

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

№ 2 (638)
Февраль 2012 г.

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

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

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

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 10.02.12. Формат 70×108 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 10,68+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 1337.

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2012

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Адищев В.В., Митасов В.М., Роот В.В., Шмаков Д.С. Динамический эффект при образовании трещины нормального отрыва в изгибающихся железобетонных элементах 3
- Тутыгин А.Г., Варфоломеев А.Ю. Моделирование исключения рисков биологического повреждения конструкций деревянных зданий .. 15

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Альбакасов А.И., Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Моделирование свойств и синтез серных композиционных материалов 24

- Бернацкий А.Ф., Машкин А.Н., Петров И.И., Зибницкая Н.Е. Особенности активирования цемента в технологии тяжелого и ячеистого бетона .. 33

- Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Комплексная добавка для модификации бетона 38

- Саградян А.А., Зимакова Г.А. Исследование пузоланической активности зольных микросфер 43

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- ### АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Герасимов В.В., Коробова О.А., Пименов А.Т., Михальченко О.Ю. Основы интегрированной безопасности строительных систем	48
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Атавин А.А., Тарасевич В.В., Яненко А.П. Судоходные шлюзы и пути увеличения их пропускной способности	56
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Самарин О.Д., Бушов А.В. Влияние экранов и жалюзи на теплозащитные свойства светопрозрачных конструкций	64
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Киселев В.П., Бугаенко М.Б., Кеменев Н.В. Стабилизация свойств нефтяного дорожного битума	69
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Чубаров П.В., Гладышев Г.В., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А. Дроссельный пневмоударный механизм с управляемыми проточными камерами присоединенных объемов	76
Ломухина М.В., Ломухин В.Б., Виноградов А.Б., Суворов Д.Г., Привалов П.В. Применение ремонтно-восстановительных составов как способ снижения негативного воздействия строительных и дорожных машин на окружающую среду ..	82
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Вольская Л.Н., Бежанова М.В. Об особенностях развития агломераций европейской части России и Сибири	86
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Митасов В.М., Себешев В.Г., Асташенков Г.Г., Логунова М.А. К вопросу учета и уменьшения влияния начальных геометрических несовершенств при возведении многоэтажных каркасных зданий	91
Безбородов В.Г., Меденцов Л.Ф., Брюков А.В., Меденцова Н.Л. Оценка степени спекания пенокерамики на основе суглинка	98
Пангаев В.В., Онина М.М., Сердюк В.М., Молоков Д.В. Исследование масштабных коэффициентов для определения прочности цементных растворов при сжатии	102
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Васюта Б.Н., Чалков Г.В. Экспериментальное исследование моделей подкрановых балок на основе прокатных профилей при местном кручении верхнего пояса. Сообщение 3	109
НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Инжутов И.С. Новое учебное пособие для студентов строительных вузов	119

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Обращаем Ваше внимание на дополнения в п. 3 Правил подготовки рукописи. В авторской справке следует указать фамилии, имена, отчества полностью всех авторов на русском и английском языках.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.072.012.45

В.В. АДИЩЕВ, В.М. МИТАСОВ, В.В. РООТ, Д.С. ШМАКОВ

ДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ТРЕЩИНЫ НОРМАЛЬНОГО ОТРЫВА В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Рассматривается задача о возникновении трещины нормального отрыва в изгибающем железобетонном элементе. Для численной реализации моделей, предложенных авторами ранее, разработана программа на языке объектно-ориентированного программирования Java. Используются «эталонные» и «трансформированные» нелинейные диаграммы деформирования бетона. Деформирование армирующих элементов описывается диаграммой Прандтля с упрочнением. Динамический эффект заключается в практически мгновенном скачкообразном увеличении деформаций растяжения арматуры и бетона верхней грани сжатой зоны сечения при образовании трещины. Предложенный метод позволяет определять интервалы изменения плотности армирования в процентах (для различных классов бетона), для которых динамический эффект оказывается значительным.

Ключевые слова: плотность армирования, бетон, арматура, момент трещинообразования, трещина нормального отрыва, прогиб, динамика.

Целью работы является исследование влияния плотности армирования изгибающего железобетонного элемента на процесс образования трещины нормального отрыва (далее по тексту «трещина»). При оценке степени влияния плотности армирования на напряженно-деформированное состояние (НДС) в разрушающем сечении изгибающего железобетонного элемента физически адекватно учитывалось поведение материалов под нагрузкой с помощью нелинейных аппроксимаций диаграмм деформирования. В работах [1–3] построена последовательность математических моделей, образующих основу алгоритмического комплекса для «сквозного» расчета железобетонного элемента при изгибе. В данной работе реализован первый этап «сквозного» расчета.

Система, описывающая напряженно-деформированное состояние в расчетном сечении перед образованием первой трещины нормального отрыва в изгибающем железобетонном элементе, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} b \int_{-h_c}^{h-h_c} \sigma_b(y) dy + A_s \sigma_s(\varepsilon_s) = 0, \\ b \int_{-h_c}^{h-h_c} \sigma_b(y) y dy + \sigma_s(\varepsilon_s) S_s = M, \\ \varepsilon_b = -\frac{h_c}{h_0 - h_c} \varepsilon_s, \\ \varepsilon_{bt} = \frac{h - h_c}{h_0 - h_c} \varepsilon_s, \end{array} \right. \quad (1)$$

где h — высота элемента;
 b — ширина элемента;
 h_c — высота сжатой зоны;
 h_0 — «рабочая» высота сечения;
 A_s — площадь растянутой арматуры;
 S_s — статический момент площади растянутой арматуры относительно нейтральной оси;
 $\sigma_s(\varepsilon_s)$ — напряжения в растянутой арматуре;
 $\sigma_b(y)$ — распределение напряжения в бетоне по высоте сечения;
 $\varepsilon_{bt}, \varepsilon_b$ — деформации бетона растянутой и сжатой граней элемента соответственно;
 ε_s — деформация растянутой арматуры в разрушающем сечении;
 M — изгибающий момент в расчетном сечении (рис. 1).

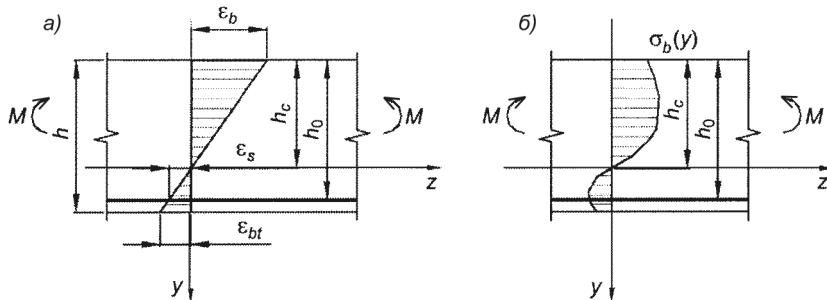


Рис. 1. Распределение деформаций (а) и напряжений (б) по высоте сечения

В соответствии с основными предпосылками энергетической теории расчета железобетонных элементов [1–3] определяются характерные состояния разрушающего сечения:

— состояние до образования трещины, в котором достигнуты критические значения напряжений и деформаций, но сплошность материала еще не нарушена;

— предельное «динамическое» состояние, в котором деформации и прогибы достигли своих максимальных значений, а кинетическая энергия движения полностью перешла в энергию деформирования.

Распределение деформаций по высоте сечения принято линейным в соответствии с гипотезой прямых нормалей (рис. 1):

$$\varepsilon = \rho y, \text{ тогда } y = \frac{1}{\rho} \varepsilon = -\frac{h_c}{\varepsilon_b} \varepsilon, \quad (2)$$

где ρ — радиус кривизны;

$\chi = 1/\rho$ — кривизна нейтральной линии.

Выполним замену переменных в первых двух уравнениях системы (1), используя соотношения (2). При этом, очевидно:

$$\sigma_b(y) = \sigma_b(\chi \varepsilon) = \Psi(\varepsilon). \quad (3)$$

После преобразований и приведения к безразмерному виду получим окончательный вид системы уравнений, определяющих напряженно-деформированное состояние в сечении:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(-\frac{\xi}{\varepsilon_b} \right) \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\Psi}(\varepsilon) d\varepsilon + \mu_s \bar{\varphi}(\varepsilon) = 0, \\ \left(-\frac{\xi}{\varepsilon_b} \right)^2 \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\Psi}(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + (1-\xi) \mu_s \bar{\varphi}(\varepsilon) = \bar{M}, \\ \varepsilon_b = \frac{\xi}{\xi-1} \varepsilon_s, \\ \varepsilon_{bt} = \frac{H-\xi}{1-\xi} \varepsilon_s, \end{array} \right. \quad (4)$$

где $\xi = h_c / h_0$ — относительная высота сжатой зоны;

$H = h / h_0$ — безразмерная высота элемента;

$\mu_s = A_s / (bh_0)$ — плотность армирования;

$\varphi(\varepsilon)$ и $\Psi(\varepsilon)$ — аналитические аппроксимации (рис. 2, 3) диаграмм деформирования арматуры и бетона соответственно;

$\bar{\varphi}(\varepsilon) = \varphi(\varepsilon) / \sigma_0$, $\bar{\Psi}(\varepsilon) = \Psi(\varepsilon) / \sigma_0$, σ_0 — нормирующий множитель для приведения уравнений к безразмерному виду;

$\bar{M} = M / (\sigma_0 b h_0^2)$ — безразмерный изгибающий момент.

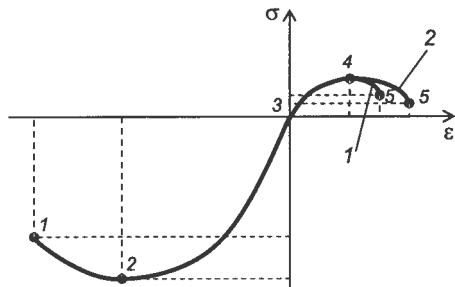


Рис. 2. Схематический вид диаграммы деформирования бетона

1 — «эталонная» диаграмма, 2 — «трансформированная» диаграмма

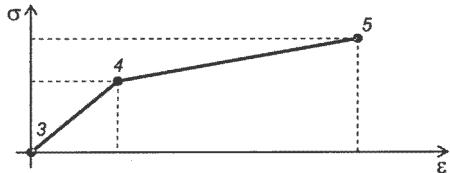


Рис. 3. Схематический вид диаграммы деформирования арматуры

В качестве критерия возникновения трещины принято предположение, что трещина образуется при достижении деформациями в уровне расстянутой грани элемента значения, равного предельному значению $\varepsilon_{bt, ult}$. Для «эталонной» диаграммы, полученной при центральном растяжении-сжатии, $\varepsilon_{bt, ult} = \varepsilon_{b5}$ (см. рис. 2). Предельные деформации для «эталонной» диаграммы и для «трансформированной» диаграммы различны. В работах [4–6] определены отношения между этими деформациями. Использование «трансформированной» диаграммы равносильно тому, что в качестве условия возникновения трещины принимается энергетический критерий: бетон находится в состоянии «предразрушения», если в некоторой зоне, прилегающей к наиболее растянутому волокну, средняя плотность энергии деформирования, затрачиваемой на образование микропреждений, достигает критического значения [5].

Параметрам НДС сечения в стадии «предобразования» трещины присваивается индекс * . Считая $\varepsilon_{bt}^* = \varepsilon_{bt, ult}$ и решая систему, составленную из 1, 3 и 4-го уравнений системы (4), можно найти величины $\varepsilon_s^*, \varepsilon_b^*, \xi^*$. Затем, используя найденные значения, из 2-го уравнения системы (4) находим выражение для изгибающего момента, при котором возникает трещина:

$$\overline{M^*} = \left(-\frac{H}{\xi_{bt}^* - \xi_b^*} \right)^2 \int_{\xi_b^*}^{\xi_{bt}^*} \overline{\Psi}(\xi) \xi d\xi + (1 - \xi^*) \mu_s \overline{\phi}(\xi_s^*). \quad (5)$$

Напряженно-деформированное состояние в сечении с трещиной в балочном приближении в динамическом состоянии описывается системой уравнений

$$\begin{cases} W_b^* + W_s^* + \delta W_t = W_b^d + W_s^d + \Delta W_t^p, \\ b \int_{-h_c^d}^{h_c^d} \sigma_b(y) dy + A_s \sigma_s(\xi_s^d) = 0, \\ \int_{\xi_s^*}^{\xi_s^d} \sigma_s(\xi_s) d\xi = \sigma_s(\xi_s^{eq})(\xi_s^d - \xi_s^*), \\ A_s \int_{\xi_s^*}^{\xi_s^{eq}} \sigma_s(\xi_s) d\xi = \Delta W_t^y, \\ \frac{\xi_b^d}{\xi_{bt}^d} = \frac{-h_c^d}{h_t - h_c^d}, \end{cases} \quad (6)$$

где ξ_s^{eq} — фиктивное значение деформации растянутой арматуры без учета мгновенного характера передачи энергии разрушенного бетона на арматуру;

h_t — высота «живого» сечения элемента;

ξ_{bt}^d — деформация растяжения на уровне конца трещины, в настоящей работе принимается равной предельному значению деформаций растяжения (эталонная диаграмма). Параметрам НДС сечения в стадии «образования» трещины присваивается индекс « d ».

Первое уравнение системы (6) — это уравнение баланса плотностей удельных энергий в разрушаемом сечении. Первое и пятое уравнения системы заменяют кинематические соотношения системы (1), а именно 3-е и 4-е уравнения, так как они перестают быть справедливыми. Четвертое уравнение системы (6) отражает восприятие обратимой части энергии разрушенного растянутого бетона арматурой, третье уравнение отражает мгновенный характер передачи энергии. Последнее уравнение соответствует линейному распределению деформаций по высоте сечения над трещиной.

Плотности (на единицу длины) энергии деформирования бетона, входящие в первое уравнение системы (6), имеют вид

$$W_b^* = b \int_{-h_c^*}^{h_c^*} \left(\int_0^{\xi(y)} \Psi(\xi) d\xi \right) dy, \quad W_b^d = b \int_{-h_c^d}^{h_t - h_c^d} \left(\int_0^{\xi(y)} \Psi(\xi) d\xi \right) dy; \quad (7)$$

$$\Delta W_t^y = \int_{h_t - h_c^*}^{h_c^*} \frac{(\Psi(\xi))^2}{2E_b} dy; \quad (8)$$

$$\Delta W_t^p = \Delta W_t - \Delta W_t^y; \quad (9)$$

$$\Delta W_t = b \int_{h_l - h_c^*}^{h - h_c^*} \left(\int_0^{\varepsilon(y)} \Psi(\varepsilon) d\varepsilon \right) dy. \quad (10)$$

Выражения (7) — плотность энергии деформирования растянутой части бетонного сечения до образования трещины и в «динамическом» состоянии соответственно;

(8) — обратимая часть плотности энергии деформирования бетона разрушаемой части сечения;

(9) — необратимая часть плотности энергии деформирования бетона разрушаемой части сечения;

(10) — плотность энергии деформирования разрушаемой части сечения.

Плотности удельной энергии деформирования арматуры до образования трещины и в «динамическом» состоянии определяются по формулам

$$W_s^* = A_s \int_0^{\varepsilon_s^*} \sigma_s(\varepsilon_s) d\varepsilon, \quad W_s^d = A_s \int_0^{\varepsilon_s^d} \sigma_s(\varepsilon_s) d\varepsilon. \quad (11)$$

Уравнение баланса плотностей энергии деформирования в системе (6) является интегральным уравнением, так как δW_t (плотность работы внешних сил) зависит от неизвестной функции $u^d(z)$ распределения прогиба балки в «динамическом» состоянии. В общем случае численная процедура решения системы содержит алгоритм решения интегрального уравнения.

Для определения координат узлов интерполяции применяется следующая процедура. Обозначим длину изгибаемого элемента (балки) через L , безразмерную длину $l = L/h_0$, безразмерную координату вдоль оси балки $\zeta = z/h_0$. Выбираются значения деформаций растяжения ε_{bt_i} ($i = 1, 2, \dots, n-1$) из промежутка $(0, \varepsilon_{bt}^*)$. Подставляя в системе (4) вместо ε_{bt} выбранные значения ε_{bt_i} и решая ее, находим значения $\varepsilon_{bi}, \varepsilon_{si}, \xi_i, M_i$ в i -м сечении. Для статически определимых задач, например для шарнирно опертой балки, функция $\bar{M}(\zeta)$ (распределение изгибающего момента) задана. Теперь безразмерные координаты ζ_i расчетных сечений определяются из уравнения

$$\bar{M}(\zeta) = \bar{M}_i.$$

Интервал $(0, l)$ разбивается на интервалы $(0, \zeta_1), (\zeta_1, \zeta_2), \dots, (\zeta_{2n-2}, l)$. Значения безразмерной кривизны нейтральной линии в i -м узле определяются формулой $\bar{\chi}(\zeta_i) = -\varepsilon_{bi}/\xi_i$.

