filling mixture on its basis [Text] / E.V. Korneeva, S.I. Pavlenko : monography. — M. : Izd. ASV, 2009. — 140 p.
 2. Patent 2348814 RF. Filling mixture [Text] / E.V. Korneeva, S.I. Pavlenko : Edited 2009 ; Bulleten N 7.
 3. Pat. 2377215 RF. Concrete mixture [Text] / E.V. Korneeva, S.I. Pavlenko : Edited 2009 : Bulleten N 36.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.05 : 658.562

С.А. БОЛОТИН, А.Х. ДАДАР

ВЫБОР ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ШКАЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Интегральная оценка качества организации строительства базируется на свертке отдельных показателей. Для экспертного определения значимостей выбранных показателей используют измерительные шкалы, обладающие различной чувствительностью. На основе имитационного моделирования, связанного с экспертным оцениванием, показана шкала оптимальной чувствительности, выше которой наблюдается рост суммарной погрешности в интегральной оценке качества строительства.

Ключевые слова: энергосбережение, качество организации строительства, количественная оценка качества, измерительная шкала, экспертная оценка, имитационное моделирование.

Вопросы измерения качества организации строительства всегда были, есть и будут современными и актуальными, так как они определяют качество процесса создания наиболее капиталоемких активов. До принятия закона о техническом регулировании качество организации строительства определялось технико-экономическими показателями (ТЭП), регламентированными нормативно, например, СНиП по организации строительного производства [1]. В данном документе рекомендуемые ТЭП и сейчас могут применяться в строительстве при условии их некоторой адаптации к современным тенденциям.

Стоимостная оценка строительства с точки зрения современного подхода, определенного методикой оценки экономической эффективности инвестиционных проектов [2], может быть представлена чистым дисконтированным доходом, внутренней нормой доходности либо дисконтируемым периодом окупаемости и т.д.

Продолжительность строительства, с одной стороны, является аргументом в стоимостной оценке строительства, а с другой — независимой характеристикой, определяющей начало возникновения социально-экономического эффекта в сопряженных сферах.

Площадь временных помещений, необходимых для организации производственного быта в процессе строительства, зависит от числа рабочих в наиболее загруженную смену. Это способствует комфортности строительства, но и увеличивает затраты, связанные, например, с оплатой земли и ее обустройством под строительство.

Потребность строительства в электроэнергии, тепловой мощности и водоснабжении также является достаточно важной оценкой, особенно с точки зрения оптимизации энергоресурсосбережения.

Из вышеописанного следует, что выделенные показатели качества организации строительства — относительно независимы, так как характеризуют локальные качества. Поэтому при нахождении обобщающего

(аддитивного) показателя требуется определение их значимостей или весов, например, по методике, изложенной в [3].

Перед переходом к основному вопросу обратим внимание на нормализацию выбранных показателей. Цель количественной оценки качества организации строительства — выбор наиболее эффективного из всех возможных вариантов. Следовательно, для каждого отдельного показателя имеется множество значений, изменяющихся от некоторого минимума до некоторого максимума. Для индексной оценки каждого показателя, находящейся в нормированном диапазоне от 0 до 1, можно использовать отношение разности абсолютного и минимального значений к разности максимального и минимального значений. Например, если длительность строительства по всем сравниваемым вариантам изменяется от T_{\min} до T_{\max} , а для i -го варианта она равна T_i , то можно рассчитать соответствующий индексный критерий

$$K_i = \frac{T_{\max} - T_i}{T_{\max} - T_{\min}}. \quad (1)$$

Для данного критерия положительным будет его стремление к 1, т.е. при условии, когда продолжительность оцениваемого варианта стремится к минимальной. В иных случаях и для расчета других критериев представленная формула может быть соответствующим образом преобразована. С учетом принятых соглашений найдем интегральный показатель

$$K = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot K_i, \quad (2)$$

где W_i , K_i — веса с отнормированной на единицу суммой и значения отдельных критериев.

Известно, что при количественной оценке качества любого объекта используются различные измерительные шкалы, к которым можно отнести ранговую, балльную, лингвистическую и др. Общее в них — количество измеряемых оттенков, которое определяет чувствительность шкалы. При традиционных физических измерениях стрелочными приборами чувствительность связана с ценой деления, а при измерениях цифровыми приборами — с числом десятичных разрядов [4]. Если число оттенков квадратической шкалы сопоставить с числом делений метрической, то чувствительность шкалы можно выразить в битах информации, рассчитываемых по формуле Хартли, как двоичный логарифм общего числа делений. Отметим, что при квадратической оценке, как правило, берутся «низкобитные» шкалы. Например, в методе анализа иерархий (автор Томас Саати) применяется 9-балльная шкала (практически трехбитная), а в системе эстетических оценок качества зданий жителями Финляндии используется пять градаций экспертизы оценок (двухбитная шкала)¹. Таким образом, для последующей демонстрации результатов имитационного моделирования взяты шкалы, информационная чувствительность которых меняется от одного до трех бит.

В табл. 1 представлены следующие критерии: стоимостной ($K_1 = 0,93$), длительности строительства ($K_2 = 1$), максимума рабочих ($K_3 = 0,82$), оценки установленной электрической мощности ($K_4 = 0,53$), оценки теплопотребления ($K_5 = 0,25$) и водопотребления ($K_6 = 0,64$). Если экспертиза весов (значимостей) не проводится или все эксперты отвечают одинаково «не знаю», то в оценивающую систему поступает 0 бит информации. Следовательно, с доверительной вероятностью $P = 1$ волатильность (изменчивость) интегрального показателя находится в диапазоне от 0,25 до 1.

¹ Risto Suikari, Jarkko Salovaara. Learning from resident feedback. Wooden urban villages. Helsinki: Rakennustieto, 2009. P. 43–55.

Таблица 1

Экспертограмма оценки по 1, 2 и 3-битным шкалам

Критерий	Эксперт	Длительность	Рабочие	Электроэнергия	Тепловая энергия	Водопотребление
<i>1 бит</i>						
Стоимость	1	не знаю	больше	больше	больше	больше
	2	не знаю	больше	больше	больше	больше
	3	не знаю	больше	больше	больше	больше
Длительность	1		больше	больше	больше	больше
	2		больше	больше	больше	больше
	3		больше	больше	больше	больше
Рабочие	1			больше	больше	больше
	2			больше	больше	больше
	3			больше	больше	больше
Электроэнергия	1				больше	больше
	2				больше	больше
	3				больше	больше
Тепловая энергия	1					больше
	2					больше
	3					больше
<i>2 бита</i>						
Стоимость	1	не знаю	чуть больше	больше	много больше	много больше
	2	не знаю	чуть больше	больше	много больше	много больше
	3	не знаю	чуть больше	больше	много больше	много больше
Длительность	1		чуть больше	больше	много больше	много больше
	2		чуть больше	больше	много больше	много больше
	3		чуть больше	больше	много больше	много больше
Рабочие	1			чуть больше	больше	много больше
	2			чуть больше	больше	много больше
	3			чуть больше	больше	много больше
Электроэнергия	1				чуть больше	больше
	2				чуть больше	больше
	3				чуть больше	больше
Тепловая энергия	1					чуть больше
	2					чуть больше
	3					чуть больше
<i>3 бита</i>						
Стоимость	1	не знаю	чуть больше	больше	много больше	много больше
	2	не знаю	чуть больше-	больше	много больше-	много больше+
	3	не знаю	чуть больше+/-	больше	много больше+/-	много больше-
Длительность	1		чуть больше	больше	много больше	много больше
	2		чуть больше-	больше	много больше-	много больше+
	3		чуть больше+/-	больше	много больше+/-	много больше
Рабочие	1			чуть больше	больше	много больше
	2			чуть больше-	больше	много больше
	3			чуть больше+/-	больше	много больше-
Электроэнергия	1				чуть больше	больше
	2				чуть больше-	больше
	3				чуть больше+/-	больше
Тепловая энергия	1					много больше
	2					много больше+
	3					много больше-

При переходе к однобитной шкале при парном сравнении значимостей отдельных критериев эксперту предлагаются такие варианты ответов: «не знаю», «меньше» и «больше». В табл. 1 показаны выбранные тремя экспертами варианты ответов, которые для данной шкалы оказались полностью согласованными. Математическая обработка экспертных ответов проведена по методике, изложенной в [3]. В результате с доверительной вероятностью $P = 1$ волатильность интегрального показателя находится в диапазоне от 0,71 до 1, а информационный КПД составил 9,7 %.

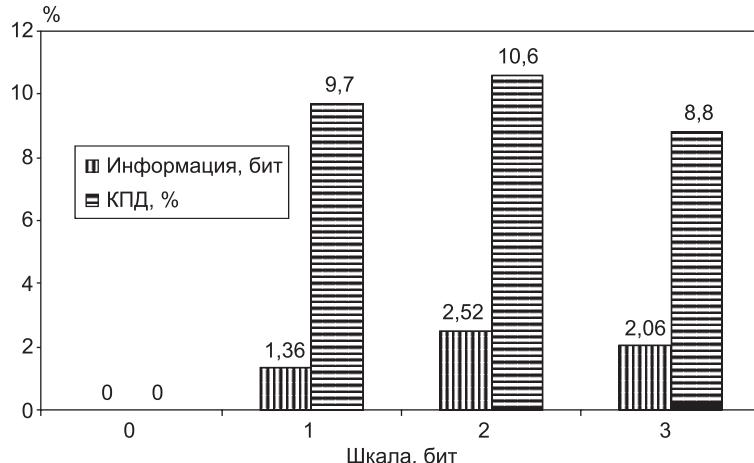
При переходе к двухбитной шкале при парном сравнении значимостей отдельных критериев эксперту предлагаются варианты ответов: «не знаю», «меньше», «чуть меньше», «много меньше», «больше», «чуть больше» и «много больше». Выбранные тремя экспертами варианты ответов для данной шкалы также оказались полностью согласованными. С доверительной вероятностью $P = 1$ волатильность интегрального показателя находится в диапазоне от 0,77 до 0,90, а информационный КПД составил 10,6 %.

При переходе к трехбитной шкале при парном сравнении значимостей отдельных критериев эксперту дополнительно предлагаются следующие варианты ответов: «чуть меньше-», «чуть меньше+», «много меньше-», «много меньше+», «чуть больше-», «чуть больше+», «много больше-» и «много больше+».

Дополнительные варианты дают экспертам возможность дальнейшего выбора оттенков посредством деления производящего ответа на две половины. Половина, которая находится слева, обозначена знаком минус, а справа — знаком плюс. Данный прием связан с тем, что лингвистически трудно подобрать слова для понятной идентификации трехбитных оттенков. Ответы экспертов специально подобраны так, что в трехбитной шкале для 2-го и 3-го экспертов они оказались противоречивыми (см. табл. 1). Согласно проведенной оценке, с доверительной вероятностью $P = 1$ волатильность интегрального показателя находится в диапазоне от 0,72 до 0,90, а информационный КПД составил 8,8 %. Итоговые результаты проведенного имитационного моделирования представлены в табл. 2 и на рисунке.

Таблица 2
Результаты имитационного моделирования

Чувствительность шкалы, бит	Критерий		Полезная информация, бит	Информационный КПД, %
	min	max		
0	0,25	1	0	0
1	0,71	1	1,36	9,7
2	0,77	0,9	2,52	10,6
3	0,72	0,9	2,06	8,8



Гистограмма изменения информационных параметров

Анализ итоговых результатов показывает, что сначала при росте чувствительности используемой шкалы наблюдается рост как полезной информации, определяемой размахом, так и информационного КПД, определяемого отношением полезной информации к общей, введенной всеми экспертами. В дальнейшем с некоторого значения чувствительности используемой шкалы наблюдается снижение и полезной информации, и информационного КПД. Это связано с тем, что оценка более тонких оттенков может быть противоречиво воспринята разными экспертами. Среди двух представленных характеристик качества экспертной оценки безусловный приоритет имеет характеристика полезной информации, поскольку именно она определяется погрешностью экспертизы. Таким образом, можно утверждать, что существует некоторый оптимум экспертовкой оценки, связанный с выбором чувствительности оценочной шкалы, а переход за пределы этого оптимума только ухудшает итоговый результат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 3.01.01–85*. Организация строительного производства.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. — М. : Экономика, 2000. — 421 с.
3. Болотин, С.А. Определение погрешности квадратической оценки весов аддитивных показателей качества календарных планов строительства [Текст] / С.А. Болотин // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 2. — С. 29–33.
4. Селиванов, М.Н. Качество измерений [Текст] / М.Н. Селиванов, А.Э. Фридман, Ж.Ф. Кудряшова. — Л. : Лениздат, 1987. — 296 с.

БОЛОТИН С.А., д-р техн. наук, проф.

Тываинский государственный университет

ДАДАР А.Х., канд. техн. наук, доц.

Тываинский государственный университет

Получено после доработки 15.07.10

Bolotin S.A., doctor of technical sciences, professor, Tyva State University

Dadar A.Kh., candidate of technical sciences, assistant professor, Tyva State University

CHOICE OF SENSITIVITY OF THE SCALE FOR THE ESTIMATION OF QUALITY OF THE ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

The integral quality estimation of the construction arrangement is based on a number of separate criteria. For an expert qualification of the importance of particular criteria there are used measurement scales of different sensitivity. Based on simulation modeling in the field of expert review the present paper confirms the existence of an optimum-sensitivity scale. Above it one can notice a growth of cumulative error in the integral estimation of the construction quality.

Key words: energy efficiency, quality of construction arrangement, quantitative estimation of the quality, measurement scales, expertise, simulation modeling.

REFERENCES

1. SNiP 3.01.01–85*. (Construction Standards and Regulations) Organization of the construction industry.
2. Evaluation guidelines for estimating the efficiency of investment projects and selecting them for financial support [Text]. — M. : Economics, 2000. — 421 p.
3. Bolotin, S.A. Calculation of the balance qualimetric estimation error of the additive indices of quality of construction calendar plans [Text] / S.A. Bolotin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 2. — P. 29–33.
4. Selivanov, M.N. Measurement quality [Text] / M.N. Selivanov, A.E. Fridman, Zh.F. Kudryashova. — L. : Lenizdat, 1987. — 296 p.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 626.5:532.59

В.И. БУКРЕЕВ, В.В. ДЕГТАРЕВ-мл., А.В. ЧЕБОТНИКОВ

ЭВОЛЮЦИЯ ОНДУЛЯРНОГО БОРА В ПРЯМОУГОЛЬНОМ КАНАЛЕ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ*

Приведены результаты экспериментального исследования колебаний глубины воды при многократном отражении ондулярного бора от вертикальных торцевых стенок канала ограниченной длины. На основе спектрального анализа определены частоты и амплитуды различных мод сейшебразных колебаний, устанавливающихся на больших интервалах времени.

Ключевые слова: ондулярный бор, отражение от стенки, сейшебразные колебания.

Задача о нестационарных волновых движениях жидкости в контейнере, частично заполненном жидкостью, имеет важное прикладное значение [1, 2]. В гидротехнике такая задача возникает, например, при анализе волновых процессов в камере наклонного судоподъемника при его аварийном торможении [3]. В этой работе экспериментально показано, в частности, что по камере распространяется и многократно отражается от вертикальных стенок волна типа ондулярного бора — движущегося гидравлического прыжка с ондуляциями за его передним фронтом. После остановки судоподъемника бор становится свободным в том смысле, что его дальнейшая эволюция происходит без подпитки энергии. В настоящей работе бор генерировался иным способом, чем в работе [3]. Однако после того как бор стал свободным, его дальнейшая эволюция происходила так же, как в [3].

При многократном отражении бора от торцевых стенок камеры имеют место такие явления, как заплеск жидкости на стенку, сейшебразные колебания, плесканье, толчения и столкновение волн. Каждое из этих явлений представляет самостоятельный интерес. В данной статье основное внимание уделяется сейшебразным колебаниям. Задаче о сейшебразных колебаниях посвящено большое число научных исследований¹, в основном натурных и расчетно-теоретических. В значительной степени открытым остается вопрос о том, какие именно моды сейшебразных колебаний возбуждаются тем или иным конкретным начальным возмущением. Сейшебразные колебания изучались на лабораторной модели озера Байкал, установленной на колеблющейся платформе².

* Работа выполнена в рамках интеграционного проекта Сибирского отделения РАН № 23 и задания Министерства образования РФ.

¹ Судольский А.С. Динамические явления в водоемах. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 262 с.

² Судольский А.С. Морфологические и гидравлические исследования рек и водоемов // Тр. ГГИ. 1968. Вып. 155. С. 109–123.

В случае распространения по покоящейся жидкости постоянной глубины h бор существует при скорости распространения его переднего фронта $c > \sqrt{gh}$, где g — ускорение свободного падения. В диапазоне скоростей распространения $\sqrt{gh} < c < 1,3\sqrt{gh}$ бор сохраняет гладкость. Для этой его разновидности используется термин гладкий ондулярный бор. При скоростях распространения $c > 1,3\sqrt{gh}$ передний фронт бора обрушивается. В диапазоне скоростей $1,3\sqrt{gh} < c < 2,2\sqrt{gh}$ за обрушающимся передним фронтом бора сохраняются ондуляции. Существенная особенность эволюции бора в канале ограниченной длины заключается в том, что после отражения от стенок бор распространяется по жидкости, возмущенной предшествующим процессом.

Здесь приводятся результаты опытов, в которых бор генерировался быстрым удалением перегородки, создающей начальный перепад уровня свободной поверхности в прямоугольном канале ограниченной длины с ровным горизонтальным дном. Характеристики свободного бора до его отражения от стенок изучены в [4]. Наиболее существенное отличие настоящей работы от работ [3] и [4] состоит в том, что волновые процессы рассматриваются на больших интервалах времени, получена информация о спектральном составе сейшебобразных колебаний.

Схема эксперимента и основные обозначения приведены на рис. 1. Опыты выполнялись в канале шириной 0,2 м и высотой 0,22 м при

нескольких значениях длины канала l . Перегородка, создающая начальную разность глубин верхнего h_- и нижнего h_+ бьефов, располагалась на расстоянии x_0 от правой торцевой стенки канала (см. рис. 1). В момент времени $t = 0$ перегородка быстро (примерно за 0,2 с) удалялась. Порожденные этим возмущением колебания глубины $h(x, t)$ измеря-

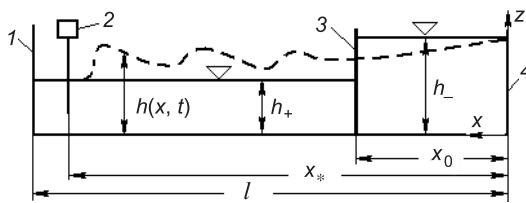


Рис. 1. Продольный разрез экспериментальной установки

1 — левая торцевая стена; 2 — волномер; 3 — перегородка; 4 — правая торцевая стена

лись волномерами, установленными в продольной плоскости симметрии канала на различных расстояниях x_* от правой торцевой стенки (см. рис. 1). Сигналы волномеров регистрировались компьютером. Осуществлялась также видеосъемка волн с частотой 25 кадров в секунду.

По амплитуде колебаний волномеры имели разрешающую способность около 0,02 см (на уровне погрешности 10 %) и полосу пропускания частот колебаний от 0 до 30 Гц. Верхнее пороговое значение частоты v_{\max} в спектрах изучаемых процессов не превышало 3 Гц, т.е. было значительно меньше полосы пропускания волномеров. При регистрации на компьютере осуществлялось аналого-цифровое преобразование сигналов волномеров. Согласно теореме Котельникова, для сохранения полной информации о процессе при его аналого-цифровом преобразовании необходимо задавать не менее двух дискретных значений аналогового сигнала на наименьший период колебаний³ $T_{\min} = 1/v_{\max}$. В опытах это условие выполнялось с запасом. Спектральный анализ процессов $h(t)$ при различных значениях x выполнялся по стандартной компьютерной программе «FFT». Приводятся только модули комплексных спектров

³ Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. 540 с.

$$A(v) = [(\text{Real} F(h(t) - \bar{h}))^2 + (\text{Im} F(h(t) - \bar{h}))^2]^{0.5},$$

где v — частота колебаний глубины, Гц;
 F — символ комплексного преобразования Фурье;
 \bar{h} — среднее значение колебаний глубины на рассматриваемом интервале времени t .

Функции $A(v)$ будут называться спектрами амплитуд.

Далее приводятся некоторые результаты, полученные при следующих значениях заданных геометрических параметров: $l = 4,5$ м, $h_+ = 0,1$ м, $h_- = 0,14$ м, $x_0 = 1,3$ м. Такие значения l и h_+ соответствуют длине и глубине наполнения камеры Красноярского судоподъемника в масштабе 1:20 [3]. При указанных значениях h_- и h_+ бор был гладким.

На рис. 2, *a* приведена в безразмерном виде запись колебаний глубины в середине канала (при $x_* = 2,25$ м), обусловленных прохождением прямой волны. Показан только интервал времени от момента удаления перегородки до момента прихода в указанную точку первой отраженной волны. Глубина нормирована на h_+ , время — на $(h_+ / g)^{0.5}$. Безразмерные величины помечены верхним индексом ноль. Символом $\bar{\eta}$ обозначено среднее значение отклонения глубины h от начальной глубины h_+ , символом η_{\max} — наибольшее значение этого отклонения.

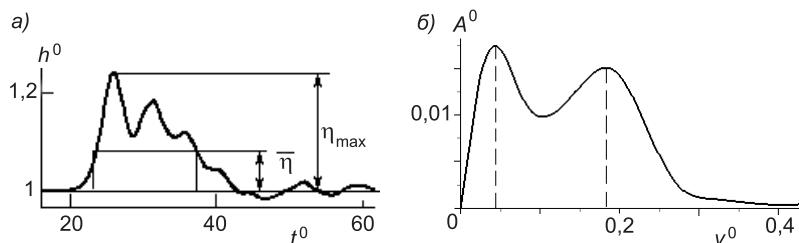


Рис. 2. Колебания глубины, обусловленные набегающей волной (а), и спектр амплитуд этих колебаний (б) при значении $x_*/l = 0,5$

Безразмерный спектр амплитуд набегающей волны приведен на рис. 2, *б*. Частота v нормирована на величину $(g/h_+)^{0.5}$, амплитуда A — на величину $(h_+^3/g)^{0.5}$. В полосе частот $0 < v^0 < 0,3$ все компоненты этого спектра вносят существенный вклад в набегающую волну. При этом в спектре есть и такие частоты, которые соответствуют частотам сейшебразных колебаний в рассматриваемой системе (см. ниже). Однако они не выделяются на фоне других частот. В частности, частоты, соответствующие двум максимумам в спектре набегающей волны и отмеченные на рис. 2, *б* вертикальными штриховыми линиями, не совпадают ни с одной из частот сейшебразных колебаний. Только при многократном отражении бора от стенок канала в спектрах четко выделяются те компоненты, которые соответствуют сейшебразным колебаниям. Это иллюстрируется данными, приведенными на рис. 3, 4 и в таблице.

По линейной теории безразмерная частота сейшебразных колебаний в канале длиной l определяется формулами⁴:

$$v_n^0 = \frac{1}{2\pi} [k_n h_+ g \text{th}(k_n h_+)]^{0.5}, \quad k_n = \frac{n\pi}{l},$$

⁴ Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидродинамика. Ч. I. М.: Физматгиз, 1963. 584 с.

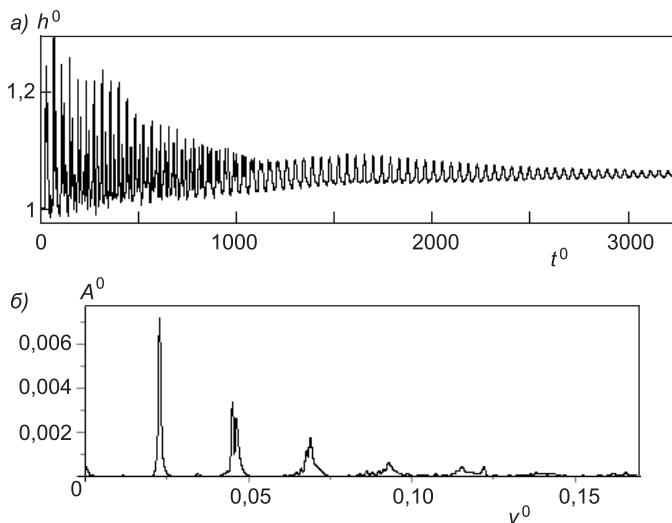


Рис. 3. Колебания глубины в середине канала на большом интервале времени (а) и спектр амплитуд этих колебаний (б)

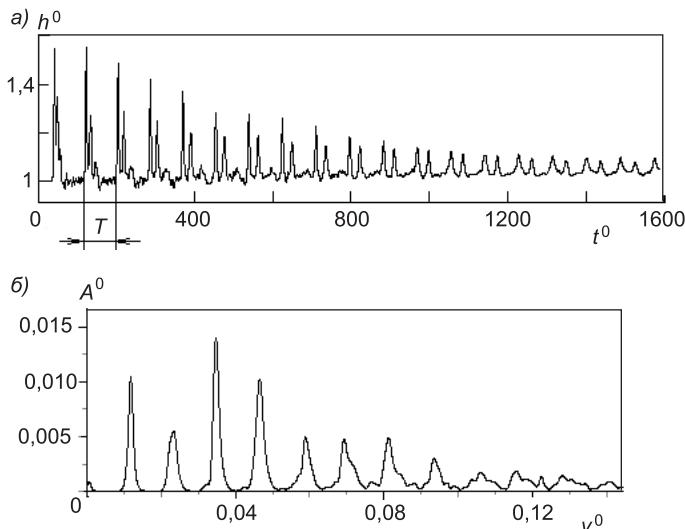


Рис. 4. Колебания глубины у левой торцевой стенки канала (а) и спектр амплитуд этих колебаний (б)

где k — волновое число, $n = 1, 2, 3, \dots$ — номер собственной моды сейшебразных колебаний.

На рис. 3, а приведен график колебаний глубины в середине канала на большом интервале времени (около 5,5 мин). Первый максимум на этом графике обусловлен приходом к волномеру прямой волны, а следующие максимумы — приходом отраженных волн, поочередно от левой и правой торцевой стенки канала.

Спектр амплитуд обсуждаемых колебаний глубины приведен на рис. 3, б. В нем резко выделились амплитуды на четырех частотах, при чем значения этих частот достаточно хорошо совпадают с теоретическими частотами первых четырех четных мод сейшебразных колебаний (см. таблицу).

Теоретические и экспериментальные частоты сейшебразных колебаний

Теория		Эксперимент			
Номер моды n	Частота v^0	Номер максимума в спектре $n_{\text{эксп}}$	Частота $v_{\text{эксп}}^0$		
			$x_* = l / 2$	$x_* = l$	$\Delta x_* = l$
1	0,0112	1	0,0228	0,0120	0,0116
2	0,0233	2	0,0452	0,0235	0,0237
3	0,0347	3	0,0668	0,0342	0,0350
4	0,0460	4	0,0931	0,0472	0,0467
5	0,0570	5	0,1150	0,0587	0,0588
6	0,0677	6	—	0,0694	0,0692
7	0,0781	7	—	0,0816	0,0813
8	0,0881	8	—	0,0938	0,0952
9	0,0978	9	—	0,1060	0,1060
10	0,1070	10	—	0,1160	0,1285
11	0,1159	11	—	0,1270	—
12	0,1243	12	—	—	—

Еще один пример колебаний глубины на большом интервале времени (около 2,3 мин) и соответствующих спектров приведен на рис. 4, а, б соответственно. В этом примере волномер располагался на расстоянии 2 см от левой торцевой стенки канала. Рассматривается в два раза более короткий интервал времени, чем на рис. 3. В колебаниях выделяется основной период T , соответствующий времени пробега удвоенной длины канала отдельно взятым цугом волн. Максимальные отклонения от начальной глубины при первом и втором отражении одинаковы, а при следующих отражениях быстро убывают, главным образом из-за дисперсии, а не из-за вязкости. Термин «дисперсия» в теории волн характеризует явление, состоящее в том, что волны разной длины распространяются с разной скоростью. В спектрах обсуждаемых колебаний выделяются частоты, которые достаточно хорошо согласуются с одиннадцатью первыми теоретическими частотами сейшебразных колебаний (см. таблицу).

Спектр разности глубин на левой и правой стенках канала $h(l) - h(0)$ приведен на рис. 5. В этом спектре выделилось 12 мод сейшебразных колебаний, причем амплитуды пяти первых нечетных мод существенно

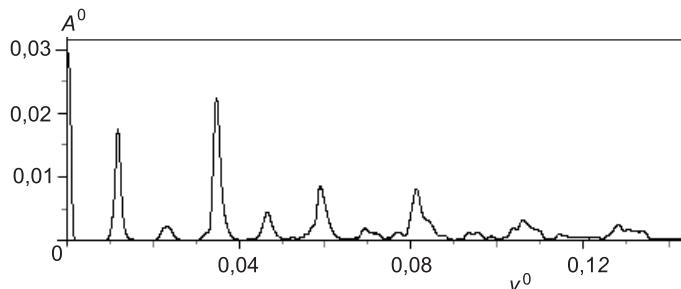


Рис. 5. Спектр разности глубин на левой и правой стенках канала

превышают амплитуды соседних с ними четных мод. Наиболее важная особенность этого спектра состоит в том, что самая большая амплитуда соответствует значению $v^0 = 0$. По определению преобразования Фурье амплитуда спектра на нулевой частоте есть модуль среднего значения преобразуемой функции, умноженного на время осреднения. При отражении от каждой стенки очередного цуга волн глубина сначала резко возрастает, а затем понижается до значения, меньшего \bar{h} . На левой стенке такое понижение уровня больше, чем на правой. Это следствие особенности рассматриваемого конкретного возмущения. При распаде разрыва в систему вносится большой начальный импульс, направленный к левой стенке, что приводит к долго сохраняющейся асимметрии сил инерции. В обсуждаемом примере разность глубин на стенках составляла 6 % от h_+ .

Теоретические частоты сейшебразных колебаний и частоты, соответствующие максимумам в экспериментальных спектрах в трех рассмотренных примерах, представлены в таблице, где в последнем столбце даны значения $v_{\text{эксп}}^0$ для разности глубин на стенках. Данные этой таблицы дают информацию о том, какие именно теоретические моды возбуждаются в канале рассмотренным конкретным возмущением, а приведенные выше графики дают величину соответствующих амплитуд колебаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черноусько, Ф.Л. Движение твердого тела с полостями, содержащими вязкую жидкость [Текст] / Ф.Л. Черноусько. — М. : Вычислительный центр АН СССР, 1968. — 232 с.
2. Faltinsen, O.M. Multidimensional modal analysis of nonlinear sloshing in a rectangular tank with finite water depth [Текст] / O.M. Faltinsen, O.F. Rognebakke, I.A. Lukovsky, A.N. Timokha // J. Fluid Mech. — 2000. — Т. 407. — С. 201–234.
3. Атавин, А.А. Гидродинамические процессы в судопропускных сооружениях [Текст] / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, А.П. Яненко. — Новосибирск : Наука, 1993. — 100 с.
4. Букреев, В.И. Экспериментальная проверка газогидравлической аналогии на примере задачи о разрушении плотины [Текст] / В.И. Букреев, А.В. Гусев, А.А. Малышева, И.А. Малышева // Изв. РАН. МЖГ. — 2004. — № 5. — С. 143–152.

БУКРЕЕВ В.И., д-р физ.-мат. наук, проф.