На каждом отрезке $[\zeta_i, \zeta_{i+1}]$ функция кривизны заменяется кусочно-линейной аппроксимацией:

$$\bar{\chi}(\zeta) = \bar{\chi}_i + \frac{\bar{\chi}_{i+1} - \bar{\chi}_i}{\zeta_{i+1} - \zeta_i} (\zeta - \zeta_i). \quad (12)$$

Для определения перемещения в точке ζ_i используем интеграл Мора:

$$\bar{u}(\zeta_i) = \sum_{i=0}^{i=2n-1} \int_{\zeta_i}^{\zeta_{i+1}} \bar{M}_{li}(\zeta) \bar{\chi}(\zeta) d\zeta, \quad (13)$$

где безразмерная функция распределения прогибов $\bar{u}(\zeta) = u(z)/h_0$, $\bar{M}_u(\zeta) = M_u(z)/(1H \cdot h_0)$ — безразмерная функция распределения изгибающего момента, соответствующая действию единичной силы 1 Н, приложенной в точке ζ_i .

В конкретных простых случаях часто имеется возможность получить приближенно явное выражение для δW_t . Рассмотрим деформирование балки прямоугольного сечения ($b = \text{const}$) под действием равномерной нагрузки $q(z) = q = \text{const}$. Работа внешних сил на дополнительных перемещениях равна

$$\delta A = \int_0^L q(z)(u^d(z) - u^*(z)) dz.$$

При образовании трещины происходит перераспределение напряжений и деформаций в окрестности трещины. Но эксперименты показывают, что эта окрестность невелика, ее размеры сравнимы с высотой сечения. Будем считать, что дополнительная энергия распределяется на участке $(z_{k-1}; z_{k+1})$, если z_k — координата разрушающего сечения. В силу симметрии $z_k = L/2$. В предположении, что вне участка $(z_{k-1}; z_{k+1})$ НДС не изменяется при возникновении трещины, нетрудно видеть, что плотность дополнительной работы внешних сил при линейном распределении на участке $(z_{k-1}; z_k)$ равна

$$\delta W_t = \frac{2\delta A}{2(z_k - z_{k-1})}. \quad (14)$$

Функции распределения прогибов в состоянии до образования трещины и в «динамическом» состоянии аппроксимируются кусочно-линейными функциями вида (12) с ранее определенными узлами интерполяции ζ_i .

С учетом того, что в сечении z_{k-1} кривизна не меняется, после преобразований получим приращение плотности работы внешних сил:

$$\delta W_t = \frac{qbL}{12} (2z_k + z_{k-1}) \left(\frac{\varepsilon_b^*}{h_c^*} - \frac{\varepsilon_b^d}{h_c^d} \right). \quad (15)$$

Подставляя соотношения (7)–(11), (15) в систему (6) и приводя ее к безразмерному виду, получим

$$\begin{cases} \frac{H - \xi^*}{\varepsilon_{bt}^*} \left[\int_0^{\varepsilon_{bt}^*} \bar{\Psi}(\varepsilon)(\varepsilon_{bt}^* - \varepsilon) d\varepsilon + \int_{\varepsilon_b^*}^0 \bar{\Psi}(\varepsilon)(\varepsilon_b^* - \varepsilon) d\varepsilon \right] + \\ + \frac{\bar{q}l}{12} (2\xi_k + \xi_{k-1}) \left(\frac{\varepsilon_b^*}{\xi_b^*} - \frac{\varepsilon_b^d}{\xi_b^d} \right) = \\ = \frac{H_t - \xi^d}{\varepsilon_{bt}^*} \left[\int_0^{\varepsilon_{bt}^*} \bar{\Psi}(\varepsilon)(\varepsilon_{bt}^* - \varepsilon) d\varepsilon + \int_{\varepsilon_b^d}^0 \bar{\Psi}(\varepsilon)(\varepsilon_b^d - \varepsilon) d\varepsilon \right] + \mu_s \int_{\varepsilon_s^{eq}}^{\varepsilon_s^d} \bar{\phi}(\varepsilon) d\varepsilon + \\ + (H - H_t) \int_0^{\frac{H_t - \xi^*}{H - \xi^*} \varepsilon_{bt}^*} \bar{\Psi}(\varepsilon) d\varepsilon + \frac{H - \xi^*}{\varepsilon_{bt}^*} \int_{\frac{H_t - \xi^*}{H - \xi^*} \varepsilon_{bt}^*}^{\varepsilon_{bt}^*} (\varepsilon_{bt}^* - \varepsilon) \bar{\Psi}(\varepsilon) d\varepsilon, \end{cases} \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{\xi^d}{\varepsilon_b^d} \int_{\varepsilon_s^*}^{\varepsilon_{bt}^*} \bar{\Psi}(\varepsilon) d\varepsilon + \mu_s \bar{\varphi}(\varepsilon_s^d) = 0, \\ \int_{\varepsilon_s^*}^{\varepsilon_s^d} \bar{\varphi}(\varepsilon) d\varepsilon = \bar{\varphi}(\varepsilon_s^{eq}) (\varepsilon_s^d - \varepsilon_s^*), \\ \mu_s \int_{\varepsilon_s^*}^{\varepsilon_s^{eq}} \bar{\varphi}(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{H - \xi^*}{\varepsilon_{bt}^*} \frac{1}{2E_b} \int_{\frac{H_t - \xi^*}{H - \xi^*} \varepsilon_{bt}^*}^{\varepsilon_{bt}^*} (\bar{\Psi}(\varepsilon))^2 d\varepsilon, \\ \frac{\varepsilon_b^d}{\varepsilon_{bt}^*} = \frac{-\xi^d}{H_t - \xi^d}. \end{array} \right. \quad (16)$$

Для решения системы (16) построен численный алгоритм. В качестве ведущей переменной выбрана высота неразрушенной части сечения $H_t \in [\xi^*; H]$. Для решения 1-го уравнения относительно неизвестной величины H_t строится итерационный процесс на основе метода дихотомии. Второе — пятое уравнения используются для определения ε_s^{eq} , ε_s^d , ε_b^d , ξ^d на каждом шаге итерационного процесса при заданном значении H_t .

Ниже приведены результаты расчетов для бетона условных классов B15, B35. Диаграммы деформирования бетона приняты согласно [4–6], значения напряжений и деформаций в узловых точках диаграмм представлены в табл. 1, 2. Для описания зависимостей между напряжениями и деформациями использованы сплайн-функции второго порядка. Схематический вид диаграммы деформирования представлен на рис. 2.

Таблица 1
Координаты узловых точек «эталонной» диаграммы деформирования для бетонов класса B15, B35

№ узла	B15		B35	
	ε_i	σ_i , МПа	ε_i	σ_i , МПа
1	$-4,8 \cdot 10^{-3}$	-17,5	$-3,8 \cdot 10^{-3}$	-30,5
2	$-1,4 \cdot 10^{-3}$	-20,0	$-1,6 \cdot 10^{-3}$	-36,0
3	0	0	0	0
4	$3,2 \cdot 10^{-5}$	0,6050	$4,7 \cdot 10^{-5}$	1,2657
5	$4,4 \cdot 10^{-5}$	0,4960	$5,1 \cdot 10^{-5}$	1,2534

Таблица 2
Координаты узловых точек «трансформированных» диаграмм деформирования для бетонов класса B15, B35

№ узла	B15		B35	
	ε_i	σ_i , МПа	ε_i	σ_i , МПа
1	$-4,8 \cdot 10^{-3}$	-17,5	$-3,8 \cdot 10^{-3}$	-30,5
2	$-1,4 \cdot 10^{-3}$	-20,0	$-1,6 \cdot 10^{-3}$	-36,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	$3,2 \cdot 10^{-5}$	0,6050	$4,7 \cdot 10^{-5}$	1,2657
5	$5,85 \cdot 10^{-5}$	0,3739	$5,52 \cdot 10^{-5}$	1,2406

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

В расчете приняты геометрические характеристики элемента:

$$L = 1,2 \text{ м}; h = 0,14 \text{ м}; h_0 = 0,125 \text{ м}; b = 0,07 \text{ м}; A_s = 0,00 \dots 1,05 \text{ см}^2,$$

что соответствует значениям плотности армирования 0,0–1,2 %. Нормирующий множитель $\sigma_0 = 400$ МПа.

Результаты расчета для различных условных классов бетона и диаграмм деформирования при различных значениях плотности армирования представлены в табл. 3, 4 и графически (рис. 4–6). Индекс «tr» присвоен параметрам, полученным при решении с использованием «трансформированных» диаграмм деформирования бетона.

Таблица 3
Результаты расчета для бетона условного класса В15

Параметры НДС сечения	Тип диаграммы	Плотность армирования, %					
		0	0,025	0,05	0,4	1	1,2
$-\varepsilon_b^* \cdot 10^5$	1	3,73	3,75	3,76	3,92	4,20	4,29
	2	4,36	4,38	4,40	4,64	*	*
$-\varepsilon_b^d \cdot 10^5$	1	—	3,95	4,01	4,20	4,27	4,30
	2	—	4,48	4,50	4,64	*	*
$\varepsilon_s^* \cdot 10^5$	1	3,53	3,53	3,53	3,51	3,48	3,47
	2	4,76	4,75	4,75	4,73	*	*
$\varepsilon_s^{eq} \cdot 10^5$	1	—	24,38	16,86	5,47	3,67	3,49
	2	—	16,39	10,54	4,75	*	*
$\varepsilon_s^d \cdot 10^5$	1	—	45,22	30,20	7,42	3,87	3,51
	2	—	28,02	16,33	4,80	*	*
ξ^*	1	0,514	0,515	0,516	0,528	0,547	0,553
	2	0,478	0,479	0,481	0,495	*	*
ξ^d	1	—	0,376	0,390	0,469	0,533	0,551
	2	—	0,405	0,423	0,492	*	*
H_t	1	—	0,795	0,819	0,960	1,082	1,115
	2	—	0,934	0,974	1,113	*	*
$\overline{M}^* \cdot 10^4$	1	4,77	4,80	4,83	5,23	5,91	6,14
	2	4,99	5,03	5,07	5,64	*	*
$\overline{u}^* \cdot 10^4$	1	6,20	6,22	6,23	6,45	6,77	6,87
	2	6,94	6,99	7,04	7,57	*	*
$\overline{u}^d \cdot 10^4$	1	—	7,14	7,10	6,91	6,88	6,88
	2	—	7,26	7,25	7,58	*	*

* — изменения параметров не происходят.

Таблица 4

Результаты расчета для бетона условного класса В35

Параметры НДС сечения	Тип диаграммы	Плотность армирования, %					
		0	0,025	0,05	0,5	3,2	3,8
$-\epsilon_b^* \cdot 10^5$	1	4,48	4,49	4,50	4,65	5,54	5,73
	2	4,74	4,75	4,76	4,92	5,83	*
$-\epsilon_b^d \cdot 10^5$	1	—	4,75	4,84	5,30	5,68	5,74
	2	—	5,01	5,10	5,53	5,88	*
$\xi_s^* \cdot 10^5$	1	4,07	4,07	4,07	4,06	3,96	3,94
	2	4,42	4,42	4,42	4,42	4,30	*
$\xi_s^{eq} \cdot 10^5$	1	—	43,69	30,68	9,49	4,17	3,95
	2	—	44,46	31,17	9,52	4,38	*
$\xi_s^d \cdot 10^5$	1	—	83,30	57,30	14,93	4,37	3,96
	2	—	84,51	57,91	14,63	4,46	*
ξ^*	1	0,524	0,524	0,525	0,534	0,583	0,593
	2	0,517	0,518	0,518	0,528	0,575	*
ξ^d	1	—	0,353	0,364	0,436	0,572	0,592
	2	—	0,354	0,365	0,438	0,571	*
H_t	1	—	0,733	0,748	0,855	1,085	1,118
	2	—	0,745	0,761	0,876	1,106	*
$M^* \cdot 10^4$	1	9,39	9,42	9,45	10,04	13,46	14,20
	2	9,74	9,78	9,82	10,46	13,93	*
$u^* \cdot 10^4$	1	7,61	7,62	7,63	7,79	8,59	8,82
	2	8,08	8,09	8,10	8,28	9,18	*
$u^d \cdot 10^4$	1	—	9,35	9,30	9,04	8,82	8,83
	2	—	9,78	9,73	9,44	9,25	*

* — изменения параметров НДС сечения не происходит.

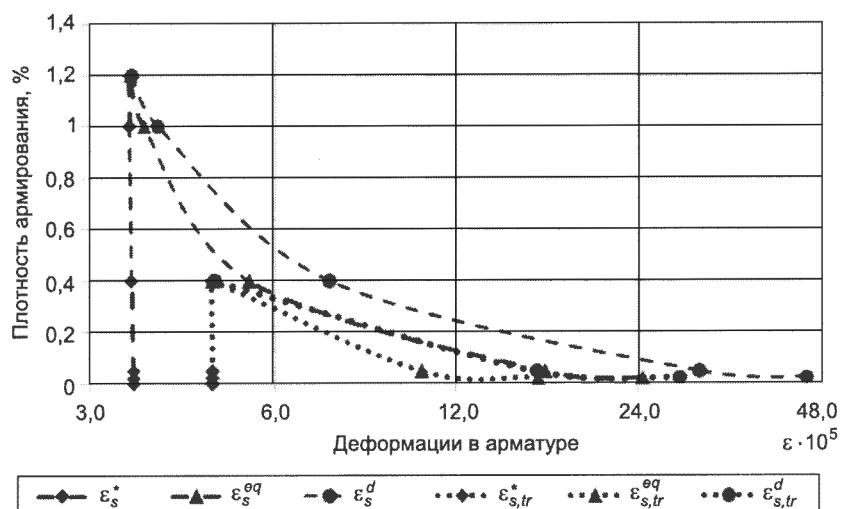


Рис. 4. Зависимости деформаций в арматуре от плотности армирования, %. Бетон класса В15

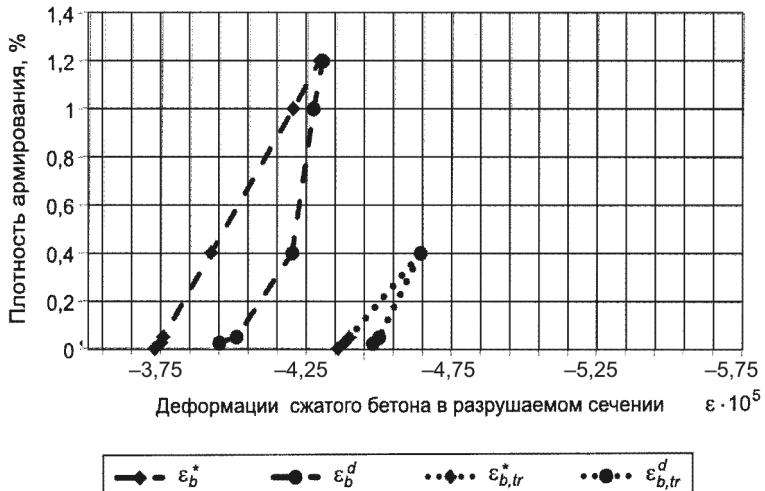


Рис. 5. Деформации в крайнем сжатом слое бетона в зависимости от плотности армирования (бетон класса В15)

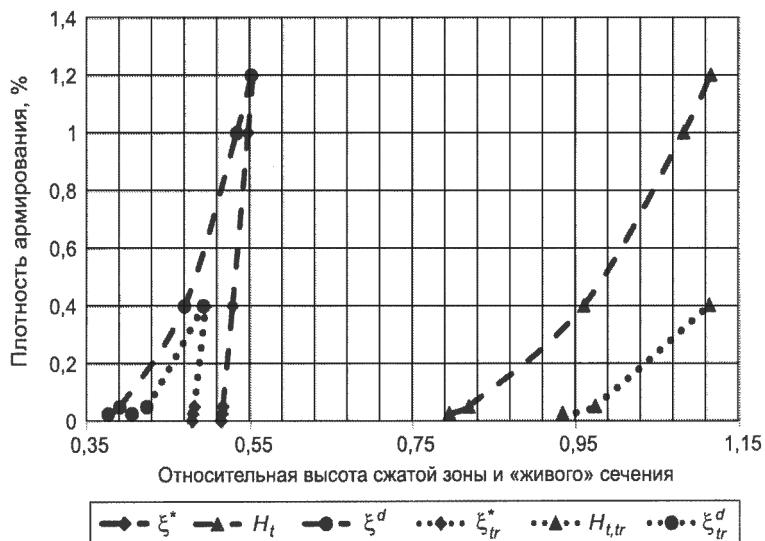


Рис. 6. Зависимости относительной высоты сжатой зоны и «живого» сечения от плотности армирования (бетон класса В15)

Выводы. 1. Использование в расчетах «трансформированной» диаграммы деформирования для бетонов классов В15 и В35 приводит к увеличению расчетных деформаций бетона сжатой грани и падению расчетных деформаций в арматуре при образовании трещины.

2. Практически мгновенное изменение состояния при образовании трещины приводит к перераспределению напряжений и деформаций со скачкообразным увеличением деформаций растяжения в арматуре и деформаций сжатия верхней грани бетона сжатой зоны. Наиболее значителен скачок деформаций в арматуре. Для слабоармированных сечений (процент армирования ~ 0,05 %) деформации увеличиваются на порядки.

3. Компьютерные симуляции с применением разработанного алгоритма показали, что для каждого условного класса бетона можно определить диапазон изменения плотности армирования, в котором динами-

ческий эффект при образовании трещины оказывается значительным. Например, для бетона условного класса B15 (см. рис. 4, 5) при плотности армирования, близкой к 1 %, динамическим эффектом можно пре-небречь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адищев, В.В. Энергетический подход к моделированию процесса образования трещин в изгибаемых железобетонных элементах [Текст] / В.В. Адищев, В.М. Митасов // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 4. — С. 26–31.
2. Митасов, В.М. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 5. — С. 3–9.
3. Митасов, В.М. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 6. — С. 3–8.
4. Адищев, В.В. Определение коэффициента трансформации эталонной диаграммы деформирования бетона растянутой зоны при изгибе в стадии предразрушения [Текст] / В.В. Адищев, В.М. Митасов, Э.В. Березина, Е.М. Сергуничева, Н.В. Ершова // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 1. — С. 85–91.
5. Адищев, В.В. Определение коэффициентов трансформации эталонных диаграмм для изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов [Текст] / В.В. Адищев, Э.В. Березина, Н.В. Ершова // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 7. — С. 73–81.
6. Адищев, В.В. Экспериментальная апробация метода трансформации эталонных диаграмм деформирования бетона при изгибе [Текст] / В.В. Адищев, Э.В. Березина, Н.В. Ершова // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 8–9. — С. 118–124.

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МИТАСОВ Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ROOT Виталий Викторович, ст. препод.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ШМАКОВ Дмитрий Сергеевич, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 19.12.11

Adishchev Vladimir Vasilievich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Mitasov Valeriy Michaylovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

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

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

DYNAMIC EFFECTS IN CRACKING NORMAL LEAD IN THE BENDING OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Consider the problem of occurrence of cracks of normal separation of bendable concrete elements. For the numerical implementation of models proposed by the authors previously developed the program in the language of object-oriented programming of Java. Used

«reference» and «transformed» nonlinear strain diagram of concrete. The deformation of the reinforcing elements is described by the diagram of my Prandtl with hardening. The method allows to determine the ranges of the density of reinforcement as a percentage (for the various classes of concrete), for which the dynamic effect is significant. The dynamic effect is an abrupt change in strain reinforcement and concrete of the compressed zone in the formation of cracks.

Key words: density of reinforcement, concrete, armature, cracking moment, crack of normal separation, deflection, dynamics.

REFERENCES

1. Adishchev, V.V. Energy approach to modeling the process of cracking in reinforced concrete flexural elements [Text] / V.V. Adishchev, V.M. Mitasov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2005. — N 4. — P. 26–31.
 2. Mitasov, V.M. The main prerequisite for building energy theory of resistance of reinforced concrete [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 5. — P. 3–9.
 3. Mitasov, V.M. Main provisions of the energy theory of resistance of reinforced concrete [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 6. — P. 3–8.
 4. Adishchev, V.V. Determination of the transformation of the reference strain diagram of concrete stretched area at a bend in the prefraction stage [Text] / V.V. Adishchev, V.M. Mitasov, E.V. Berezina, E.M. Sergunicheva, N.V. Ershova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 1. — P. 85–91.
 5. Adishchev, V.V. Determination of the transformation of standard diagrams for bending and eccentrically compressed concrete elements [Text] / V.V. Adishchev, E.V. Berezina, N.V. Ershova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 7. — P. 73–81.
 6. Adishchev, V.V. Experimental testing of the method of transformation of the reference strain diagrams of concrete in bending [Text] / V.V. Adishchev, E.V. Berezina, N.V. Ershova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — № 8–9. — P. 118–124.
-

УДК 624.011

А.Г. ТУТЫГИН, А.Ю. ВАРФОЛОМЕЕВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ РИСКОВ
БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ
ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ**

С помощью экспертной оценки методом анализа иерархий определены количественные показатели влияния различных конструктивных элементов и инженерных систем на общее биологическое повреждение деревянных зданий. Разработана математическая модель прогнозирования последствий исключения рисков биологического повреждения конструкций деревянных зданий. Проанализированы варианты замены деревянных элементов фундаментов на железобетонные и замены поврежденной кровли. Результаты предназначены для специалистов, занятых эксплуатацией деревянных зданий, в том числе их обследованием, проектированием и ремонтом.

Ключевые слова: деревянные здания, биологическое повреждение, конструкции, влияние, исключение рисков, моделирование.

В период индустриализации на Севере нашей страны строили преимущественно двухэтажные многоквартирные здания, рубленые из бруса на нагельных соединениях. На заторфованных территориях здания возводили на деревянных сваях либо фундаментных стульях [1, 2].

Нормативный срок службы деревянных зданий с бутовыми ленточными фундаментами составлял 50 лет (4-я группа капитальности) [3], что в 1,67–3,33 раза выше, чем с фундаментами на деревянных стульях или сваях (5-я и 6-я группы капитальности). Основной причиной сокращения сроков службы деревянных зданий является повреждение дереворазрушающими грибами.

Цель исследований — определить уровень влияния конструктивных элементов и инженерных систем на общее биологическое повреждение деревянных зданий при длительной эксплуатации в холодном климате и разработать математическую модель прогнозирования последствий исключения рисков такого повреждения.

Большинство грибов, повреждающих древесину, прекращают развитие при температуре ниже 0...+5 °C и выше +45...50 °C, а также при влажности древесины ниже 18...22 % (из-за недостатка влаги) и выше 120...150 % (из-за недостатка воздуха в водонасыщенных стенах трахеид) [4]. В отапливаемых зданиях грибы могут развиваться даже в зимний период, если имеются теплопотери в ограждающих конструкциях и горячих трубопроводах, а также протечки в системе канализации и других трубопроводах с влагой.

В грунте всегда присутствует инфекция. Наиболее агрессивно инфицирование грунтовой влагой, которая может являться суспензией спор дереворазрушающих, деревоокрашивающих и плесневых грибов. Влага из грунта может перемещаться вверх по продольным трубчатым полостям трахеид древесины фундаментных стоек и распространяться на окладные венцы, цокольные перекрытия и стены.

В замкнутых пространствах подпольев зданий с биостойкими бетонными или бутовыми фундаментами и грунтовыми полами при отсутствии эффективной вентиляции через продухи в нижней части стен (согласно СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные» общая площадь продухов должна быть не менее 1 / 400 площади пола) инфицирование окладных венцов стен и цокольных перекрытий происходит за счет переноса спор в воздушной среде. Следует отметить, что вследствие низкой профессиональной ответственности обслуживающего персонала в последние годы правила эксплуатации подполий часто нарушают — не открывают продухи для проветривания в теплое время года или не закрывают на период морозов. Неэффективная вентиляция способствует биологическому повреждению деревянных элементов фундаментов и цокольных перекрытий.

Закономерности повреждения конструкций определяли по результатам натурных обследований деревянных двухэтажных многоквартирных зданий, эксплуатируемых в климатических условиях Севера [2]. Для анализа результатов использовали метод экспертных оценок. Он основан на системном построении иерархической структуры с учетом приоритета рассматриваемых факторов. В качестве целевой функции принято биологическое повреждение конструкций здания. Гниение — это сложный процесс жизнедеятельности микроорганизмов, зависящий от температуры, влажности и других показателей окружающей среды, формируемой в зданиях с помощью инженерных коммуникаций. Поэтому при системном анализе учитывали влияние коммуникаций.

Для экспертной оценки вклада факторов в конечный результат использовали метод анализа иерархий (МАИ), который обычно применяют при решении экологических, географических и других задач [5, 6]. Он позволяет произвести декомпозицию обобщенной задачи на более простые составляющие части и в дальнейшем обрабатывать оценочные мнения компетентных независимых экспертов при парном сравнении рассматриваемых факторов с оценкой их влияния на общую для них характеристику. В итоге выявляется относительная степень (интенсивность) взаимодействия в построенной иерархии показателей влияния различных конструкций и инженерных систем на общую для них характеристику — биологическое повреждение здания.

Качество работы экспертов по определению весовых коэффициентов влияющих факторов (коэффициент влияния) оценивали по индексу согласованности (ИС). Этот показатель описывает степень нарушения численной (кардинальной) и транзитивной (порядковой) согласованности экспертных суждений [6]. Отклонение суждений эксперта от согласованности в каждой матрице парных сравнений и для всей рассматриваемой иерархии вычисляли по следующей формуле:

$$ИС = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (1)$$

где λ — собственное число;

n — число сравниваемых факторов.

Индекс согласованности (1) сравнивали с величиной, полученной при случайному выборе количественных показателей рассматриваемых характеристик, которая трактуется как средняя. Средние согласованности (СС) для случайных матриц разного порядка приведены в табл. 1, где m — число рассматриваемых факторов.

Таблица 1

Зависимость значения средней согласованности от количества рассматриваемых факторов

<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

При превышении количества факторов значение СС принимается равным 1,49. Отношение согласованности (ОС) выражается отношением ИС к СС для матриц того же порядка:

$$ОС = \frac{ИС}{СС} 100\%. \quad (2)$$

Результаты считаются приемлемыми, если значения ОС не превышают 10 %. В некоторых задачах величина ОС может быть увеличена до 20 %. В данном случае рассматривается задача, зависящая от большого количества факторов, целевая функция которой зависит от сложного процесса жизнедеятельности микроорганизмов. Поэтому верхняя граница ОС принята 20 %. Если отношение согласованности эксперта превышает установленное значение, то такие результаты следует исключить из рассмотрения [6].

В экспертной оценке участвовали научные сотрудники, занимающиеся строительной экспертизой деревянных зданий, и инженерно-технический персонал организаций, специализирующихся на реконструкции, капитальном и текущем ремонте деревянных зданий. Коэффициенты влияния (КВ) по МАИ определяли с использованием специальной шкалы (табл. 2).

Таблица 2

Шкала оценок различия при сравнении критериев

Значимость различий		Признаки различия
степень (оценка)	характеристика	
1	Однаковая	Два критерия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Слабая	Соображения в пользу некоторого предпочтения одного из критериев, однако эти соображения недостаточно убедительны
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные данные или логические суждения, подтверждающие предпочтительность одного из критериев
7	Очевидная или очень сильная значимость	Убедительное свидетельство в пользу предпочтительности одного критерия перед другим
9	Абсолютная	Свидетельства в пользу предпочтительности одного критерия перед другим в высшей степени убедительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между двумя соседними базовыми показателями суждений	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведенных выше ненулевых величин оценок	Если критерию <i>i</i> при сравнении с критерием <i>j</i> приписывается одно из определенных выше ненулевых чисел, то критерию <i>j</i> при сравнении с критерием <i>i</i> приписывается обратное значение	Если при формировании матрицы определено численное значение оценки различия двух рассматриваемых критериев (при сравнении <i>i</i> с <i>j</i>), а необходимо формировать вторую часть матрицы (при сравнении <i>j</i> с <i>i</i>)

Последующая обработка множественных оценочных мнений независимых экспертов по МАЙ включала процедуры синтеза, ранжирования критериев по приоритетам и нахождения альтернативных решений [5].

От фундаментов зависит техническое состояние всего здания. Наиболее интенсивно деструкция развивается в деревянных фундаментных стойках на уровне грунта, где наиболее высокая концентрация дереворазрушающих грибов и древесины подсушена [2].

Нижние (окладные) венцы инфицируются преимущественно в зонах контакта с деревянными сваями либо фундаментными стульями. В техническом подполье инфицирование происходит спорами, содержащимися в воздушной среде. Зафиксированы случаи непосредственного контакта окладных венцов с грунтом [2], что недопустимо из-за опасности интенсивного инфицирования древесины.

Кровля многих старых зданий на Севере первоначально была выполнена из деревянного теса (длинные пиломатериалы с желобами на наружной стороне для стока воды). Биологическому повреждению тесовой кровли часто способствовала гниющая листва, попадавшая с деревьев на крышу. Локальное обрастание мхом поверхности крыши приводило к удержанию влаги и деструкции древесины. Поэтому в процессе эксплуатации тес меняли на асбокементные волнистые листы. Основными дефектами шиферных кровель являются трещины, малые карнизные свесы и отсутствие организованного водостока, что приводит к увлажнению наружных стен, особенно при ветре. В зимнее время при нарушении правил эксплуатации зданий на чердачные перекрытия часто попадает снег через открытые слуховые окна. Стропильная система обычно разрушается из-за сверхнормативной снеговой либо ветровой нагрузки. Биологическое повреждение происходит только в случаях длительной протечки кровли.

На наружные стены действуют атмосферные осадки, ультрафиолетовое облучение, химическое воздействие пыли, смога, перепад наружной и внутренней температуры. Защиту стен обычно обеспечивают с помощью наружной защитно-декоративной обшивки из вагонки, сайдингов или листовых материалов. Интенсивное инфицирование стен происходит в зонах их увлажнения. Например, нижняя часть деревянных стен вблизи от поверхности грунта загнивает при таянии сугробов.

Внутренние стены повреждаются грибами преимущественно там, где возможно увлажнение (санитарно-технические помещения, кухни), а также в местах локальных протечек крыши либо трубопроводов. Зафиксированы повреждения стен из-за использования полимерных отделочных материалов (моющихся обоев, различных декоративных покрытий с синтетической основой для утепления), которые ограничивают сушку древесины при эксплуатации.

При обследованиях установлено, что биологическое повреждение перекрытий, как правило, начинается в помещениях с влажными условиями эксплуатации (занимают 10–12 % общей площади квартиры) либо в местах протечек крыши, трубопроводов. Цокольное перекрытие эксплуатируется в более сложных условиях, чем междуэтажное. Оно подвержено интенсивному влиянию увлажненной и инфицированной среды подполья, а также конденсатному увлажнению. Закономерности биологического повреждения деревянных полов аналогичны таковым для перекрытий. Риск повреждения чердачного перекрытия полностью зависит от состояния кровли и трубопроводов (в случае их верхней разводки).

Наиболее характерным дефектом оконных проемов является биологическая деструкция подоконного бруса и теплоизоляции подоконника. Обычно это обусловлено неудовлетворительным состоянием подоконных сливов и герметизирующих заделок в нижней части оконных блоков.

Аналогичные дефекты имеют и наружные дверные заполнения, не имеющие кровельных козырьков.

Инфицирование деревянных лестниц происходит за счет грязи, вносимой на обувь, особенно в местах, где возможно увлажнение. Крыльца примыкают к несущим нижним венцам деревянного сруба здания и значительно ограничивают их проветривание. Зимой у крылец накапливается снег. Его медленное таяние весной в зоне инсоляционной и аэродинамической тени способствует биологическому повреждению древесины.

Наличие воды в подвале, протечки труб и конденсат на поверхностях трубопроводов холодного водоснабжения (ХВС) стимулируют развитие грибов. Системы отопления и горячего водоснабжения (ГВС) могут выполнять двойную функцию. Подогрев при наличии вентиляции способствует сушке древесины и противодействует гниению. Протечки и подогрев инфицированных конструкций при отсутствии вентиляции активизируют гниение. В случае теплопотерь в горячих трубопроводах в подполье (особенно при наличии горячих протечек) грибы могут развиваться даже зимой. Протечки канализационной системы под зданиями создают дополнительную влажную питательную среду для грибов.

При проектировании старых деревянных зданий не учитывали перспективу применения газовых плит, которые смонтировали позднее при реконструкции. Продуктами горения газа являются углекислый газ и вода. Из-за неэффективной форточной вентиляции испарения могут конденсироваться на конструкциях и способствовать гниению.

Двухэтажные печи с высокими трубами в зданиях рассматриваемой конструкции установлены на отдельно стоящие деревянные фундаменты [2]. Позднее в городской застройке была создана система централизованного отопления. При этом во многих зданиях сохранили печи как резервный источник отопления. Неэксплуатируемые печи не обеспечивают высушивание деревянных конструкций, а в некоторых случаях могут служить источником увлажнения, способствующего биологическому повреждению (диффузия влаги из подполья, конденсат зимой в зоне цокольного перекрытия).

Проектами предусмотрена система естественной вентиляции помещений с использованием преимущественно форточек. Вентиляция улучшает качество воздуха в помещениях, регулирует его влажность и противодействует гниению. При последующих реконструкциях зданий появлялись дополнительные источники влаги: газовые плиты, душевые кабины, ванны, а также препятствующие сушке древесины герметичные оконные заполнения со стеклопакетами, водо- и воздухонепроницаемые полимерные отделочные материалы для стен, полов и потолков. Однако при этом не реконструировали систему естественной вентиляции, которая при такой дополнительной нагрузке стала неэффективной.

Неэффективная вентиляция, а также отсутствие защитно-декоративной наружной обшивки на фасадах приводят к тому, что не оказывается противодействие увлажнению деревянных конструкций и не снижается риск развития биологического повреждения. Поэтому перечисленные факторы учитывали при анализе.

Деревянные фундаменты, от которых зависит безопасность эксплуатации всего здания, часто трудно или даже невозможно обследовать из-за малого расстояния между грунтом и цокольным перекрытием. Протечки кровли жильцы быстро выявляют и предпринимают меры для их ликвидации до распространения биологической инфекции. При обследованиях зафиксировано, что в зданиях с высоким физическим износом уровень влияния кровли на биологическое повреждение других конструкций проявляется более отчетливо. Поэтому большой научный интерес представ-

ляют данные об изменении технического состояния старых ветхих зданий, не полностью заселенных (частично эксплуатируемых).