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск
ДЕГТЯРЕВ-мл. В.В., д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ЧЕБОТНИКОВ А.В., канд. техн. наук

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск

Получено 19.07.10

Bukreev V.I., doctor of physical and mathematical sciences, professor, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of Siberian Branch of Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

Degtyarev V.V., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Chebotnikov A.V., candidate of technical sciences, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of Siberian Branch of Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

EVOLUTION OF AN UNDULAR BORE IN A RECTANGULAR CHANNEL WITH A LIMITED LENGTH

The results of the experimental study of the repeated reflection process of an undular bore away from the vertical ends of a rectangular channel with a horizontal bottom are presented. On the base of the spectral analysis, the frequencies and the amplitudes of different modes of seiche-type oscillations established at large times are found.

Key words: undular bore, reflection from away of a wall, seiche-like oscillations.

REFERENCES

1. Chernous'ko, F.L. Motion of a rigid body with cavities contained a viscous liquid [Text] / F.L. Chernous'ko. — M. : Computer Center of Academy of Science of USSR, 1968. — 232 p.
2. Faltinsen, O.M. Multidimensional modal analysis of nonlinear sloshing in a rectangular tank with finite water depth [Text] / O.M. Faltinsen, O.F. Rognebakke, I.A. Lukovsky, A.N. Timokha // J. Fluid Mech. — 2000. — Vol. 407. — P. 201–234.
3. Atavin, A.A. Hydrodynamic processes in navigation passes [Text] / A.A. Atavin, O.F. Vasiliev, A.P. Yanenko. — Novosibirsk: Nauka, 1993. — 100 p.
4. Bukreev, V.I. Experimental verification of gas-hydraulic analogy with reference to dam-break problem [Text] / V.I. Bukreev, A.V. Gusev, A.A. Malysheva, I.A. Malysheva // Fluid Dynamics. — 2004. — Vol. 39. — N 5. — P. 801–809.

УДК 627.84.001.24

Л.Н. ГАХОВА, Ю.А. КУЗНЕЦОВА

**РЕШЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ
КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ
ДЛЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТУРБИННЫХ ВОДОВОДОВ**

Приводятся постановка плоской задачи квазистатической термоупругости и расчеты напряженно-деформированного состояния турбинного водовода Саяно-Шушенской ГЭС. Расчеты, выполненные с учетом трещинообразования в бетоне, свидетельствуют об удовлетворительной сходимости расчетных значений тангенциальных напряжений в элементах водовода и результатов натурных наблюдений.

Ключевые слова: сталежелезобетонные турбинные водоводы, температурные воздействия, напряженно-деформированное состояние, трещинообразование.

Необходимость учета температурных воздействий на напряженно-деформированное состояние (НДС) массивов и композитных материалов возникает в условиях теплообмена с окружающими массивами, больших амплитуд сезонных колебаний температуры воздуха, при эксплуатации крупномасштабных бетонных сооружений и в других аналогичных случаях.

Для описания процессов теплообмена в массиве кусочно-однородной структуры в нестационарных условиях система дифференциальных уравнений несвязанной квазистатической термоупругости без источников тепла и массовых сил будет иметь вид [1, 2]:

$$\mu \Delta u + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} u = \gamma \operatorname{grad} \theta, \quad (1)$$

$$\Delta \theta = \frac{1}{\kappa} \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (2)$$

где $u(X, t)$ — вектор смещений (в точке $X(x, y)$ в момент времени t); $\theta(x, t) = T(X, t) - T_0$ — температура, отсчитываемая от исходного состояния;

λ, μ — константы Ламе;

$\gamma = \alpha(3\lambda + 2\mu)$, α — коэффициент линейного теплового расширения; Δ — оператор Лапласа; κ — коэффициент температуропроводности.

Предполагается, что разность температур такова, что свойства массива не изменяются под их воздействием. В этом случае напряжения и деформации связаны соотношением Дюамеля — Неймана

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \varepsilon + 2\mu \varepsilon_{ij} - \gamma \delta_{ij} \theta, \quad \varepsilon = \Sigma \varepsilon_{ij}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (4)$$

здесь σ_{ij} , ε_{ij} — соответственно компоненты тензора напряжений, деформаций;

δ_{ij} — символ Кронекера;

ε — объемная деформация.

Температурное поле определяется независимо от поля перемещений решением уравнения (2) с граничными и начальными условиями:

$$\theta(X, 0) = 0, \quad X \in GU\Gamma, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial n(Y)} + h(Y, t)\theta(Y, t) = h(Y, t)\bar{\theta}(Y, t), \quad Y \in \Gamma, t > 0, \quad (6)$$

$$p_i(Y, t) = f_i(Y, t), \quad Y \in \Gamma, t > 0, \quad i = 1, 2, \quad (7)$$

где G — многосвязная область, ограниченная простыми замкнутыми гладкими контурами Γ_i ;

$h(Y, t)$ — коэффициент теплообмена;

$\bar{\theta}(Y, t)$ — температура окружающей среды или соседнего блока;

$\partial \theta / \partial n(Y)$ — производная по внешней нормали к области.

Найденное значение температуры используется для решения уравнения (1), в котором время t рассматривается как параметр. Компоненты вектора усилий на площадке с нормалью $n(X)$ выражаются через смещения и температуру

$$p_i(x, t) = T_{ij} \left(\frac{\partial}{\partial x}, n(x) \right) u_j(x, t) - \gamma n_i(x) \theta(x, t), \quad i, j = 1, 2, \quad (8)$$

здесь

$$T_{ij} \left(\frac{\partial}{\partial x}, n(x) \right) = \lambda n_i(x) \frac{\partial}{\partial x_j} + \mu n_j(x) \frac{\partial}{\partial x_i} + \mu \delta_{ij} \frac{\partial}{\partial n(x)} \quad (9)$$

— компоненты оператора напряжений [3].

Границные условия при решении (1)

$$p_i(Y, t) = f_i(Y, t), \quad Y \in \Gamma, \quad t > 0, \quad (10)$$

где $f_i(Y, t)$ — компоненты вектора внешних усилий.

Нулевые условия бесконечной области для температур $\theta(\infty, t) = 0$ и напряжений $\sigma_{ij}(\infty, t) = 0$.

Задача несвязанной квазистатической термоупругости сводится к последовательному решению системы интегральных уравнений для нахождения плотностей φ_i , $i = 1, 2, 3$ [1–3]. Значения величин определяются интегрированием по границе (для плотностей φ_1 , φ_2 , полученных из системы интегральных уравнений изотермической упругости) или по границе и времени (для φ_3 , полученной из интегрального уравнения теплового потенциала простого слоя [1–3]).

Численная реализация задачи основана на методе регуляризации А.Н. Тихонова. Для решения практических задач, требующих значительных временных ресурсов, алгоритмы разработаны на основе концепции параллельных вычислений¹.

Решение задачи термоупругости выполнено на примере сталежелезобетонного турбинного водовода № 8 Саяно-Шушенской ГЭС. В конструктивных элементах водоводов на границе разделов задаются условия сопряжения тепловых потоков и температур².

Условия сопряжения тепловых потоков на границе неподвижной среды (твердого тела) с текущей средой (жидкостью, воздухом) задаются через

¹ Изюмов К.Л. Современные технологии программирования задач механики // Современные технологии программирования. М.: МГУ, 2005. С. 25–30.

² Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоатомиздат, 1990. 366 с.

коэффициент теплоотдачи: теплоотдача воздуха $\alpha_1 = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; теплоотдача воды, движущейся по трубам: $\alpha_2 = 600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; теплообмена воздух — бетон $h_1 = \alpha_1/k = 3,45 \text{ 1/м}$; теплообмена вода — сталь $h_2 = \alpha_2/k = 17,14 \text{ 1/м}$.

В табл. 1 приведены необходимые для расчетов физические параметры.

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 ν	0,28	0,17	0,25
линейного теплового расширения α , 1/град	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,95 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
теплопроводности k , Вт/(м · град)	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 · град)	3,51	0,87	2,1

Исследовалось НДС конструктивных элементов сталежелезобетонного водовода № 8 в сечении 6–6 в нижней части в условиях сезонного колебания температур воды в водоводе и наружного воздуха.

На рис. 1 представлена динамика температурного поля водовода в радиальном направлении в течение года, начиная с зимнего периода. Минимальная температура наружного воздуха ($T_{\min}^{\text{возд}} = -17,3^{\circ}\text{C}$) — в январе, максимальная ($T_{\max}^{\text{возд}} = +17,9^{\circ}\text{C}$) — в июле. Температура воды в водохранилище на отметке водоприемника принималась: перед наполнением водохранилища не более $2,5^{\circ}\text{C}$, в июле — августе с увеличением до $12,5^{\circ}\text{C}$.

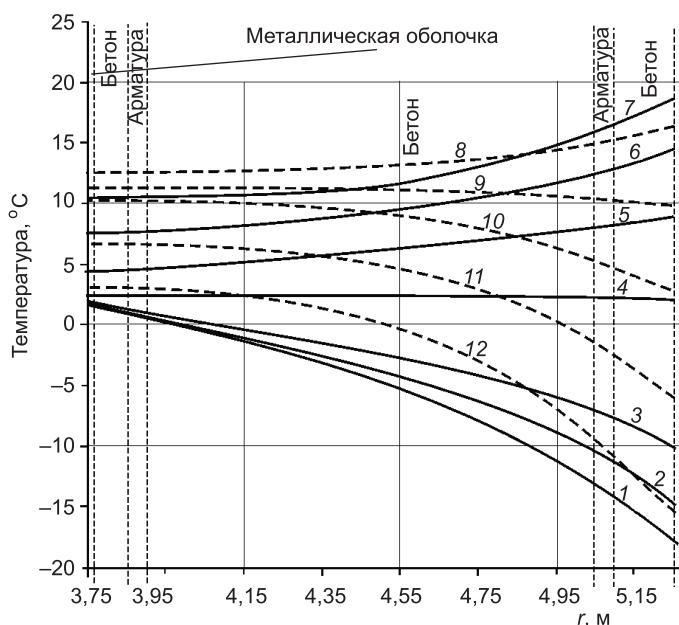


Рис. 1. Динамика температурного поля в водоводе при изменении температуры наружного воздуха от $-17,3$ до $+17,9^{\circ}\text{C}$ и воды в водоводе от $+2,0$ до $12,4^{\circ}\text{C}$

1-12 — месяцы года

Таблица 2

Радиальные и тангенциальные напряжения конструктивных элементов сталежелезобетонного водовода № 8 в сечении 6–6 при УВБ = 526 м с учетом температурных воздействий и работы бетона как изотропного, линейно деформируемого материала

Номер кольца	Конструктивный элемент	Без учета температурного фактора, при УВБ = 500 м		С учетом температурного фактора			
		σ_0 , МПа	σ_r , МПа	$T_{\text{возд}}^{\text{мин}} = -17,3^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{возд}}^{\text{макс}} = +17,9^{\circ}\text{C}$	
				σ_0 , МПа	σ_r , МПа	σ_0 , МПа	σ_r , МПа
1	Металлическая оболочка	31,73	1,62	32,44	1,64	42,04	1,67
2	Бетон	4,66	1,48	6,51	1,81	7,18	2,00
3	Арматура	10,64	1,37	15,02	1,89	12,21	1,89
4	Бетон	4,37	1,14	6,16	1,94	4,92	1,24
5	Арматура	6,75	0,14	12,31	0,25	7,14	0,12
6	Бетон	2,54	0,08	5,37	0,14	3,02	0,02

Задача термоупругости решалась в квазистатической постановке с шагом 15 сут. В табл. 2 приведены радиальные и тангенциальные напряжения конструктивных элементов многослойного кольца, со свойствами материала водовода № 8 в сечении 6–6 с учетом работы бетона как изотропного, линейно деформируемого материала на 30-е (минимальное значение $T_{\text{мин}}^{\text{возд}}$ среднемесячных температур) и 180-е (максимальное значение $T_{\text{макс}}^{\text{возд}}$ среднемесячных температур) сутки температурных воздействий.

Сопоставление приводимых результатов расчетов с данными [4] свидетельствует о необходимости учета в расчетах трещинообразования в бетоне (см. табл. 2, 3).

В холодный период года в бетоне и арматуре, расположенной вблизи наружной грани водовода, растягивающие тангенциальные напряжения возрастают (табл. 3). За счет этого происходит некоторое обжатие металлической оболочки и внутреннего бетонного кольца, а растягивающие напряжения внутренней арматуры увеличиваются незначительно. В летний период года разогрев внешнего бетонного кольца и внешней железобетонной оболочки снижает тангенциальные напряжения в кольцевой внешней арматуре: растягивающие напряжения вблизи наружной грани водовода значительно уменьшаются (с 106,12 до 62,02 МПа, см. табл. 3). В условиях аномального превышения среднесуточной температуры наружного воздуха они могут перейти в сжимающие.

Таблица 3

Тангенциальные напряжения (σ_0 , МПа) конструктивных элементов сталежелезобетонного водовода № 8 в сечении 6–6 при УВБ = 500 м с учетом температурных воздействий и трещинообразования в бетоне

Номер кольца	Конструктивный элемент	Без учета температуры	С учетом температурного фактора	
			$T_{\text{возд}}^{\text{мин}} = -17,3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{возд}}^{\text{макс}} = +17,9^{\circ}\text{C}$
1	Металлическая оболочка	133,46	137,60	121,48
2	Бетон	0	0	0
3	Арматура*	106,12*	86,16	60,20
4	Бетон	0	0	0
5	Арматура*	77,56*	106,12	62,02
6	Бетон	0	0	0

* Напряжения приведены непосредственно в арматуре.

Во внутреннем кольце арматуры приращения растягивающих напряжений почти вдвое меньше, чем во внешнем (22,06 и 44,03 МПа соответственно). Следствием некоторого увеличения температуры воды в водоводе является уменьшение растягивающих тангенциальных напряжений в металлической оболочке (см. табл. 3). Формирование НДС водоводов в эксплуатационный период анализируется в [4]. Уровень верхнего бьефа (УВБ) на дату расчетов напряжений принимался по данным 2002 г.

Турбинные водоводы Саяно-Шушенской ГЭС вынесены на низовую грань и жестко связаны с нею по всей поверхности контакта. В этой связи кольцевые напряжения по окружности водовода распределены неравномерно: наиболее высокие тангенциальные напряжения отмечаются в точке, наиболее удаленной от низовой грани (164,3 МПа), наиболее низкие — в точке сопряжения низовой грани с водоводом (131,7 МПа). Обусловлено это и особенностями температурных воздействий: если в точках, удаленных от низовой грани, значения напряжений близки к расчетным для водовода, не связанного с низовой гранью (изолированного многослойного кольца), то вблизи заделки в низовую грань плотины тангенциальные напряжения и их амплитуды уменьшаются.

На рис. 2–4 приведены изменения тангенциальных напряжений в металлической оболочке и арматурных кольцах водовода в его поперечном сечении 6–6. В наружных точках поперечного сечения водовода температура бетона определяется изменениями температуры наружного воздуха. Сезонный размах температур — 35,2 °С. В нижних точках поперечного сечения, сопряженных с бетонным массивом плотины, минимальные температуры — в марте — апреле, максимальные — в сентябре — октябре. Их сезонный размах не превышает 17,7 °С [4].

Тангенциальные напряжения в разных точках поперечного сечения элементов водовода обусловлены их местоположением относительно жесткой заделки в низовую грань. В наружных точках поперечного сечения водовода градиент тангенциальных напряжений во всех элементах водо-

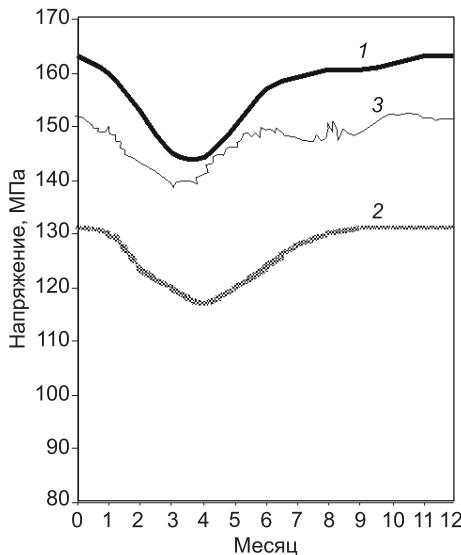


Рис. 2. Изменения тангенциальных напряжений в металлической оболочке за годовой цикл в сечении 6–6 водовода № 8
1 — верхняя точка; 2 — нижняя точка; 3 — экспериментальные данные

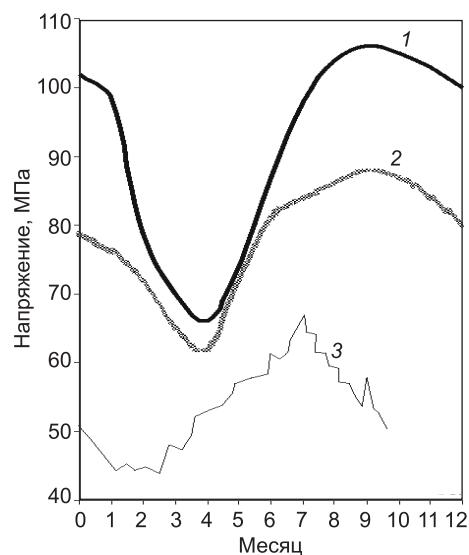


Рис. 3. Изменения тангенциальных напряжений за годовой цикл в сечении 6–6 водовода № 8 во внешнем арматурном кольце
Усл. обозначения см. на рис. 2

да значительно выше, чем в точках нижней части сечения, прилегающей к низовой грани плотины. Наибольшие различия отмечаются во внешнем арматурном кольце: 46 МПа в верхних точках, 26 МПа в нижних.

Характер тангенциальных напряжений в конструктивных элементах водовода определяется гидростатической нагрузкой в водоводе: минимальные значения — в апреле, начале мая. Изменения температуры наружного воздуха (к концу апреля среднесуточная температура $t \approx 2,5^{\circ}\text{C}$) приводят к некоторому снижению σ_{θ} во внешней арматурной оболочке. Дальнейшее увеличение температуры и соответствующее снижение σ_{θ} во внешней арматурной оболочке не компенсирует рост σ_{θ} повышением гидростатической нагрузки, вызванной наполнением водохранилища.

Максимальные тангенциальные напряжения в элементах водовода наблюдаются в ноябре — январе. Обусловлены они высокими отметками УВБ и низкими температурами наружного воздуха и воды в водоводе.

Сравнение результатов численных расчетов с данными натурных наблюдений (см. рис. 2–4) свидетельствует об удовлетворительной их сходимости по характеру изменений тангенциальных напряжений. Различие величин может быть обусловлено следующими причинами:

- расчеты выполнены без учета уровня технологических напряжений, сформированных в процессе возведения сооружения и без учета влияния НДС низовой грани плотины;
- температурный режим, принятый в расчетах, характерен для средней и верхней частей прямолинейного участка водовода № 8;
- размещение КИА в сечениях водовода может не совпадать с точками, в которых приводятся результаты расчетов.

Выходы. Модель МГИУ позволяет учесть в расчетах влияние основных технологических факторов на НДС сталежелезобетонных водоводов: гидростатической нагрузки и сезонных изменений температуры наружного воздуха и воды в водохранилище.

Результаты расчетов НДС сталежелезобетонного водовода № 8 в сечении 6–6 свидетельствуют об удовлетворительной сходимости расчетных значений тангенциальных напряжений конструктивных элементов водовода с результатами натурных наблюдений.

Максимальные тангенциальные расчетные напряжения в сечении 6–6 достигаются в металлической оболочке водовода и не превосходят расчетного сопротивления материала (для стали 09Г2С — 190 МПа).

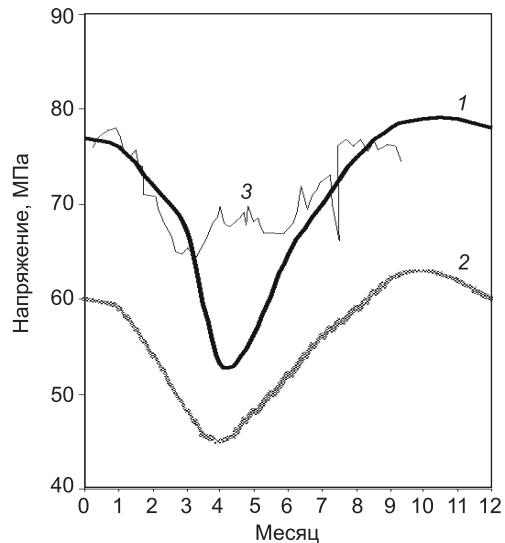


Рис. 4. Изменения тангенциальных напряжений за годовой цикл в сечении 6–6 водовода № 8 во внутреннем арматурном кольце

№ 8 в водоводе

Усл. обозначения см. на рис. 2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осинов, В.А. Метод граничных интегральных уравнений для расчета температурных напряжений в окрестности протяженных выработок [Текст] / В.А. Осинов // ФТПРПИ. — 1988. — № 4. — С. 8–13.

2. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости [Текст] ; под ред. В.Д. Купрадзе. — М. : Наука, 1976. — 663 с.
3. Гахова, Л.Н. Температурные напряжения в окрестности протяженных горных выработок [Текст] / Л.Н. Гахова // ФТПРПИ. — 2000. — № 4. — С. 51–55.
4. Пермякова, Л.С. Напряженно-деформированное состояние элементов напорного тракта турбин Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / Л.С. Пермякова, В.А. Рассказчиков, В.А. Уляшинский, А.П. Епифанов, Ю.А. Кузнецова // Гидротехническое строительство. — 2008. — № 11. — С. 11–18.

ГАХОВА Л.Н., канд. физ.-мат. наук

Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск

КУЗНЕЦОВА Ю.А., ст. препод.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 06.07.10

Gakhova L.N., candidate of physical and mathematical sciences, Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Kuznetsova Yu.A., senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

QUASISTATIC THERMOELASTIC PLANE SOLUTION FOR STEEL AND CONCRETE POWER CONDUITS

The authors analyze the quasistatic thermoelastic plane problem and calculate stress-strain state of power conduits of the Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Station with taking into account flaw formation. The calculated tangential stresses in the power conduit elements adequately agree with the in situ observation data.

Key words: steel and concrete power conduits, temperature effects, stress-strain state, flaw formation.

REFERENCES

1. Osinov, V.A. Boundary integral approach to temperature stresses in the vicinity of extended workings [Text] / V.A. Osinov // Journal of Mining Science, 24(4). — 1988. — P. 289–294.
 2. Three-dimensional elastic and thermoelastic problems [Text] ; ed. V.D. Kupradze. — M. : Nauka, 1976. — 633 p.
 3. Gakhova, L.N. Temperature stresses in the vicinity of extended mine workings [Text] / L.N. Gakhova // Journal of Mining Science, 36(4). — 2000. — P. 346–350.
 4. Permyakova, L.S. Stress-strain state of power conduit elements in turbines of the Sayano-Shushenskaya Hydroelectric Power Station [Text] / L.S. Permyakova, V.A. Rasskazchikov, V.A. Ulyashinsky, A.P. Epifanov, Yu.A. Kuznetsova // Hydraulic Engineering. — 2008. — N 11. — P. 11–18.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.92:536.24:631.243.5

М.П. КАЛАШНИКОВ, О.Б. АЮРОВА, А.В. ВАНЧИКОВ

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОНТЕЙНЕРНОГО ПЛОДООВОЩЕХРАНИЛИЩА В ЦИКЛЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Разработана физико-математическая модель теплового режима плодовоохранилища контейнерного типа при неработающей активной вентиляции (в цикле естественной конвекции). Обоснованы методика расчета требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, нормативные требования к мощности систем контейнерных хранилищ; выявлены параметры, предотвращающие выпадение конденсата на поверхностях, динамика температурно-влажностных полей в контейнерах с биологически активной продукцией.

Ключевые слова: плодовоохранилище, активная вентиляция, воздух, штабель, математическая модель, биологически активная продукция.

Обеспечение требуемых параметров микроклимата в плодовоохранилищах требует дальнейшего изучения архитектурно-планировочных и теплофизических свойств наружных ограждающих конструкций, динамики нестационарных процессов тепломассообмена в объеме хранилищ с биологически активной продукцией. Задача по разработке теплофизической модели процессов формирования параметров воздуха в штабеле контейнеров с сочным растительным сырьем при хранении до настоящего времени достаточно четко не сформулирована и не имеет обоснованного решения. Следствие этого — отсутствие инженерных методик расчета систем активной вентиляции контейнерного плодовоохранилища, в том числе в цикле естественной конвекции, их производительности и цикличности работы.

Решение этих задач позволяет разработать и обосновать физико-математическую модель теплового режима контейнерного плодовоохранилища, режимы работы систем кондиционирования микроклимата для районов с резко континентальным климатом.

В процессе хранения биологически активная продукция (картофель, морковь, свекла и др.), находящаяся в контейнерах, выделяет тепло и влагу.

Избыточная теплота и влага должны быть удалены из штабеля продукцией воздухом, подаваемым в него в период работы активной вентиляции. Когда активная вентиляция не работает, то тепло- и влаговыделения от продукции поступают в верхнюю и боковую зону хранилища из верхнего и бокового слоя штабеля. Продукция, расположенная глубже верхнего слоя, в тепло- и влагообмене с воздухом верхней зоны в этот период не участвует, в контейнерах происходит процесс самосогревания. Верхняя поверхность продукции в контейнерах не вентилируется. Поэтому при разработ-

ке математической модели теплового режима хранилища контейнерного типа при неработающей активной вентиляции выделяем следующие характерные объемы: верхняя зона (I), боковая зона (I'), поверхностный (верхний) слой штабеля продукции (II), боковой слой штабеля продукции (II') и нижний слой (основная масса) штабеля продукции (III).

В соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке, в качестве характерных поверхностей принимаем: верхнюю поверхность перекрытия, внутреннюю поверхность стен, горизонтальную и вертикальную (боковую) поверхность штабеля, а также наружную поверхность отопительного агрегата (источника теплового излучения).

Наружную поверхность можно не считать характерной, потому что обычно задана величина коэффициента теплообмена от наружной поверхности к наружному воздуху [1].

Величину сопротивления теплопередачи от наружной поверхности включаем в сопротивление теплопередачи ограждения [2, 3].

Для рассматриваемого случая представлена расчетная схема, которой соответствует основная система уравнений (1)–(8) теплового баланса поверхностного (верхнего) слоя штабеля продукции, верхней зоны хранилища, основной массы продукции штабеля, бокового слоя штабеля продукции, боковой зоны хранилища, горизонтальной поверхности штабеля продукции, внутренней поверхности перекрытия хранилища, боковой поверхности штабеля продукции, внутренней поверхности стен, наружной поверхности нагревательного элемента, а также влажностных балансов (9)–(11) верхней и боковой зон хранилища и штабеля продукции.

Уравнение теплового баланса верхнего слоя штабеля продукции:

$$M_{B,C}q_t = C_h M_{B,C} \frac{(t_{o,m}^k - t_{o,m}^h)}{2h} + 1,69m \sqrt[3]{(\tau_1 - t_b)} (\tau_1 - t_b) F_{\text{пов.к}} + \\ + 5,77 \varepsilon_{\text{пп}} \left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] F_1 - 5,77 \varepsilon_1 \varepsilon_h \times \\ \times \left[\left(\frac{\tau_h + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 \right] \varphi_1 F_h + r\beta (P_{\tau 1}^h - \varphi_b P_{tb}^h) F_{\text{пов.к}}. \quad (1)$$

Уравнение теплового баланса верхней зоны хранилища:

$$Q_{B,0} + 1,69m \sqrt[3]{(\tau_1 - t_b)} (\tau_1 - t_b) F_{\text{пов.к}} - 1,69m \sqrt[3]{(\tau_2 - t_b)} (\tau_2 - t_b) F_2 + \\ + A_2 \left[\frac{(t_b - \tau_h)}{d} \right]^{1/4} (\tau_h - t_b) F_h = 0. \quad (2)$$

Уравнение теплового баланса основной массы продукции в штабеле:

$$M_{o,m} q_1 = M_{o,m} C_h (t_{o,m}^k - t_{o,m}^h) / h. \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса бокового слоя штабеля продукции:

$$M_{B,C} q_1 = C_h M_{B,C} \left(\frac{t_{6,c}^k - t_{6,c}^h}{2h} \right) + 1,69m \sqrt[3]{(\tau_3 - t_b)} (\tau_3 - t_b) F_{6,c} + \\ + 5,77 \varepsilon_{\text{пп}} \left[\left(\frac{\tau_3 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_4 + 273}{100} \right)^4 \right] F_3 - r\beta (P_{\tau 3}^h - \varphi_b P_{tb}^h) F_3. \quad (4)$$

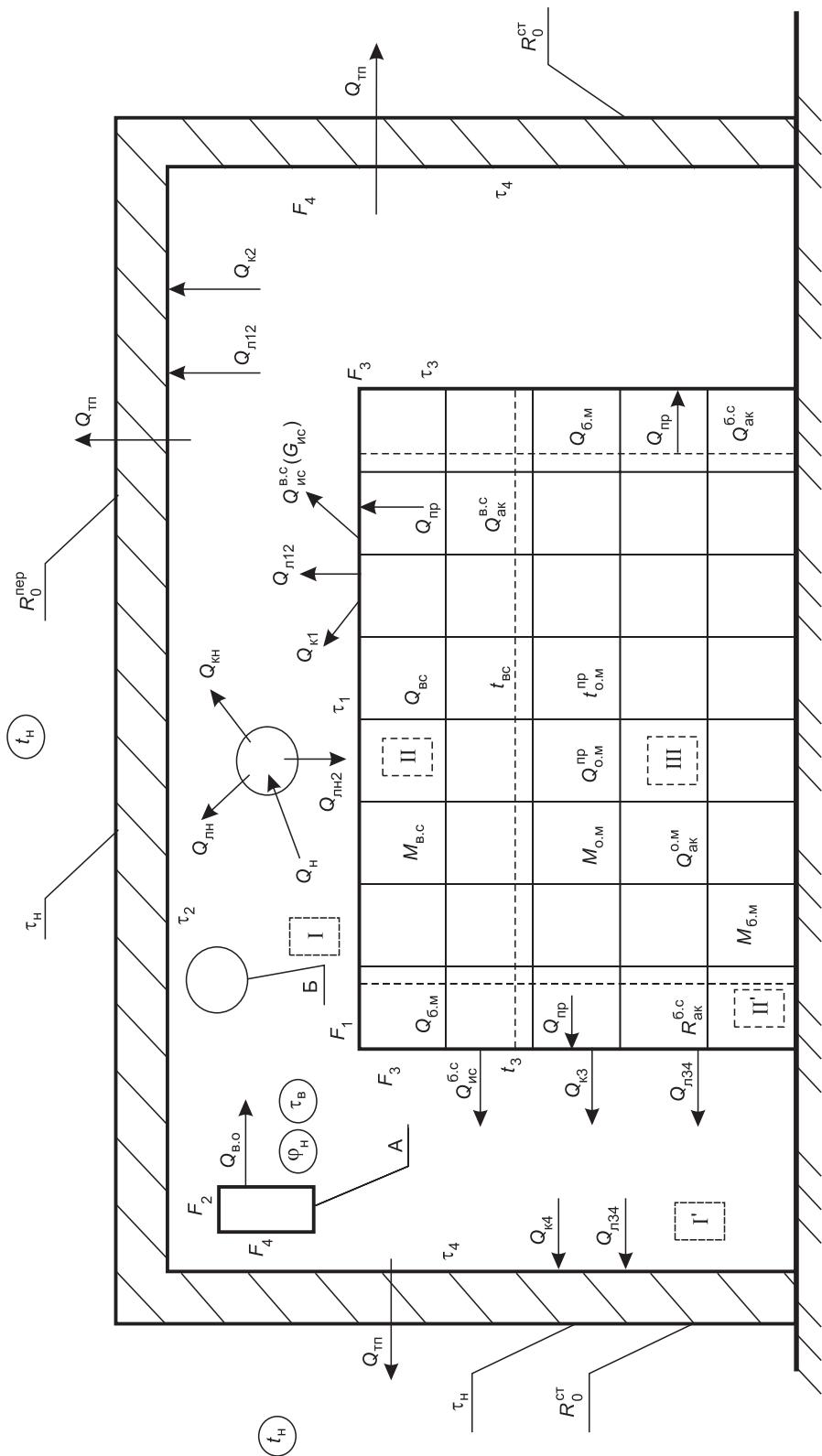


Рис. 1. Расчетная схема процессов тепломассообмена в картофелехранилище при неработающей активной вентиляции штабеля с продукцией