На этапе 1 были рассмотрены конструкции и инженерные системы (25 факторов), которые участвуют в процессе биологического повреждения либо оказывают на него влияние. При обследованиях установлено, что очагами грибной инфекции, распространявшейся по деревянным конструкциям цокольного и междуэтажного перекрытий (в том числе по чистовым полам), являлись помещения с влажными условиями эксплуатации (ВУЭ): кухни, туалеты, душевые и ванные комнаты и т.п. Чаще всего инфекция развивалась с мест вероятного увлажнения (вблизи раковин, унитазов и т.п.) и прохождения трубопроводов ХВС, канализации. Поэтому перекрытия и полы были подразделены на участки с нормальными условиями эксплуатации (НУЭ): К7, К9, К22 и влажными (ВУЭ): К8, К10, К23. С помощью МАИ рассчитаны количественные показатели влияния рассмотренных факторов на общее биологическое повреждение деревянных зданий. Конструкции и инженерные системы с указанием шифров и результаты экспертной оценки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Анализ коэффициентов влияния (КВ) конструкций и инженерных систем на общее биологическое повреждение деревянного здания

Рассматриваемые элементы здания	Наименование конструкций и систем	Начальный вариант		Базовый вариант	
		Шифр	КВ	Шифр	КВ
Фундаменты	Стулья, сваи	K1	30,55	Φ1	31,11
	Окладные венцы	K2	9,46	Φ2	9,64
Крыша	Кровля	K3	7,34	Φ3*	8,59
	Стропильная система	K4	0,54		
Стены	Наружные	K5	6,66	Φ4	6,79
	Внутренние	K6	1,72	Φ5	1,75
Перекрытия	Цокольное	помещения с НУЭ	K7	2,44	Φ6
		помещения с ВУЭ	K8	4,91	Φ7
	Междуетажное	помещения с НУЭ	K9	0,14	—
		помещения с ВУЭ	K10	1,85	Φ8
	Чердачное	K11	0,56	Φ3*	
Заполнение проемов	Окна	K12	3,5	Φ9	3,57
	Двери	K13	0,25	—	—
Инженерные системы	ХВС	K14	0,68	Φ10	0,69
	Отсутствие отопления, ГВС (неэксплуатируемые части старых зданий)	K15	10,84	Φ11	11,04
	Канализация	K16	1,71	Φ12	1,74
	Газоснабжение	K17	0,05	—	—
	Печи (резервное отопление)	K18	0,41	—	—
	Отсутствие эффективной системы вентиляции	K19	6,7	Φ13	6,82
	Отсутствие наружной обшивки	K20	7,63	Φ14	7,77
Отделка	Внутренняя	стены	K21	0,25	—
		полы с НУЭ	K22	0,12	—
		полы с ВУЭ	K23	1,09	Φ15
	Лестницы	K24	0,1	—	—
Прочее	Крыльца	K25	0,5	—	—

* Элементы объединены: $\Phi_3 = (K_3 + K_4 + K_{11})$.

На этапе 2 произвели оптимизацию полученных экспертных оценок за счет исключения малозначимых факторов K9, K13, K17, K18, K21, K22, K24, K25, поскольку величина каждого из них не превышала 0,5 %, а общая сумма составила лишь 1,82 %. Кроме того, объединили несколько родственных факторов (K3+K4+K11), неразрывно связанных между собой по влиянию на целевую функцию и образующих единый (более крупный) конструктивный комплекс (Ф3), включающий крышу, а также ограждение в виде чердачного перекрытия. Результаты, полученные после указанных преобразований, приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что наибольшее влияние на общее биологическое повреждение зданий оказывают деревянные фундаменты, включающие окладные венцы (около 41 %). Затем следуют факторы: отсутствие отопления в частично эксплуатируемых старых зданиях (около 11 %), повреждения кровли (около 9 %), отсутствие защитно-декоративной обшивки наружных стен (около 8 %). Ранжирование значений удельной значимости факторов (табл. 3) соответствует общим представлениям о влиянии рассмотренных конструкций и инженерных систем на биоповреждение зданий.

На этапе 3 анализа моделировали исключение рисков биологического повреждения зданий в их наиболее слабых местах. В качестве примера рассмотрели два варианта исключения рисков аварийных ситуаций: замена деревянных элементов фундаментов на железобетонные, которые не повреждаются дереворазрушающими грибами (№ 1), а также исключение протечек кровли (№ 2). При решении этой задачи полученную на этапе 2 базовую модель, включающую 15 факторов (табл. 3), изменения в соответствии с рассматриваемым вариантом повышения долговечности здания, приняв для исключаемых факторов риска KB = 0. Результаты оценки последующего перераспределения KB рассматриваемых факторов показаны в табл. 4. Для базового варианта значение ОС (2) составило 18,32, для варианта № 1 — 14,11, для варианта № 2 — 18,95, что меньше предельного значения 20 %.

Таблица 4
Результаты моделирования исключения рисков аварийных ситуаций

Шифр конструкций и систем	Варианты			
	базовый	№ 1	№ 2	(№ 1 + № 2)
Ф1	31,11	Дефектов нет	32,15	Дефектов нет
Ф2	9,64	»	10,1	»
Ф3	8,59	16,01	Дефектов нет	»
Ф4	6,79	11,56	7,84	13,4
Ф5	1,75	2,43	1,98	3,45
Ф6	2,49	3,59	2,86	4,92
Ф7	5	7,81	5,79	9,87
Ф8	1,89	2,64	2,15	3,73
Ф9	3,57	5,31	4,15	7,05
Ф10	0,69	0,88	0,74	1,36
Ф11	11,04	20,85	12,15	21,79
Ф12	1,74	2,43	1,97	3,44
Ф13	6,82	11,39	7,88	13,46
Ф14	7,77	13,65	9,01	15,34
Ф15	1,11	1,45	1,23	2,19

Анализ данных табл. 4 показывает, что факторы риска Φ_1 ($KB = 31,11$) и Φ_2 ($KB = 9,64$) сильно влияют на целевую функцию и их исключение эффективно, поскольку после этого показатели KB оставшихся факторов риска увеличились на 86,4 % по сравнению с базовым вариантом. После реализации мероприятий по варианту № 1 максимальное значение $KB = 20,85$, что на 10,26 % меньше (фактор Φ_1) максимального значения KB факторов риска, рассмотренных в базовом варианте. По варианту № 2 значения KB оставшихся факторов увеличились только на 15,5 %. Это обусловлено тем, что не исключен риск биологической деструкции деревянных элементов фундаментов ($\Phi_1 + \Phi_2$) с суммарным значением $KB = 40,25$. Поэтому в данном случае рационально реализовать комплекс мероприятий сразу по обоим вариантам (№ 1 + № 2), исключив факторы риска Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 . В совокупности они влияют на целевую функцию почти так же, как и все 12 остальных факторов, — суммарное значение $KB = 49,34$. При реализации такого решения KB оставшихся факторов риска возрастают на 97,4 % по сравнению с базовым вариантом. Предложенную методику математического моделирования рекомендуется использовать при выборе вариантов исключения рисков биологического повреждения деревянных зданий.

Выводы. 1. С помощью экспертной оценки методом анализа иерархий определены количественные показатели влияния различных конструктивных элементов и инженерных систем на общее биологическое повреждение деревянных зданий. Исследовано 25 факторов влияния на целевую функцию и выявлены наиболее значимые.

2. Разработана математическая модель изменения уровня влияния конструкций и инженерных систем на общее биологическое повреждение здания при различных вариантах исключения рисков аварийной ситуации: замена деревянных элементов фундаментов на железобетонные, замена поврежденной кровли и т.п. Методика проста и пригодна для применения в инженерной практике при выборе вариантов повышения долговечности деревянных зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляев, А.Н. Эволюция градостроительства Архангельска и Северодвинска [Текст] / А.Н. Беляев, А.Ю. Варфоломеев, А.В. Фрейберг // Вест. ПГУ : Сер. «Естественные науки». — Архангельск: Изд. ПГУ им. М.В. Ломоносова. — 2010. — № 2. — С. 5–9.
2. Варфоломеев, А.Ю. Статистический анализ показателей физического износа деревянных жилых зданий в Архангельске [Текст] / А.Ю. Варфоломеев, Л.М. Ковалчук // Молодые исследователи — регионам : Матер. всерос. науч. конф. студ. и асп. ВоГТУ. — Вологда, 2008. — Т. 1. — С. 175–176.
3. Сборник укрупненных показателей восстановительной стоимости. — 1995. — № 28 [Текст].
4. Рипачек, В. Биология дереворазрушающих грибов [Текст] / В. Рипачек. — М. : Лесная пром-ть. — 1967. — 276 с.
5. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем : пер. с англ. [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. — М. : Радиосвязь, 1991. — 224 с.
6. Коробов, В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии [Текст] / В.Б. Коробов. — Архангельск : ПГУ, 2008. — 236 с.

ТУТЫГИН А.Г., канд. физ.-мат. наук, доц.

Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск
ВАРФОЛОМЕЕВ А.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Научно-исследовательская лаборатория строительной экспертизы Баренцевого региона, г. Архангельск

Tutigin Andrey Gennadievich, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Pomor State University Named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

Varfolomeev Andrey Yurievich, candidate of technical sciences, senior researcher, PhD in Technology, Research Laboratory of Building Expertise of Barents Region, Arkhangelsk, Russia

MODELING A RISK EXCLUSION OF BIOLOGICAL DAMAGE IN WOODEN HOUSES

Mathematical model means of the Analytic Hierarchy Process (AHP) is developed for effects prediction of risk exceptions of biological damage of structures in wooden buildings. Alternatives for replacing the wooden foundations on reinforced concrete elements and replacing the damaged roof are examined. Results are oriented to specialists in operation of wooden houses, particularly their observation, design and maintenance.

Key words: wooden houses, biological damage, constructions, influence, risks exclusion, modeling.

REFERENCES

1. Belyaev, A.N. Evolution of urban planning in Arkhangelsk and Severodvinsk [Text] / A.N. Belyaev, A.Yu. Varfolomeev, A.V. Freiberg // Vestnik PGY : Series «Natural science». — Arkhangelsk : Izd. PGY named after M.V. Lomonosov. — 2010. — N 2. — P. 5–9.
 2. Varfolomeev, A.Yu. The statistical analysis of indications of physical wear of wooden residential buildings in Arkhangelsk [Text] / A.Yu. Varfolomeev, L.M. Kovalchuk // Young researchers-to regions : Materials of the all-Russia scientific conf. of students and post-graduate students of VSTU. — Vologda, 2008. — V. 1. — P. 175–176.
 3. Sbornik Ykrypnitel'nih Pokazatelei Vosstanovitel'noi Stoimosti (UPVS). — 1995. — N 28 [Text].
 4. Ripachek, V. Biology of Wood Destroying Fungi [Text] / V. Ripachek. — M. : Lesnaya Promishlennost. — 1967. — 276 p.
 5. Saaty, T. Analytical Planning : The Organization of Systems : Translated by [Text] / T. Saaty, K. Kerns. — M. : Radiosvyaz, 1991. — 224 p.
 6. Korobov, V.B. Experts Methods in Geography and Geoecology [Text] / V.B. Korobov. — Arkhangelsk : PGY, 2008. — 236 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.001

А.И. АЛЬБАКАСОВ, И.А. ГАРЬКИНА, А.М. ДАНИЛОВ, Е.В. КОРОЛЁВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ И СИНТЕЗ СЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются разработка и оптимизация параметров серных композитов на основе методов системного проектирования по совокупности частных моделей, описывающих отдельные свойства, с последующей многокритериальной оптимизацией.

Ключевые слова: моделирование свойств, композиционные материалы, системное проектирование.

В соответствии с [1] композиционный материал как сложная система представляется конечным множеством моделей, отражающих определенную грань его сущности. Каждое свойство или группа свойств системы исследуется при помощи одной или нескольких узкоориентированных моделей. Предполагается наращивание при необходимости множества упрощенных моделей. Проиллюстрируем указанный подход к синтезу композитов на примере разработки серных композиционных материалов по совокупности частных критерииев, выбранных в соответствии с техническим заданием. Последовательно укажем основные модели, описывающие отдельные свойства.

Модель подвижности смеси. Структурные преобразования в композите, оказывающие существенное влияние на подвижность смеси, при выбранных значениях констант описываются соотношением [2] (рис. 1):

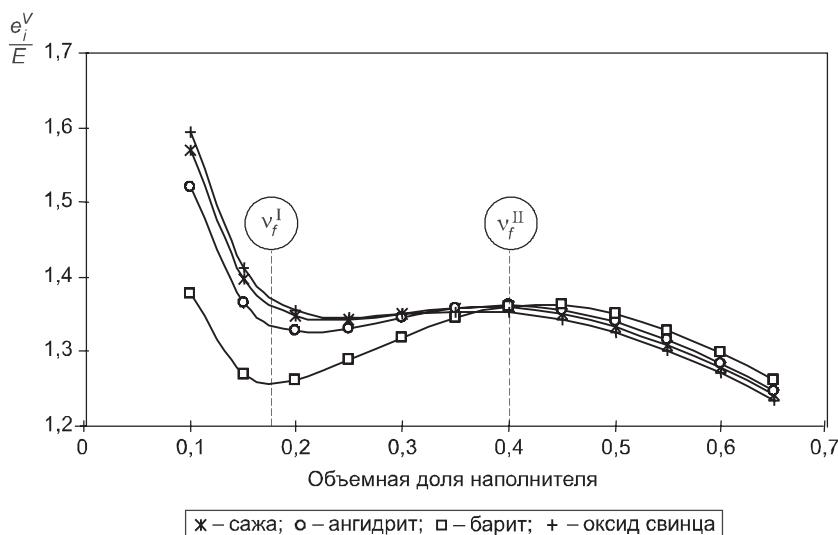


Рис. 1. Зависимость отношения e_i^V / E от степени наполнения

$$\frac{e_i^V}{E} = \frac{1}{v_f \left[1 + \left(\frac{a'}{a} e^{b' v_f} \right)^{-\frac{1}{b}} \right]^3}, \quad (1)$$

где $N_f = \frac{6v_f}{\pi d_f^3}$ — количество структурных элементов;

e_i^V — количество энергии, расходуемой на перемещение единицы объема

$V_i = \frac{\pi}{6} d_f^3 \left(1 + \frac{h}{d_f} \right)^3$ композита (структурный элемент — частица наполнителя диаметром d_f , окруженная вяжущим веществом толщиной h);

v_f — объемная доля наполнителя.

Подвижность смеси определяется по предельному напряжению сдвига $\tau = a \left(\frac{h}{d_f} \right)^{-b} = a \varphi^{-b}$; для серных мастик $\tau = a' e^{b' v_f} = f(v_f)$, a, b, a', b' — эмпирические коэффициенты.

Уменьшение значений e_i^V/E на первом участке объясняется очевидной мобильностью частиц наполнителя, для перемещения которых и образования поверхностей скольжения затрачивается малое количество энергии, подводимой извне. Здесь дисперсная система имеет неоднородное распределение фаз: в ней неравномерно распределены участки с повышенным содержанием дисперсной фазы и малонаполненные зоны. Такие зоны легко деформируются, и по ним происходит скольжение. С введением дисперсной фазы дополнительно вводится (вовлекается) воздух, что повышает подвижность смеси. В связи с этим малонаполненные мастики характеризуются невысоким значением предельного напряжения сдвига. На втором участке наблюдается увеличение e_i^V/E , что объясняется сближением частиц, уменьшением толщины прослойки вяжущего вещества, повышением однородности распределения частиц и вытеснением вовлеченного воздуха. Для разрушения такой структуры необходимо подвести значительное количество энергии (эквивалентно повышению предельного напряжения сдвига); количество энергии, расходуемой на перемещение отдельного структурного элемента, возрастает. Скорость изменения отношения e_i^V/E на втором участке зависит от дисперсности наполнителя: с повышением удельной поверхности наполнителя скорость растет, что характеризует более интенсивное снижение подвижности мастики. На третьем участке наблюдается уменьшение e_i^V/E , что связано с недостатком вяжущего вещества и усиленным вовлечением в смесь воздуха; смесь характеризуется повышенной пористостью.

Объемные степени наполнения v_f^I и v_f^{II} зависят от удельной поверхности наполнителя и интенсивности вовлечения воздуха в процесс перемешивания смеси.

Модель прочности. Основным структурообразующим фактором является содержание наполнителя, введение которого приводит к изменению прочности композитов. Зависимость *прочности композиционных материалов от степени наполнения* имеет один из видов, приведенных на рис. 2. Чем больше дисперсность наполнителя (не зависит от химической активности), тем при меньшей степени наполнения достигается максимальная прочность материала. При зависимости, приведенной на

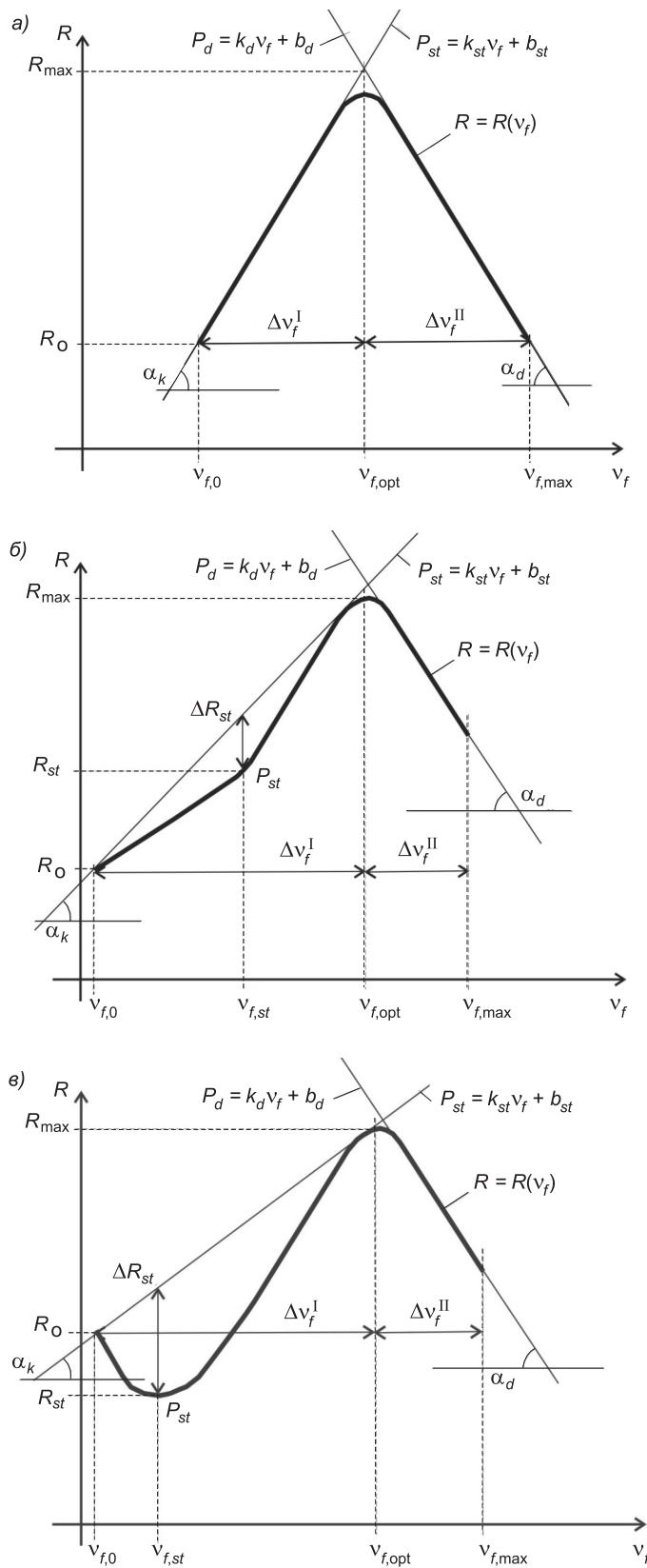


Рис. 2. Типичные зависимости $R = R(v_f)$

рис. 2, а, структурные преобразования в композите отсутствуют: влияние границы раздела фаз дисперсная фаза — вяжущее вещество минимально. Зависимость свойств композита от содержания дисперсной фазы подчиняется правилу смесей (закон аддитивности). Вовлекаемый воздух является дополнительной дисперсной фазой. В случае, приведенном на рис. 2, б, прочность увеличивается при значениях, не превосходящих $v_{f,\text{opt}}$. При зависимости вида, приведенной на рис. 2, в, в точке P_{st} происходят качественные структурные преобразования: образование разветвленного граничного слоя вяжущего, имеющего повышенные показатели свойств.

Прочность композиционного материала зависит от структуры и фазового состава (наполнитель (дисперсная фаза твердых частиц), вяжущее (матрица), воздушные поры (дисперсная фаза воздушных включений)):

$$R_{\text{cm}} = R_{\text{cm}}^f + R_{\text{cm}}^m + R_{\text{cm}}^n, \quad R_{\text{cm}}^f = \sigma'_f v_f, \\ R_{\text{cm}}^m + R_{\text{cm}}^n = \sigma'_m v_m = \sigma_p v_p + \sigma_t v_t.$$

В общем случае *восходящая* ветвь $R = R(v_f)$ в зависимости от характеристик и содержания наполнителя имеет вид [2]

$$R_{\text{cm}} = \sigma_p (1 - v_n) - \sigma_p v_f (1 - \rho_f S_{\text{уд}} h_o (k_m - 1)) + \sigma'_f v_f = K_{\text{cm}} v_f + B_{\text{cm}}, \\ K_{\text{cm}} = \sigma'_f - \sigma_p \left(1 - \frac{h_o}{d_f} (k_m - 1) \right), \quad B_{\text{cm}} = \sigma_p (1 - v_n) \quad (2')$$

(определяются по $R = R(v_f)$ для каждого интервала изменения степени наполнения $[v_{f,i}, v_{f,i+1}]$, $\sigma'_f = \text{const}$;

ρ_f , $S_{\text{уд}}$ — соответственно средняя плотность наполнителя и его удельная поверхность;

h_o — усредненная толщина прослойки вяжущего (рассчитывается для оптимальных составов);

v_n — пористость композита;

k_m — коэффициент упрочнения вяжущего;

σ'_m — коэффициент, характеризующий прочность вяжущего;

v_m — объемная доля вяжущего;

$v_p = 1 - \langle v_n + v_f (1 + \rho_f S_{\text{уд}} h_o) \rangle$, $v_t = v_f \rho_f S_{\text{уд}} h_o$ — объемная и граничная фазы вяжущего соответственно;

σ_p , σ_t — коэффициенты, характеризующие прочность объемной и граничной фаз вяжущего;

η_f — предельная плотность упаковки частиц.

Справедливо

$$\frac{h_o}{d_f} = \sqrt[3]{\frac{\eta_f}{v_{f,\text{opt}}}} - 1, \quad \sigma_{p,i} = \frac{B_{\text{cm},i}}{1 - v_{n,i}}, \\ \sigma'_{f,i} = \frac{K_{\text{cm},i} - K_{\text{cm},i+1} \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{p,i+1}}}{1 - \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{p,i+1}}}, \quad k_{m,i} = 1 + \frac{\sigma'_{f,i} - K_{\text{cm},i}}{6\sigma_{p,i} \frac{h_o}{d_f}}.$$

Прочность определяется внутренним напряженным состоянием ($v_f^I \neq v_f^{II}$; при больших внутренних напряжениях $v_{f,R'} < v_f^I$ и $v_{f,R''} < v_f^{II}$). Типичная зависимость $k_m = f(v_f)$ приводится на рис. 3. При увеличении степени наполнения прочность мастики монотонно возрастает (максимум при $v_f = 1$, что при заданной технологии изготовления практически не реализуемо; оптимальная структура композиционного материала формируется при $v_f = v_{f,opt} < 1$); композит имеет оптимальную структуру при $v_p = 0$, и вся сера находится в граничном состоянии ($v_f + v_t = 1$); $v_{f,opt} = \frac{1}{1 + S_{уд} r_f h_o}$ — оптимальная степень наполнения.

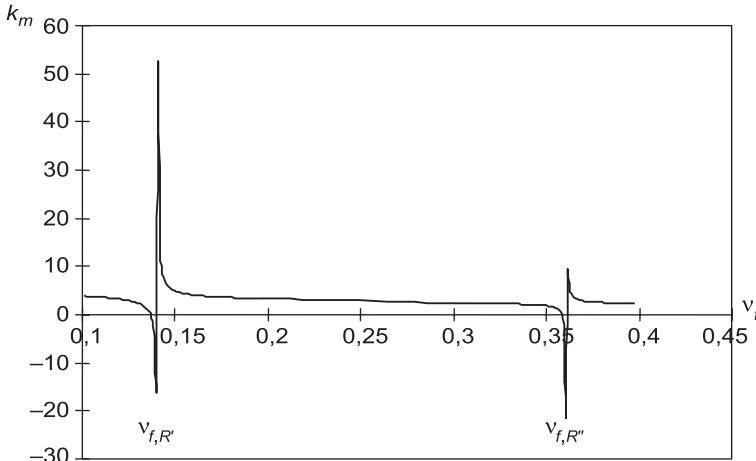


Рис. 3. Типичная зависимость $k_m = f(v_f)$

При степенях наполнения, превосходящих $v_{f,opt}$, наблюдается постепенное уменьшение прочности композита.

С учетом предыдущего легко показать, что прочность на исходящей ветви $R = R(v_f)$ определяется в виде

$$R_{cm} = \sigma_p \left[1 - v_n - v'_f \left(\left(1 - \frac{1 - v_{f,opt}}{v_{f,opt}} (k_m - 1) \right) \right) \right] + \sigma'_f v'_f, \quad (2'')$$

где $v'_f = 2v_{f,opt} - v_f$.

Коэффициентами k_m и σ'_f учитывается влияние индивидуальных свойств наполнителя на структуру приграничной области вяжущего и материала; $v_{f,opt} = \eta(1+\phi)^{-3}$ определяется по данным реологических исследований; отношение h/d_f практически определяют по $K'_{hom} = \frac{1+3\phi}{(1+\phi)^3}$, а

граничные значения K'_{hom} — по абсциссе второй параметрической точки v''_f [2] реологической зависимости $\tau = f(v_f)$:

$$K'_{hom} = 0,72...0,83 \text{ при } 0,2 \leq v''_f < 0,3;$$

$$K'_{hom} = 0,83...0,88 \text{ при } 0,3 \leq v''_f < 0,35;$$

$$K'_{hom} = 0,89...0,97 \text{ при } 0,35 \leq v''_f < 0,45;$$

$$K'_{hom} = 0,98...1,0 \text{ при } 0,45 > v''_f.$$

Модель пористости. Пористость Π_{cm} в серных материалах создается в основном за счет уменьшения объема (на 14,1 %) серы при переходе из жидкого состояния в твердое. В процессе изготовления композитов сера частично взаимодействует с наполнителем с образованием сульфидов и газообразного диоксида серы, что также способствует возникновению пор в композите. Увеличение площади раздела фаз сера — дисперсная фаза приводит к протеканию двух взаимно конкурирующих процессов:

— росту пористости вследствие увеличения количества газообразного диоксида серы, образующегося в процессе химического взаимодействия наполнителя с серой;

— уменьшению пористости вследствие образования на поверхности частиц наполнителя сульфидов и уменьшения количества серы.

Пористость от физико-химического процесса взаимодействия на границе раздела фаз

$$\Pi_{\phi-x} = \frac{0,141 \left[\frac{m_s}{\rho_s} - m_f h_x S_{уд} \rho_f \rho_s^{-1} \frac{b \cdot M(S)}{a \cdot M(MeO)} \right]}{\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_f}{\rho_f} - m_f h_x S_{уд} \rho_f \left[\frac{b \cdot M(S)}{a \cdot M(MeO)} \rho_s^{-1} + \rho_f^{-1} - \frac{c \cdot M(MeS)}{a \cdot M(MeO)} \rho_{MeS}^{-1} \right]}$$

с введением наполнителя уменьшается [2]. Принято:

h_x — толщина слоя наполнителя, вступившего в химическое взаимодействие;

m_f, m_s — масса наполнителя и серы соответственно;

$\rho_f, \rho_s, \rho_{MeS}$ — плотности наполнителя, серы и сульфида соответственно;

a, b, c — стехиометрические коэффициенты химического процесса $aMeO + bS \rightarrow cMeS + dSO_2 \uparrow$;

$M(S), M(MeO), M(MeS)$ — молярные массы соответственно серы, химически активного оксида и сульфида наполнителя.

При достижении определенной степени наполнения ($v_f > v_{f,opt}$) пористость серного материала возрастает (дефицит вяжущего приводит к образованию в серном материале агрегатов из несмоченных частиц наполнителя):

$$\Pi_{cm} = \Pi_{\phi-x} + 0,351(v_f - v_{f,opt}). \quad (3)$$

Модель радиационного разогрева. Под действием ионизирующего излучения в материале происходят структурные изменения, сопровождающиеся его разогревом. В случае точечного источника ионизирующего излучения с активностью A_o , расположенного от плоского слоя защитного материала с толщиной x на расстоянии R , выделившаяся за время t

энергия равна $E_u = A_o e_o t$, где $e_o = \frac{1}{N} \sum_i^n e_i n_i$ — усредненное значение

энергии γ -квантов полийнергетического источника;

e_i — энергия фотонов i -го энергетического уровня;

n_i — количество γ -квантов i -го энергетического уровня;

$$N = \sum_i^n n_i.$$

В соответствии с законом Ламберта–Буггера $E = E_o e^{-\mu x}$ при прохождении излучения через слой защитного материала энергия ионизирующего излучения уменьшается.

Здесь $E_o = \frac{E_u S_o}{4\pi R^2}$ — поверхностная плотность энергии (энергия излучения, падающего на слой защитного материала) при ненаправленном излучении фотонов;

S_o — общая площадь поверхности;

μ — коэффициент линейного ослабления γ -излучения материалом защитного слоя, см^{-1} ;

x — толщина защитного слоя, см.

Отсюда количество поглощенной энергии

$$E_{\text{погл}} = E_o - E = \frac{A_o e_o S_o t}{4\pi R^2} (1 - e^{-\mu x}).$$

Если вся поглощенная энергия излучения расходуется на разогрев материала ($E_{\text{погл}} = q = c_m M_k \Delta T$), то

$$\Delta T = \frac{A_o e_o S_o t}{4\pi R^2 c_m M_k} (1 - e^{-\mu x}),$$

где c_m — теплоемкость материала защиты;

$M_k = V\rho = S_o x \rho$ — масса слоя защиты;

ρ — средняя плотность материала защитного слоя.

Одновременно с разогревом материала протекает процесс охлаждения, связанный с отводом некоторого количества тепловой энергии в окружающую среду. Интенсивность этого процесса зависит от теплофизических свойств материала, теплового режима работы конструкции, ее формы, геометрических размеров и др. При справедливости закона Ньютона для теплообмена со средой имеем $q = \alpha \Delta T = \alpha (T_o - T_c)$, где α — коэффициент теплоотдачи; $T(0) = T_0$ — температура экрана при $t = 0$; T_c — температура окружающей среды.

При объемной мощности q_v внутренних источников тепла температурное поле определится из уравнения

$$\nabla^2 T + \frac{q_v}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t},$$

где λ , $a = \frac{\lambda}{c_m \rho}$ — коэффициенты теплопроводности и температуропроводности;

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_s + \alpha (T_o - T_c) = 0.$$

Если c_m , ρ , λ не зависят от температуры (равномерное температурное поле), то модель процесса радиационного разогрева при постоянной толщине h конструкции имеет вид [3]

$$T(x) = T_c + \frac{A_o e_o}{4\pi R^2 \alpha} (1 - e^{-\mu x}) \left(1 - e^{-\frac{\alpha}{c_m \rho} x} \right), \quad T(h) = T_{\max} \quad (4)$$

(стационарный режим при $t \rightarrow \infty$).

Величина радиационного разогрева материала, прежде всего, определяется теплоемкостью, средней плотностью и коэффициентом теплоотдачи. Увеличение теплоемкости приводит к уменьшению скорости нагрева материала, а с увеличением значения коэффициента теплоотдачи время достижения стационарной температуры уменьшается. При длительном облучении материала величина радиационного разогрева в основном оп-

ределяется температурным режимом работы конструкции (учитывается коэффициентом теплоотдачи).

Модель долговечности. В процессе эксплуатации материала возможны три последовательных этапа:

- упрочнение структуры и улучшение свойств (образование дополнительных структурных центров);

- относительная стабильность показателей (относительное равенство скоростей деструкции и упрочнения);

- деструкция материала (разрушение структуры и преобладание скорости деструктивных процессов над конструктивными).

В общем случае стойкость композиционных материалов зависит от структуры (в частности, прочности как показателя качества структуры); процесс деструкции материала определяется уравнением

$$\frac{dF}{dt} = -k_d F^n (k_d, n = \text{const}), \quad F(0) = F_0.$$

Откуда модель долговечности определяется соотношением

$$k_{cr} = \left[1 - \frac{1-n}{F_0^{1-n}} k_d t \right]^{\frac{1}{1-n}}, \quad k_d = F_0^n e^{\frac{\Delta S}{R}} e^{-\frac{U}{RT}} = F_0^n e^{\frac{B_E}{RT}}, \quad (5)$$

где $B_E = \Delta ST - U$ — энергетический показатель процесса деструкции, ΔST определяет количество работы, совершаемой внешними силами для преобразования структуры материала;

ΔS — удельное количество энергии, поглощенной материалом;

R — универсальная газовая постоянная;

T — температура среды;

U — энергия активации процесса деструкции (равна энергетическому потенциалу стойкости структуры композита в эксплуатационной среде).

Способность материала сопротивляться внешним воздействиям определяется значением

$$k_E = \frac{U}{|\Delta ST|}$$

(при $k_E = 1$ композит не стоек в агрессивной среде).

Вычисление энергетических параметров U , ΔS , B_E процесса деструкции производилось по результатам испытаний при различных температурных режимах (при предварительной оценке принималось $\Delta S = R \ln(F_0^{-1-c})$,

$$B_E = RT_s \ln\left(\frac{b}{c} F_0^{-2c-1}\right), \quad U = RT_s \ln\left(\frac{c}{b} F_0^c\right), \quad T_s — \text{температура среды}.$$

Для материала с высокой стойкостью: $k_E = \max$; $|\Delta S| = \min$; максимальный срок службы конструкции защиты $t_{\max} = \alpha_R F_0 A_0^{-1} e^{\frac{U}{RT}}$; $A_0 = q_{v,ef} v_{\max} = \text{const}$ (определяет максимальную скорость деструкции при заданных параметрах эксплуатационной среды), $q_{v,ef} = e^{\frac{\Delta S}{R}}$ — коэффициент, характеризует эффективность использования подводимой извне энергии для преобразования структуры материала (не зависит от температуры и пропорционален количеству внешней энергии, поглощаемой материалом для преобразования структуры); $v_{\max} = F_0^n$ — максимальная скорость деструкции (характеризует структуру).