А — отопительно-вентиляционный агрегат; Б — нагревательный элемент (источник теплового излучения)

Уравнение теплового баланса боковой зоны хранилища:

$$1,69m\sqrt[3]{(\tau_3 - t_{\text{в}})}(\tau_3 - t_{\text{в}})F_3 - 1,69m\sqrt[3]{(\tau_4 - t_{\text{в}})}(\tau_4 - t_{\text{в}})F_4 = 0. \quad (5)$$

Уравнение теплового баланса на внутренней поверхности хранилища:

$$\begin{aligned} & 1,69m\sqrt[3]{(t_{\text{в}} - \tau_2)}(t_{\text{в}} - \tau_2)F_2 + 5,77\varepsilon_{\text{пп}}\left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100}\right)^4\right]F_1 + \\ & + 5,77\varepsilon_{\text{в}}\left[\left(\frac{\tau_{\text{в}} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100}\right)^4\right]\varphi_2 F_{\text{в}} = \frac{\tau_2 - t_{\text{в}}}{R_2 + 1/\alpha_{\text{в}}} F_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнение теплового баланса на внутренней поверхности стены хранилища:

$$\begin{aligned} & 1,69m\sqrt[3]{(t_{\text{в}} - \tau_4)}(t_{\text{в}} - \tau_4)F_4 + 5,77\varepsilon_{\text{пп}}\left[\left(\frac{\tau_3 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_4 + 273}{100}\right)^4\right]F_4 = \\ & = \frac{\tau_4 - t}{(R_4 + 1/\alpha_{\text{в}})} F_4. \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнение теплового баланса на наружной поверхности нагревательного элемента:

$$\begin{aligned} & Q_{\text{в}} = A_2\left[\frac{(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})}{d}\right]^{1/4} (\tau_{\text{в}} - t_{\text{в}})F_{\text{в}} + \\ & + 5,77\varepsilon_{\text{в}}\left[\left(\frac{\tau_{\text{в}} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_1 + 273}{100}\right)^4\right]\varphi_1 F_{\text{в}} + \\ & + 5,77\varepsilon_{\text{в}}\left[\left(\frac{\tau_{\text{в}} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100}\right)^4\right]\varphi_2 F_{\text{в}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнение влажностного баланса верхней зоны хранилища:

$$\beta(P_{\tau 1}^{\text{в}} - \varphi_{\text{в}} P_{t_{\text{в}}}^{\text{в}})F_{\text{пов.к}} = V_{\text{в}}^{\text{в.з}} \rho_{\text{в}} (d_{\text{в}}^{\text{k}} - d_{\text{в}}^{\text{h}}) / h. \quad (9)$$

Уравнение влажностного баланса боковой зоны хранилища:

$$\beta(P_{\tau 3}^{\text{в}} - \varphi_{\text{в}} P_{t_{\text{в}}}^{\text{в}})F_3 = V_{\text{в}}^{\text{б.з}} \rho_{\text{в}} (d_{\text{в}}^{\text{k}} - d_{\text{в}}^{\text{h}}) / h. \quad (10)$$

Уравнение влажностного баланса штабеля:

$$\beta(P_{\tau 1}^{\text{в}} - \varphi_{\text{в}} P_{t_{\text{в}}}^{\text{в}})F_{\text{пов.к}} = V_{\text{в}}^{\text{шт}} \rho_{\text{в}} (d_{\text{в}}^{\text{k}} - d_{\text{в}}^{\text{h}}) / h. \quad (11)$$

Уравнение теплового баланса хранилища в общем виде:

$$\begin{aligned} & Q_{\text{o.m}}^{\text{пп}} + Q_{\text{б.с}} + Q_{\text{б.м}} + Q_{\text{б.о}} + Q_{\text{в}} = Q_{\text{ак}}^{\text{o.m}} + Q_{\text{ак}}^{\text{б.с}} + Q_{\text{ак}}^{\text{б.м}} + Q_{\text{пп}}^{\text{пер}} + \\ & + Q_{\text{пп}}^{\text{б}} + Q_{\text{исп}}^{\text{б.с}} + Q_{\text{исп}}^{\text{б.м}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнение теплового баланса хранилища в расчетной форме:

$$M_{\text{o.m}} q_t + M_{\text{б.с}} q_t + M_{\text{б.м}} q_t + Q_{\text{б.о}} + Q_{\text{в}} = C_{\text{в}} M_{\text{o.m}} \frac{t_{\text{o.m}}^{\text{k}} - t_{\text{o.m}}^{\text{h}}}{h} +$$

$$\begin{aligned}
& + C_{\text{h}} M_{\text{B.C}} \frac{t_{\text{o.m}}^{\text{K}} - t_{\text{o.m}}^{\text{H}}}{2h} + C_{\text{h}} M_{\text{б.c}} \frac{t_{\text{б.c}}^{\text{K}} - t_{\text{б.c}}^{\text{H}}}{h} + \frac{\tau_2 - t_{\text{H}}}{(R_2 + 1/\alpha_{\text{h}})} F_2 + \\
& + \frac{\tau_4 - t_{\text{H}}}{(R_{\text{ct}} + 1/\alpha_{\text{h}})} F_4^{\text{cp}} + r\beta(P_{\tau 1}^{\text{H}} - \varphi_{\text{b}} P_{t_B}^{\text{H}})F_{\text{пов.K}} + r\beta(P_{\tau 3}^{\text{H}} - \varphi_{\text{b}} P_{t_B}^{\text{H}})F_3. \quad (13)
\end{aligned}$$

Основные условные обозначения:

- C_p — удельная массовая теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К);
- d — влагосодержание воздуха, г/кг с.в.;
- $t_{\text{b}}, t_{\text{H}}$ — температура внутреннего, наружного воздуха, °C;
- n — время между включениями системы вентиляции, ч;
- q — удельный тепловой поток, Вт/м²;
- q_v — удельная теплота дыхания продукции, Вт/т, Вт/м³;
- ω — масса влаги, ассимилированная воздухом, г, кг;
- $\alpha_t, \alpha_{\text{b}}$ — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К);
- λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К);
- r — удельная теплота фазового перехода, кДж/кг;
- W — количество влаги, кг/ч;
- Q_o — количество теплоты, Вт;
- F — площадь ограждающих конструкций, м²;
- M — общая масса, кг;
- P — давление, Па;
- R_o — сопротивление теплопередаче ограждения, (м² · °C)/Вт;
- ρ — плотность воздуха, кг/м³;
- V — объем, м³;
- v — скорость, м/с;
- $F_{\text{шт}}$ — площадь поверхности штабеля, м²/м³, м²/т;
- G — массовый расход воздуха, кг/ч;
- τ — температура внутренней поверхности, °C;
- φ — относительная влажность воздуха, доли %;
- β — коэффициент массообмена, кг/(м² · Па · с);
- $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент излучения, Вт/(м² · К);
- m — коэффициент, зависящий от расположения поверхностей теплообмена, %;
- A_2 — коэффициент, зависящий от определяющей температуры.

Система (1)–(11) и уравнение (13) описывают процессы тепло- и массообмена в контейнерных плодоовощехранилищах при неработающей активной вентиляции.

Границными условиями при решении расчетной системы уравнений (1)–(11) являются нормативные параметры внутреннего и наружного воздуха, удельные тепло- и влаговыделения биологически активной продукции, геометрические параметры помещений хранилища, штабели контейнеров и их взаимное расположение, обоснованная закономерность теплообмена на наружных поверхностях ограждающих конструкций.

В соответствии с методологией построения математических моделей тепломассообменных процессов в помещениях к основной системе уравнений необходимо присоединить специальные связи, отображающие зависимости между параметрами, не вытекающие из балансовых соотношений. Для рассматриваемого случая специальными связями являются ограничения, связанные с недопущением выпадения конденсата на по-

верхности продукции и на внутренних поверхностях ограждений хранилища $\tau_{1,3} \geq t_p$, $\tau_{2,4} \geq t_p$.

Для обоснования моделей тепломассопереноса потребовалось проведение натурной оценки характера распределения температурных полей в массе сочной растительной продукции при естественной и вынужденной конвекции. Равномерные по высоте продукции температурные поля наблюдались перед периодом охлаждения, когда $t_{\text{пр}}(\bar{h}) = \text{const}$. Охлаждение характеризуется формированием градиентов температур с минимальными значениями у места истечения воздуха ($\bar{h} \leq 0,5$) и максимальными ($\bar{h} \geq 0,9$) [4].

Разработанная математическая модель представляет собой нелинейную алгебраическую систему уравнений и неравенств, которую целесообразно решать методом последовательных приближений (итераций).

Задаваясь значениями ряда параметров с учетом принятых ограничений, связанных со спецификой работы плодовоощехранилища, можно решать при их помощи различные инженерные задачи, связанные с теплотехническим расчетом хранилищ картофеля, овощей и плодов.

Основные из них — следующие: определение мощности систем отопления — $Q_{\text{в.о.}}$; определение требуемых сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций хранилища — $R_{\text{ст}}, R_{\text{пер}}$; нахождение периода времени n между включениями системы активной вентиляции; определение мощности конвективного и лучистого обогрева верхней и боковой зон хранилища; выявление параметров, предотвращающих выпадение конденсата на внутренних поверхностях ограждений, в верхнем слое клубней продукции и на боковой поверхности штабеля с разработкой инженерных решений для ликвидации этого явления; оценка возможных потерь продукции за время хранения.

Выводы. Плодовоощехранилища относятся к особому типу зданий: по нормированию теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций; по способам создания и поддержания требуемых параметров микроклимата; по способам и методам уменьшения энергоемкости. Данная математическая модель биоэнергетической системы хранения картофеля и овощей позволила разработать комплексную методику нормирования требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, учитывающую архитектурно-планировочные решения зданий и требования к параметрам микроклимата, дает возможность обосновать цикличность работы и нормативные требования к минимальной производительности систем вентиляции хранилищ для плодов и овощей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Позин, Г.М. Основы расчета тепловоздушного режима промышленных и сельскохозяйственных зданий [Текст] / Г.М. Позин // Современные проблемы вентиляции и экологической безопасности промышленных и сельскохозяйственных зданий : матер. науч.-практ. конф. 7–9 июля 1992 г. ; под ред. М.И. Гринитлина. — СПб., 1992. — С. 41–51.
2. Антонов, М.В. Хранение картофеля в контейнерах [Текст] / М.В. Антонов, З.И. Горелик. — М. : Госторгиздат, 1964. — 52 с.
3. Бодров, В.И. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений [Текст] / В.И. Бодров, А.Г. Егиазаров, Е.С. Козлов. — Н-Новгород, 1995. — 130 с.
4. Калашников, М.П. Формирование и изменение температурного режима в штабеле плодовоощной продукции [Текст] / М.П. Калашников // Материалы 6-го съезда АВОК. Ч. 2. — СПб., 1998. — С. 24–30.

КАЛАШНИКОВ М.П., д-р техн. наук, проф.

Восточно-Сибирский государственный технологический университет, г. Улан-Удэ
АЮРОВА О.Б., канд. техн. наук, доц.

Восточно-Сибирский государственный технологический университет, г. Улан-Удэ
ВАНЧИКОВ А.В., асп.

Восточно-Сибирский государственный технологический университет, г. Улан-Удэ

Получено после доработки 09.06.10

Kalashnikov M.P., doctor of technical sciences, professor, East Siberian State Technological University, Ulan-Ude, Russia

Ayurova O.B., candidate of technical sciences, assistant professor, East Siberian State Technological University, Ulan-Ude, Russia

Vanchikov A.V., post-graduate student, East Siberian State Technological University, Ulan-Ude, Russia

THE THERMAL BALANCE OF CONTAINER FRUIT-VEGETABLE STORE IN A CYCLE OF A NATURAL CONVEKTION

The physical and mathematical model of a thermal mode of fruit-vegetable store container type is developed at idle active ventilation (in a cycle of natural convection). The calculation procedure of demanded resistance to a heat transfer of external protecting designs is proved; standard requirements to capacity of systems of container storehouses; the parametres, preventing condensate loss on surfaces are revealed; dynamics of temperature and humid fields in containers with biologically active production is revealed.

Key words: fruit-vegetable store, active ventilation, air, a stack, mathematical model, biologically active production.

REFERENCES

1. Pozin, G.M. Basis of calculation warmth-aerial modes industrial and agricultural buildings [Text] / G.M. Pozin // Modern problems of ventilation and ecological safety of industrial and agricultural buildings : Materials of scientifically practical conference on 7–9th of July, 1992 ; under the editorship of M.I. Grimitlin. — SPb., 1992. — P. 41–51.
2. Antonov, M.V. Storage of a potato in containers [Text] / M.V. Antonov, Z.I. Gorelik. — M. : StateComPublishing, 1964. — 52 p.
3. Bodrov, V.I. Heating and ventilation of agricultural buildings and constructions [Text] / V.I. Bodrov, A.G. Yeguazarov, E.S. Kozlov. — N-Novgorod, 1995. — 130 p.
4. Kalashnikov, M.P. Formation and change of a temperature mode in a stack fruit-vegetable production [Text] / M.P. Kalashnikov // The facts of 6th congress AVOK. Part 2. — SPb., 1998. — P. 24–30.

УДК 697.133

М.С. КОНОНОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЙ НА ИХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Приводятся результаты анализа теплоэнергетических паспортов зданий с различными геометрическими параметрами. Показаны зависимости удельного расхода теплоты на отопление зданий от показателя компактности и отапливаемого объема при различных значениях коэффициента остекленности.

Ключевые слова: удельный расход теплоты на отопление, коэффициент компактности, отапливаемый объем.

Расход теплоты на отопление зданий зависит не только от сопротивления теплопередаче наружных ограждений, но и от формы здания, его объемно-планировочного решения, коэффициента остекленности и многих других факторов.

В данной работе для выявления степени влияния геометрических параметров здания на величину теплопотерь в качестве объекта исследований были выбраны здания различной этажности и конфигурации, состоящие из секций шириной $a = 12$ м, длиной $b = 20$ м и высотой $h = 3$ м. При формировании вариантов расчетных схем зданий варьировались три параметра:

- этажность $N = 5, 9, 12, 16$ этажей;
- количество секций S — от 1 до 6;
- коэффициент остекленности $p = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$.

В результате возможных комбинаций трех параметров получено 120 вариантов расчетных схем зданий. Для каждого из исследуемых вариантов зданий был составлен теплоэнергетический паспорт по известной методике, приведенной в [1]. При этом для всех вариантов приняты следующие общие исходные данные.

Расчетные климатические условия (для г. Воронежа):

- расчетная температура наружного воздуха, равная температуре наиболее холодной пятидневки, $t_{x5} = -26$ °C;
- средняя температура за отопительный период $t_{ср.оп} = 3,4$ °C;
- продолжительность отопительного периода $Z_{оп} = 196$ сут.

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_b = +20$ °C.

Сопротивление теплопередаче наружных ограждений зданий принято равным нормируемым значениям, приведенным в [2] при соответствующем количестве градусосуток отопительного периода ($\text{ГСОП} = 4586$ °C · сут):

- сопротивление теплопередаче наружной стены $R_{ст} = 3,0$ м² · °C / Вт;
- сопротивление теплопередаче окна $R_{ок} = 0,49$ м² · °C / Вт;
- сопротивление теплопередаче перекрытия верхнего этажа $R_{пв} = 4,49$ м² · °C / Вт;

— сопротивление теплопередаче перекрытия подвала $R_{\text{пп}} = 3,96 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

В качестве примера результата расчетов в табл. 1 приведены некоторые данные из теплоэнергетических паспортов для трех из 120 исследуемых зданий.

Основным теплоэнергетическим показателем здания является удельный расход теплоты на отопление $q_{\text{уд}}$, кДж/(м² · °С · сут), определяемый по формуле

$$q_{\text{уд}} = \frac{10^3 \cdot Q_{\text{оп}}}{A_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{оп}}$ — потребность в тепловой энергии на отопление за отопительный период, МДж;

$A_{\text{от}}$ — площадь отапливаемых помещений, м²;

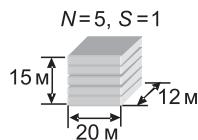
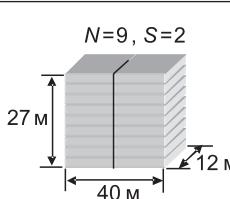
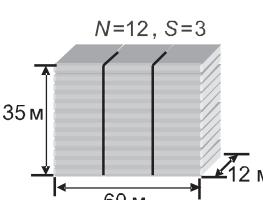
ГСОП — количество градусосуток отопительного периода, °С · сут.

В результате анализа полученных данных построены графики зависимости удельного расхода теплоты на отопление от показателя компактности K_k (рис. 1), являющегося одной из геометрических характеристик здания и вычисляемого в составе теплоэнергетического паспорта по формуле [2]:

$$K_k = A_{\text{сум}} / V_{\text{от}}, \quad (2)$$

Таблица 1

Некоторые данные из теплоэнергетических паспортов исследуемых зданий

Схема здания, этажность N , количество секций S	Коэффициент остекленности p	Отапливаемый объем $V_{\text{от}}$, м ³	Коэффициент компактности K_k	Трансмиссионный коэффициент теплопередачи $K_{\text{кр}}$, Вт/(м ² · °С)	Удельный расход теплоты на отопление $q_{\text{уд}}$, кДж/(м ² · °С · сут)
	0,1 0,2 0,3 0,4 0,5	3359 3359 3359 3359 3359	0,41 0,41 0,41 0,41 0,41	0,68 0,87 1,07 1,26 1,45	127 141 155 169 183
	0,1 0,2 0,3 0,4 0,5	12095 12095 12095 12095 12095	0,30 0,30 0,30 0,30 0,30	0,64 0,84 1,03 1,22 1,42	116 127 139 150 161
	0,1 0,2 0,3 0,4 0,5	24291 24291 24291 24291 24291	0,26 0,26 0,26 0,26 0,26	0,63 0,82 1,02 1,21 1,40	112 123 133 144 154

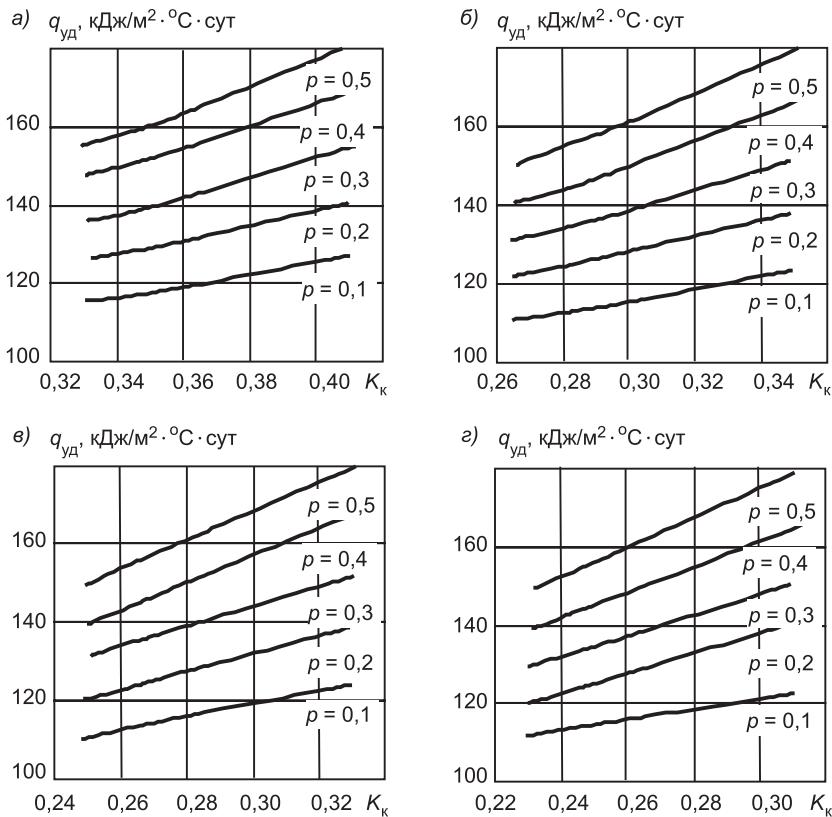


Рис. 1. Зависимость удельного расхода теплоты на отопление от показателя компактности при различных значениях коэффициента остекленности p
 a — для 5-этажных зданий; b — для 9-этажных; c — для 12-этажных; d — для 16-этажных зданий

где $A_{\text{сум}}$ — общая площадь внутренних поверхностей всех наружных ограждающих конструкций, м^2 ;

$V_{\text{от}}$ — отапливаемый объем здания, м^3 .

Из рассмотрения графиков (рис. 1) следует, что значение удельного расхода теплоты на отопление возрастает с увеличением коэффициента компактности и коэффициента остекленности здания.

Другим важным геометрическим параметром, определяющим удельный расход теплоты на отопление здания $q_{уд}$, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут})$, является отапливаемый объем здания $V_{\text{от}}$, м^3 . Взаимосвязь этих двух характеристик показана на рис. 2, из которого следует, что при увеличении отапливаемого объема величина удельного расхода теплоты на отопление уменьшается.

На следующем этапе исследований значения удельного расхода теплоты на отопление для зданий различной этажности были нанесены на общую координатную сетку (рис. 3). Полученные расчетные точки аппроксимированы с помощью программы Advanced Grapher. При этом использовались следующие виды зависимостей: линейная, логарифмическая, степенная, гиперболическая. Сравнение перечисленных функций показало, что наилучшее приближение дает степенная зависимость. В табл. 2 приведены аналитические выражения для графиков, аппроксимирующих полученные расчетные значения удельного расхода теплоты на отопление.

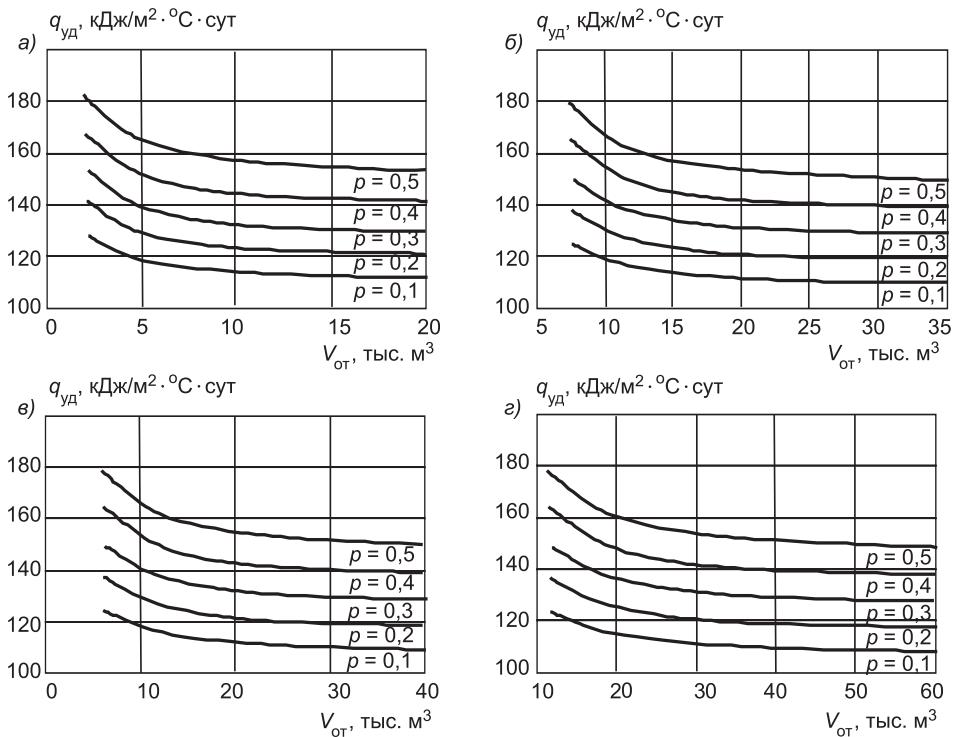


Рис. 2. Зависимость удельного расхода теплоты на отопление от отапливаемого объема здания при различных значениях коэффициента остекленности p

Условн. обозначения см. на рис. 1

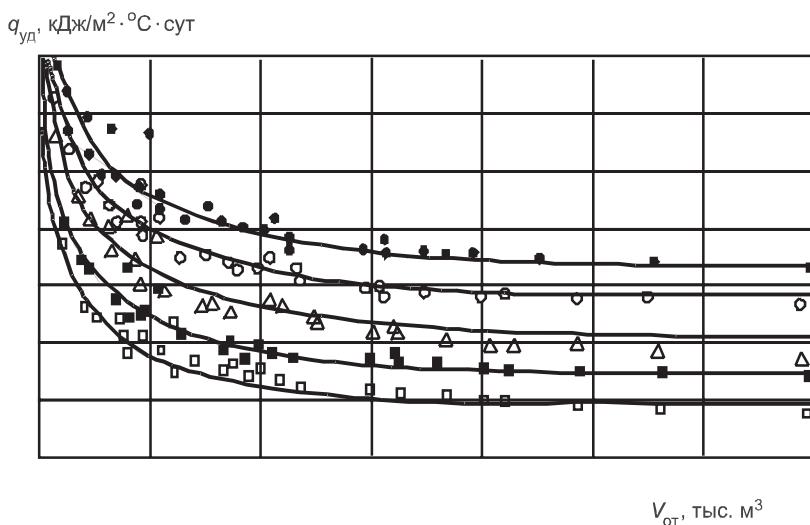


Рис. 3. Зависимость удельного расхода теплоты на отопление от отапливаемого объема для зданий от 5 до 16 этажей

Коэффициент остекленности: $p = 0,1$ (□); $p = 0,2$ (■); $p = 0,3$ (\triangle); $p = 0,4$ (○); $p = 0,5$ (●)

Анализ графиков на рис. 3 позволяет сделать вывод, что удельный расход теплоты на отопление для зданий с отапливаемым объемом свыше 10 тыс. м³ практически не зависит от этажности (при одинаковом коэффициенте остекленности).

Таблица 2

**Формулы, выражающие зависимость
удельного расхода теплоты от
отапливаемого объема зданий**

Коэффициент остекленности p	Формула
0,1	$q_{уд} = 198,11 \cdot V_{от}^{-0,093}$
0,2	$q_{уд} = 216,33 \cdot V_{от}^{-0,094}$
0,3	$q_{уд} = 234,52 \cdot V_{от}^{-0,095}$
0,4	$q_{уд} = 252,69 \cdot V_{от}^{-0,096}$
0,5	$q_{уд} = 270,84 \cdot V_{от}^{-0,096}$

ми. В частности, эти данные могут быть полезны при решении вопроса о целесообразности утепления существующего жилого фонда [3], давая возможность оценить ожидаемое снижение расхода теплоты на отопление здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 23-101-2000. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. — М. : Госстрой России, 2000. — 160 с.
2. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. — М. : Госстрой России, 2003. — 28 с.
3. Кононова, М.С. Оценка энергосберегающего потенциала жилой застройки на основе анализа теплоэнергетических паспортов зданий [Текст] / М.С. Кононова // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 10. — С. 105–109.

*КОНОНОВА М.С., канд. техн. наук, доц.; Email: kniga16@mail.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 07.08.10

Кононова М.С., candidate of technical sciences, assistant professor; Email: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

EXAMINATION OF INFLUENCE OF SOME GEOMETRICAL PARAMETERS OF BUILDINGS ON THEIR HEAT POWER INDEXES

The results of the analysis of the heat power passports of buildings with different geometrical parameters are given. The dependences of specific consumption of heat on heating of buildings from an index of compactness and heated volume are rotined at different values of coefficient of a glazing.

Key words: specific consumption of heat on heating, coefficient of compactness, heated volume.

REFERENCES

1. The set of rules 23-101-2000. Thermal Performance Design of Buildings [Text]. — M. : State Committee of Russian Federation on Building and Housing-municipal Complex, 2000. — 160 p.
2. Building norms and rules 23-02-2003. Thermal Performance of the Buildings [Text]. — M. : State Committee of Russian Federation on Building and Housing-municipal Complex, 2003. — 28 p.
3. Кононова, М.С. Estimation saving means of potential of habitation building on the basis of the analysis of the heat power passports of buildings [Text] / М.С. Кононова // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 10. — P. 105–109.

Полученные графические зависимости дают наглядное представление о влиянии коэффициента компактности и отапливаемого объема на удельный расход теплоты на отопление зданий с различной этажностью и коэффициентом остеекленности. Кроме того, полученные графики могут использоваться для предварительной оценки теплоэнергетических показателей для зданий, находящихся в схожих климатологических условиях и с аналогичными теплотехническими характеристиками.

УДК 628.16.09

Т.Я. ПАЗЕНКО, А.Ф. КОЛОВА

ОБРАБОТКА ПРОМЫВНЫХ ВОД ФИЛЬТРОВ ВОДОПОДГОТОВКИ

Предложена технологическая схема очистки промывных вод фильтров, включающая реагентную обработку, отстаивание и фильтрование, что позволяет вернуть очищенные промывные воды в резервуар чистой воды.

Ключевые слова: водоподготовка, промывные воды фильтров, коагулянт, флокулянт.

Одна из проблем водоподготовки — утилизация промывных вод фильтров. В настоящее время на большинстве станций промывные воды фильтров без обработки сбрасываются в водоисточник, что приводит к повышению концентрации взвешенных веществ и растворенных соединений алюминия. В ряде городов промывные воды фильтров сбрасываются в канализационную сеть. По мнению В.Л. Драгинского и Л.П. Алексеева, такое решение наиболее рационально [1].

Актуальная проблема для многих водоочистных станций — создание и совершенствование технологий обработки промывных вод с целью их повторного использования. При этом большая роль отводится применению реагентов нового поколения, например, полиоксихлоридам алюминия и высокомолекулярным флокулянтам марки Праестол [2, 3].

На кафедре «Водоснабжение и водоотведение» были проведены экспериментальные исследования с целью разработки технологической схемы очистки промывных вод фильтров для возврата их в резервуар чистой воды. Так как в этом случае качество очищенной воды должно соответствовать требованиям, предъявляемым к воде хозяйственно-питьевого назначения, был принят реагентный метод очистки с последующим отстаиванием и фильтрованием.