Указанный подход к прогнозированию долговечности позволяет определить продолжительность эксплуатации материала, обосновать об-

ласть применения и провести анализ влияния различных рецептурно-технологических и эксплуатационных факторов на его стойкость.

Разработка и оптимизация параметров серных композитов [2] на основе решения многокритериальной задачи (при ранжированных частных критериях качества заданными интервалами их изменения) в соответствии с разработанными моделями (1)–(5) подтвердила эффективность использования предложенного метода системного проектирования композитов. При расширении множества критериев качества для оценки композитов, естественно, должны добавляться и другие частные узкоориентированные модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов, А.М. Методология проектирования сложных систем при разработке материалов специального назначения [Текст] / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 1. — С. 80–85.
2. Королев, Е.В. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы [Текст] / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, А.И. Альбакасов. — Пенза, Оренбург : ИПК ОГУ, 2010. — 364 с.
3. Дульнев, Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] / Г.Н. Дульнев. — М. : Высш. шк., 1984. — 246 с.

АЛЬБАКАСОВ Азамат Илкинович, канд. техн. наук, доц.

Оренбургский государственный университет

ГАРЬКИНА Ирина Александровна, д-р техн. наук, доц.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ДАНИЛОВ Александр Максимович, д-р техн. наук, доц.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

КОРОЛЕВ Евгений Валерьевич, д-р техн. наук, проф.

Московский государственный строительный университет

Получено 05.12.11

Albakasov Azamat Ilkinovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Orenburg State University, Russia

Garkina Irina Alexandrovna, doctor of technical sciences, assistant professor, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Danilov Alexander Maximovich, doctor of technical sciences, assistant professor, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Korolev Evgeniy Valeryevich, doctor of technical sciences, professor, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

SIMULATION AND SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON SULFUR

The results of system design of sulfur composite materials based on the combination of models individual properties and multiobjective optimization are given.

Key words: modeling of the properties, system design, composite materials.

REFERENCES

1. Danilov, A.M. The methodology of designing complex systems for the development of materials special purpose [Text] / A.M. Danilov, I.A. Garkina // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 1. — P. 80–85.
2. Koroliov, Ye.V. Radiation-protective and Corrosion-resistant Sulfur Construction Materials [Text] / Ye.V. Koroliov, Yu.M. Bazhenov, A.I. Al'bakasov. — Penza, Orenburg : OSU, 2010. — 364 p.
3. Dulnev, G.N. Heat and Mass Transfer in Electronic Equipment [Text] / G.N. Dulnev. — M. : Higher School, 1984. — 246 p.

УДК 691.327

А.Ф. БЕРНАЦКИЙ, А.Н. МАШКИН, И.И. ПЕТРОВ, Н.Е. ЗИБНИЦКАЯ

ОСОБЕННОСТИ АКТИВИРОВАНИЯ ЦЕМЕНТА В ТЕХНОЛОГИИ ТЯЖЕЛОГО И ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Определены оптимальные параметры активации цементного вяжущего «мокрым» способом в термодинамическом диспергаторе. Установлено, что в результате активирования прочность цементного камня возрастает до двух раз, прочность мелкозернистого тяжелого бетона — в 1,5 раза, пенобетона — в 1,5–2 раза. Предложено применение методов активирования цементной супензии в технологии тяжелых и ячеистых бетонов.

Ключевые слова: активация цемента, термодинамический диспергатор, кавитация, тяжелый бетон, пенобетон.

Механохимическая активация цемента может осуществляться «сухим» или «мокрым» способом. Суть активации заключается в увеличении удельной поверхности цемента с одновременным возрастанием его поверхностной энергии, что обеспечивает повышение реакционной способности вяжущего. К недостаткам сухого способа активирования цемента относят длительность обработки, доходящую до нескольких часов, а также высокую энергоемкость активационного оборудования и малую его производительность. Более эффективной признается кавитационная обработка цементно-водной супензии в термодинамических или гидродинамических диспергаторах [1]. Принцип работы диспергаторов заключается в создании в жидкой среде, проходящей через рабочие органы установки, эффектов гидродинамической и акустической кавитации, когда возникающие ультразвуковые акустические колебания воздействуют на частицы материала. Интенсивное воздействие микроударов, кавитационных разрывов, растяжений и ультразвуковой вибрации приводит к нагреву жидкости, измельчению частиц дисперсной фазы и образованию устойчивых эмульсий или супензий.

Эксперименты по активированию цементных вяжущих в НГАСУ (Сибстрин) проводились в специально сконструированном пятисекционном диспергаторе (рис. 1). В таком диспергаторе под действием глубокого вакуума в кавитационных пузырьках происходит разрыв части физических и химических связей в дисперсиях с образованием дефектов на поверхности частиц и даже нанодисперсных образований размером менее 100 мкм [1, 2].

В результате экспериментов было определено, что наиболее эффективными параметрами такой активации, обеспечивающими наибольший прирост прочности цементного камня, является время кавитации и концентрация цемента в цементно-водной супензии. При одном проходе через пять кавитационных секций диспергатора при 60%-ной концентрации цементной дисперсии прирост прочности цементного камня по сравнению с контрольными образцами составляет от 50 до 100 %.

Таким образом, кавитационное активирование портландцемента весьма перспективно, так как способно значительно улучшить прочность цементных бетонов, а также увеличить подвижность бетонной

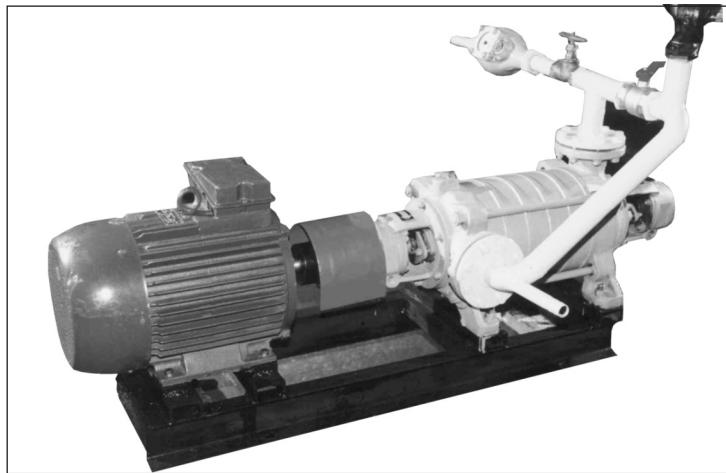


Рис. 1. Диспергатор-кавитатор

смеси и ускорить время ее твердения. Кроме того, оно способно устранить такой распространенный недостаток заводского перемешивания бетонной смеси, как неоднородность распределения вяжущего в объеме материала.

Реализация «мокрого» способа активации цемента позволяет значительно снизить расход энергии на измельчение и активацию частиц, но она сопряжена с рядом сложностей, возникающих в результате гидратации цемента в процессе активирования. Таким образом, длительность активирования ограничена сроками схватывания цемента, а его эффективность неразрывно связана с физико-химическими превращениями, происходящими при гидратации клинкерных минералов одновременно с активированием.

Эксперименты по активированию цемента, проведенные в лабораторном термодинамическом диспергаторе производительностью 1 м³/ч (по воде) на портландцементе (ЗАО «Искитимцемент»), хранившемся в лаборатории, показали, что при концентрации цементной суспензии 60 % оптимальное время активирования составляет 15...55 с. При слишком низкой концентрации активированной цементной суспензии в бетон попадает недостаточное количество активированных частиц цемента, а при более высокой снижается эффективность активирования в связи с повышением вязкости системы. Высокая вязкость цементной суспензии препятствует развитию зародышей кавитации.

Прочность бетона в возрасте 28 сут на активированном при оптимальных параметрах цементе на 47 % превышает прочность контрольного бетона того же состава (30,2 МПа по сравнению с 20,6 МПа). Дополнительный эффект значительного повышения прочности бетона при активировании может найти применение в производстве железобетонных изделий, поскольку при ускоренном наборе прочности бетона возможна экономия при пропаривании (рис. 2).

Тяжелый бетон на активированном цементном вяжущем обладает повышенной стойкостью в агрессивных средах. В канализационных коллекторах г. Новосибирска в течение одного года проводились испытания бетонных образцов (100 × 100 × 100 мм) на активированных и неактивированных цементах. В результате осмотра образцов после испытаний отмечено, что разрушение всех образцов стандартного бетона произошло на глубину до 10 мм. В то же время образцы на активированном цементе получили отдельные разрушения на глубину не более 5 мм (верхняя и нижняя поверх-

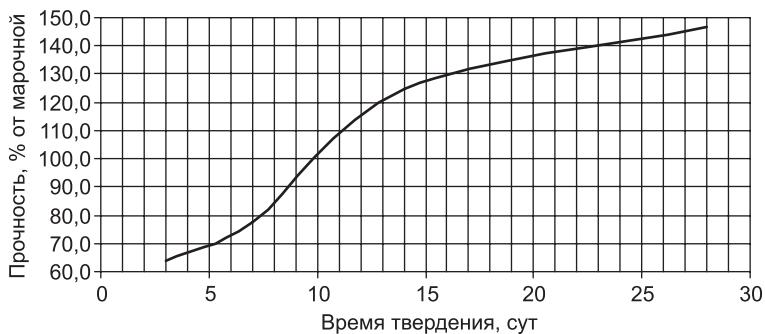


Рис. 2. Кинетика твердения активированного портландцемента

ности). Вертикальные поверхности образцов, с которых агрессивная жидкость легко стекала, оказались практически неразрушенными.

Кавитационное активирование портландцемента может стать эффективным методом интенсификации технологии железобетонных изделий и повышения качества продукции, так как способно значительно улучшить свойства бетонов разного назначения. Активационное оборудование компактно и высокопроизводительно. На валу одного двигателя мощностью 30 кВт может быть установлено 3–5 ступеней кавитационной обработки, а масса такой установки (без двигателя) не превышает 200 кг. Оборудование занимает площадь не более 2...3 м² и может быть легко встроено в стандартный бетоносмесительный узел.

Применение такой технологии активирования цемента перспективно также и в производстве неавтоклавного ячеистого бетона [3]. Кавитационные воздействия в диспергаторе не только активируют цементное вяжущее и наполнитель, но и приводят к быстрому подогреву смеси до температур, наиболее благоприятных для пено- или газообразования. Это дает возможность в технологии ячеистых бетонов отказаться от специального оборудования для нагрева воды. Причем диспергатор кавитационного типа в технологии пенобетонов может быть использован как дополнительный механизм или даже как замена пенобетоносмесителя. Прочность образцов пенобетона при активировании цемента повышается с 1,6...1,8 до 3,5...3,7 МПа.

На кафедре строительных материалов и специальных технологий НГАСУ (Сибстрин) была разработана технология изготовления архитектурных и конструктивных стеновых блоков-деталей из пенобетона на активированных цементах для строительства малоэтажных жилых и общественных зданий из высокоточных пенобетонных блоков (лего-блоки). Для строительства конкретного объекта можно выпускать наборы деталей-блоков, различающихся по форме, прочности, теплопроводности, фактуре поверхности, назначению, из которых заказчик самостоятельно (по проекту и схемам раскладки блоков в соответствии с проектом) или с привлечением профессионалов может построить двух-, трехэтажный дом индивидуальной архитектуры за 3–4 месяца. Применение высококачественного пенобетона позволяет обеспечить комфортные условия проживания в доме и надежную эксплуатацию зданий на срок более 100 лет.

Для реализации данной технологии были разработаны и запатентованы универсальные металлопластиковые пазогребневые формы для производства пенобетонных блоков [4]. Блоки из таких форм выходят с точной геометрией и размерами. Кладка блоков может осуществляться на клею, что существенно улучшает конструктивную целостность и тепло-



Рис. 3. Фрагмент фасадной части здания из пенобетонных лего-блоков

изоляцию стен. Фасады зданий, выполненные из блоков разнообразной формы и фактуры, имеют привлекательный и разнообразный архитектурный облик и требуют только грунтовки и окраски паропроницаемыми водоотталкивающими красителями (рис. 3). Неавтоклавный пенобетон на активированном цементе по своим характеристикам и по качеству не уступает автоклавному газобетону, но при этом имеет более низкую стоимость.

Выводы. Кавитационное активирование портландцемента является востребованным способом повышения качества изделий из тяжелых и легких бетонов. В результате активирования цементных вяжущих прочность бетона может быть увеличена до 1,5–2 раз. Стойкость такого бетона в агрессивных средах увеличивается, что может представлять интерес при строительстве объектов со сложными условиями эксплуатации.

Пенобетоны повышенной прочности (прочность при сжатии 3,5 МПа) на активированном цементе могут использоваться в малоэтажном строительстве или при устройстве внутренних перегородок многоэтажных каркасных зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ламекин, Н.С. Кавитация: теория и применение [Текст] / Н.С. Ламекин / Гос. нац. рус. академия. — М. : Русаки, 2000. — 246 с.
2. Бердов, Г.И. Нанопроцессы в технологии строительных материалов [Текст] / Г.И. Бердов, В.Н. Зырянова, А.Н. Машкин, В.Ф. Хританков // Стройт. материалы. — № 7. — С. 78–80.
3. Зибницкая, Н.Е. Перспективы активирования цементных вяжущих в технологии бетонов [Текст] / Н.Е. Зибницкая, Д.И. Живетьев, А.Н. Машкин // Тр. НГАСУ (Сибстрин). — 2005. — Т. 8, № 2 (32). — С. 87–91.
4. Патент России на полезную модель № 85850. Бортоснастка для изготовления стено-вых блоков из пенобетона / Н.А. Машкин, В.С. Баев, Н.Е. Зибницкая, А.М. Черкашин, И.И. Петров, А.Н. Машкин. Опубл. 20.08.2009, Бюл. № 23.

*БЕРНАЦКИЙ Анатолий Филиппович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: bernatsky@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

МАШКИН Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: mashkin@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ПЕТРОВ Игорь Игоревич, ст. препод.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ЗИБНИЦКАЯ Надежда Егоровна, инж.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 14.12.11

Bernatsky Anatoly Philippovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: bernatsky@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Mashkin Alexei Nikolaevich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: mashkin@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Petrov Igor Igorevich, senior specialist, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Zibnitskaya Nadezhda Yegorovna, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

SPECIAL FEATURE OF CEMENT ACTIVATION IN TECHNOLOGY OF HEAVY AND CELLULAR CONCRETE

Optimal parameters of activation of cement binder by «wet» method in thermodynamic disperser were determined. It was found that as a result of activation cement stone strength increases up to two times, strength of small-granular heavy concrete-in 1,5 times, foam concrete 1,5...2,0 times. It was suggested to utilize methods of cement suspension activation in technology of heavy and cellular concretes.

Key words: activation of cement, thermodynamic disperser, heavy concrete, foam concrete.

REFERENCES

1. Lamekin, N.S. Cavitation: Theory and Usage [Text] / N.S. Lamekin / State National Russian Academ. — M. : Rusaki, 2000. — 246 p.
2. Berdov, G.I. Nanoprocesses in technology of construction materials [Text] / G.I. Berdov, V.N. Ziryanova, A.N. Mashkin, V.F. Khritankov // Building Materials. — 2008. — N 7. — P. 78–80.
3. Zibnitskaya, N.E. Prospects of cement activation in concrete technology [Text] / N.E. Zibnitskaya, D.I. Zhivetiev, A.N. Mashkin // Works of NGASU (Sibstrin). — 2005. — V. 8, N 2 (32). — P. 87–91.
4. Patent RF for a Utility Model № 85850. Form for Manufacture of Wall Blocks From Foam Concrete / N.A. Mashkin, V.S. Baev, N.E. Zibnitskaya, A.M. Cherkashin, I.I. Petrov, A.N. Mashkin. Publ. 20.08.2009. — Bull. N 23.

УДК 691.327:666.972.7

В.С. ИЗОТОВ, Р.А. ИБРАГИМОВ

**КОМПЛЕКСНАЯ ДОБАВКА
ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БЕТОНА**

Получена комплексная добавка на основе эфиров поликарбоксилата для модификации бетона. Исследовано влияние комплексной добавки на прочностные показатели цементного раствора в зависимости от условий твердения, кинетику твердения тяжелого бетона, а также показатели пористости, морозостойкости и водонепроницаемости.

Ключевые слова: комплексная добавка, условия твердения, тяжелый бетон.

В настоящее время проблемы повышения качества, долговечности, а также экономичности бетонов решаются путем применения различного рода химических добавок. Введение органических и неорганических соединений в состав бетона позволяет в широком диапазоне менять его физико-механические показатели, состав и структуру, а также оказывает положительное влияние на долговечность бетонных и железобетонных конструкций [1]. Особое внимание в последнее время уделяется разработке комплексных добавок, позволяющих одновременно целенаправленно регулировать сразу несколько свойств цементных бетонов.