Эксперименты проводились на водозаборе «Гремячий Лог» г. Красноярска, где существует следующая схема водоподготовки: вода забирается из р. Енисей с помощью русского водозабора и насосами насосной станции I подъема подается на очистные сооружения, хлорируется, фильтруется через барабанные сетки и скорые фильтры с двухслойной загрузкой из дробленого керамзита и кварцевого песка и затем насосами насосной станции II подъема подается в водопроводную сеть города. Во время паводка из-за повышенной мутности воды ($6 \div 10 \text{ мг/л}$) в воду перед фильтрами дозируют коагулянт — сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Дозу коагулянта подбирают методом пробного коагулирования. Фильтры в этом случае работают по принципу контактной коагуляции. Вода после промывки фильтров поступает в узел обработки промывных вод, где она отстаивается, а затем сбрасывается в р. Енисей в пределах городской черты, что противоречит требованиям [4, п. 4.1.2].

Нами в качестве реагентов использовались сульфат алюминия (СА) и оксихлорид алюминия (ОХА) производства ЗАО «Сибресурс», смешан-

ный коагулянт (СА+ОХА) и флокулянты катионного типа Праестол 611TR и Праестол 650TR.

Эксперимент проводился на промывной воде, отобранной равномерно в течение всего срока промывки фильтра. Пробы очищенной промывной воды отбирали после обработки реагентами, 2-часового отстаивания и фильтрования через дробленый керамзит. В пробах определяли мутность и pH. В отфильтрованной пробе дополнительно анализировали цветность, остаточный алюминий, щелочность, хлориды и жесткость. Результаты эксперимента представлены в табл. 1. Графические зависимости влияния дозы и типа коагулянта на качество обработки промывной воды отстаиванием и фильтрованием показаны на рис. 1, 2. Как видно из приведенных данных, при использовании сульфата алюминия падение pH идет сильнее, чем при использовании оксихлорида алюминия. При одинаковых дозах оксихлорид алюминия эффективнее снижает мутность по сравнению с сульфатом алюминия. Наименьшая мутность обработанной воды достигается при дозе оксихлорида алюминия 10 мг/л (по Al_2O_3).

Таблица 1
Влияние вида и дозы коагулянта на эффективность очистки промывной воды

Показатели качества	Качество исходной воды	Тип и доза реагента*							
		СА 5 мг/л	ОХА 5 мг/л	СА 10 мг/л	ОХА 10 мг/л	СА+ОХА (2+2) мг/л	611TR 1 мг/л	650TR 1 мг/л	норма
<i>Отстоянная проба</i>									
pH		7,45	7,26	7,32	7,1	7,18	7,35	7,44	7,46
Мутность, мг/л		23,016	17,26	5,973	15,398	8,05	4,38	10,1	9,81
<i>Фильтрованная проба</i>									
Мутность, мг/л			2,356	0,822	3,9	0,026	0,064	0,60	0,82
Остаточный алюминий, мг/л			0,36	0,039	0,44	0,026	0,064	—	—
Жесткость, мг-экв/л			1,1	1,15	1,2	1,1	1,15	1,15	1,2
Щелочность, мг-экв/л		1,16	1,24	1,20	1,16	1,20	1,22	1,20	1,22
Хлориды, мг/л		2,4	2,4	5,2	2,5	8,1	3,9	3	2,9
Цветность, град		38	11,93	2,18	17,02	2,04	4,37	8,73	8,59
									20

* Доза коагулянта приведена в расчете на Al_2O_3 .

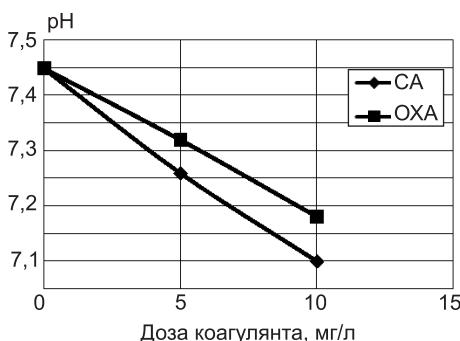


Рис. 1. Зависимость pH от типа и дозы коагулянта

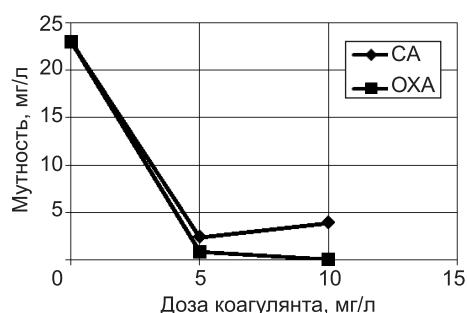


Рис. 2. Зависимость мутности от типа и дозы коагулянта

На рис. 3 представлено изменение мутности воды по стадиям обработки (исходная — отстоеная — отфильтрованная) при дозе коагулянтов 10 мг/л. Как видно из характера кривых, оксихлорид алюминия дает хорошие результаты уже на стадии отстаивания за счет более интенсивного хлопьеобразования по сравнению с сульфатом алюминия. Это позволяет предположить, что при работе с оксихлоридом алюминия возможно увеличение продолжительности фильтроцикла и сокращение расхода промывной воды.

Результаты визуальных наблюдений за процессом отстаивания показали, что процесс хлопьеобразования начинается быстрее всего в пробе, обработанной ОХА в дозе 5 мг/л. Уже через 30 мин началось хлопьеобразование, в то время как остальные пробы были равномерно мутными. Через 1 ч в пробе, обработанной ОХА (5 мг/л), идет интенсивное хлопьеобразование; одновременно слабое хлопьеобразование начинает наблюдаться в остальных пробах, обработанных коагулянтами. В пробах, обработанных флокулянтами, после 1 ч отстаивания образования хлопьев не наблюдалось.

После 2-часового отстаивания наблюдалось следующее: в пробах, обработанных флокулянтами, хлопьев не наблюдается; пробы с СА мутные, осадка очень мало; в пробах, обработанных смесью СА и ОХА, осадка мало, взвесь представляет мелкие хлопья, распределенные по всему объему воды; пробы с ОХА светлые, количество осадка соответствует дозе.

Таким образом, по результатам анализов и визуальным наблюдениям лучше всего работает оксихлорид алюминия.

Проведен микробиологический анализ промывной воды, обработанной оксихлоридом алюминия. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Анализ показал, что бактерии в данной воде отсутствуют, и она пригодна к сбросу в РЧВ.

На основании проведенных исследований предложена технология очистки промывной воды по двухступенчатой схеме:



грязная промывная вода → отстаивание (2 ч) → фильтрование через дробленый керамзит (скорость фильтрования 5–7 м/ч) → РЧВ.

Таблица 2
Микробиологический анализ очищенной промывной воды

Показатели	Единицы измерения	Обработанная промывная вода	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	Число бактерий в 100 мл	Отсутствуют	Отсутствие
Общие колиформные бактерии (ОКБ)	Число бактерий в 100 мл	Отсутствуют	Отсутствие
Общее микробное число (ОМЧ)	Число образующих колоний бактерий в 100 мл	Отсутствуют	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствуют	Отсутствие

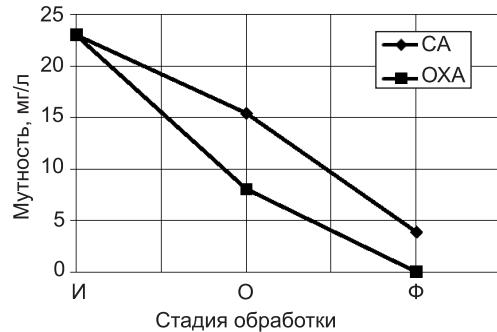


Рис. 3. Изменение мутности воды по стадиям обработки

И — исходная сточная вода; О — отстойная вода;
Ф — фильтрованная вода

Выводы. Качество промывной воды после реагентной обработки оксихлоридом алюминия (доза 5 мг/л), отстаивания и фильтрования соответствует гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству воды централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения; очищенная промывная вода может быть направлена в РЧВ; предложена технологическая схема очистки грязной промывной воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драгинский, В.Л. Обработка промывных вод фильтров водоочистной станции [Текст] / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеев // ВСТ. — 2005. — № 8.
2. Гетманцев, С.В. Использование современных коагулянтов в практике российских водоочистных предприятий [Текст] / С.В. Гетманцев // ВСТ. — 2006. — № 4.
3. Гетманцев, С.В. Основные тенденции применения коагулянтов в России и за рубежом [Текст] / С.В. Гетманцев // ВСТ. — 2006. — № 8.
4. СанПиН 2.1.5.980-00. «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

ПАЗЕНКО Т.Я., канд. техн. наук, доц.

Сибирский федеральный университет, Институт градостроительства, управления и региональной экономики, г. Красноярск

КОЛОВА А.Ф., канд. хим. наук, доц.

Сибирский федеральный университет, Институт градостроительства, управления и региональной экономики, г. Красноярск

Получено после доработки 13.07.10

Pazenko T.Ya., candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Institute of Town-planning of Management and Regional Economy, Krasnoyarsk, Russia

Kolova A.F., candidate of chemical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Institute of Town-planning of Management and Regional Economy, Krasnoyarsk, Russia

TREATMENT OF THE SCOURAGE OF WATER CONDITIONING FILTERS

Manufacturing scheme of a filters scourage purification including reagent treatment, settling, and filtering was proposed.

Key words: water conditioning, filters scourage, coagulant, flocculant.

REFERENCES

1. Draguinsky, V.L. Filters scourage treatment of water purification plant [Text] / V.L. Draguinsky, L.P. Alekseev // Water supply and Sanitary Engineering journal. — 2005. — N 8.
2. Guetmantsev, S.V. Using of modern coagulants in practice of Russian water purification works [Text] / S.V. Guetmantsev // Water supply and Sanitary Engineering journal. — 2006. — N 4.
3. Guetmantsev, S.V. Main tendencies in using of coagulants in Russia and other countries [Text] / S.V. Guetmantsev // Water supply and Sanitary Engineering journal. — 2006. — N 8.
4. Builohing Codes 2.1.5.980-00. «Hygienic regulations' to protection of surface waters».

УДК 628.336

Т.И. ХАЛТУРИНА, О.В. ЧУРБАКОВА, Т.А. КУРИЛИНА

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Исследовано действие катионного флокулянта ВПК-402 на изменение свойств осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий. Изучена возможность их утилизации в качестве добавок при производстве строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: кондиционирование, флокулянты, удельное сопротивление фильтрации, осадок, сточные воды, утилизация, строительные материалы.

В соответствии с Законом РФ об охране окружающей природной среды, где особое внимание обращено на рациональное использование природных ресурсов и сохранение чистоты поверхностных и подземных вод, актуальным является решение проблемы утилизации и обезвоживания осадков, требующее изучения их состава, структуры и свойств, выявления возможности изменения исходных свойств и определения оптимальных параметров различных технологических схем.

Основные задачи обработки осадков — резкое сокращение их объема и утилизация. Осадки промышленных сточных вод металлообрабатывающих предприятий представляют собой трудноразделимые суспензии. Цель кондиционирования — улучшение водоотдающих свойств осадков путем изменения их структуры и форм связей воды. От условий кондиционирования зависит производительность обезвоживающих аппаратов, чистота отделяемой воды и влажность обезвоженных осадков.

Для изменения структуры осадка и улучшения его способности отдавать влагу используют флокулянты [1, 2], что является основным приемом их подготовки к механическому обезвоживанию на центрифугах, вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. Флокулянты действуют в двух направлениях: как электролиты они уменьшают электрический потенциал частиц и становятся склонны к объединению с себе подобными, как полимеры — объединяют эти частицы между собой в крупные образования (флоккулы), которые в десятки раз быстрее осаждаются, нежели исходные частицы.

Кондиционирование осадка минеральными реагентами [3] характеризуется рядом существенных недостатков, к которым относятся: большой массовый расход, высокая коррозийная активность, трудности с транспортировкой и хранением, внесение большого количества (40 %) балластных веществ, что значительно увеличивает стоимость вывозки осадка, а также сокращает полезный объем полигона для их захоронения. Кроме того, прошедшая в последние годы реструктуризация цен значительно увеличила долю эксплуатационных затрат в себестоимости обработки осадков. Однако эти проблемы разрешимы при использовании органических флокулянтов.

В работе на основе анализа современного состояния и перспектив развития методов кондиционирования осадков сточных вод металлообра-

батывающих предприятий показана необходимость применения эффективной технологии обработки с учетом региональных условий.

Цель работы — изучение действия катионного флокулянта «ВПК-402», производимого в г. Барнауле, на изменение свойств маслосодержащего осадка и осадка сточных вод гальванического производства. Маслосодержащий осадок образуется в результате электроагрегации масломульсационных сточных вод. Осадок, содержащий ионы тяжелых металлов, получен в ходе гальванокоагуляционного обезвреживания сточных вод с последующей нейтрализацией стоков.

Были изучены свойства исходного маслосодержащего осадка, который обладает высокой влажностью и плохими водоотдающими свойствами (табл. 1).

Результаты исследования по изучению влияния ВПК-402 на водоотдающие свойства осадка представлены в табл. 2.

Таблица 1
Свойства маслосодержащего осадка

Влажность, %	Плотность ρ , г/см ³	Сухое вещество, г/дм ³	Прокаленный остаток, г/дм ³	Зольность, %	Удельное сопротивление фильтрации, $r \cdot 10^{10}$ см/г	Потери при прокаливании, г/дм ³
97,01	0,926	2,997	1,013	37,7	490,89	1,984

Таблица 2
Зависимость удельного сопротивления осадка фильтрации от дозы ВПК-402

Доза ВПК-402, мг/дм ³ / от массы сухого вещества, %	0 / 0 /	1,0 / 0,004 /	5,0 / 0,019 /	9,0 / 0,035 /	13,0 / 0,05 /	17,0 / 0,07 /
Удельное сопротивление фильтрации, $r \cdot 10^{10}$, см/г	200,24	156,25	105,87	77,71	97,31	111,63

Обработка результатов экспериментальных данных проводилась в табличном процессоре Excel, что позволило построить графическую зависимость и получить уравнение аппроксимации (рис. 1).

Как видно из рис. 1, оптимальная доза — 9 мг/дм³, что составляет 0,035 % от массы сухого вещества осадка. При этой дозе удельное сопротивление осадка фильтрации снижается в ~6 раз.

Для исследования изменения структуры осадка был выполнен термографический анализ на дериватографе Q-1500. Термограммы представле-

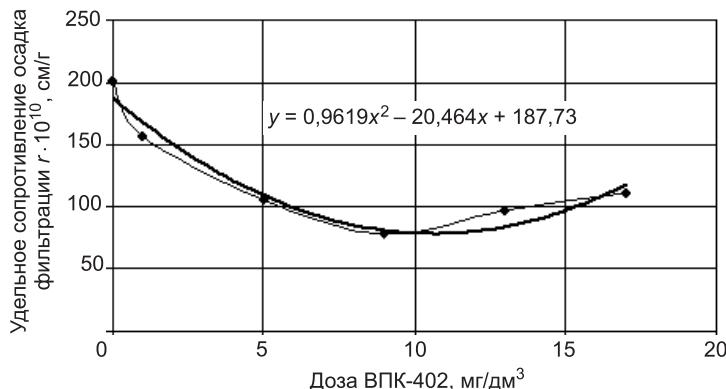


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления фильтрации осадка от дозы ВПК-402

ны в виде кривых: температурой T °C, дифференциальной ДТА, термовесовой TG и дифференциальной — термографической DTG (рис. 2).

Согласно термограммам, для исходного маслосодержащего осадка эндоэффекты характерны при $t = 160; 315; 460; 510$ °C, а экзоэффект наблюдается при $t = 650$ °C. Для осадка, обработанного ВПК-402, эндоэффекты происходят при $t = 115; 290$ и 390 °C, что возможно связано с дегидратацией Al(OH)_3 и частичным образованием байерита. При $t = 495$ °C происходит разложение байерита и дальнейший его переход в безводный окисел $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Небольшой экзотермический эффект при $t = 780$ °C объясняется переходом $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ модификацию.

Рентгенофазовый анализ, выполненный на аппарате Дрон-3, показал, что для исходного маслосодержащего осадка характерно аморфное состояние, а обработанный флокулянтом ВПК-402 осадок характеризуется повышенной степенью кристалличности, что указывает на его гетерогенную структуру с существованием аморфной и кристаллической фаз и объясняет улучшение водоотдающих свойств.

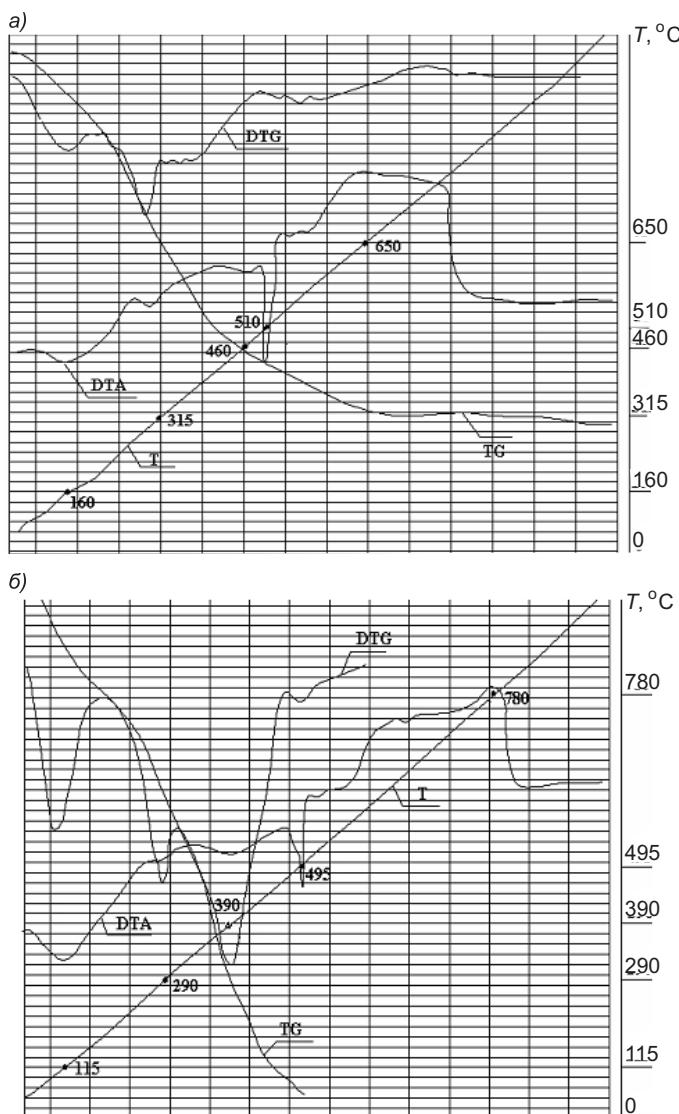


Рис. 2. Термограммы маслосодержащего осадка
а — исходный; б — обработанный ВПК-402

В настоящей работе также были изучены свойства осадков, полученных после гальванокоагуляционного обезвреживания сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , с применением различных гальванопар: железо — активированный уголь и железо — углеродминеральный сорбент, для выбора рациональных условий обработки катионным флокулянтом ВПК-402.

Свойства осадков сточных вод гальванического производства представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3
Свойства осадка (Fe—АУ)

Плотность ρ , г/см ³	Влажность W , %	Вес сухого остатка, г/дм ³	Вес прокаленного остатка, г/дм ³		Зольность, %		Потери при прокаливании, %		Удельное сопротивление фильтрации, $r \cdot 10^{10}$, см/г
			400 °C	800 °C	400 °C	800 °C	400 °C	800 °C	
1,09	94,3	56,86	39,21	37,33	68,96	65,65	31,04	34,35	115

Таблица 4
Свойства осадка (Fe—СГН)

Плотность ρ , г/см ³	Влажность W , %	Вес сухого остатка, г/дм ³	Вес прокаленного остатка, г/дм ³		Зольность, %		Потери при прокаливании, %		Удельное сопротивление фильтрации, $r \cdot 10^{10}$, см/г
			400 °C	800 °C	400 °C	800 °C	400 °C	800 °C	
1,05	96,2	38,08	26,25	24,78	68,90	65,07	31,10	34,92	154

По результатам исследований найдена оптимальная доза флокулянта ВПК-402, $D_{\phi} = 6$ мг/дм³, при этом удельное сопротивление фильтрации осадка сточных вод, содержащего ионы тяжелых металлов Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , снижается в 3 раза, влажность на 3 %.

Для изучения возможности утилизации осадка был определен его состав (F_2O_3 — 39,73 %; CaO — 21,64 %; CuO — 16,95 %; NiO — 6,63 %; ZnO — 7,20 %; MgO — 1,74 %; SO_3 — 2,84 %) с помощью рентгенофлуоресцентного анализа на приборе ARL, Optim X. Рентгеновские спектры флуоресценции приведены на рис. 3.

Класс опасности осадка был определен в соответствии с положением «Об утверждении Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» от 15 июня 2001 года № 155. Показатель степени опасности (K_i) рассчитывался по формуле:

$$K_i = C_i / W_i,$$

где C_i — концентрация i -го компонента, мг/кг;

W_i — коэффициент степени опасности i -го компонента отхода ($K_i = 823,3$), что соответствует III классу опасности (опасные, так как $10^3 > K_i > 10^2$).

На основании совместных исследований с кафедрой строительных материалов ИГУиРЭ Сибирского федерального университета установлено, что осадок, содержащий ионы тяжелых металлов, может быть использован в качестве добавки в объеме до 5 % при производстве красного керамического кирпича, при этом не проявляются его токсичные свойства за счет воздействия высоких температур (900–1200 °C), что позволяет улучшить внешний вид кирпича, значительно сократить количество трещин, повысить прочность на сжатие в 1,5 раза, на изгиб в 2 раза, снизить себестоимость, так как уменьшается температура обжига.

Для изучения возможности утилизации маслосодержащего осадка были взяты составы из гипса, воды и осадка. Нормальная густота гипсо-

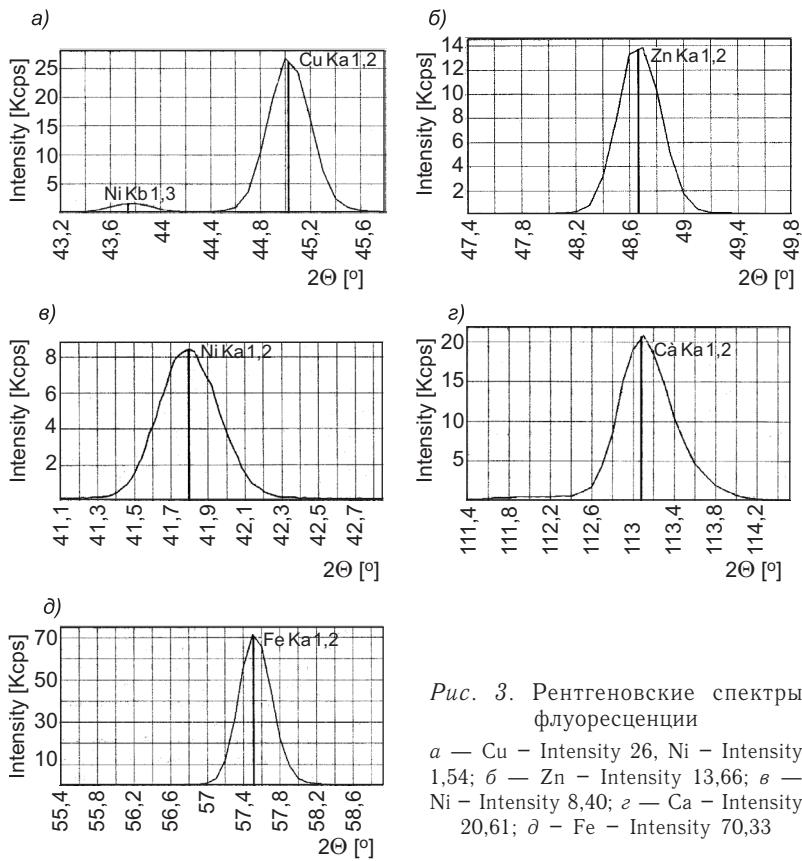


Рис. 3. Рентгеновские спектры флуоресценции

а — Cu — Intensity 26, Ni — Intensity 1,54; б — Zn — Intensity 13,66; в — Ni — Intensity 8,40; г — Ca — Intensity 20,61; д — Fe — Intensity 70,33

вого теста составляла 48 %. Из таких смесей методом литья были изготовлены образцы размером 40×40×160 мм и испытаны через 2 ч после форматирования. В результате эксперимента определено оптимальное количество осадка. Качественные показатели образцов: средняя плотность $\rho = 900 \text{ кг} / \text{м}^3$, предел прочности при сжатии $R_{\text{сж}} = 2,8 \text{ МПа}$, предел прочности при изгибе $R_{\text{изг}} = 1,5 \text{ МПа}$, что соответствует марки гипса Г-2. Для контрольных образцов, изготовленных только из гипса и воды, $\rho = 1300 \text{ кг} / \text{м}^3$, $R_{\text{сж}} = 3,2 \text{ МПа}$, $R_{\text{изг}} = 1,8 \text{ МПа}$.

Установлено, что введение добавки маслосодержащего осадка в количестве от 2 до 2,5 % обеспечивает значительное снижение средней плотности (объемной массы) гипсового камня. При этом увеличивается пористость изделий и, следовательно, улучшаются их теплоизоляционные свойства.

Выводы. Показано, что применение ВПК-402 позволяет улучшить водоотдающие свойства осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий за счет изменения их структуры для повышения производительности обезвоживающих аппаратов и снижения эксплуатационных затрат. Изучена возможность утилизации осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий в качестве добавок при производстве строительных материалов и изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Фестер, Р. Новые флокулянты для обработки осадков и шламов [Текст] / Р. Фестер // Сб. докл. Междунар. симп. «Новые технологии в обработке отходов и осадков сточных вод». — М., 1992. — С. 6–10.

2. Халтурина, Т.И. Интенсификация процесса обезвоживания осадков металлообрабатывающих предприятий [Текст] / Т.И. Халтурина, Ю.В. Хомутова, О.В. Чурбакова // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 12. — С. 69–72.
3. Власов, В.И. Обезвоживание осадков очистных сооружений г. Москвы [Текст] / В.И. Власов, М.Д. Батурова, П.И. Глазунов, А.А. Веденяпин // Инженерная экология. — 2001. — № 1. — С. 22–28.

ХАЛТУРИНА Т.И., канд. хим. наук, проф.

Сибирский федеральный университет, Институт градостроительства, управления и региональной экономики, г. Красноярск

ЧУРБАКОВА О.В., канд. техн. наук, доц.

Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, г. Красноярск

КУРИЛИНА Т.А., инж.

Сибирский федеральный университет, Институт градостроительства, управления и региональной экономики, г. Красноярск

Получено после доработки 12.05.10

Khalturina T.I., candidate of chemical sciences, professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Churbakova O.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Kurilina T.A., engineer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

AIR-CONDITIONING OF DEPOSITS OF SEWAGE THE METALCUTTING ENTERPRISES

The action of cationic flocculant VPK-402 to change the properties of sewage sludge metal enterprises. The possibility of their utilization as additives in the manufacture of building materials and products.

Key words: air conditioning, flocculants, the resistivity of filtration, sediment, sewage, recycling, construction materials.

REFERENCES

1. Fester, R. New flocculants for sludge treatment and sludge [Text] / R. Fester // Proceedings of the International Symposium "New Technologies in waste treatment and sieges Cove wastewater". — M., 1992. — P. 6–10.
2. Khalturina, T.I. Intensification of the process of dehydration of precipitation metalloobrabaty-oping enterprise [Text] / T.I. Khalturina, Yu.V. Khomutova, O.V. Churbakova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2004. — N 12. — P. 69–72.
3. Vlasov, V.I. Dehydration of deposits of treatment facilities of Moscow [Text] / V.I. Vlasov, M.D. Baturrova, P.I. Glazunov, A.A. Vedenyapin / Engineering Ecology. — 2001. — N 1. — P. 22–28.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.7/.8:528.48

Ю.В. СТОЛБОВ, С.Ю. СТОЛБОВА, Д.О. НАГАЕВ, К.С. КОКУЛЕНКО

ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСКОВ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Выполнено обоснование допусков на строительные и геодезические работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог. При определении технологических допусков на разбивочные работы и геодезический контроль при возведении автомобильных дорог для обеспечения заданного высотного положения оснований и покрытий предлагается метод расчета с учетом точности технологических процессов их устройства. Рассчитаны допуски (среднеквадратические и предельные погрешности) на строительные и геодезические работы с учетом точности технологических процессов устройства оснований и покрытий, шагов нивелирования (5, 10 и 20 м), доверительных вероятностей ($P = 0,9$ и $P = 0,95$) определения амплитуд вертикальных отметок и категорий автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильные дороги, основания и покрытия, допуски, точность, технологические процессы устройства, алгебраическая разность вертикальных отметок точек (амплитуд).

Один из основных показателей качества строительства автомобильных дорог — точность высотного положения поверхностей их оснований и покрытий.

Показатели точности устройства слоев оснований и покрытий автомобильных дорог изложены в СНиП 3.06.03–85 [1].

В этом нормативном документе при приемке выполненных работ по устройству верхних слоев покрытий рекомендуется определение вертикальных абсолютных или относительных отметок путем нивелирования с шагом 5 м.

На основании полученных вертикальных отметок предлагается вычислять алгебраические разности отметок точек (амплитуд). В то же время в п. 14.5 СНиП 3.06.03–85 приведены допускаемые отклонения амплитуд значений вертикальных отметок при нивелировании их с шагом 5, 10 и 20 м (табл. 1).

Там же отмечено, что 90 % определений должны быть в пределах указанных в табл. 1, а 10 % определений не должны превышать эти значения более чем в 1,5 раза.

Пояснений о применении шага (расстояний между точками) при определении вертикальных отметок оснований и покрытий в [1] нет.

© Столбов Ю.В., Столбова С.Ю., Нагаев Д.О., Кокуленко К.С., 2010

Таблица 1

Допускаемые значения амплитуд вертикальных отмечений оснований и покрытий

Категория дороги	Значения амплитуд, мм, при использовании комплектов машин					
	без автоматической системы задания вертикальных отмечений		с автоматической системой задания вертикальных отмечений			
	Расстояние между точками, м					
	5	10	20	5	10	20
I, II, III	7	12	24	5	8	16
IV, V, I-с, II-с и внутренние дороги промышленных предприятий	10	16	—	—	—	—

На точность высотного положения слоев оснований и покрытий оказывают влияние погрешности разбивочных и строительных работ.

Среднеквадратическая погрешность процесса по устройству оснований и покрытий определяется по выражению

$$m_t = \sqrt{(m_r)^2 + (m_c)^2}, \quad (1)$$

где m_c — среднеквадратическая погрешность строительных работ;
 m_r — среднеквадратическая погрешность геодезических работ.

В СНиП 3.06.03-85 приведены допускаемые отклонения при приемке завершенного процесса на устройство слоев оснований и покрытий без разграничения их на строительные и разбивочные работы.

Для определения допусков на разбивочные работы и геодезический контроль в процессе строительства слоев оснований и покрытий предлагается метод расчета с учетом точности технологического процесса T_n их устройства:

$$T_n = \frac{\delta_h}{m_t}, \quad (2)$$

где δ_h — допускаемые отклонения амплитуд от нормируемых в СНиП 3.06.03-85;

m_t — фактическая среднеквадратическая погрешность технологического процесса устройства слоев оснований и покрытий.

В работе [2] приведены следующие нормы точности на геодезические работы (разбивку и контроль в процессе строительства) в зависимости от T_n :

$$\begin{aligned} \text{при } T_n = 1 & \quad \delta_r = 0,45 \cdot \delta_h; \\ \text{при } T_n = 1,5 & \quad \delta_r = 0,55 \cdot \delta_h; \\ \text{при } T_n = 2 & \quad \delta_r = 0,9 \cdot \delta_h; \\ \text{при } T_n = 2,5 - 3 & \quad \delta_r = \delta_h, \end{aligned} \quad (3)$$

где δ_r — предельная погрешность на геодезические работы.

При нормировании точности геодезических и строительных работ необходимо учитывать доверительную вероятность обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [3].

Согласно п. 14.5 СНиП 3.06.03-85, при переходе от предельных к среднеквадратическим погрешностям следует принимать доверительную вероятность $P = 0,9$. В обязательном приложении 2 этого нормативного

документа при оценке качества работ на «хорошо» следует принимать $P = 0,9$, а при оценке на «отлично» — $P = 0,95$. Поэтому приведем примеры расчетов допусков на геодезические и строительные работы с учетом точности технологических процессов устройства оснований и покрытий T_n , шагов нивелирования и доверительных вероятностей определения (путем расчета) среднеквадратических погрешностей амплитуд вертикальных отметок.

Пример 1. $T_n = 1$, шаг — 5 м, $\delta_h = \pm 7$ мм (без автоматической системы задания вертикальных отметок), $P = 0,9$, нормируемый множитель при переходе от предельных к среднеквадратическим погрешностям $t = 1,645$.

Согласно [2], $\delta_r = 0,45 \cdot \delta_h = 3,15$ мм, а $m_h = 7 / 1,645 = 4,26$ мм, $m_r = 3,15 / 1,645 = 1,91$ мм.

Подставив значения m_h и m_r в выражение (1), получим значение $m_c = 3,81$ мм, предельная погрешность на строительные работы будет равна $\delta_c = 6,26$ мм.

Пример 2. $T_n = 1,5$, шаг — 10 м, $\delta_h = \pm 8$ мм (с автоматической системой задания вертикальных отметок), $P = 0,95$, нормируемый множитель при переходе от предельных к среднеквадратическим погрешностям $t = 2$.

Согласно [2], $\delta_r = 0,55 \cdot \delta_h = 4,4$ мм, а $m_h = 8 / 2 = 4,0$ мм, $m_r = 4,4 / 2 = 2,2$ мм.

Таблица 2

**Нормы точности на геодезические и строительные работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог
(без автоматической системы задания вертикальных отметок,
категория дороги I, II, III)**

№ п/п	Коэффициент точности технологического T_n процесса	Шаг нивелиро- вания, м	Нормированное значение амплитуд вертикальных отметок		Допуски на строительные работы		Допуски на геодезические работы	
			δ_h , мм	m_h , мм	δ_c , мм	m_c , мм	δ_r , мм	m_r , мм
При $P = 0,9$								
1	$T_n = 1,0$ $T_n = 1,5$ $T_n = 2,0$	5	7	4,26	6,26 5,86 3,05	3,81 3,56 1,86	3,15 3,85 6,30	1,91 2,34 3,83
2	$T_n = 1,0$ $T_n = 1,5$ $T_n = 2,0$	10	12	7,29	10,73 10,01 5,21	6,52 6,09 3,17	5,40 6,60 10,80	3,28 4,01 6,56
3	$T_n = 1,0$ $T_n = 1,5$ $T_n = 2,0$	20	24	14,59	21,43 20,04 10,46	13,03 12,59 6,36	10,80 13,20 21,6	6,56 8,02 13,13
При $P = 0,95$								
4	$T_n = 1,0$ $T_n = 1,5$ $T_n = 2,0$	5	7	3,50	6,24 5,86 3,05	3,12 2,93 1,52	3,15 3,85 6,30	1,58 1,92 3,15
5	$T_n = 1,0$ $T_n = 1,5$ $T_n = 2,0$	10	12	6,00	10,72 10,02 5,24	5,36 5,01 2,62	5,40 6,60 10,80	2,70 3,30 5,40
6	$T_n = 1,0$ $T_n = 1,5$ $T_n = 2,0$	20	24	12,00	21,44 20,04 10,46	10,72 10,02 5,23	10,80 13,20 21,60	5,40 6,60 10,80

Подставив значения m_h и m_r в выражение (1), получим значение $m_c = 3,34$ мм, предельная погрешность на строительные работы будет равна $\delta_c = 6,68$ мм.

Подобным образом выполнены расчеты допусков (предельных и среднеквадратических погрешностей) на геодезические и строительные работы при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог при различных коэффициентах точности технологических процессов ($T_n = 1,0; 1,5; 2,0$), шаге нивелирования (5, 10, 20 м), доверительных вероятностях определения погрешностей амплитуд вертикальных отметок ($P = 0,9$ и $P = 0,95$), категорий дорог, результаты приведены в табл. 2–4.

Выполненные исследования на кафедре геодезии Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ) по точности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог при их устройстве показывают, что нормы, регламентируемые в СНиП 3.06.03–85, не всегда обеспечиваются на практике. Поэтому для обеспечения заданного высотного положения поверхностей слоев оснований и покрытий автомобильных дорог необходимо налаживать технологический процесс по их устройству не по предельным нормируемым допускаемым отклонениям, а по среднеквадратическим погрешностям геодезических и строительных работ с заданной доверительной вероятностью ($P = 0,9$ или $P = 0,95$).

Таблица 3

**Нормы точности на геодезические и строительные работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог
(с автоматической системой задания вертикальных отметок,
категория дороги I, II, III)**

№ п/п	Коэффициент точности технологического T_n процесса	Шаг нивели- рова- ния, м	Нормированное значение амплитуд вертикальных отметок		Допуски на строительные работы		Допуски на геодезические работы	
			δ_h , мм	m_h , мм	δ_c , мм	m_c , мм	δ_r , мм	m_r , мм
При $P = 0,9$								
1	$T_n = 1,0$	5	5	3,04	4,46	2,71	2,25	1,37
	$T_n = 1,5$				4,18	2,54	2,75	1,67
	$T_n = 2,0$				2,18	1,33	4,50	2,74
2	$T_n = 1,0$	10	8	4,86	7,14	4,34	3,60	2,19
	$T_n = 1,5$				6,68	4,06	4,40	2,67
	$T_n = 2,0$				3,47	2,11	7,20	4,38
3	$T_n = 1,0$	20	16	9,73	14,29	8,69	7,20	4,38
	$T_n = 1,5$				13,37	8,13	8,80	5,35
	$T_n = 2,0$				6,99	4,25	14,40	8,75
При $P = 0,95$								
4	$T_n = 1,0$	5	5	2,50	4,46	2,23	2,25	1,12
	$T_n = 1,5$				4,18	2,09	2,75	1,37
	$T_n = 2,0$				2,18	1,09	4,50	2,25
5	$T_n = 1,0$	10	8	4,00	7,14	3,57	3,60	1,80
	$T_n = 1,5$				6,68	3,34	4,40	2,20
	$T_n = 2,0$				3,47	1,74	7,20	3,60
6	$T_n = 1,0$	20	16	8,00	14,29	7,14	7,20	3,60
	$T_n = 1,5$				13,37	6,68	8,80	4,40
	$T_n = 2,0$				6,99	3,50	14,40	7,20

Таблица 4

Нормы точности на геодезические и строительные работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог (без автоматической системы задания вертикальных отметок, категория дороги IV, V, I-с, II-с и внутренние дороги промышленных предприятий)

№ п/п	Коэффициент точности технологического T_n процесса	Шаг нивели- рования, м	Нормированное значение амплитуд вертикальных отметок		Допуски на строительные работы		Допуски на геодезические работы	
			δ_n , мм	m_n , мм	δ_c , мм	m_c , мм	δ_r , мм	m_r , мм
При $P = 0,9$								
1	$T_n = 1,0$	5	10	6,08	8,93	5,43	4,50	2,74
	$T_n = 1,5$				8,35	5,08	5,50	3,34
	$T_n = 2,0$				4,36	2,65	9,00	5,47
2	$T_n = 1,0$	10	16	9,73	14,29	8,69	7,20	4,38
	$T_n = 1,5$				13,36	8,12	8,80	5,35
	$T_n = 2,0$				6,97	4,24	14,40	8,75
При $P = 0,95$								
3	$T_n = 1,0$	5	10	5,00	8,93	4,46	4,50	2,25
	$T_n = 1,5$				8,35	4,18	5,50	2,75
	$T_n = 2,0$				4,36	2,18	9,00	4,50
4	$T_n = 1,0$	10	16	8,00	14,29	7,14	7,20	3,60
	$T_n = 1,5$				13,36	6,68	8,80	4,40
	$T_n = 2,0$				6,97	3,48	14,40	7,20

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги [Текст] / Госстрой СССР. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. — 106 с.
- Столбов, Ю.В. О нормировании точности контрольных измерений при монтаже строительных конструкций [Текст] / Ю.В. Столбов, В.В. Столбов // Промышленное строительство. — 1978. — № 4. — С. 29–31.
- Столбов, Ю.В. Назначение точности возведения строительных конструкций с учетом ответственности зданий и сооружений [Текст] / Ю.В. Столбов, С.Ю. Столбова // Вестник СибАДИ ; вып. 4. — Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. — С. 134–138.

СТОЛБОВ Ю.В., д-р техн. наук, проф.

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ),
г. Омск*

СТОЛБОВА С.Ю., канд. техн. наук, доц.

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ),
г. Омск*

НАГАЕВ Д.О., асп.

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ),
г. Омск*

КОКУЛЕНКО К.С., асп.

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ),
г. Омск*

СТОЛБОВА С.Ю., канд. техн. наук, доц.

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ),
г. Омск*

Получено после доработки 16.08.10

Stolbov Yu.V., doctor of technical sciences, professor, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

Stolbova S.Yu., candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

Nagaev D.O., post-graduate student, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

Kokulenko K.S., post-graduate student, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

SUBSTANTIATION OF ADMISSIONS FOR BUILDING AND GEODETIC WORKS FOR MAINTENANCE OF HIGH-RISE POSITION OF THE BASES AND COVERINGS OF HIGHWAYS

The substantiation of admissions for building and geodetic works for maintenance of high-rise position of the bases and coverings of highways is executed. At definition of technological admissions for marking works and the geodetic control at erection of highways for maintenance of the set high-rise position of the bases and coverings the method of calculation taking into account accuracy of technological processes of their device is offered. Admissions are calculated on building and geodetic works taking into account accuracy of technological processes of the device of the bases and coverings, levelling steps (5, 10 and 20 m), confidential probabilities ($P = 0,9$ и $P = 0,95$) definitions of amplitudes of vertical marks and categories of highways.

Key words: highways, the bases and coverings, admissions, accuracy, technological processes of the device, an algebraic difference of vertical marks of points (amplitudes).

REFERENCES

1. SNiP 3.06.03–85. Highways [Text] / Gosstroy of the USSR. — M. : CITP of Gosstroy of the USSR, 1985. — 106 p.
 2. Stolbov, Yu.V. Columns About rationing of accuracy of control measurements at installation of building designs [Text] / Yu.V. Stolbov, V.V. Stolbov // Industrial building. — 1978. — N 4. — P. 29–31.
 3. Stolbov, Yu.V. Destination of accuracy of erection of building designs in view of the responsibility of buildings and constructions [Text] / Yu.V. Stolbov, S.Yu. Stolbova // Bulletin SibADI ; num. 4. — Omsk : Publishing house SibADI, 2006. — P. 134–138.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001.24

Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, Н.М. ДРОЗДОВ,
Н.М. ДЬЯЧКОВ, О.В. ТКАЧЕНКО

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ УДАРНЫЙ МЕХАНИЗМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ВЫПУСКНЫМ КАНАЛОМ ДЛЯ ПРОХОДКИ СКВАЖИН В ГРУНТОВЫХ СРЕДАХ

Рассматривается случай с выпуском отработавшего воздуха через центральный трубопровод в среду с противодавлением.

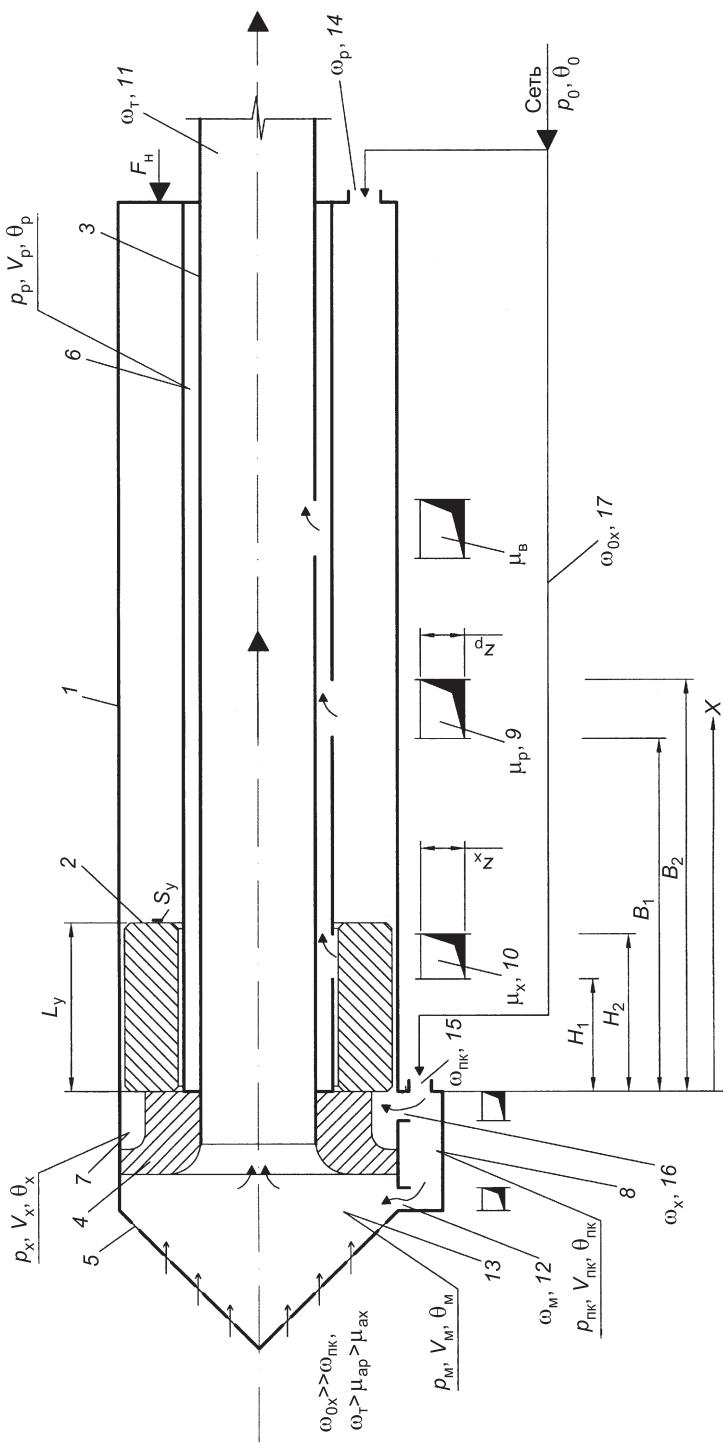
Ключевые слова: корпус, ударник, наковальня, давление, температура, канал выпуска, канал впуска.

Принципиальная схема пневматического механизма представлена на рисунке, где: 1 — корпус; 2 — ударник; 3 — трубопровод; 4 — наковальня; 5 — рабочий инструмент с перфорированной конической поверхностью; 6 — камера рабочего хода с объемом V_p , давлением p_p , температурой θ_p воздуха; 7 — камера холостого хода с объемом V_x , давлением p_x и температурой θ_x воздуха; 8 — предкамера присоединенного объема камеры холостого хода с объемом V_{pk} , давлением p_{pk} и температурой θ_{pk} воздуха; 9 — канал выпускной камеры рабочего хода с проходным сечением μ_p ; 10 — канал выпускной камеры холостого хода с проходным сечением μ_x ; 11 — канал выпускной трубопровода с проходным сечением ω_t ; 12 — канал выпускной продувочный с проходным сечением ω_m ; 13 — камера продуктопровода с объемом V_m , давлением p_m воздуха и температурой θ_m ; 14 — канал впуска воздуха из сети с проходным сечением ω_p в камеру 6 рабочего хода; 15 — канал впуска воздуха из сети в предкамеру 8 с проходным сечением ω_{pk} ; 16 — канал впуска воздуха из предкамеры 8 с проходным сечением ω_x в камеру 7 холостого хода; 17 — канал впуска воздуха с давлением p_0 и температурой θ_0 в предкамеру 8 с проходным сечением ω_{0x} ; z_p , z_x — условная ширина канала выпуска отработавшего воздуха из камер рабочего и холостого ходов; L_y , S_y — длина и кольцевая площадь диаметрального сечения ударника массой m_y ; H_1 , H_2 — координаты канала выпуска из камеры холостого хода; B_1 , B_2 — координаты выпуска из камеры рабочего хода.

Пневматический ударный механизм с дроссельным воздухораспределением (ДПУМ) работает следующим образом.

Из сети воздух поступает одновременно по выпускным каналам 14 и 15 в камеру рабочего хода 6 и предкамеру 8 соответственно. Из предкамеры 8 по каналу 16 воздух движется в камеру 7 холостого хода и по каналу 12 в камеру 13 продуктопровода и далее, вместе с частицами грунта воздух достигает канала выпускного трубопровода. Поскольку камера 6

© Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дроздов Н.М., Дьячков Н.М., Ткаченко О.В., 2010



рабочего хода сообщена радиальным выпускным каналом 9 трубопровода 3 и выпускным каналом 18 с атмосферой, то давление воздуха в камере 6 рабочего хода будет близко к атмосферному, так как проходное сечение радиального выпускного канала 9 существенно больше в сравнении с проходным сечением канала впуска 14. Под действием возрастающего давления воздуха со стороны камеры 7 холостого хода ударник 2 начнет свое движение, совершая холостой ход.

Перемещаясь, ударник 2 перекрывает радиальный выпускной канал 9, вследствие чего давление воздуха в камере 6 рабочего хода будет повышаться за счет сжатия отсеченного в ней воздуха и воздуха, поступающего через канал впуска 14.

При перемещении ударник 2 откроет радиальный выпускной канал 10 и из камеры 7 холостого хода произойдет выпуск отработавшего воздуха в радиальный выпускной канал 18, т.е. в атмосферу. Несмотря на поступление воздуха в предкамеру 8 из сети, давление воздуха в камере 7 холостого хода установится близким атмосферному.

Ударник 2 под действием импульса, приобретенного со стороны камеры 7 холостого хода, будет продолжать перемещаться, сжимая воздух в камере 6 рабочего хода.

Исчерпав импульс давления холостого хода, ударник остановится и сразу же под действием давления воздуха со стороны камеры 6 рабочего хода начнет перемещение в сторону наковальни 4, совершая рабочий ход. Перемещаясь, ударник 2 перекроет радиальный выпускной канал 10 и в камере 7 холостого хода начнется процесс сжатия отсеченного в ней воздуха с повышением давления, которое передается через предкамеру 8 в камеру продуктопровода.

Продолжая перемещение к наковальне 4, ударник 2 наносит удар по рабочему инструменту. После этого описанный процесс будет повторяться с той лишь разницей, что движение ударника при холостом ходе будет осуществляться за счет приобретенного импульса давления и импульса отскока от наковальни.

Физико-математическое описание рабочего процесса дроссельного пневмоударного механизма (ДПУМ), представленного на рисунке, приведем с ограничительными условиями: проходное геометрическое сечение канала 11 выпуска постоянно ($\omega_t = \text{const}$); проходные геометрические сечения каналов 12, 14, 15, 16 постоянны; проходные геометрические сечения каналов 9, 10 изменяются в зависимости от положения ударника; объем поступающего грунта в камеру 13 не влияет на изменение давления воздуха в камере; выпуск отработавшего воздуха из камер 6, 7 в канал трубопровода 3 не создает противодавления в нем, поскольку $\omega_t > \mu_{ap} > \mu_{ax}$ и $p_m \geq p_t \geq p_a$, так как давление поддерживается вентилятором; температура воздуха в системе ДПУМ пропорциональна изменению давления воздуха.

Процессы перетечек и утечек в физико-математическом описании для контактных пар: трубка — ударник, ударник — корпус опущены.

Учитывая отмеченное, описание рабочего процесса можно представить в виде:

$$\begin{cases} \frac{dp_p}{dt} = \frac{k}{V_p - x_y S_y} \left[W(\omega_p \varphi_p - \mu_{ap} \varphi_{ap}) + p_p \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{dp_{pk}}{dt} = \frac{k}{V_{pk}} [W(\omega_{pk} \varphi_{pk} + \omega_x \varphi_x - \omega_m \varphi_m)], \\ \frac{dp_x}{dt} = \frac{k}{V_x - x_y S_y} \left[W(\omega_x \varphi_x - \mu_{ax} \varphi_{ax}) - p_x \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{dp_m}{dt} = \frac{k}{V_m} [W(\omega_m \varphi_m - \omega_t \varphi_t)], \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{d^2x_y}{dt^2} = \frac{S_y(p_x - p_p)}{m_y} & \text{при } x_y > 0, \\ \left(\frac{dx_y}{dt}\right)_0 = -k_y \left(\frac{dx_y}{dt}\right)_y & \text{при } x_y \leq 0, \\ \frac{d^2x_k}{dt^2} = \frac{S_y(p_x - p_p) - F_k}{m_k} & \text{при } x_k > 0, \\ \left(\frac{dx_k}{dt}\right)_0 = -k_k \left(\frac{dx_k}{dt}\right)_k & \text{при } x_k \leq 0. \end{cases} \quad (1)$$

В (1) и следующие зависимости не включены описания перетечек и утечек между контактными парами стержень — ударник, ударник — корпус — цилиндр.

В (1) обозначены: $W = \sqrt{\frac{2kR}{k-1}}$, где k — показатель процесса, R — газо-вая постоянная;

k_y, k_k — коэффициенты «отскока», определяемые отношением скоростей ударника и корпуса после удара и до удара ударника; F_k — усилие трения корпуса ДПУМ в рабочем процессе при движении в грунтовой среде; $\varphi_{ap}, \varphi_{ax}, \varphi_p, \varphi_x, \varphi_{pk}, \varphi_m, \varphi_t$ — бародинамические функции в виде аналогов функций Сен-Бенана — Вантцеля:

$$\varphi_i = \begin{cases} 0,5283 > \frac{p_i}{p_j} & p_j \cdot \sqrt{\theta_j} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq \frac{p_i}{p_j} & p_j \cdot \sqrt{\theta_j} \cdot \sqrt{(p_i / p_j)^{2/k} - (p_i / p_j)^{(k+1)/k}}, \\ 0,5283 > \frac{p_j}{p_i} & -p_i \cdot \sqrt{\theta_i} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq \frac{p_j}{p_i} & -p_i \cdot \sqrt{\theta_i} \cdot \sqrt{(p_j / p_i)^{2/k} - (p_j / p_i)^{(k+1)/k}}. \end{cases}$$

Функции проходных геометрических сечений μ_{ap}, μ_{ax} в зависимости от координат положения ударника:

$$\mu_{ap} = \begin{cases} (x_y + L_y) > B_2 & 0, \\ B_1 \leq (x_y + L_y) < B_2 & (B_2 - (x_y + L_y)) \cdot z_p, \\ (x_y + L_y) \leq B_1 & (B_2 - B_1) \cdot z_p; \end{cases}$$

$$\mu_{ax} = \begin{cases} x_y < H_1 & 0, \\ H_1 \leq x_y < H_2 & (H_2 - x_y) \cdot z_x, \\ x_y > H_2 & (H_2 - H_1) \cdot z_x. \end{cases}$$

Функция проходных геометрических сечений ω_x в камере холостого хода будет постоянна:

$$\omega_x = \text{const.}$$

Размеры выпускных каналов $\mu_b, \omega_t, \omega_m$ (см. рисунок) соответствуют условию $\mu_b = \mu_p + \mu_x$, $\omega_t >> \mu_b$ и $\omega_m < \omega_x$.

При условии рассмотрения работы ДПУМ с учетом температурных изменений воздуха в камерах необходимо ввести в (1) соответствующие зависимости:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\theta_p}{dt} = \frac{\theta_p}{p_p \cdot (V_p + x_y \cdot S_y)} \left[W \cdot (\omega_p \varphi_p \Omega_p - \mu_{ap} \varphi_{ap} \Omega_{ap}) + (k-1) \cdot p_p \cdot \frac{dx_y}{dt} \cdot S_y \right], \\ \frac{d\theta_{pk}}{dt} = \frac{\theta_{pk}}{p_{pk} \cdot V_{pk}} [W \cdot (\omega_{pk} \varphi_{pk} \Omega_{pk} - \omega_x \varphi_x \Omega_x)], \\ \frac{d\theta_x}{dt} = \frac{\theta_x}{p_x \cdot (V_x + x_y \cdot S_y)} \left[W \cdot (\omega_x \varphi_x \Omega_x - \mu_{ax} \varphi_{ax} \Omega_{ax}) - (k-1) \cdot p_x \cdot \frac{dx_y}{dt} \cdot S_y \right], \\ \frac{d\theta_m}{dt} = \frac{\theta_m}{p_m \cdot V_m} [W \cdot (\omega_m \varphi_m \Omega_m - \omega_t \varphi_t \Omega_t)]. \end{array} \right. \quad (2)$$

Здесь $\theta_p, \theta_x, \theta_{pk}, \theta_m$ — температуры воздуха в камерах рабочего и холостого ходов, предкамере холостого хода и камере массоприема;

$\Omega_p, \Omega_x, \Omega_{pk}, \Omega_m$ — термодинамические функции изменения процесса расхода воздуха в зависимости от φ_i в камерах рабочего и холостого ходов, предкамере холостого хода и камере массоприема.

Зависимые от показателя процесса термодинамические функции $\Omega_p, \Omega_x, \Omega_{pk}, \Omega_m$ с учетом направления истечения воздуха:

$$\varphi_p > 0; \varphi_p \leq 0; \varphi_x > 0; \varphi_x \leq 0; \varphi_{pk} > 0; \varphi_{pk} \leq 0; \varphi_m > 0; \varphi_m \leq 0$$

записываются как и в работах [1, 2] с учетом $\Omega_{ij} = k - (\theta_i / \theta_j)$ при $\varphi_{ij} > 0$ и $\Omega_{ij} = (k-1)$ при $\varphi_{ij} \leq 0$ (θ_i, θ_j — температура воздуха в камерах, куда и откуда осуществляется истечение).

Следует принимать во внимание особенности учета комплексов (1) $\omega_i \varphi_i, \mu_{ai} \varphi_{ai}$ при впуске и выпуске воздуха в среду с давлением, близким к атмосферному:

$$\omega_p \varphi_p \leq \omega_0 \varphi_0, \omega_x \varphi_x \leq \omega_0 \varphi_0,$$

где $\omega_0 \varphi_0$ — параметры сетевого воздуха, в среду с противодавлением $p_n > p_a$:

$$\mu_{ap} \varphi_{ap} = \mu_{pr} \varphi_{pr}, \mu_{ax} \varphi_{ax} = \mu_{px} \varphi_{px},$$

где $\mu_{pr} \varphi_{pr}, \mu_{ax} \varphi_{ax}$ — параметры воздуха в среде с противодавлением при выпуске из камер рабочего и холостого ходов.

В случае отсутствия камеры V_{pk} и без отбора из нее воздуха на продувку следует:

$$\frac{dp_{pk}}{dt} = 0; \quad \frac{d\theta_{pk}}{dt} = 0. \quad \frac{dp_m}{dt} = 0; \quad \frac{d\theta_m}{dt} = 0.$$

При наличии камеры V_{pk} , но без продувки:

$$\frac{dp_{pk}}{dt} = \frac{k}{V_{pk}} [W \cdot (\omega_{pk} \varphi_{pk} \Omega_{pk} - \omega_x \varphi_x \Omega_x)],$$

также

$$\frac{d\theta_{pk}}{dt} = \frac{\theta_{pk}}{p_{pk} \cdot V_{pk}} [W \cdot (\omega_{pk} \varphi_{pk} \Omega_{pk} - \omega_x \varphi_x \Omega_x)].$$

Приведенным перечнем уравнений и допущений представляется возможным определить количественные характеристики различных настроек пневмоударного механизма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменков, Д.Э. Теория дроссельных пневматических механизмов и разработка типоразмерного ряда ручных машин ударного действия для строительства : автореф. дис. ... д-ра техн. наук [Текст] / Д.Э. Абраменков. — Омск, 2004. — 45 с.
2. Абраменков, Э.А. Создание ручных машин ударного действия с дроссельным воздушораспределением : автореф. дис. ... д-ра техн. наук [Текст] / Э.А. Абраменков. — Новосибирск, 1989. — 48 с.

АБРАМЕНКОВ Д.Э., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

АБРАМЕНКОВ Э.А., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ДРОЗДОВ Н.М., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ДЬЯЧКОВ Н.М., студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ТКАЧЕНКО О.В., студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 25.05.10

Abramenkov D.E., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Abramenkov E.A., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Drozdov N.M., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Dyachkov N.M., student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Tkachenko O.V., student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THE PNEUMATIC SHOCK MECHANISM WITH THE CENTRAL FINAL CHANNEL FOR DRIVING CHINKS IN SOIL ENVIRONMENTS

The case with release of fulfilled air through the central pipe duct on environment with counterpressure is considered.

Key words: case, striker, anvil, pressure, temperature, channel of an outlet, channel of an intake.

REFERENCES

1. Abramenkov, D.E. Theory of throttle pneumatic mechanisms and working out of a typical dimensional number of manual machines of shock action for building : author's abstract of dissertation... doctor of technical sciences [Text] / D.E. Abramenkov. — Omsk, 2004. — 45 p.
2. Abramenkov, E.A. Creation of manual machines of shock action with throttle air-distribution: author's abstract of dissertation... doctor of technical sciences [Text] / E.A. Abramenkov. — Novosibirsk, 1989. — 48 p.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 72.01

Е.Г. ИВАНОВА

РУССКИЕ СРЕДНЕВЕКОВЫЕ И СУПРЕМАТИЧЕСКИЕ АНСАМБЛИ: КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ

Рассматривается композиционное строение архитектурных ансамблей разных культурно-временных эпох: русских средневековых и супрематических. Выявлен сходный композиционный принцип рассматриваемых ансамблей — нерегулярность (живописность планировки, самостоятельность и индивидуальность архитектурных объемов). Установлен один общий импульс, лежащий в основе нерегулярной композиции средневековых и супрематических ансамблей, — свободное следование функции и художественное осмысление функциональных процессов.

Ключевые слова: композиция, целостность, архитектурный ансамбль, нерегулярность композиции, средневековые, супрематизм.

Основная проблема и цель архитектурной и градостроительной композиции как процесса творческой деятельности — достижение художественной целостности своих произведений. Целостность определяется как внутреннее единство объекта, его относительная автономность и независимость от окружающей среды. Типы целостности и механизмы ее достижения в композиции очень разнообразны и могут быть связаны с мировоззрением общества, с конкретными авторскими предпочтениями и т.д. Например, целостность композиций классических и неклассических (исторических доклассических, внеклассических и современных) строится на принципиально различных основаниях.

Рассматривая композиционную целостность в градостроительном масштабе, нельзя обойти вниманием феномен архитектурного ансамбля как высшего проявления целостности на разных уровнях (композиционно-морфологическом, знаково-символическом и образном). При этом выявляются два полюса, к которым тяготеют ансамбли по типу композиции — ансамбли с регулярной и нерегулярной организацией.