С появлением высокоэффективных гиперпластификаторов наблюдается тенденция в разработке комплексных добавок на их основе, позволяющих получать высокопрочные и высококачественные бетоны с низким водоцементным отношением, отличающиеся пониженней величиной капиллярной пористости, от которой зависит долговечность бетона.

Нами разработана комплексная добавка (КД) на основе гиперпластификатора, ускорителя твердения и гидрофобизатора. В качестве гиперпластификатора использована добавка Одолит-К на основе эфиров поликарбоксилата (ООО «Сервис-Групп»), в качестве ускорителя твердения — сульфат натрия (СН), в качестве гидрофобизатора — водонерастворимый кремнийорганический олигомер ФЭС-50 (Чебоксарский Химпром).

Проведена оптимизация состава комплексной добавки математическим планированием эксперимента. Дозировка компонентов в составе комплексной добавки составила: Одолит-К — 38 %, СН — 58 %, ФЭС-50 — 4 % [2].

Для установления влияния режима твердения модифицированного цементно-песчаного раствора на конечную прочность были проведены следующие опыты. Изготавливались образцы-балочки размером $4 \times 4 \times 16$ см из растворной смеси состава 1:3 по ГОСТ 310.4–81, часть образцов хранили 28 сут в нормально-влажностных условиях, часть образцов подвергали тепловлажностной обработке в пропарочной камере, часть образцов подвергали автоклавной обработке. В эксперименте применялся портландцемент Вольского завода М500 Д0 и портландцемент Ульяновского завода М400 Д20.

Тепловлажностная обработка при атмосферном давлении проводилась по следующему режиму: 2 ч — выдержка образцов, 3 ч — изотерми-

ческий подъем до температуры 80 °С, 6 ч — изотермический прогрев, 2 ч — охлаждение.

Перед автоклавированием образцы 1 сут выдерживались в форме, затем распалубливались и помещались в автоклав. Автоклавная обработка проводилась по следующему режиму: 3 ч — подъем температуры до 180 °С, 6 ч — выдержка при температуре 180 °С, 8 ч — охлаждение. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1
Результаты экспериментальных исследований влияния условий твердения на прочность цементно-песчаного раствора

Содержание комплексной добавки, %	Прочность цементно-песчаного раствора в зависимости от условий твердения					
	Естественное твердение		Термовлажностная обработка		Автоклавная обработка	
	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии
—	<u>7,05</u> 4,98	<u>49,04</u> 34,45	<u>4,97</u> 3,78	<u>37,45</u> 28,25	<u>9,22</u> 7,23	<u>65,25</u> 47,45
2,6	<u>9,91</u> 7,21	<u>79,33</u> 57,66	<u>7,46</u> 5,88	<u>59,85</u> 37,45	<u>14,44</u> 9,88	<u>87,35</u> 66,35

Примечание: над чертой приведены показатели для портландцемента Вольского завода, под чертой — портландцемента Ульяновского завода.

Как видно из данных табл. 1, прочность на сжатие цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой при пропаривании увеличивается на 32–60 %, при изгибе — на 55–50 %; при естественном твердении прочность при сжатии увеличивается на 67–62 %, при изгибе — на 44–41 %; при автоклавировании прочность при сжатии увеличивается на 39–41 %, а при изгибе — на 37–57 % по сравнению с составом без добавки.

В табл. 2 приведены результаты влияния комплексной добавки и ее компонентов на физико-механические свойства тяжелого бетона в возрасте 1, 3, 7 и 28 сут нормального твердения. Для эксперимента принят состав бетона класса В 27,5 с осадкой конуса бетонной смеси 8...9 см с расходом цемента 450 кг/м³, песка 595 кг/м³, щебня 1140 кг/м³. Вода добавлялась в бетонную смесь до достижения равной подвижности (П2 по ГОСТ 7473–94).

Таблица 2
Влияние комплексной добавки на кинетику твердения тяжелого бетона

№ п/п	Содержание добавок, %			Средняя плотность б.с., кг/м ³	Прочность при сжатии (МПа) бетона в возрасте, сут			
	Одолит-К	СН	ФЭС-50		1	3	7	28
1	—	—	—	2370	<u>7,52</u> 6,65	<u>18,05</u> 18,50	<u>29,38</u> 24,70	<u>36,8</u> 33,45
2	1	—	—	2475	<u>12,44</u> 11,04	<u>28,25</u> 28,67	<u>44,51</u> 37,8	<u>54,93</u> 51,4
3	—	1,5	—	2375	<u>10,53</u> 9,64	<u>24,37</u> 25,34	<u>37,02</u> 31,37	<u>37,53</u> 34,12
4	—	—	0,1	2370	<u>7,31</u> 6,23	<u>17,25</u> 17,86	<u>28,45</u> 24,3	<u>38,4</u> 34,75
5	1	1,5	0,1	2480	<u>15,57</u> 13,17	<u>34,47</u> 34,22	50,24 43,75	<u>58,88</u> 52,52

Примечание: над чертой приведены показатели бетона на портландцементе Вольского завода М500 Д0, под чертой — портландцементе Ульяновского завода М400 Д20.

Добавки вводились в бетонную смесь с водой затворения. Водоцементное отношение состава без добавки составило 0,46, с добавкой Одолит-К и комплексной добавкой — 0,33. Таким образом, применение комплексной добавки позволяет снизить водопотребность бетонной смеси на 29 %. Контрольные образцы-кубы с размерами $10 \times 10 \times 10$ см сразу после изготовления в формах помещались в камеру нормального хранения и испытывались через 1, 3, 7, 28 сут. Результаты испытаний приведены в табл. 2, из которой видно, что все изучаемые добавки повышают прочность бетона во все сроки твердения, кроме добавки ФЭС-50. Однако наибольший прирост прочности в первые трое суток твердения бетона обеспечивается при введении комплексной добавки на портландцементе Вольского завода (на 91–107 %). В указанные сроки при введении добавки Одолит-К прочность бетона повышается на 57–65 %, с добавкой СН — на 35–40 %. На портландцементе Ульяновского завода прочность при сжатии с добавкой Одолит-К повышается на 55–66 %, с добавкой СН — на 37–45 %, а с комплексной добавкой — на 84–98 %.

В возрасте 28 сут нормального твердения прочность бетона при сжатии на портландцементе Вольского завода с добавкой Одолит-К повышается на 49 %, с добавкой СН — на 2 %, с добавкой ФЭС-50 — на 4 %, а с комплексной добавкой — на 59 %. На портландцементе Ульяновского завода прочность бетона при сжатии с добавкой Одолит-К повышается на 53 %, с добавкой СН — на 2 %, с добавкой ФЭС-50 — на 4 %, а с комплексной добавкой — на 55 %.

Как известно, снижение В/Ц отношения приводит к повышению плотности и снижению общей пористости бетона, что неизбежно сказывается не только на водопоглощении, но и на изменении физико-механических свойств, морозостойкости и водонепроницаемости. Для определения влияния комплексной добавки и ее компонентов на показатели пористости бетона, а также на морозостойкость и водонепроницаемость проведен следующий эксперимент. На разных составах бетона, отличающихся расходом портландцемента, определялись показатели пористости бетона по методике ГОСТ 12730.4–78 [3]. Морозостойкость тяжелого бетона определяли на образцах-кубах $10 \times 10 \times 10$ см по ГОСТ 10060.3–95 на приборе «Бетон-Фрост». Водонепроницаемость бетона определяли по Приложению 4 ГОСТ 12730.5 на приборе «Агама-2РМ». Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 3, максимально высокая пористость характерна для бетона контрольного состава без добавок. Такой бетон имеет повышенное водоцементное отношение, что способствует формированию более пористой капиллярной структуры. Введение комплексной добавки приводит к снижению общей пористости на 40–45 % по сравнению с составом без добавки. Одновременно доля капиллярных пор уменьшается на 52 % при расходе цемента $600 \text{ кг}/\text{м}^3$, на 57 % при расходе цемента $450 \text{ кг}/\text{м}^3$, на 51 % при расходе цемента $300 \text{ кг}/\text{м}^3$, в то время как доля капиллярных пор в бетоне без добавок составляет в среднем 55 % от общей пористости. Возрастает доля условно-закрытых пор в бетоне с комплексной добавкой на 14 % при расходе цемента $300 \text{ кг}/\text{м}^3$, на 16 % при расходе цемента $450 \text{ кг}/\text{м}^3$, на 18 % при расходе цемента $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ по сравнению с составами без добавок.

Изменение общей и капиллярной пористости является следствием того, что увеличивается степень гидратации цемента и количество низкоосновных гидросиликатов кальция $\text{C}-\text{S}-\text{H}$, что подтверждается исследованиями, выполненными в работе [4], а также электронно-микроскопическими исследованиями (растровый электронный микроскоп Philips

Таблица 3

Показатели пористости и долговечности бетона с комплексной добавкой и ее компонентами

№ п/п	Содержание добавок, %			Состав бетона, кг/м ³			В/Ц	Показатели поровой структурь, %			W, марка	F, цикли
	Одолит-К	СН	ФЭС-50	Ц	П	Щ		Полный объем пор, Π_p	Объем открытых капиллярных пор, Π_o	Объем условно- закрытых пор, Π_z		
1	—	—	—	300	645	1240	0,42	15,3	9,8	2,1	W2	100
2	1	—	—	300	645	1240	0,33	12,5	7,2	2,1	W6	300
3	—	—	0,1	300	645	1240	0,42	13,4	9,1	2,3	W6	150
4	1	1,5	0,1	300	645	1240	0,32	9,1	4,8	2,4	W10	400
5	—	—	—	450	595	1140	0,38	14,2	7,4	1,8	W4	150
6	1	—	—	450	595	1140	0,28	11,3	4,8	1,7	W10	400
7	—	—	0,1	450	595	1140	0,38	12,6	6,2	1,9	W12	200
8	1	1,5	0,1	450	595	1140	0,28	6,4	3,2	2,1	W14	550
9	—	—	—	600	545	1040	0,32	9,2	4,6	1,6	W6	200
10	1	—	—	600	545	1040	0,21	7,4	3,1	1,6	W12	500
11	—	—	0,1	600	545	1040	0,32	7,9	4,2	1,8	W14	300
12	1	1,5	0,1	600	545	1040	0,21	5,1	2,2	1,9	W20	800

XL-30) структуры цементного камня, с помощью которых было выявлено, что на электронных микрофотографиях образцов цементного камня с комплексной добавкой наблюдается заполнение пор как низкоосновными гидросиликатами, так и гидросульфоалюминатами кальция, причем при автоклавной обработке количество низкоосновных гидросиликатов кальция становится преобладающим. Увеличение концентрации гидросульфоалюмината кальция и удельной поверхности гидратных фаз в общей структуре цементного камня приводит к упрочнению материала и повышению его плотности.

Исследование образцов цементного камня с использованием дифференциально-термического анализа показало, что в образцах с комплексной добавкой происходит более глубокая гидратация силикатной фазы цемента, о чем свидетельствует увеличение эндотермического эффекта при температуре 160...170 °C. Увеличение пиков эндотермических эффектов располагается в следующей возрастающей последовательности: состав, подвергнутый тепловлажностной обработке; состав, твердевший в естественных условиях; состав, подвергнутый автоклавной обработке.

Очень низкие показатели пористости, в частности пониженная доля капиллярных пор, увеличение закрытой пористости за счет снижения капиллярной, приводят к существенному повышению морозостойкости (с F100 до F800) и водонепроницаемости (с W2 до W20) бетона (табл. 3).

Выходы. При модификации бетона комплексной добавкой происходит резкое повышение прочности в ранние сроки твердения (на 84–107 %), а также марочной прочности бетона (на 55–59 %).

Наибольшее повышение прочности на сжатие модифицированных бетонов и растворов наблюдается в составах, твердевших в естественных условиях, а при изгибе — в составах, подвергнутых автоклавной обработке.

Введение комплексной добавки приводит к повышению морозостойкости бетона на 300...600 циклов, водонепроницаемости — на 4...7 степеней в зависимости от состава бетона.

Физико-химическими методами исследований установлено, что в составах с комплексной добавкой увеличивается степень гидратации цемента, а также количество гидратных новообразований, особенно низкоосновных гидросиликатов кальция, кристаллизующихся преимущественно в мелкодисперсном виде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. — 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.Г. Батраков. — М., 1998. — 768 с.
2. Изотов, В.С. Комплексная добавка для повышения долговечности тяжелого бетона [Текст] / В.С. Изотов, Р.А. Ибрагимов // Бетон и железобетон. — 2011. — № 4. — С. 14–16.
3. ГОСТ 12730.4–78. Бетоны. Методы определения показателей пористости [Текст].
4. Изотов, В.С. Особенности процесса гидратации цемента с комплексной добавкой [Текст] / В.С. Изотов, Р.А. Ибрагимов // Изв. КазГАСУ. — 2010. — № 2. (14). — С. 229–233.

*ИЗОТОВ Владимир Сергеевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail : izotov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ИБРАГИМОВ Руслан Абдирашитович, канд. техн. наук; E-mail: rusmag007@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 09.12.11

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

Ibragimov Ruslan Abdirachitovich, candidate of technical sciences; E-mail: rusmag007@yandex.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

COMPLEX ADDITIVE FOR UPDATING OF CONCRETE

Authors receive a complex additive on the basis of ethers polycarboksilat for concrete updating. Influence of a complex additive on strength indicators of cement mortar depending on conditions concreting, on kinetics concreting heavy concrete, and also on indicators of porosity, frost resistance and water resistance is investigated.

Key words: a complex additive, conditions concreting, heavy concrete.

REFERENCES

1. Batrakov, V.G. Farm Laborers of Century the Modified Concrete. The Theory and Practice [Text] / V.G. Batrakov. — M., 1998. — 768 p.
2. Izotov, V.S. A complex additive for increase of durability of heavy concrete [Text] / V.S. Izotov, R.A. Ibragimov //Concrete and Ferro-concrete. — 2011. — N 4. — P. 14–16.
3. GOST 12730.4–78. Concrete. Methods of Definition of Indicators of Porosity [Text].
4. Izotov, V.S. Features of process of hydration of cement with a complex additive [Text] / V.S. Izotov, R.A. Ibragimov // Izv. KazGASU. — 2010. — N 2.(14). — P. 229–233.

УДК 691.33.001.5

А.А. САГРАДЯН, Г.А. ЗИМАКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЦЦОЛАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗОЛЬНЫХ МИКРОСФЕР

Изучена пущоланическая активность зольных микросфер. Для исследования применен комплексный метод, основанный на оценке количества поглощенного CaO из раствора Ca(OH)₂ и испытании на прочность при сжатии образцов на основе цементно-песчаного раствора с добавкой зольных микросфер. Сделан вывод о наличии у зольных микросфер пущоланической активности, что позволяет получать на их основе материалы, обладающие пониженной плотностью при сохранении высоких прочностных свойств.

Ключевые слова: зольные микросфера, пущоланическая активность, прочность, плотность.

Зольные микросфера (ЗМС) являются эффективным легким наполнителем различных композиционных материалов на основе органических и неорганических вяжущих. Свойства таких материалов обусловлены структурой ЗМС. Зольные микросфера — это полые частицы сферической формы диаметром 10...1000 мкм. Химический состав представлен в основном следующими оксидами (мас. %): SiO₂ — 50–65 %, Al₂O₃ — 20–30 %, Fe₂O₃ — 3–8 %, CaO — 1–5 %, MgO — 0–4,5 %, TiO₂ — 0,5–1,5 %, K₂O — 0,5–7 %, Na₂O — 0,5–1,5 %, MnO — 0–0,5 %, P₂O₅ — 0–0,5 %, SO₃ — 0–2,5 %. Содержание CaO менее 10 % позволяет отнести ЗМС к кислым золам по ГОСТ 25818–91, модуль активности $Ma = Al_2O_3/SiO_2 = 0,31–0,6$. Зольные микросфера обладают низкой средней насыпной плотностью — 300...500 кг/м³, низкой теплопроводностью — порядка 0,1 В/м·К, гидростатическая прочность составляет 20...35 МПа [1]. Зольные микросфера являются компонентом золы-уноса ТЭЦ, а следовательно, могут быть носителями пущоланических свойств.

Целью данной работы явилось изучение пущоланической активности ЗМС в зависимости от крупности их частиц. Использовались ЗМС производства ООО «Научный центр Эпитаксия» (г. Новосибирск). Зольные микросфера имеют следующие технические характеристики: размер менее 500 мкм, истинная плотность алюмосиликатной фазы составляет 2,4...2,53 г/см³, плотность частицы зольной микросфера 650...750 кг/м³, насыпная плотность 380...420 кг/м³.

Для определения пущоланической активности зольных микросфер использовался комплексный метод, основанный на поглощении ими извести из известкового раствора [2] с параллельным определением прочности цементно-песчаного раствора с добавкой ЗМС.

Были испытаны зольные микросфера шести типов:

- 1) без обработки и разделения на фракции;
- 2) обработанные кипячением в течение 24 ч. Известно, что при кипячении различных минеральных веществ в течение длительного периода времени происходит гидрооксилирование их поверхности [3];
- 3) термически обработанные при 800 °C в течение 2 ч.