В основе регулярности лежат, как правило, ясно и недвусмысленно выявляемые в общей планировке и элементах ансамбля геометрические универсалии¹. В качестве отличительных признаков регулярности можно выявить следующие позиции:

— способ образования композиции — от целого к частям, т.е. деление целого на части. Степень самостоятельности, свободы и индивидуальности частей крайне низка;

¹ Ограничено число отвлеченных устойчивых геометрических схем, фигур, на которые опирается в своей основе все многообразие создаваемых человеком форм и пространств. Это идеальные модели, структурные «первоформулы», предельные обобщения форм и пространств (простые геометрические фигуры: круг, квадрат, крест и их комбинации) [1].

- наличие единой правильной закономерности (ритмической, метрической и т.д.), жесткая координация элементов относительно композиционных центров и осей;
- присутствие правильной геометрии в структуре и элементах ансамбля;
- визуальный фактор: ясность и отчетливость восприятия целого за счет выявления порядка (отношений главного и второстепенного, геометрической структуры).

Полюс нерегулярности характеризуется противоположными характеристиками. Это объекты, в которых композиция строится, в основном, от частей к целому, т.е. путем присоединения относительно самостоятельных элементов; преобладает живописность, видимая «случайность», не предвзятость в расположении частей.

Конечно, противопоставление регулярного и нерегулярного относительно, зачастую при анализе композиции конкретного архитектурного или градостроительного объекта речь идет о том или ином соотношении обоих приемов.

Ансамбли с определенной долей нерегулярности в объемно-планировочной структуре представляют особенный интерес в современный период, который характеризуется отсутствием монологичности мышления в архитектурно-градостроительной сфере, невозможностью тотального контроля архитектуры каждого объекта и жестких градостроительных регулирующих норм. Архитектору часто приходится работать в трудных условиях, встраиваясь в сложный, быстро меняющийся градостроительный контекст. Поэтому интересно изучить соотношение общего и индивидуального, свободы и подчинения в нерегулярных ансамблях со сложной целостностью.

В процессе рассмотрения материала отечественного градостроительства и архитектуры была зафиксирована определенная композиционно-морфологическая общность большинства русских средневековых и некоторой части супрематических ансамблей (рис. 1).

Разумеется, эти ансамбли принадлежат к различным эпохам. В основе большинства русских средневековых ансамблей лежит естественный, постепенный способ образования, учет природного ландшафта, опора на традиции, преемственность и каноны. Супрематизм характеризуется искусственным, единовременным способом образования, зачастую игнорированием окружения, он декларирует новаторство и отрицание прошлого. Однако при всех мировоззренческих и внешнеморфологических различиях этих типов ансамблей (стилистических, силуэтных, отношений открытости–замкнутости) обнаруживаются некоторые черты нерегулярности в их композиции:

- 1) относительно «свободная», сложная, асимметричная и живописная планировка;
- 2) организация ансамбля из разнообразных, индивидуальных, «свободно плавающих», относительно композиционно самостоятельных, но связанных с целым элементов.

Рассмотрим, чем определялись эти две позиции. В качестве основного примера для исследования нерегулярности в русском средневековом ансамбле выбрана Троице-Сергиева лавра как ансамбль, явившийся образцом для многих других монастырских обителей, как наиболее хорошо сохранившийся, разностильный, многослойный ансамбль с постепенным развитием (см. рис. 1, в). В качестве примера супрематического ансамбля приведен проект Кинофабрики И. Леонидова (см. рис. 1, г, д). В нем наиболее ярко проявилась сложность и живописность планировки, заявленная «стилистическим модулем» родоначальника супрематизма, художника К. Малевича. Общая формула супрематизма, найденная Малевичем в жи-

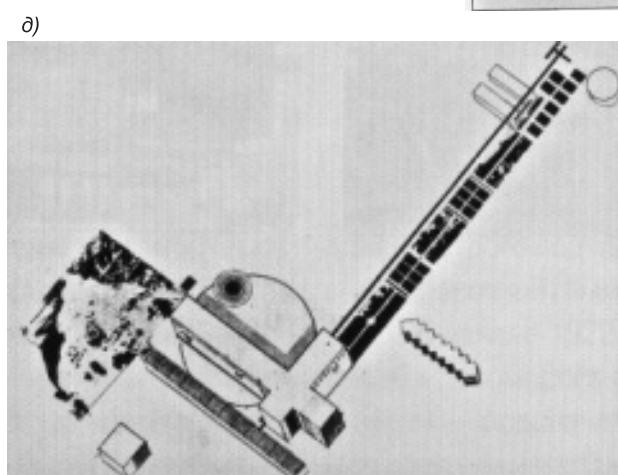
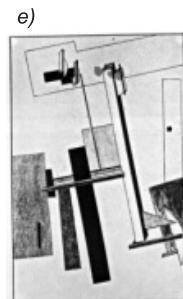
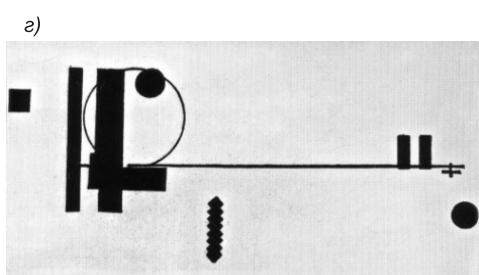
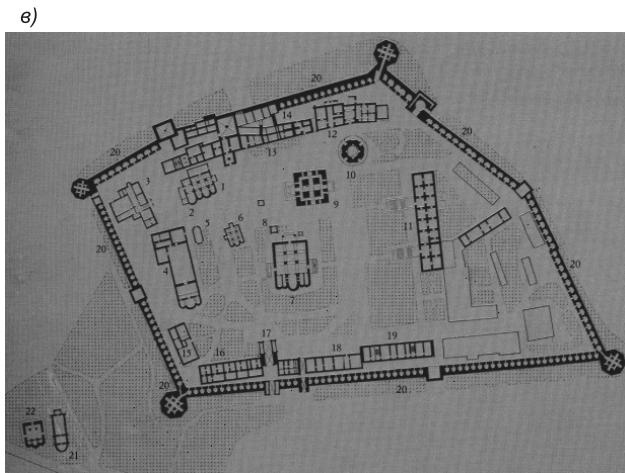
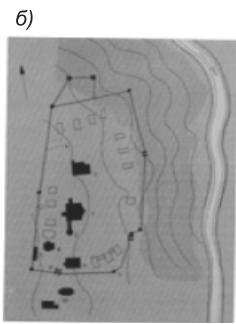
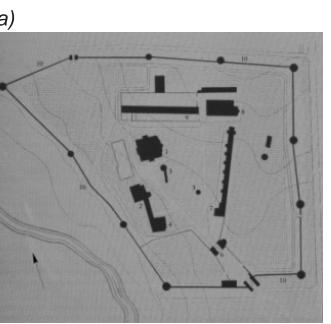


Рис. 1. Планировки русских монастырских средневековых и супрематических ансамблей
а — Спасо-Евфимиевский монастырь в Суздале; б — Покровский монастырь в Суздале; в — Троице-Сергиева лавра; г — И. Леонидов. Кинофабрика в Москве на Ленинских горах. Конкурсный проект. Генплан, 1927; д — то же, аксонометрия; е — Л. Лисицкий. Проун, 1920–1921

вописи, состоит в выявлении художественных возможностей простой геометрической формы и сложных объемно-пространственных композиций, единство которых обеспечивается внешнестилистической упорядоченностью. Еще один важный момент «стилистического модуля» Малевича — составление композиций из элементов, плавающих в бесконечном пространстве [2]. То есть составляющие композицию элементы регулярны, а в их пространственных комбинациях преобладает нерегулярность (рис. 2). «Полиморфные, не геометрические, не подчиненные выраженному общему порядку формы и пространства, подобные супрематическим композициям, складываются чаще всего из четко организованных частей. В этом случае упорядоченность, геометризм составляющих как бы подчеркивает, усиливает ощущение неорганизованности, хаотичности целого» [1, с. 40]. Конечно, по сравнению с живописью Малевича, в проекте Кинофабрики импульс иррациональности, напряжения и экспрессивности сильно снижен и проявляется больше жесткости и регламентации.

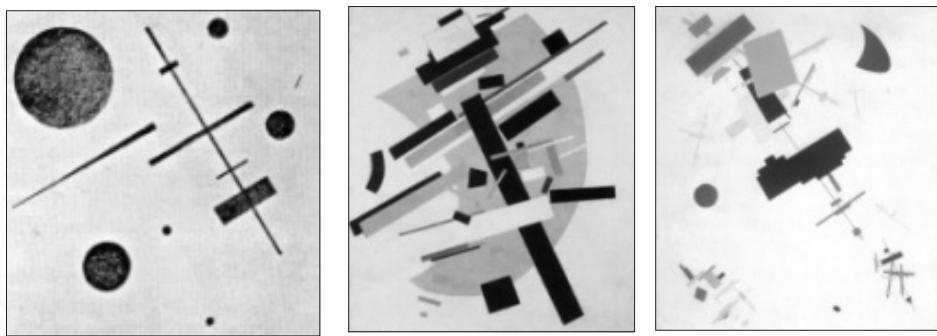


Рис. 2. Супрематическая живопись К. Малевича 1914–1916 гг.

Одной из причин сложной живописной нерегулярной планировки в древнерусской традиции можно считать свободное развитие функции и художественное, эстетическое воплощение этого развития. Планировки русских монастырей до конца XVII в. носят «функционально-живописный» характер и противопоставляются более поздним геометрически правильным симметричным планам. Конечно, планировку Троице-Сергиевой лавры, возникшей в XIV в., нельзя назвать абсолютно нерегулярной. Вначале монастырь действительно представлял обнесенную оградой группу жилых келий, свободно раскинувшихся вокруг небольшой церкви, где каждый монах выбирал себе место для кельи, возделывал огород и вел свое отдельное хозяйство. Однако позже в монастыре был введен строгий устав общинной жизни, и в связи с новым жизненным укладом потребовалось строительство специальных общих зданий (трапезной, пекарни и других построек) и перестройка всего монастыря. В планировке появились черты регулярности: прямоугольное каре келий окружало церковь и трапезную. «Эту правильную схему плана монастырь пронес через все последующие столетия и сохранил до наших дней. Его “четверообразная”² планировка, восходящая к середине XIV века, является древнейшей из известных примеров подобного построения, получившего широкое распространение на Руси при строительстве укрепленных городов и монастырей» [3]. И все же планировку монастыря можно классифицировать как правильную лишь в схеме, с тенденцией к регулярности, но живописную и без чистой геометрии (неправильность четырехугольной формы ограды и каре, несимметричное рас-

² Форма прямоугольного четырехугольника.

положение входов, различная форма башен ограды и неравные расстояния между ними и т.д.).

Что касается индивидуальности и самостоятельности архитектурных объемов древнерусского ансамбля, то одним из влияющих на эти качества факторов был принцип свободного развития композиции по мере изменения жизненных процессов. Общий композиционный прием построения зданий, так называемый «срубный прием», «был основан на сочетании срубов, перекрытых каждый своей крышей и подчас возникавших по мере надобности в направлении, продиктованном жизненными потребностями» [4, с. 99]. Этот композиционный прием трансформировался на протяжении длительного времени, деревянное исполнение сменилось каменным, но основной его качественный признак оставался неизменным: «живописный, свободный, иррегулярный характер сочетания отдельных частей объемно-пространственной композиции всего здания, при их сильно подчеркнутой относительной самостоятельности». «Живописность планового и объемного построения зданий, вытекавшая из объективных материальных условий, была эстетически осмыслена древними зодчими, сумевшими создавать неповторимые по разнообразию и художественной выразительности сооружения» [4, с. 100–102].

В ансамбле Троице-Сергиевой лавры присутствуют как отдельно стоящие монообъемы, так и сложные здания-конгломераты объемов. Можно утверждать, что последние являются собой пример «срубного приема» композиции (рис. 3, в, г). Естественно, что функциональные импульсы развития композиции всего монастырского ансамбля и его элементов, направление и архитектурно-градостроительная организация жизненных процессов были тесно переплетены с символическими аспектами, зависели от православных ценностей и традиций.

В супрематических ансамблях функция как один из факторов влияла на композиционные качества живописности планировки и на богатство, разнообразие и самостоятельность его составных элементов. «В конкурсном проекте кинофабрики Леонидов стремился дать возможность многих вариаций объемно-пространственной композиции при съемке. Отсюда редкая для его произведений сложность и живописность планировки, различная конфигурация зданий в плане: Г-образная, в виде вытянутого прямоугольника, квадрата или круга, пилообразная. Здания образуют выразительный ансамбль, отдаленно напоминающий супрематические композиции К. Малевича ...» [2, с. 478–479]. «Проект Кинофабрики — образец остро контрастной и динамичной композиции, необычайно богатой ритмически»³.

При рассмотрении вопросов композиции отдельных объемов в супрематизме следует обратиться, прежде всего, к объемному супрематизму К. Малевича — архитекторам. Архитекторы — «своеобразные эскизные модели экспериментальных архитектурных композиций..., в которых различные по форме и размерам параллелепипеды (горизонтальные и вертикальные) примыкают или как бы врезаются друг в друга под прямым углом» [2, с. 103] (см. рис. 3, д, е). Можно заметить сходство этих объектов с многосложными образованиями русской средневековой архитектуры. Правда, в процессе композиционного поиска Малевич абстрагировался от функционального назначения архитекторов и связанных с этим ограничений и был сосредоточен исключительно на живописном, эстетическом значении форм. В архитектонах были отработаны новые композици-

³ Хан-Магомедов С.О. Супрематизм и архитектура (проблемы формообразования). М.: Архитектура-С, 2007. С. 506.

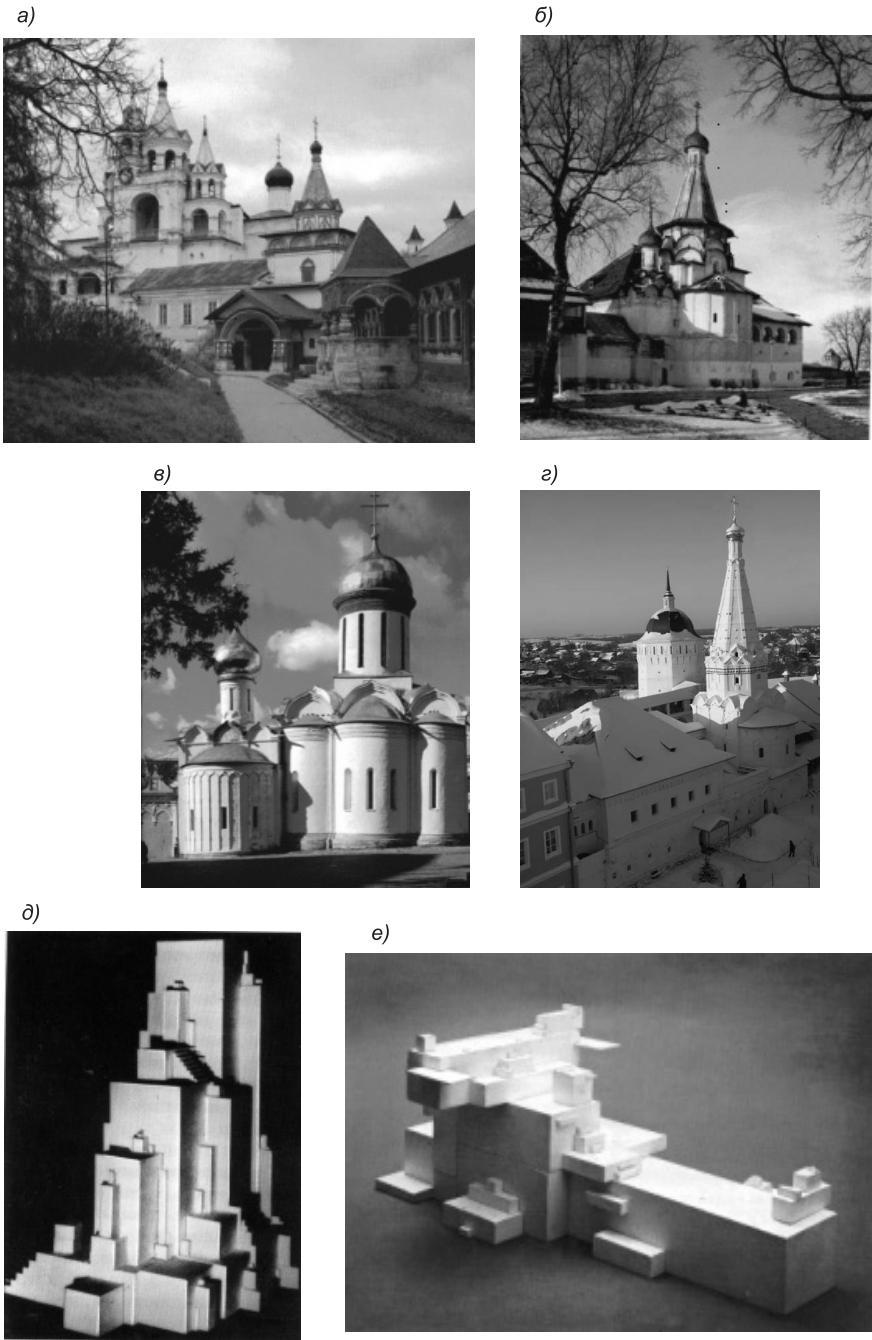


Рис. 3. Архитектурные объемы русских средневековых ансамблей и архитектоны К. Малевича

а — колокольня Саввино-Сторожевского монастыря; *б* — Успенская трапезная церковь Спасо-Евфимиевского монастыря; *в* — Троицкий собор с Никоновским приделом Троице-Сергиевой лавры; *г* — больничные палаты с церковью Зосимы и Савватия в Троице-Сергиевой лавре; *д* — К. Малевич. Архитектон «Зета», 1925—1926 гг.; *е* — К. Малевич. Архитектон «Альфа», 1923—1924 гг.

онные приемы, ценные для архитекторов: новая тектоника (сдвиги и консольные нависания объемов), асимметрия, «контрастные масштабные сопоставления, непрерывное изменение общей объемно-пространственной композиции по мере обхода сооружения» [2, с. 104]. Но ведь асим-

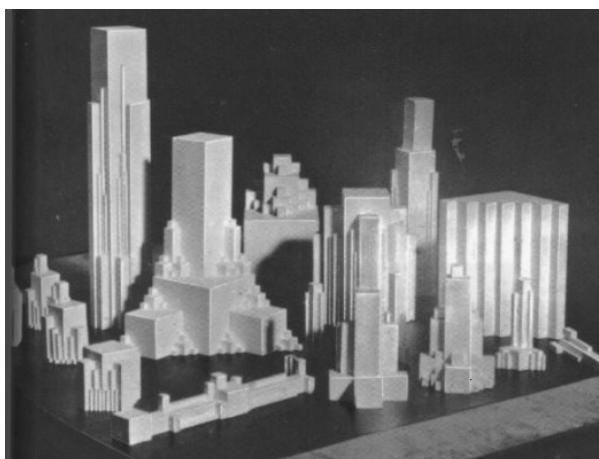
метрия, масштабные контрасты и живописная изменчивость объемов — все это присуще средневековой русской архитектуре (см. рис. 3, *a—e*)!

При сравнении силуэтов средневекового и супрематического ансамблей также можно видеть определенное сходство: концентрация вертикалей, расположенных в нерегулярном порядке, полиморфность и сложность, «многоголосное звучание» архитектурной композиции (рис. 4).

а)



б)



*Рис. 4. Панорамы средневекового и супрематического ансамблей
а — Троице-Сергиева лавра. Вид с юго-востока; б — К. Малевич (при участии Н. Суетина). Композиция из архитектонов («город»)*

Ансамбли Леонидова состояли, как правило, из композиционно простых архитектурных объемов. Но общий принцип самостоятельности элементов ансамбля сближает Леонидовские супрематические ансамбли с русскими средневековыми ансамблями. «...у Леонидова каждый элемент композиции индивидуализирован (например, выносной лифт). Ансамбль в его проектах — это содружество самостоятельных индивидуальностей, а не приатиков одной формы. В его концепции формы принцип самостоятельности архитектурных элементов играл важную роль. В его проектах каждый элемент композиции или ансамбля можно прочесть отдельно (независимо) и каждый обогащает целое» [2, с. 479].

Следует заметить, что в ансамблях Леонидова функционально-конструктивные проблемы были осмыслены художественно, эстетически, хотя

сам он, будучи конструктивистом, считал рациональный подход в формообразовании доминирующим.

Итак, в качестве общего фактора, влияющего на разнообразие, асимметричность и живописность планировочных композиций русских средневековых и супрематических ансамблей, выделено художественное осмысление функциональных процессов. При этом необходимо подчеркнуть один важный нюанс. В средневековых ансамблях развитие функции способствовало постепенному, естественному приращению архитектурного ансамбля, который всегда мог дополняться новыми элементами, в том числе иного стиля, и оставаться при этом целостным на разных этапах своего развития. В супрематических ансамблях функциональная программа назначалась заранее, тем самым ансамбль имел с самого начала фиксированную форму, видимо, не рассчитанную на дополнение никакими элементами, тем более стилистически инородными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боков, А.В. Геометрические основания архитектуры и картина мира [Текст] / А.В. Боков. — М., 1995. — 176 с.
2. Хан-Магомедов, С.О. Архитектура Советского авангарда. В 2 кн. Кн. 1 : Проблемы формообразования. Мастера и течения [Текст] / С.О. Хан-Магомедов. — М. : Стройиздат, 1996. — 709 с.
3. Балдин, В.И. Архитектурный ансамбль Троице-Сергиевой лавры [Текст] / В.И. Балдин. — М. : Искусство, 1976. — С. 104.
4. Шемякин, Г.А. Закономерности развития некоторых композиционных приемов [Текст] / Г.А. Шемякин // Вопросы теории архитектурной композиции : сб. науч. трудов. — М., 1958. — № 2. — С. 98–122.

ИВАНОВА Е.Г., асп.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено 04.08.10

Ivanova E.G., post-graduate student, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

RUSSIAN MEDIEVAL AND SUPREMATIST ENSEMBLES: COMPOSITES PARALLELS

We consider the composite structure ensembles related to different cultural epochs: the medieval Russian and Suprematist. Revealed similar compositional principle considered ensembles — irregular (open plan, independence and individuality of architectural volumes). Have one common impulse that underlies the irregular arrangement of medieval and Suprematist ensembles — free to follow function, and artistic interpretation of functional processes.

Key words: a composition, integrity, architectural ensemble, irregular arrangement, middle ages, suprematism.

REFERENCES

1. Bokov, A.V. Geometric foundation of architecture and painting the world [Text] / A.V. Bokov. — M., 1995. —176 p.
2. Khan-Magomedov, S.O. Architecture of Soviet Avant-Garde. Book. 1 : Problems of form generation. Masters and trends [Text] / S.O. Khan-Magomedov. — M. : Stroyizdat, 1996. — 709 p.
3. Baldin, V.I. Architectural ensemble of the Trinity-Sergius Lavra [Text] / V.I. Baldin. — M. : Art, 1976. — 144 p.
4. Shemyakin, G.A. Patterns of development of some composite devices [Text] / G.A. Shemyakin // Reviews of the architectural composition: a collection of scientific papers. — M., 1958. — N 2. — P. 98–122.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 539.3:624.04

В.И. АНДРЕЕВ, Е.В. БАРМЕНКОВА, А.В. МАТВЕЕВА

О НЕЛИНЕЙНОМ ЭФФЕКТЕ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИИ И ФУНДАМЕНТА С УЧЕТОМ ИХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ

С целью учета совместной работы конструкций и фундаментов на упругом основании разработана модель в виде двухслойной балки, нижний слой которой соответствует фундаменту, а верхний — конструкции с соответствующими приведенными характеристиками. Из общих уравнений теории упругости с учетом массовых сил получено разрешающее уравнение и формулы для трех компонент напряжения. Показано, что в отличие от традиционной постановки задачи, когда вес фундамента и конструкции прикладывается к верхней поверхности фундамента, в разработанной модели зависимость всех внутренних усилий и напряжений от веса конструкции является нелинейной.

Ключевые слова: конструкция, фундамент, основание, двухслойная балка, теория упругости.

Уравнение изгиба двухслойной балки-полоски единичной ширины для случая плоского деформированного состояния, выведенное на основе общих уравнений теории упругости с учетом массовых сил, имеет вид [1]:

$$D_z \frac{d^4 v}{dx^4} + kv = q^*, \quad (1)$$

где $q^* = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2$ — приведенная нагрузка;

h_1, h_2 — соответственно толщина нижнего и верхнего слоев;

γ_1, γ_2 — соответственно удельный вес материала плиты и приведенный удельный вес конструкции;

k — коэффициент постели Винклеровского основания;

D_z — приведенная жесткость сечения, определяемая равенством

$$D_z = \frac{E_2}{2} \left[y_{\text{в}}^2 y^* - \frac{(y^*)^3}{3} + \frac{2y_{\text{в}}^3}{3} \right] - \frac{E_1}{2} \left[y_{\text{н}}^2 y^* - \frac{(y^*)^3}{3} - \frac{2y_{\text{н}}^3}{3} \right]. \quad (2)$$

Здесь E_1, E_2 — модули упругости материалов слоев балки, $y_{\text{н}} = y_{\text{C}} + h_1 / 2$; $y_{\text{в}} = h_2 + h_1 / 2 - y_{\text{C}}$; $y = y^* = y_{\text{C}} - h_1 / 2$ (рис. 1).

Уравнение (1) отличается от традиционного уравнения изгиба балки на упругом основании (рис. 2, а) наличием приведенной жесткости и тем, что нагрузка не прикладывается к верхней поверхности фундамента, а представляет собой объемные силы (рис. 2, б). Ниже для двух рассматриваемых постановок задачи используются сокращенные названия: схема 1 (рис. 2, а) и схема 2 (рис. 2, б).

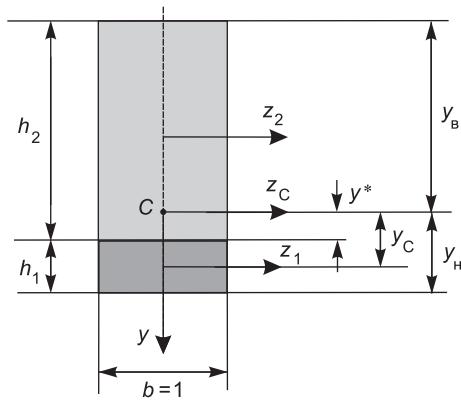


Рис. 1. Поперечное сечение двухслойной балки

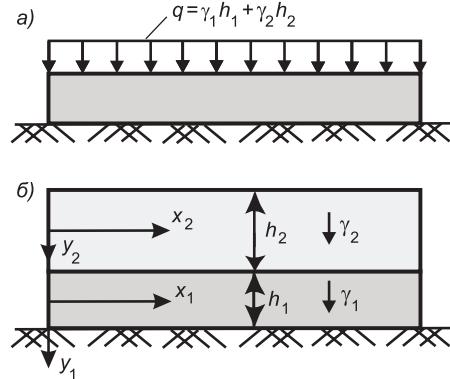


Рис. 2. Расчетная схема изгиба двухслойной балки на упругом основании

Зная решение уравнения (1), напряжения, действующие в балке, можно вычислить по формулам [1]:

$$\sigma_{xi} = \frac{E_i M_z y}{D_z} = \frac{-E_i D_z \frac{d^2 v}{dx^2} y}{D_z} = -E_i \frac{d^2 v}{dx^2} y; \quad (3)$$

$$\tau_{xy}^{(1)} = \frac{E_1}{2} \frac{d^3 v}{dx^3} (y^2 - y_{\text{H}}^2); \quad \tau_{xy}^{(2)} = \frac{E_2}{2} \frac{d^3 v}{dx^3} (y^2 - y_{\text{B}}^2); \quad (4)$$

$$\sigma_{y1} = \frac{E_1}{2} \frac{d^4 v}{dx^4} \left(y_{\text{H}}^2 y - \frac{y^3}{3} - \frac{2y_{\text{H}}^3}{3} \right) - \gamma_1 (y - y_{\text{H}}) - kv; \quad (5)$$

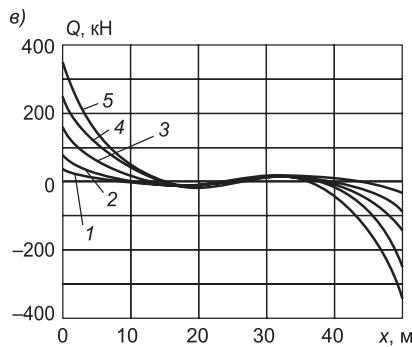
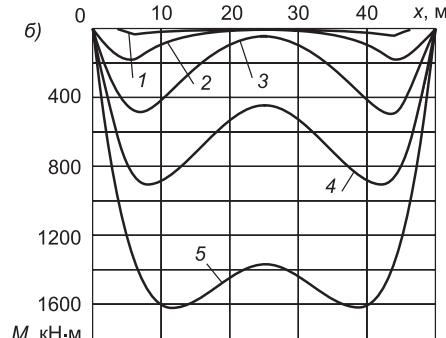
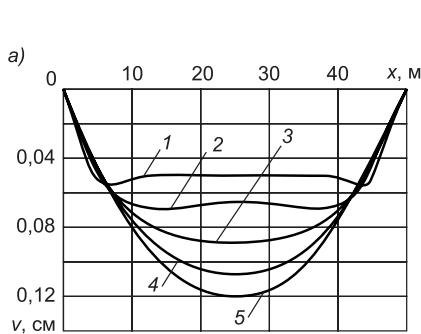


Рис. 3. Эпюры прогибов (а), изгибающих моментов (б) и поперечных сил (в)

1 — $h_2 = 0$; 2 — $h_2 = 3$ м; 3 — $h_2 = 6$ м; 4 — $h_2 = 9$ м; 5 — $h_2 = 12$ м

$$\sigma_{y_2} = \frac{E_2}{2} \frac{d^4 v}{dx^4} \left(y_{\text{b}}^2 y - \frac{y^3}{3} + \frac{2y_{\text{b}}^3}{3} \right) - \gamma_2 (y + y_{\text{b}}). \quad (6)$$

Нетрудно проверить, что касательные напряжения совпадают на границе между слоями $y = y^*$.

Ниже приводятся результаты расчета модели четырехэтажного здания, каждый этаж которого равен 3 м, а толщина фундаментной плиты $h_1 = 1$ м. В качестве модели рассматривается двухслойная балка длиной $L = 50$ м на двух шарнирных опорах. Остальные исходные данные: $E_1 = 10^7$ кПа; $E_2 = 10^6$ кПа; $\gamma_1 = 25$ кН/м³; $\gamma_2 = 2,5$ кН/м³; $k = 5 \cdot 10^4$ кН/м³. Решение уравнения (1) ищется с помощью функций А.Н. Крылова [2]. Расчеты проводились с учетом наращивания здания, т.е. последовательно при $h_2 = 0, 3, 6, 9$ и 12 м. На рис. 3 приведены эпюры прогибов (рис. 3, *a*), изгибающих моментов (рис. 3, *б*) и поперечных сил (рис. 3, *в*) для всех вариантов.

Представляет интерес сопоставление зависимостей максимальных значений внутренних усилий от h_2 для двух рассматриваемых постановок задачи. На рис. 4 показаны зависимости наибольших изгибающих моментов (рис. 4, *а*) и поперечных сил (рис. 4, *б*) от толщины верхнего слоя h_2 , что, по сути, соответствует весу надфундаментной конструкции. Можно заметить, что при расчете по схеме 1 эти зависимости линейные, а по схеме 2 — существенно нелинейные. Поясним эту нелинейность, рассмотрев поперечные силы. Наибольшее значение $Q_{\max} = R$ (R — величина опорной реакции) можно определить из уравнения статики

$$2R = F - k \int_0^L v(x) dx,$$

где $F = q^* \cdot L$, а второе слагаемое в правой части — отпор основания.

Как показывают расчеты, эти две величины имеют один порядок (см. таблицу, в которой все силовые величины даны с размерностью кН). Значение удвоенной реакции представляет собой малую разность больших величин, что и приводит к большой чувствительности силовых факторов к постановке задачи.

Наибольший интерес представляют эпюры напряжений. На рис. 5, *а* показана эпюра напряжений σ_x , которые вычислялись в двухслойной балке для варианта $h_2 = 6$ м в сечениях, где $M = M_{\max}$, а на рис. 5, *б* — напряжения τ_{xy} , вычисленные также при $h_2 = 6$ м на опорах, где $Q = Q_{\max} = R$. Для сравнения там же показаны эпюры в однослоиной балке при постановке задачи по схеме 1.

Рассматривая в целом различия между двумя постановками задачи, приведенными на рис. 2, *а* и 2, *б*, отметим следующие существенные отличия в результатах.

1. Дифференциальное уравнение изгиба балки на упругом основании при рассмотрении двухслойной балки содержит приведенную из-

h_2 , м	$F = q^* \cdot L$	Схема 1		Схема 2	
		$\int_0^L \sigma(x) dx$	$2R$	$\int_0^L \sigma(x) dx$	$2R$
0	1250	1177	73	1177	73
3	1625	1530	95	1442	183
6	2000	1883	117	1662	338
9	2375	2236	139	1863	512
12	2750	2590	160	2020	730

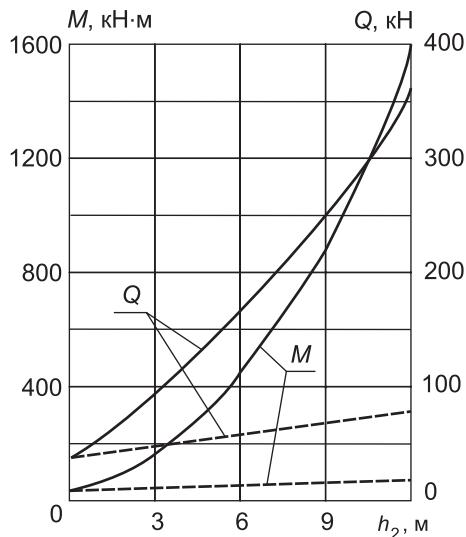


Рис. 4. Зависимости изгибающих моментов и поперечных сил от высоты верхнего слоя балки
— расчет по схеме 2; - - - расчет по схеме 1

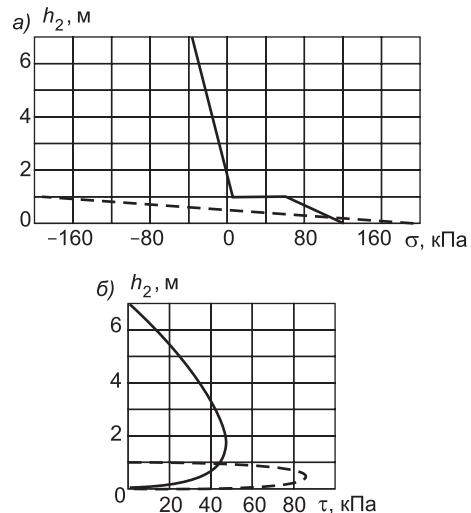


Рис. 5. Эпюры нормальных (а) и касательных (б) напряжений
— расчет по схеме 2; - - - расчет по схеме 1

гибкую жесткость, существенно отличающуюся от жесткости нижнего слоя.

2. Если вес слоев балки приводится к поверхностной нагрузке, то изгибаются только нижний слой, при рассмотрении же двухслойной балки оба слоя деформируются совместно, при этом нейтральный слой смешается в сторону верхнего слоя, откуда следует, что вся фундаментная плиза может находиться в условиях растяжения, как это имеет место в рассмотренном примере.

3. Касательные напряжения, несмотря на увеличение поперечной силы в двухслойной балке, по сравнению с однослоиной, уменьшаются, поскольку площадь поперечного сечения балки существенно увеличивается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Андреев, В.И. Изгиб двухслойной балки на упругом основании с учетом массовых сил [Текст] / В.И. Андреев, Е.В. Барменкова // XVIII Polish-Russian-Slovak Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering». Proceedings. Архангельск, 01.07–05.07.2009. — Warszawa, 2009. — Р. 51–56.
- Варданян, Г.С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности [Текст] / Г.С. Варданян, В.И. Андреев, Н.М. Атаров, А.А. Горшков. — М. : Изд-во АСВ, 1995. — 572 с.

АНДРЕЕВ В.И., д-р техн. наук, проф.; E-mail: asv@mgsu.ru
Московский государственный строительный университет
БАРМЕНКОВА Е.В., ассист.; E-mail: elena_yurs@mail.ru
Московский государственный строительный университет
МАТВЕЕВА А.В., студ.
Московский государственный строительный университет

Получено 10.08.10

Andreev V.I., doctor of technical sciences, professor; E-mail: asv@mgsu.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Barmenkova E.V., assistant; E-mail: elena_yurs@mail.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia
Matveeva A.V., student, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

ON NONLINEAR EFFECTS IN CALCULATING STRUCTURES AND FOUNDATIONS IN VIEW THEIR COLLABORATION

To take account of joint work structures and foundations on an elastic basis model is developed in the form of a two-layer beam, the lower layer corresponds to the foundation and the upper — structure with a relevant given characteristics. From the general equations of theory of elasticity in the light of mass forces obtained solving equations and formulas for three components of stress. It is shown that in contrast to the traditional formulation of the problem, when the weight of the foundation and structure attached to the upper surface of the foundation, in time a working model of the dependence of all internal forces and stresses on the weight of the structure is nonlinear.

Key words: construction, foundation, elastic basis, two-layer beam, theory of elasticity.

REFERENCES

1. Andreev, V.I. Bending of a two-layer beam on an elastic foundation, taking into account the mass forces [Text] / V.I. Andreev, E.V. Barmenkova // XVIII Polish-Russian-Slovak Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering». Proceedings. Arkhangelsk, 01.07–05.07.2009. — Warszawa, 2009. — P. 51–56.
 2. Vardanyan, G.S. Strength of materials with the fundamentals of the theory of elasticity and plasticity [Text] / G.S. Vardanyan, V.I. Andreev, N.M. Atarov, A.A. Gorshkov. — M. : Izd. ASV, 1995. — 572 p.
-

УДК 532.5.032

В.Н. БАЙКОВ, М.А. ВОЛЫНОВ

СОПОСТАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ И ПЛОСКИХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ ЛАМИНАРНОМ И ТУРБУЛЕНТНОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ

Традиционно принято считать, что при обеспечении динамического подобия потоков с использованием гидравлического радиуса в качестве характерного геометрического параметра должно обеспечиваться также подобие скоростей в сходственных точках потоков. На основе совместного анализа закономерностей сопротивления и распределения скоростей при ламинарном и турбулентном течении в трубах и широких каналах показано, что это распространенное предположение не подтверждается. Установлено также, что при течении в трубах средняя скорость, определенная по расходу, заметно отличается от средней скорости, вычисленной по эпюре скорости.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, профиль скорости, течение в трубах и широких каналах, ламинарный и турбулентный режим.

При определении кинематических и динамических характеристик потоков с различной формой поперечного сечения часто характеристики хорошо изученных течений (например, осесимметричных течений в трубах) без достаточного обоснования применяют для потоков с другой формой сечения (напорных и безнапорных каналов прямоугольного и других сечений, речных русел и пр.), полагая при этом, что различия в характеристиках таких потоков либо незначительны [1], либо отсутствуют вовсе. Чаще всего при этом ссылаются на опыты А.П. Зегжда [2], получившего формулы сопротивления для течения в гладких и шероховатых каналах, весьма близкие к известным формулам И. Никурадзе для осесимметричных течений в круглых трубах. Условия сопоставления потоков при этом ограничиваются одинаковостью чисел Рейнольдса для течений в гладких границах, либо совпадением относительной шероховатости для течений в границах шероховатых. При этом в качестве геометрической характеристики живого сечения потока принимается его гидравлический радиус.

Однако такая позиция не согласуется с общим принципом подобия потоков, предполагающим в качестве необходимого условия — геометрическое подобие сечений, которое нарушается при сопоставлении осесимметричных и плоскопараллельных течений. Следует также отметить, что сопоставительного анализа кинематических характеристик осесимметричных и плоскопараллельных течений в этих условиях не производилось. В связи с практической и принципиальной значимостью данных вопросов необходимо их более подробное рассмотрение.

Дальнейший анализ ограничим сопоставлением гидравлических характеристик осесимметричных течений жидкости в круглых трубах и плоскопараллельных течений в широких каналах, используя первоначально ламинарные течения, характеристики которых получены теорети-

ческими расчетами и могут считаться надежными, с последующим анализом течений турбулентных.

Средняя скорость течения V — одна из основных гидравлических характеристик потока, которая при известной площади живого сечения потока ω определяется по расходу Q . При известном распределении скоростей в потоке средняя скорость также может быть найдена интегрированием по площади живого сечения:

$$V = \frac{1}{\omega} \int_{\omega} u d\omega. \quad (1)$$

Однако такой способ определения может практически использоваться для потоков с простой формой сечения, к которым относятся осесимметричные течения в трубах и плоские потоки в прямоугольных широких каналах (с шириной $B \rightarrow \infty$). При определении средней скорости для плоских потоков интегрирование по площади обычно заменяется интегрированием по глубине потока h :

$$V = \frac{1}{h} \int_0^h u(y) dy. \quad (2)$$

Для каналов, ширина которых изменяется по y , средние скорости, найденные с использованием выражений (1) и (2), могут заметно различаться. Проиллюстрируем это обстоятельство, сопоставляя известные выражения для распределения скоростей в ламинарном осесимметричном течении в круглой трубе и в плоском потоке, которые определяются теоретически [3] и имеют следующий вид:

— для течения в трубе:

$$u_T = \frac{1}{2} \frac{u_{*T}^2 r_0}{v} \left[2 \frac{y}{r_0} - \left(\frac{y}{r_0} \right)^2 \right]; \quad (3)$$

— для плоского потока:

$$u_\Pi = \frac{1}{2} \frac{u_{*\Pi}^2 h}{v} \left[2 \frac{y}{h} - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где $u_* = \sqrt{\frac{r_0}{\rho}}$ — динамическая скорость;

y — расстояние по нормали к границе потока.

Следует подчеркнуть, что в качестве характерного поперечного размера в профилях скорости (3) и (4) входят глубина h для плоского потока и геометрический радиус r_0 для потока в трубе. Это связано с использованием при выводе выражений (3) и (4) уравнения равномерного движения. Только в тех случаях, когда динамические скорости рассматриваемых течений одинаковы ($u_{*T} = u_{*\Pi}$) и глубина $h = r_0$, имеем одинаковые распределения скоростей в трубе и в плоском потоке, т.е. профили скорости только в этом случае являются идентичными.

Определяя среднюю скорость интегрированием выражений (3) и (4), согласно (1) и (2), получаем известные результаты [3]:

$$V_T = \frac{1}{4} \frac{u_{*T}^2 r_0}{v} = \frac{1}{2} u_{\max_T}, \quad (5)$$

$$V_{\pi} = \frac{1}{3} \frac{u_{\pi}^2 h}{v} = \frac{2}{3} u_{\max_{\pi}}, \quad (6)$$

которые показывают, что при $\frac{u_{\pi} r_0}{v} = \frac{u_{\pi} h}{v}$ средние скорости рассматриваемых течений существенно (в 1,33 раза) различаются и по-разному относятся с соответствующими максимальными скоростями.

Это важное обстоятельство иногда упускается из виду при анализе кинематических и динамических характеристик течения в трубах и открытых потоках.

С использованием выражений (5) и (6) и формулы Дарси — Вейсбаха для потерь напора

$$h_w = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

при $d = 4R_r = 4h$ для широкого канала (R_r — гидравлический радиус) с учетом того, что $u_{\pi}^2 = gR_r i$ ($i = \frac{h_w}{l}$ — гидравлический уклон), получена известная формула Пуазейля [4] для коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном течении в трубе:

$$\lambda_{\tau} = \frac{64}{V_{\tau} 4R_r} \quad (8)$$

и в широком канале:

$$\lambda_{\pi} = \frac{96}{V_{\pi} 4R_r} \quad (9)$$

Значительное расхождение в величине λ_{τ} и λ_{π} при $Re = \frac{V_{\tau} 4R_r}{v} = idem$ указывает на существенное влияние формы поперечного сечения потока на величину коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном течении (это относится к случаю $R = h = \frac{r}{2}$, для которого коэффициенты сопротивления λ_{τ} и λ_{π} обычно считаются совпадающими, но идентичность профилей скорости, как показано выше, не обеспечивается).

Использование в качестве характерных геометрических параметров глубины h — для потока и r_0 — для течения в трубе также не приводит к идентичности формул для коэффициента гидравлического сопротивления, которые в этом случае приобретают следующий вид:

$$\lambda_{\tau} = \frac{32}{V_{\tau} r_0} \quad (10)$$

$$\lambda_{\pi} = \frac{24}{V_{\pi} h} \quad (11)$$

Учитывая сложившееся представление о том, что подобие кинематической структуры потоков с различной формой поперечного сечения достигается при $R_r = idem$ и $\lambda = idem$, сопоставим местные скорости (при

$y = \text{idem}$) в плоском потоке и в трубе при ламинарном течении. Заметим, что согласно зависимостям (8) и (9) условие $\lambda = \text{idem}$ (при $R_r = \text{idem}$) может быть достигнуто, если $V_n = 1,5V_\tau$. При $R_r = \text{idem}$ глубина плоского потока $h = \frac{r_0}{2}$. Используя полученные профили скорости (3) и (4), запишем отношение местных скоростей при $y = \text{idem}$:

$$\frac{u_n}{u_\tau} = \frac{u_{n*}^2 h}{u_{\tau*}^2 r_0} \cdot \frac{\frac{y}{h} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{h} \right)^2}{\frac{y}{r_0} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{r_0} \right)^2}. \quad (12)$$

Соотношение между динамическими скоростями, входящими в это выражение, найдем из условия $V_n = 1,5V_\tau$ с использованием выражений (5) и (6) для средней скорости в плоском потоке и в трубе:

$$\frac{1}{3} \frac{u_{n*}^2}{v} \frac{r_0^2}{2} = 1,5 \cdot \frac{1}{4} \frac{u_{\tau*}^2}{v} r_0, \quad (13)$$

откуда следует, что $\frac{u_{n*}^2}{u_{\tau*}^2} = 2,25$.

С использованием этого соотношения выражение (11) примет вид

$$\frac{u_n}{u_\tau} = 2,25 \frac{1 - \frac{y}{r_0}}{1 - \frac{1}{2} \frac{y}{r_0}}. \quad (14)$$

Результаты расчета, по полученному соотношению приведенные на рис. 1, показывают, что при данных условиях сравнения ($R_r = \text{idem}$, $\lambda = \text{idem}$, $y = \text{idem}$) местные скорости в плоском потоке значительно превышают скорости течения в трубе, причем отношение скоростей изменяется с расстоянием от твердой границы потока.

Таким образом, очевидно, что использование гидравлического радиуса в качестве адекватного гидравлического масштаба поперечного сечения потоков различной формы при анализе ламинарных течений себя не оправдывает, поскольку не обеспечивает ни идентичности коэффициентов сопротивления, ни идентичности профилей скорости.

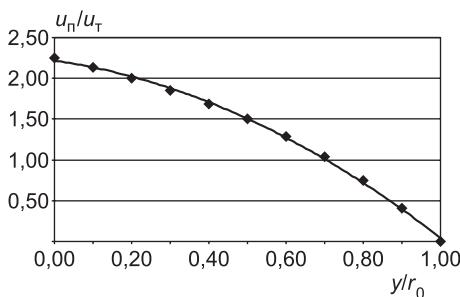


Рис. 1. Соотношение местных скоростей в осесимметричном и плоском ламинарном потоке

Условия сопоставления: $h = R_r = r_0 / 2$,
 $y = \text{idem}$, $\lambda_n = \lambda_\tau$

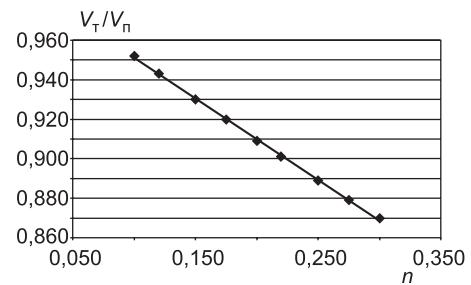


Рис. 2. Соотношение средних скоростей при турбулентном течении в трубе и плоском потоке при различных значениях показателя степени n

Далее произведем сопоставление кинематических характеристик при турбулентном течении в трубе и в плоском потоке, используя профиль скорости степенного вида:

— для течения в трубе:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(\frac{y}{r_0} \right)^{n_t}, \quad (15)$$

— для плоского потока:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(\frac{y}{h} \right)^{n_n}. \quad (16)$$

Интегрируя эти профили согласно (1) и (2), находим¹:

$$\frac{V_t}{u_{\max}} = \frac{2}{(n_t + 1)(n_t + 2)}, \quad (17)$$

$$\frac{V_n}{u_{\max}} = \frac{1}{(n_n + 1)}. \quad (18)$$

Сопоставляя турбулентное течение в трубе и широком канале при условии $u_{\max} = \text{idem}$ и $n_t = n_n = n$, найдем

$$\frac{V_t}{V_n} = \frac{2}{2+n}. \quad (19)$$

Данные расчета соотношения средних скоростей при турбулентном течении в трубе и в широком канале при различных n приведены в табл. 1. Для принятых условий $u_{\max} = \text{idem}$ и $n = \text{idem}$ средняя скорость в трубе меньше средней скорости в потоке и, следовательно, меньше средней скорости на вертикали, причем с увеличением n эти расхождения нарастают (рис. 2).

Таблица 1

$n_t = n_n = n$	0,10	0,12	0,15	0,175	0,20	0,22	0,25	0,275	0,30
V_t / V_n	0,952	0,943	0,930	0,920	0,909	0,901	0,889	0,879	0,870

Как было установлено А.Д. Альтшулем и Нуннером [1], показатель степени n зависит от коэффициента гидравлического сопротивления λ :

$$n = 0,9\sqrt{\lambda} \quad (20)$$

и при необходимости величина n может регулироваться за счет изменения λ .

Определим необходимое соотношение между n_n и n_t , которое обеспечит одинаковую среднюю скорость плоского турбулентного потока и течения в трубе при одинаковой максимальной скорости ($u_{\max} = \text{idem}$). Приравнивая (17) и (18):

$$\frac{2}{(n_t + 1)(n_t + 2)} = \frac{1}{(1 + n_n)}, \quad (21)$$

получаем

$$\frac{n_n}{n_t} = 1,5 + \frac{n_t}{2}. \quad (22)$$

¹ Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя; пер. с нем. М.: Наука, 1974.

Результаты расчета n_n , обеспечивающие равенство средних скоростей в плоском потоке и в трубе (при $u_{max} = idem$) при различных n_t по соотношению (22), представлены в табл. 2.

Таблица 2

n_t	0,10	0,12	0,15	0,175	0,20	0,22	0,25	0,275	0,30
n_n	0,155	0,187	0,236	0,252	0,320	0,354	0,406	0,451	0,495

Полученные данные показывают, что равенство средних скоростей при $u_{max} = idem$ в плоском потоке и в трубе при турбулентном течении может быть достигнуто лишь при существенно различных показателях степени n в профилях скорости (15) и (16) (если только это различие не компенсируется соответствующей неодинаковостью коэффициентов гидравлического сопротивления для плоского потока и течения в трубе).

Таким образом, очевидно, что использование гидравлического радиуса в качестве репрезентативного гидравлического масштаба поперечного сечения потоков различной формы при анализе как ламинарных, так и турбулентных течений себя не оправдывает.

Поиск иных обоснованных подходов к определению характерного геометрического масштаба сечения потока, пригодного для выявления адекватных динамических соотношений и соответствующих им универсальных кинематических зависимостей для потоков с различной формой сечения, остается задачей дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления [Текст] / А.Д. Альтшуль. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Недра, 1982.
- Зегжда, А.П. Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах [Текст] / А.П. Зегжда. — Л.-М. : Гос. изд-во лит. по строит. и архит., 1957.
- Штеренлихт, Д.В. Гидравлика [Текст] / Д.В. Штеренлихт : учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во «КолосС», 2005.
- Киселев, П.Г. Гидравлика. Основы механики жидкости [Текст] / П.Г. Киселев: учеб. пособие для вузов. — М. : Энергия, 1980.

БАЙКОВ В.Н., ст. препод.; E-mail: vnpot@yandex.ru

Московский государственный строительный университет

ВОЛЫНОВ М.А., канд. техн. наук, доц.

Всероссийский научный исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, г. Москва

Получено после доработки 15.05.10

Baikov V.N., senior lecturer; E-mail: vnpot@yandex.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Volynov M.A., candidate of technical sciences, assistant professor, Russia Research Institute of Hydraulic Structures and Land Reclamation, Moscow, Russia

COMPARISON OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF AXISYMMETRIC AND FLAT CHANNEL FLOWS UNDER LAMINAR AND TURBULENT FLOW REGIMES

It is traditionally considered, that at maintenance of dynamic simularity of streams the use of hydraulic radius as a typical geometrical parameter for streams should provide the

identity of their velocity distribution. It is shown on the basis of the joint analysis of resistance and velocity distribution in both laminar and turbulent flows in round pipes and wide channels that this widespread guess does not prove to be true. It is also established that the average velocity of flow in pipes, spotted under discharge of water, considerably differs from the average velocity determined by velocity profile.

Key words: hydraulic resistances, velocity profile, flows in round pipes and wide channels, laminar and turbulent flow regime.

REFERENCES

1. Altshul, A.D. Hydraulic resistance [Text] / A.D. Altshul. — 2nd edition. — M. : Publishing house Nedra, 1982.
 2. Zegzhda, A.P. Hydraulic losses on friction in channels and pipes [Text] / A.P. Zegzhda. — L. : Gosstroyizdat, 1957.
 3. Shterenliht, D.V. Hydraulics [Text] / D.V. Shterenliht : The textbook for high school. — 3rd edition. — M. : Publishing house «KolosS», 2005.
 4. Kiselev, P.G. Hydraulics. Foundations of fluid mechanics [Text] / P.G. Kiselev : The manual for higher schools. — M. : Energy, 1980.
-

УДК 624.042.4

Д.Д. ЧЕРНЫШЕВ, К.В. ЯШУКОВ, А.В. АТАМАНЧУК

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ
ДВУХ БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫХ КВАДРАТНЫХ ЗДАНИЙ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ**

С помощью метода контрольных объемов в ПК «STAR-CD» исследована картина обтекания ветровым потоком двух квадратных близкорасположенных зданий, а также получены значения аэродинамических коэффициентов при различных углах атаки ветрового потока.

Ключевые слова: аэродинамический коэффициент, высотное здание, строительная аэrodинамика.

В настоящее время в связи с массовым строительством компактно расположенных высотных зданий встает вопрос их взаимного аэродинамического влияния друг на друга. Ветровая нагрузка на высотные здания является приоритетной и при расчете каркасов зданий заслуживает особого внимания. В современной нормативной литературе не дается указаний по учету взаимного влияния близкорасположенных зданий при определении для них ветровых нагрузок.

Для нахождения истинных значений аэродинамических характеристик близкорасположенных зданий необходимо проводить натурные исследования по их обдувке в аэродинамической трубе. Вместе с этим для решения газодинамических задач все более широкое распространение получают программные комплексы, работа которых основана на численном решении систем уравнений, отражающих общие законы механики сплошной среды.

В данной статье представлены исследования по обдувке двух близко расположенных квадратных зданий с помощью метода контрольных объемов в газодинамическом комплексе «STAR-CD».

Главная идея метода заключается в том, что расчетная область разбивается на некоторое количество контрольных объемов таким образом, что каждая узловая точка содержится в одном контрольном объеме. Дифференциальные уравнения интегрируют по каждому объему. Используя кусочные профили, находят дискретный аналог дифференциального уравнения, в который входят значения искомой переменной в нескольких узловых точках.

Одним из важных свойств этого метода контрольного объема является то, что в нем заложено точное интегральное сохранение таких величин, как масса, количество движения и энергия на любой группе контрольных объемов и, следовательно, на всей расчетной области. Это свойство проявляется при любом числе узловых точек, а не только в предельном случае очень большого их числа. Таким образом, даже решение на очень грубой сетке удовлетворяет точным интегральным балансам.

Цель исследования: определить значения величин аэродинамических коэффициентов на поверхностях двух близкорасположенных квадратных зданий при различных углах атаки ветрового потока.

Нормативное значение ветрового давления W_0 , Па, определяется по формуле

$$W_0 = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2, \quad (1)$$

где V — скорость ветрового потока;

$\rho = 1,22 \text{ кг} / \text{м}^3$ — плотность воздушной среды.

В нормах [1] в качестве скорости V принимается скорость ветра на высоте 10 м от поверхности земли для типа местности А, соответствующая 10-минутному интервалу осреднения и превышающая в среднем раз в 5 лет.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки W_h на высоте z над поверхностью земли согласно [1]:

$$W_h = W_0 \cdot k_z \cdot c, \quad (2)$$

где k_z — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

c — аэродинамический коэффициент.

Движение воздушной массы в пограничном слое земли до 200 м турбулентное. Скорость движения воздуха состоит из средней \bar{V} и пульсационной V' составляющих: $V = \bar{V} + V'$. Пульсационная составляющая в одни моменты времени положительна, в другие — отрицательна, а ее среднее значение по времени равно нулю. Как показано в [2], турбулентное течение считается стационарным случайным процессом со средним значением, равным нулю.

Решение задач турбулентных течений жидкости позволяет получить удовлетворительные данные, имитируя, таким образом, поведение реальных турбулентных течений. Модели турбулентности описывают систему дополнительных уравнений (и связанных с ними алгебраических соотношений и наборов констант), которые решаются совместно с уравнением Навье-Стокса.

ПК «STAR-CD» предлагает широкий выбор моделей турбулентности. В настоящей работе расчеты выполнены с использованием двухпараметрической «высокорейнольдсовой $k - \varepsilon$ модели»¹, которая в отличие от других моделей наиболее универсальна с точки зрения предсказания турбулентных эффектов [3].

Здесь $k = (3 \cdot \gamma^2) / 2$ — удельная кинетическая энергия турбулентных пульсаций, где γ — интенсивность турбулентности; ε — скорость диссипации турбулентной энергии, связанная с масштабом турбулентности L (характерный размер турбулентных вихрей в направлении среднего течения).

Моделирование обтекания двух близкорасположенных зданий в ПК «STAR-CD». Модель представляет собой два близкорасположенных здания квадратной формы, каждое размерами 24×24 м, с расстоянием в свету между ними 48 м. В исследовании учитываются семь углов атаки ветрового потока: от 0 до 90° с шагом по 15° . Поверхности

¹ Методология для ПК «STAR-CD 3.20»; пер. с англ. ЗАО «Саровские Лаборатории».

зданий поделены на отдельные зоны, для которых определяются значения аэродинамических коэффициентов (рис. 1).

Требование проведения расчетов при различных углах атаки ветровым потоком влечет необходимость поворота исследуемых зданий. Для этого в сетку вмонтирован промежуточный цилиндрический элемент (рис. 2, область I), позволяющий круговым смещением расчетных узлов в необходимом направлении получать новую расчетную сетку с заданным углом атаки набегающего потока воздуха. В программе

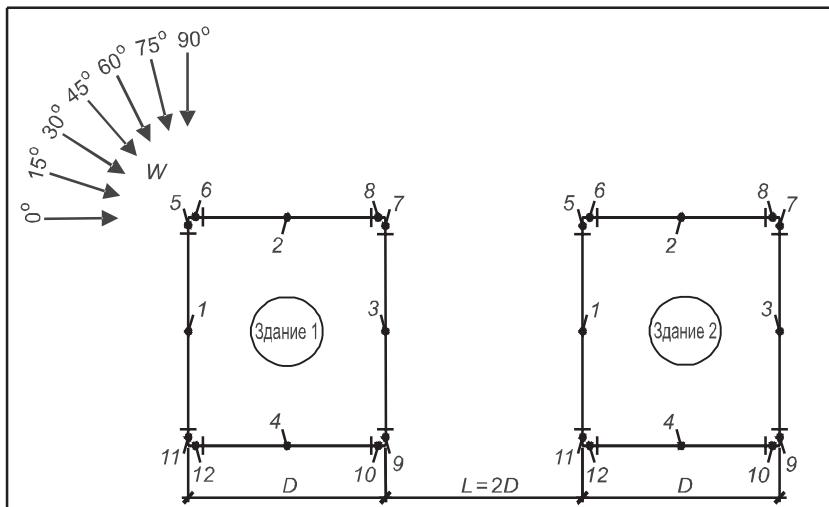


Рис. 1. Схема расположения участков по поверхностям зданий и углов атаки ветрового потока (цифрами показаны номера участков зданий)

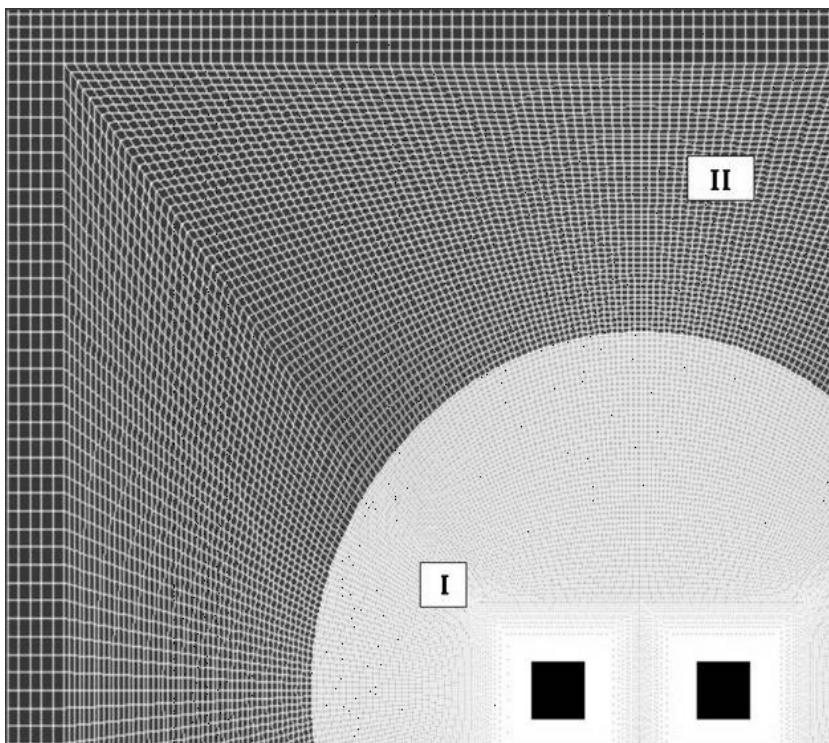


Рис. 2. Фрагмент контрольно-объемной сетки

моделировались поперечные сечения зданий и рассматривалась плоская задача.

Один из важнейших моментов проведения численного эксперимента — задание граничных условий и определение размеров ячеек сетки объемных элементов.

Размеры рабочей области составляют 1500 м вдоль потока и 1000 м поперек потока. Сетка рабочей области разбита на ячейки переменных размеров, которые уменьшаются по мере приближенности ячеек к контурам зданий (см. рис. 2). Минимальные размеры ячеек составляют $0,005D$ (D — размер здания), максимальные — $0,3D$.

Начальные условия задачи — покоящаяся среда.

Границные условия задачи:

— на входе в расчетную область задается скорость ветрового потока $V = 25 \text{ м/с}$, интенсивность турбулентности $\gamma = 1\%$;

— на выходе принято условие постоянства давления $\rho = \rho_\infty$;

— на удаленных внешних боковых границах задано условие аэродинамически гладкой стенки (вектор скорости параллелен боковой границе расчетной области);

— скорость ветра на внутренних границах (по периметрам зданий) задается из условия «непротекаемости», т.е. скорость ветра на поверхностях зданий равна нулю;

— шаг по времени равен 0,005 с.

Аэродинамические свойства зданий, имеющих острые кромки, зависят в основном от формы их поперечного сечения. Это связано с тем, что срыв вихрей у таких зданий осуществляется с четко фиксированных угловых точек. Поэтому значения аэродинамических коэффициентов рассматриваемых зданий зависят от формы их поперечного сечения и их взаимного расположения относительно друг друга и практически не зависят от скорости ветрового потока и значения интенсивности турбулентности².

Результаты значений аэродинамических коэффициентов (нормальных к соответствующим поверхностям зданий) внешнего давления для каждой отдельной зоны обоих зданий приведены в таблице, где также даны значения аэродинамических коэффициентов, представленных в [1] и [4]. Положительный знак при коэффициентах соответствует направлению давления ветра на соответствующую поверхность (напор), отрицательный — от поверхности (отсос).

Выводы. 1. На основе метода контрольных объемов смоделирована задача обтекания двух близкорасположенных квадратных зданий ветровым потоком. Определены аэродинамические коэффициенты для отдельных зон каждого здания с учетом их взаимного влияния. Аэродинамические коэффициенты получены при различных углах атаки ветрового потока.

2. Максимальные значения аэродинамических коэффициентов, полученных в ходе исследования, для срединных зон составляют 1,09 и -2,28 (напор и отсос соответственно) при угле атаки ветрового потока 90° .

3. Пиковое значение аэродинамического коэффициента для угловых зон составляет -3,7 при угле атаки ветрового потока 90° .

² Кузнецов С.Г. Ветровые воздействия на высотные здания в условиях городской застройки: автореф. Макеевка: Донбас. нац. акад. строит. и архит., 2009. 38 с.

Номер здания (рис. 1)	Участок здания (рис. 1)	Аэродинамический коэффициент (по нормали к поверхности здания)										
		по результатам эксперимента							по СНиП [1]	по СТО [4]		
		Угол атаки ветрового потока										
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°				
Здание 1	1	0,95	0,98	0,79	0,46	-0,24	-0,9	-2,28	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	2	-0,92	-0,7	0,25	0,66	1	1,05	1,09	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	3	-0,64	-0,52	-0,72	-0,96	-1,19	-1,65	-0,48	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	4	-0,92	-0,68	-1,06	-1,24	-1,45	-0,81	-0,98	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	5	0,41	0,69	1,2	0,8	-0,96	-2,1	-3,7	-2	-2,2		
	6	-1,74	-1,96	-0,05	1,2	1,19	0,74	-0,03	-2	-2,2		
	7	-0,66	-0,61	-1,1	-1,67	-1,87	-2,66	-1,32	-2	-2,2		
	8	-0,83	-0,44	-0,23	-0,2	0,1	0,17	0,92	-2	-2,2		
	9	-0,66	-0,42	-0,68	-0,58	-1,52	-1,58	-0,33	-2	-2,2		
	10	-0,83	-0,69	-0,72	-1,98	-0,89	-1,19	-0,36	-2	-2,2		
	11	0,41	0,32	-0,15	-0,29	-1,01	-0,6	-1,65	-2	-2,2		
	12	-1,74	-1,29	-1,78	-1,55	-2,46	-0,68	-1,51	-2	-2,2		
Здание 2	1	-0,53	0,3	0,54	0,38	-0,05	-0,76	-0,48	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	2	-0,2	-0,21	0,08	0,49	0,77	0,9	1,09	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	3	-0,22	-0,81	-1,17	-0,78	-2,01	-1,68	-2,28	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	4	-0,2	-0,84	-1,05	-0,91	-0,95	-0,9	-0,98	0,8 (-0,6)	1,2 (-1,2)		
	5	-0,68	1,18	1,36	1,07	-0,59	-2,22	-1,32	-2	-2,2		
	6	-0,16	-0,72	0,24	0,99	1,4	0,86	0,92	-2	-2,2		
	7	-0,28	-1,31	-1,9	-1,3	-2,94	-2,57	-3,7	-2	-2,2		
	8	-0,2	-0,58	-0,68	-0,2	-0,57	-0,14	-0,03	-2	-2,2		
	9	-0,28	-0,57	-0,73	-0,89	-1,2	-1,2	-1,65	-2	-2,2		
	10	-0,2	-1,08	-1,41	-0,62	-1,29	-1,15	-1,51	-2	-2,2		
	11	-0,68	-0,45	-0,45	-0,4	-0,53	-0,45	-0,33	-2	-2,2		
	12	-0,16	-1,37	-1,71	-1,58	-1,38	-0,66	-0,36	-2	-2,2		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия [Текст] / Госстрой России. — М. : ФГУП ЦПП, 2006. — 44 с.
2. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения [Текст] / Э. Симиу, Р. Сканлан ; пер. с англ. — М. : Стройиздат, 1984. — 360 с.
3. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г. Лойцянский. — 7-е изд. — М. : Дрофа, 2003. — 840 с.
4. СТО 36554501-015–2008. Нагрузки и воздействия [Текст] / ФГУП «НИЦ “Строительство”». — М. : ФГУП «НИЦ “Строительство”», 2008. — 49 с.

ЧЕРНЫШЕВ Д.Д., ассист.; E-mail: chern11@rambler.ru

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
ЯШУКОВ К.В., инж.; E-mail: samarakirill@mail.ru

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
АТАМАНЧУК А.В., канд. техн. наук, доц.; E-mail: pahar12@rambler.ru

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 30.06.10

Chernyshev D.D., assistant; E-mail: chern11@rambler.ru, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Yashukov K.V., engineer; E-mail: samarakirill@mail.ru, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Atamanchyk A.V., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: pahar12@rambler.ru, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE STUDY OF AIRFLOW OF TWO LOCATED NEARBY SQUARE BUILDINGS ON THE BASIS OF CONTROL VOLUMES METHOD

On the basis of control volumes method airflow of two located nearby square buildings and also shape factor magnitude under different wind flow angle attack using the program «STAR-CD» is investigated.

Key words: shape factor, tier building, building aerodynamics.

REFERENCES

1. Construction Normes and Regulations 2.01.07–85*. Forces and exposures [Text] / The Russian Federation State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy. — M. : Building Publishing House, 2006. — 44 p.
 2. Simiu, E. Wind effects on structures [Text] / E. Simiu, R. Scanlan. — M. : Building Publishing House, 1984. — 360 p.
 3. Loyciansky, L.G. Fluid mechanics [Text] / L.G. Loyciansky. — 7 publication. — M. : Drofa, 2003. — 840 p.
 4. Standard of Organization 36554501-015–2008. Forces and exposures [Text] / Federal State Unitary Enterprise «Scientific Research Center «Building». — M. : Federal State Unitary Enterprise «Scientific Research Center «Building», 2008. — 49 p.
-

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.072.2.042.8

Д.Н. КОКОРИН

ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ОПОР НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Краткий обзор технических решений активных устройств, применяемых в строительстве. Программа и технология экспериментальных исследований железобетонных балок. Представлено влияние податливости опор на прочность железобетонных балок по наклонному сечению.

Ключевые слова: динамическое воздействие, железобетонные конструкции, податливые опоры.

Методы, которые применяются в современном строительстве по повышению сопротивления сооружений к динамическим воздействиям, можно разделить на два основных вида: пассивные и активные. К пассивным относятся методы, которые связаны с увеличением материаломкости строительства (повышение прочности бетона, увеличение армирования, специальные конструктивные решения и т.д.). Активный способ включает в себя меры, которые снижают инерционные силы, действующие на сооружение (использование гасителей, устройство включающих/выключающих связей, применение специальных податливых опор, гибких этажей и т.п.).

Из обзора применяемых податливых опор в строительстве по конструктивному решению их можно разделить на два типа: пружинные и резинометаллические [1, 2]. Пружинные опоры используются в основном в промышленном строительстве, при защите конструкций от периодических динамических воздействий. Резинометаллические опоры представляют собой своеобразный сэндвич из пластин жесткого и упругого материала. Данные опоры широко применимы в современном гражданском строительстве, в сейсмически опасных районах. Основные параметры, которыми характеризуются податливые опоры, — их погонная жесткость и несущая способность на статическую нагрузку.

Исследования, посвященные определению влияния податливости опор на несущую способность железобетонных элементов, представлены в [3, 4]. Основным выводом данных исследований является заключение о высокой эффективности применения податливых опор. Однако следует отметить, что данные работы посвящены исследованию несущей способности конструкций по нормальному сечению. Данных о напряженном состоянии железобетонных изгибаемых элементов по наклонному сечению с учетом податливости опор не имеется. Таким образом, изучение работы

элементов с податливыми опорными соединениями — актуальная задача, представляющая научный и практический интерес.

В лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций Томского архитектурно-строительного университета выполняются исследования, цель которых — выявление эффекта податливости опор на несущую способность железобетонных изгибаемых балок по наклонному сечению при действии кратковременной динамической нагрузки.

Для решения данного вопроса запроектированы три серии образцов (по 7 в каждой серии), отличие между которыми в схеме приложения нагрузки (рис. 1) и характере работы податливых опор (упругая, упруго-пластическая, упругопластическая с отвердением). Образцы приняты

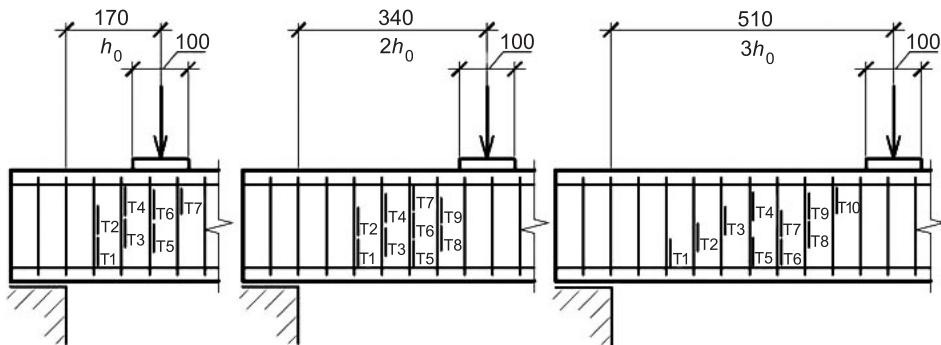


Рис. 1. Схема приложения нагрузки и расстановки тензорезисторов на поперечной арматуре опытных образцов

прямоугольного сечения размером 100×200 мм и длиной 2000 мм. Армирование нижней (растянутой) зоны осуществлялось из горячекатаной арматуры 2Ø18A-400, верхней (сжатой) — из стали 2Ø6A-240. Поперечное армирование в приопорной зоне выполнено из вязанных хомутов Ø3Вр-I ($\sigma_{0,2} = 620$ МПа), с шагом 50 мм. Бетон экспериментальных образцов по прочности на осевое сжатие соответствовал классу В20. В каждой серии экспериментальных образцов одна балка испытывается на статическую нагрузку и одна на кратковременную динамическую нагрузку с жесткими опорами, остальные балки испытываются на кратковременную динамическую нагрузку с податливыми опорами.

Статическое нагружение создается гидравлическим домкратом мощностью 50 тс. Поршень домкрата упирается в горизонтальный металлический ригель вертикальной рамы. Ригель закреплен двумя металлическими тяжами, через которые растягивающее усилие направляется на силовой пол. Корпус домкрата устанавливается на горизонтальную траверсу, усилие от которой передается в двух определенных точках на испытуемый образец.

Стенд для динамических испытаний реализован на основе технических решений^{1, 2}. Кратковременное динамическое нагружение создается посредством копровой установки. Копровая установка представляет собой две направляющие стойки с закрепленным на них металлическим ригелем. К последнему подвешивается лебедка с автоматическим сбросом

¹ Кумпяк О.Г., Однокопылов Г.И., Педиков А.В., Кокорин Д.Н. Пат. РФ на ПМ № 85233. Стенд для испытания железобетонных элементов на динамический изгиб. Зарегистрирован 27.06.2009.

² Кумпяк О.Г., Однокопылов Г.И., Кокорин Д.Н. Пат. РФ на ПМ № 92537. Стенд для испытания железобетонных элементов на динамический изгиб с податливыми опорами. Зарегистрирован 20.03.2010.

груза. Когда испытуемая балка полностью готова к эксперименту, груз прицепляется к лебедке с автоматическим сбросом груза, и с момента начала сброса груза («снаряда») производится запись эксперимента на современном контрольно-измерительном оборудовании. Таким образом, нагрузка на балку создается за счет энергии падающего «снаряда». Удар приходится на силомер, находящийся на горизонтальной распределительной траверсе (рис. 2). Данная траверса необходима для передачи нагрузки в соответствии со схемой испытания (см. рис. 1).

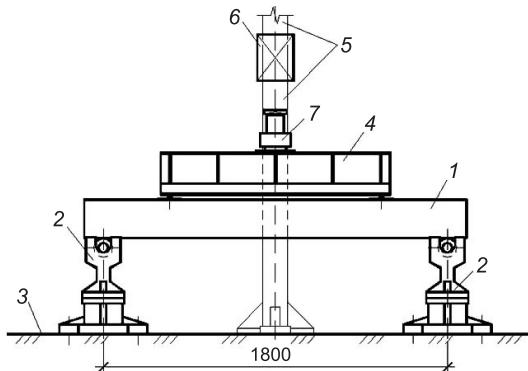


Рис. 2. Конструкция стенда для проведения динамических испытаний

1 — железобетонная балка; 2 — опоры; 3 — силовой пол; 4 — распределительная траверса; 5 — направляющие; 6 — падающий груз; 7 — силомер

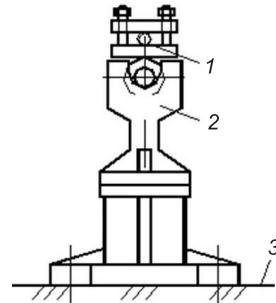


Рис. 3. Конструкция податливой опоры

1 — податливая вставка; 2 — опора железобетонной балки; 3 — силовой пол

Масса груза в копровой установке — 0,385 т, а высота, с которой сбрасывается груз, равна 0,65 м. Амплитуда реакции системы по показаниям силомера составила 11 т. Для обеспечения необходимого времени воздействия нагрузки (0,032...0,035 с) на силомер установлены демпфирующие прокладки из резины. Данному кратковременному динамическому нагружению подвергались экспериментальные балки как на жестких, так и на податливых опорах.

Испытание образцов на податливых опорах осуществляется за счет установленных сминаемых вставок между железобетонной балкой и шарнирными опорами (рис. 3).

Для обеспечения необходимой жесткости податливых опор предварительно проводилось испытание сминаемых вставок на сжатие (рис. 4). Необходимая стадия работы податливых опор (упругая, упругопластиче-

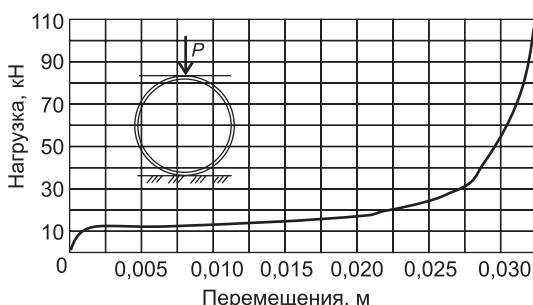


Рис. 4. Схема испытания и характер деформирования сминаемой вставки. Длина 20 мм, наружный диаметр 33,5 мм, толщина стенки 3,2 мм

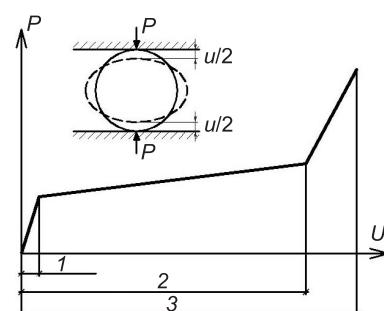


Рис. 5. Теоретическая схема деформирования сминаемых вставок
1 — упругая; 2 — упругопластическая;
3 — упругопластическая с отвердением

ская, упругопластическая с отвердением) обеспечивается подбранной по расчету жесткостью сминаемой вставки (рис. 5).

На рис. 6, 7 представлены схемы образования трещин испытанных образцов и развитие деформаций бетона, арматуры опытных конструкций при разном характере работы опор. Рассмотрим загружение балки при пролете среза $2h_0$.

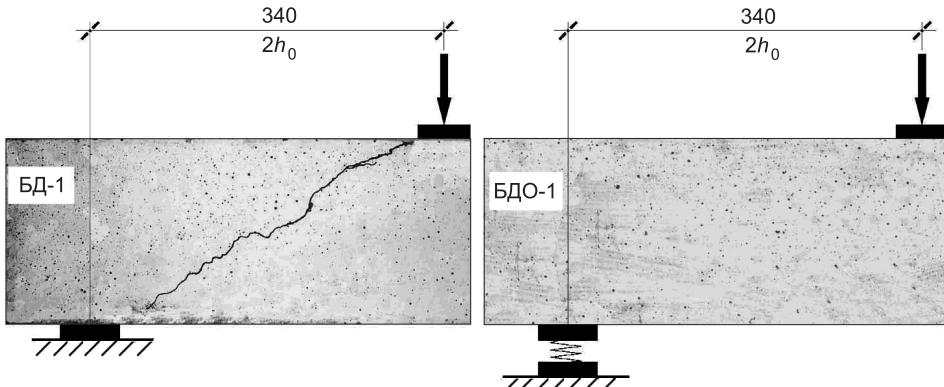


Рис. 6. Экспериментальные балки после испытания

БД-1 — балка с жесткими опорами; БДО-1 — балка на податливых опорах с отвердением

Анализ работы наклонного сечения балки БД-1 (см. рис. 7) показывает, что деформации конструкции начинаются со сжатой зоны бетона (датчики T11, T12), далее с запаздыванием более чем на 0,01 с проявляются деформации растяжения в нижней части хомутов № 5, 6 (датчики T3, T5) и бетона растянутой зоны (T14, T15). Затем происходит дальнейшее развитие деформаций хомутов, которые пересекают наклонную трещина (датчики T13, T9, T1). При этом напряжения в хомутах, пересекающих наклонную трещину, достигали $(0,9...0,95)\sigma_{0,2}$. Ширина раскрытия трещины в бетоне в предельной стадии при данном загружении составила 0,4 мм. При анализе характера деформирования балки БДО-1 выявлено, что время запаздывания деформаций поперечной арматуры в 1,5 раза выше, чем у БД-1. Датчики, регистрирующие растягивающие деформации бетона (T13...T15), показали близкие к нулю значения, что говорит об отсутствии (или незначительном значении) растягивающих усилий в наклонном сечении. Это подтверждается и визуальным осмотром. Наклонных трещин в балке, испытанной на податливых опорах, не установлено (см. рис. 7, БДО-1). Данный эффект объясняется тем, что при жестком опирании энергия удара целиком воспринимается железобетонной балкой. В случае использования податливых опор значительная часть удара поглощается за счет их деформации.

Реакции силомера для балок, испытанных на кратковременную динамическую нагрузку (см. рис. 7), показали, что при одинаковых условиях нагружения (масса и высота падения груза) пики величин динамических нагрузок различны. Максимальное значение регистрируемой величины динамической нагрузки (10,97 Тс) зафиксировано для балки, испытанной на жестких опорах (БД-1, см. рис. 7). При визуальном осмотре обнаружена одна критическая наклонная трещина, источником которой явилась вертикальная сила. Пик динамической нагрузки балки, испытанной на податливых опорах, сработавших в упругопластической стадии с отвердением (БДО-1, см. рис. 7), составил 5,87 Тс и снизился в среднем на 48 %. Визуальный осмотр не выявил наличие трещин.

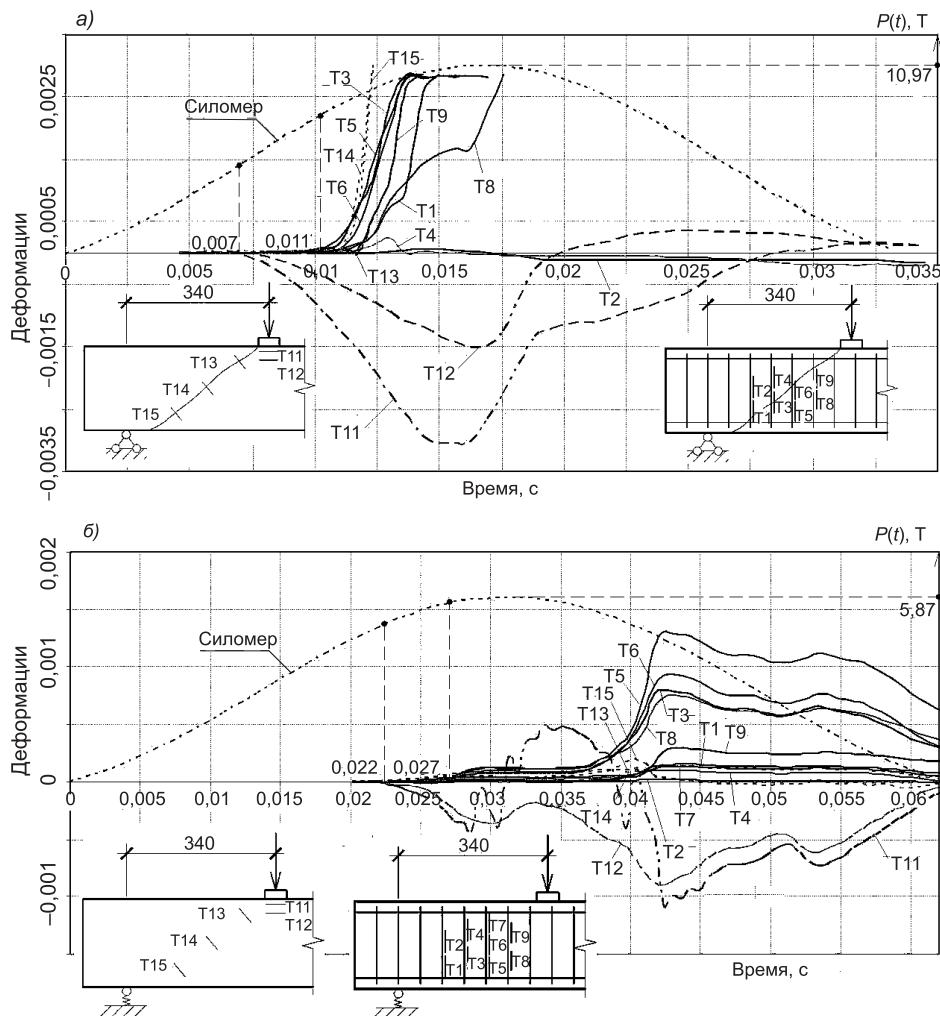


Рис. 7. Графики деформаций поперечной арматуры и бетона
а — жесткие опоры (БД-1); б — податливые опоры (БДО-1)

То есть конструкция полностью сохранила свои прочностные и жесткостные характеристики.

Данные результаты экспериментов показывают, что применение в качестве податливых опор сминаемых вставок дает возможность эффективно защитить конструкцию от разрушения при кратковременном динамическом нагружении. Защита строительных конструкций от кратковременных динамических воздействий высокой интенсивности с использованием сминаемых вставок экономически эффективна (затраты на обеспечение живучести строительной конструкции несопоставимо меньше затрат на восстановление разрушенной строительной конструкции).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плевков, В.С. Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений [Текст] / В.С. Плевков, А.И. Мальганов, И.В. Балдин. — Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2006. — С. 48–70.
2. Смирнов, В.И. Демпфирование как элемент сейсмозащиты сооружений [Текст] / В.И. Смирнов, Е.А. Никитина // Сейсмостойкое строительство. Безопасность зданий и сооружений. — 2007. — № 4. — С. 44–47.

3. Сайд, А.Р.А. Повышение несущей способности железобетонных конструкций при взрывных воздействиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1995. — 25 с.
4. Кумпяк, О.Г. Исследование сжатых железобетонных балок на податливых опорах при поперечном кратковременном динамическом нагружении [Текст] / О.Г. Кумпяк, А.В. Педиков // Вестн. Том. гос. архит.-строит. ун-та. — 2007. — № 1. — С. 136–145.

КОКОРИН Д.Н., асп.; E-mail: kokorin@vtomske.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 28.07.10

Kokorin D.N., post-graduate student; E-mail: kokorin@vtomske.ru, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

INFLUENCE OF STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BASED ON COMPLAINT SUPPORTS UNDER SHORT-TIME LOADING IN CASE OF SHEAR CRACKS

Brief review of structure seismic stability methods for installations. Influence of compliant supports for strength of reinforced concrete beams under short-time loading in case of shear cracks. Experimental data of beams based on rigid and compliant supports.

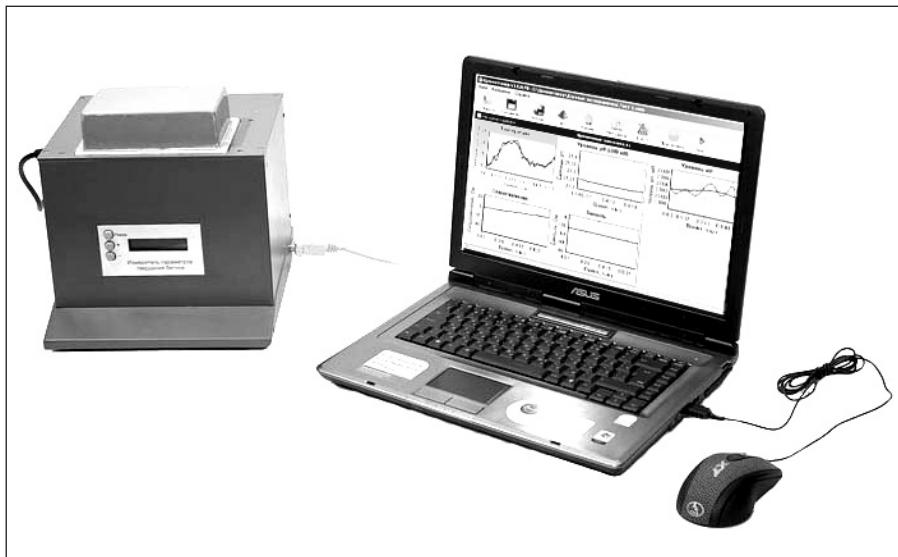
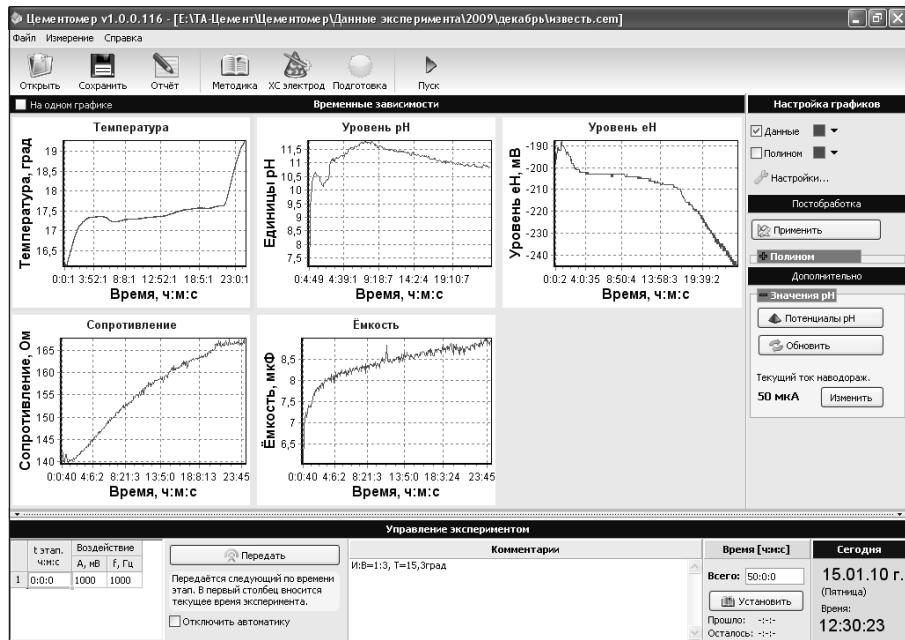
Key words: dynamic loading, reinforced concrete structures, compliant supports.

REFERENCES

1. Plevkov, V.S. Reinforced concrete and stone structures of aseismic buildings and installations [Text] / V.S. Plevkov, A.I. Mal'ganov, I.V. Baldin. — Tomsk, 2006. — 290 p.
2. Smirnov, V.I. Damping as element of seismoprotection of installations [Text] / V.I. Smirnov, E.A. Nikitina // Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' zdaniy i sooruzheniy. — 2007. — N 4. — P. 44–47.
3. Said, A.R.A. Increasing of bearing capacity reinforced structures under impact loading Author's Abstract of Dissertation. — M., 1995. — 25 p.
4. Kumpayak, O.G. Investigation of compressible and flexural reinforced concrete beam structures based on compliant supports under short-time loading [Text] / O.G. Kumpayak, A.V. Pedikov // Bulletin Tomsk State University of Architecture and Building. — 2007. — N 1. — P. 136–145.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В НГАСУ (Сибстрин) на кафедре строительных материалов и специальных технологий разработан универсальный комплекс «УККМ-1» (рисунок), предназначенный для изучения процессов твердения и деструкции композиционных материалов.



ПРИМЕНЕНИЕ

Этот прибор позволяет исследовать и контролировать свойства композиционных материалов в процессе их твердения.

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

• pH (Металлический электрод)	7–14 (0,01)
• Окислительно-восстановительный потенциал, В	0,5 (0,002)
• Электрическая емкость, мкФ	0–20
• Электрическое сопротивление, Ом	5–8000

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

• Переменный ток:	
○ диапазон частот, кГц	10–500 000
○ напряжение, В	10
○ величина тока, А	0,4
• Диапазон температур, °C	от –20 до +50

Особенности работы. В камеру прибора помещают три испытываемых образца размером 20×20×20 мм, необходимых для измерения физико-химических характеристик, проведения воздействий электрическим током на образец и для получения материала без воздействий, который можно подвергнуть физико-механическим испытаниям. Прибор (УККМ-1) подключается к компьютеру для регистрации и обработки полученных от него данных и настройки методик для проведения испытаний.

Время проведения эксперимента может быть не ограничено.

Разработчики: Н.А. МАШКИН, д-р техн. наук, проф.,
В.С. БАЕВ, канд. хим. наук, докторант.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин).

E-mail: ntio@vandex.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 организации. 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") или диске 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr 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, инициалы, 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 (ставлять 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 следуют 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 2010 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины и их обозначения, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052–78 (СН 528–80).

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

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся 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 2010 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 — 1080 р.

Цена отдельного номера — 180 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 (621) 2010

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Т.П. Петровченко*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*