Литературные данные свидетельствуют о том, что термическая обработка природных пущоланических добавок способна повышать их активность [3]. Предположительно термическая обработка ЗМС может вызывать изменение фазового состава алюмосиликатной фазы и таким образом приводить к изменению пущоланической активности;

- 4) диаметром 0,315 мм и более;
- 5) диаметром 0,14...0,315 мм;
- 6) диаметром менее 0,14 мм.

Согласно результатам предыдущих исследований, наибольшее содержание CSH минералов отмечено в контактной зоне ЗМС — цементная матрица у ЗМС большого диаметра, что позволяет предположить, что зольные микросфера различного диаметра имеют различную активность [4].

Для определения пущоланической активности ЗМС были изготовлены 6 серий образцов — балочек размерами $40 \times 40 \times 160$ мм из цементно-песчаного раствора с добавкой ЗМС при соотношении цемент : ЗМС : песок, равном 1 : 0,1 : 3. Использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н. Контрольный образец изготовлен из раствора при соотношении цемент : песок, равном 1 : 3,1. Образцы выдерживались в течение 7 сут при влажности 90 % и температуре 20 °C, затем они были помещены в воду с температурой 50 °C и выдержаны в течение 24 ч, после чего испытывались на прочность при сжатии.

Результаты эксперимента

Тип ЗМС	Активность, мг/г	Прочность на сжатие, кг/см ²
1	127,71	36,8
2	138,24	43,2
3	127,98	35,2
4	125,55	38,8
5	120,96	36,4
6	126,09	37,6
Контрольный	—	31,8

Представлены в таблице. Графические зависимости количества поглощенного CaO от времени титрования представлены на рис. 1, график поглощения

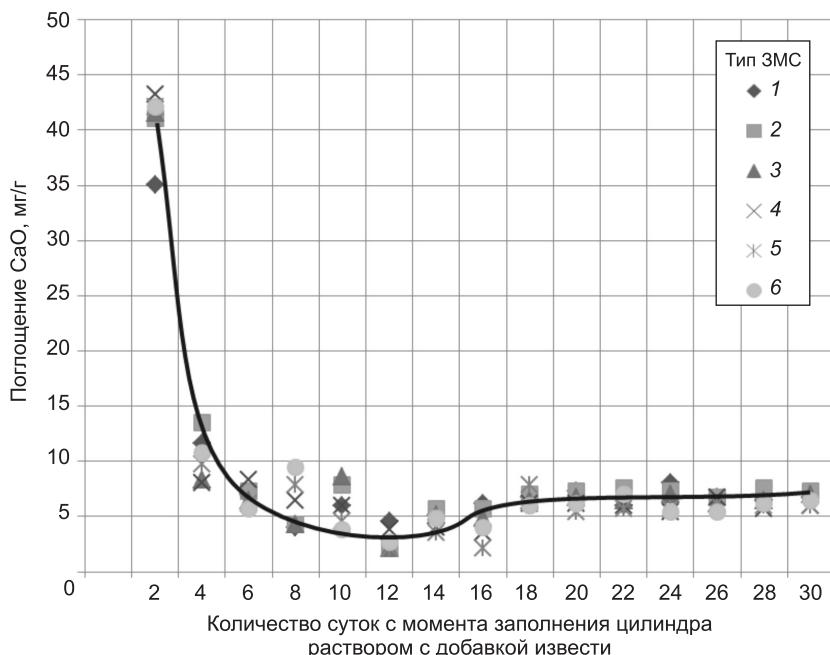


Рис. 1. Зависимость поглощения CaO зольными микросферами от времени с момента заполнения цилиндра раствором с добавкой извести

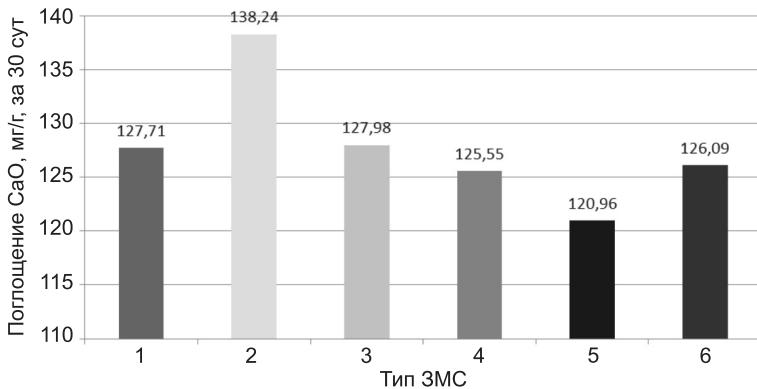


Рис. 2. Поглощение CaO различными типами ЗМС за 30 сут

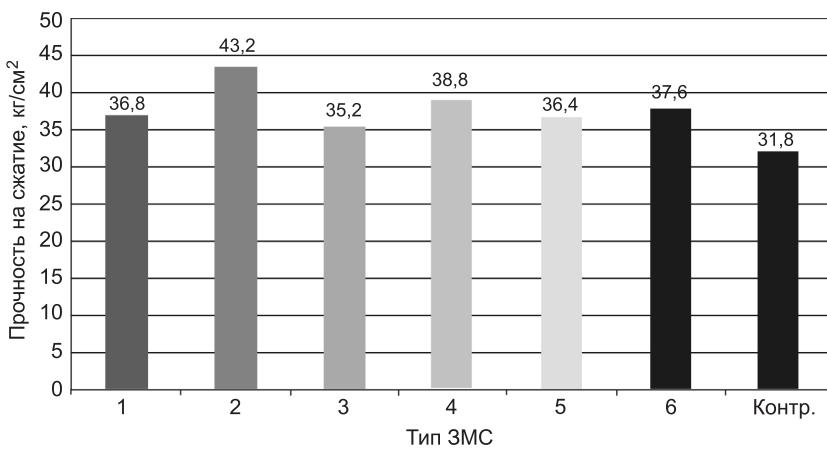


Рис. 3. Прочность на сжатие образцов для различных типов ЗМС

1 г CaO за 30 сут для различных типов ЗМС представлен на рис. 2. Результаты испытания образцов цементно-песчаного раствора с добавкой ЗМС приведены на рис. 3.

Поглощение CaO зольными микросферами без обработки поверхности и разделения по размеру составило 127,71 мг/г (см. рис. 2). Максимальную пущоланическую активность проявляют ЗМС с гидрооксилированной поверхностью — 138,2 мг/г. Гидрооксилирование поверхности ЗМС приводит к замещению силоксановых ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$) групп на поверхности ЗМС на более активные по отношению к $\text{Ca}(\text{OH})_2$ силанольные ($\text{Si}-\text{OH}$) группы. Термическая обработка зольных микросфер не принесла предполагаемых результатов: поглощение CaO у термически обработанных ЗМС находится на уровне зольных микросфер без обработки — 128 мг/г. Очевидно, термическая обработка при 800 °C не привела к увеличению активности ЗМС, тогда как согласно литературным данным в случае природных пущоланов, обожженных глин, каолинов и диатомитов она изменяет структуру указанных материалов с образованием большего количества реакционноспособных фаз [3]. Установлено, что крупность частицы ЗМС не оказывает значительного влияния на поглощение CaO: поглощение CaO находится на уровне ЗМС без обработки. У всех типов зольных микросфер отмечена тенденция к снижению поглощения CaO из раствора с увеличением количества времени, прошедшего с мо-

мента внесения ЗМС в раствор: с 36 до 42 % от количества CaO у всех типов ЗМС поглощены в первые 4 сут (см. рис. 1).

Таким образом, результаты изучения поглощения CaO различными типами зольных микросфер позволили установить, что их активность по отношению $\text{Ca}(\text{OH})_2$ изменяется незначительно. Исключением является ЗМС с гидрооксилированной поверхностью: количество поглощенного CaO на 9,2 % выше, чем у зольных микросфер без обработки поверхности.

Результаты испытания пущоланической активности ЗМС в цементно-песчаном растворе с добавкой ЗМС коррелируют с результатами, полученными при испытании методом поглощения CaO из известкового раствора (см. рис. 3).

Прочность на сжатие образца на основе ЗМС без обработки составила 36,8 кг / см². Состав на основе гидрооксилированных ЗМС показал наибольшую прочность на сжатие (43,2 кг / см²). Повышенная реакционная способность зольных микросфер приводит к увеличению образования CSH на поверхности раздела ЗМС — цементная матрица, что повышает плотность контактной зоны и, как следствие, прочностные характеристики камня. Состав 3 на основе ЗМС с термической обработкой показал прочность, близкую к ЗМС без обработки, что говорит о реакционной способности, соответствующей ЗМС без обработки. Составы 4–6 показали примерно одинаковую прочность, что говорит о том, что ЗМС с различным размером частиц обладают близкими показателями пущоланической активности.

Принимая во внимание природу зольных микросфер, можно предположить, что их пущоланическая активность имеет общую природу с активностью золы-уноса. Следовательно, по аналогии с механизмом пущоланической активности золы-уноса в случае ЗМС первичной реакцией является взаимодействие SiO_2 с ионами OH^- . Ионы OH^- присоединяются к атомам кремния с последующим разрушением связей между ними и атомами кислорода. После этого силикатные анионы отрываются от сетки и переходят в раствор либо остаются на своем месте в сетке. Таким образом, происходит частичное растворение стеклянной стенки ЗМС. На границе раздела ЗМС — цементная матрица образуется слой CSH. Продукты гидратации модифицируются путем удаления CaO и обеспечения дополнительного количества SiO_2 , наблюдается уменьшение отношения Ca/Si. Однако согласно литературным данным [3] продукты гидратации в контактной зоне могут значительно варьироваться в зависимости от состава материала. Продукты гидратации могут состоять из CSH как с высоким, так и низким отношением Ca/Si, стратлингита и гидродрагона. Для определения фазового состава продуктов гидратации требуются дальнейшие исследования.

Таким образом, согласно экспериментальным данным зольные микросфера проявляют пущоланическую активность, что выражается в поглощении CaO из известкового раствора на уровне 120...138 мг на 1 г ЗМС. Данные химического анализа подтверждаются результатами испытаний образцов из цементно-песчаного раствора с добавкой ЗМС на прочность при сжатии. По сравнению с контрольным образцом, не содержащим зольных микросфер, составы с ЗМС имеют повышенную на 10–35 % прочность при сжатии. Принимая во внимание универсальные свойства зольных микросфер, можно утверждать, что их применение позволит получать материалы с пониженной плотностью при сохранении высоких механических свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fenelonov, V.B. The properties of cenospheres and the mechanism of their formation during high-temperature coal combustion at thermal power plants [Текст] / V.B. Fenelonov, M.S. Mel'gunov, V.N. Parmon // KONA Powder and Particle J. — 2010. — N 28. — P. 189–207.
2. Б у т т, Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов [Текст] / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. — М. : Высш. шк., 1973. — 268 с.
3. Т е й л о р, Х. Химия цемента [Текст] / Х. Тейлор. — М. : Мир, 1996. — 560 с.
4. P i c h o r, W. The interfacial transition zone between filler and matrix in cement based composites with cenospheres [Text] / W. Pichor // Composites. — 2006. — N 6. — P. 71–77.

САГРАДЯН Артур Аршакович, асп.; E-mail: asagradyan72@mail.ru

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

ЗИМАКОВА Галина Александровна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: ga.winter@yandex.ru

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 02.11.11

Sagradyan Artur Arshakovich, post-graduate student; E-mail: asagradyan72@mail.ru, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Zimakova Galina Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: ga.winter@yandex.ru, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE STUDY OF THE POZZOLANIC ACTIVITY OF HOLLOW GLASS MICROSPHERES

The study has been conducted in which the pozzolanic activity of hollow glass microspheres was investigated. The complex method of study was employed based on the assessment of the amount of CaO absorbed from the Ca(OH)₂ solution and testing of the specimens made from cement-sand mortar with hollow glass microspheres addition. Results allow to infer that hollow glass microspheres possess pozzolanic activity that leads to the possibility of obtaining materials with reduced density and high strength.

Key words: hollow glass microspheres, pozzolanic activity, strength, density.

REFERENCES

1. Fenelonov, V.B. The properties of cenospheres and the mechanism of their formation during high-temperature coal combustion at thermal power plants [Text] / V.B. Fenelonov, M.S. Mel'gunov, V.N. Parmon // KONA Powder and Particle J. — 2010. — N 28. — P. 189–207.
2. Butt, Yu.M. Practical training guide in chemical technology of binding materials [Text] / Yu.M. Butt, V.V. Timashev. — M. : Vischaya Shcola, 1973. — 268 p. (in Russian)
3. Taylor, H. Chemistry of cement [Text] / H. Taylor. — M. : Mir, 1996. — 560 p. (in Russian)
4. Pichor, W. The interfacial transition zone between filler and matrix in cement based composites with cenospheres [Text] / W. Pichor // Composites. — 2006. — N 6. — P. 71–77.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.05

**В.В. ГЕРАСИМОВ, О.А. КОРОБОВА, А.Т. ПИМЕНОВ,
О.Ю. МИХАЛЬЧЕНКО**

ОСНОВЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

На основе обобщения опыта и выполненных исследований приведена методика определения интегрированной безопасности при проектировании и строительстве объектов на основе системной интеграции организационных и технологических решений.

Ключевые слова: интеграция, безопасность, строительство, система.

В существующей практике вопросы безопасности строительного комплекса имеют важное значение и формируются в рамках системного взаимодействия по таким сферам деятельности, как проектирование, строительство, эксплуатация объектов. В них выделяются этапы жизненного цикла строительной продукции, а затем формируются инженерные решения и их оценка в процессе реализации. Вопросы взаимосвязи этих компонентов изучены достаточно полно и представлены методологией системотехники [1]. Особенностью такого подхода является представление компонентов в виде технико-экономической системы, включающей объемно-конструкторские решения (ОКР), которые определяются организационно-технологическими решениями (ОТР) и оцениваются на основе технико-экономических критериев [2]. В практике плановой экономики нормирование технических нормативов затрат и продолжительности работ осуществлялось по специальным методикам на основе статистического анализа натурных исследований. Это соответствовало понятию детерминированных разработок проектных, строительных и эксплуатационных решений для всех видов объектов и принципам детерминированной структуризации нормативов, затрат и проектов. Безопасность таких решений осуществлялась на основе нормирования областей рационального использования технологий [2]. Практика плановой экономики показала, что при жесткой централизации такими нормативами не удается получить полное соответствие фактических плановым затратам, поскольку причинами несоответствия являлись фактические изменения исходной архитектуры ОКР в зависимости от внешних факторов, которые не учитывались в нормативах. Это приводило к последующему изменению ОТР и появлению дополнительных неучтенных затрат.

Вопросы взаимодействия ОКР и ОТР с оценкой влияния различных факторов отражены в критерии строительной надежности, под которой понимается уровень снижения результата деятельности строительной системы. При детерминированной схеме взаимодействия элементов сис-

© Герасимов В.В., Коробова О.А., Пименов А.Т., Михальченко О.Ю., 2012

темы принималось положение о том, что факторы определены на всем горизонте решения и поэтому параметрами должно обеспечиваться выполнение заданного результата.

С переходом на рыночные условия параметры и факторы строительства стали вероятностными, что в значительной степени определило проблему надежности результата. При этом формирование стохастических нормативов стало актуальной задачей разработки технико-экономических документов, включая проекты организации строительства, проекты производства работ, проекты организации работ, проекты управления работами, планы разных видов и др.

В существующей практике используются подходы по определению локальных оценок изменения уровня внутренних параметров системы — производительности, объемов, трудоемкости работ и др. Вместе с этим использование локальных оценок не позволяет выявлять полную ситуацию состояния объекта и принимать меры по снижению уровня опасности невыполнения результата. Ниже приведен методологический подход по формированию стохастических нормативов с созданием системы интегрированной безопасности строительных систем, разработанный по данным проведенных исследований авторов [3].

Система интегрированной безопасности разработана на основе использования положений системного, проектного, объектного подходов и представлена блоками: объектным, организационным, технологическим, информационным. Основными принципами формирования системных решений являются: сбалансированность, оптимальность, комплексность, эффективность. Принцип сбалансированности блоков предусматривает осуществление равномерного потока преобразований параметров ОКР в параметры ОТР с фиксацией информации проектными и плановыми документами. Принципом оптимальности блоков предусматривается процедура нормализации системы параметров блока в режимах стохастических значений и вероятностей снижения надежности норматива. Принципом комплексности предусматривается совместное участие блоков на всех этапах жизненного цикла строительной системы, включающих материально-техническое обеспечение, строительно-монтажные работы, реализацию строительной продукции. Принципом эффективности предусматриваются правила определения нахождения системы в экономическом пространстве состояний — в допустимом, предельном, кризисном. Системными принципами задаются общие контуры системы безопасности, в рамках которой контроль состояния строительной системы осуществляется по технико-экономическим параметрам допустимых значений затрат и продолжительности по нормализованным параметрам ОКР и ОТР при условии использования стохастических нормативов на всех этапах жизненного цикла строительной системы.

В составе блоков системы решаются следующие задачи. Блок «Объект» предусматривает создание классификации множества объектов по типам и видам зданий со структуризацией объемов работ. Результатом такой структуризации является необходимость получения конечного объема полной номенклатуры объектов территории. Задача блока «Организация» — формирование сквозного объектного потока по этапам «материальное обеспечение — строительство объектов — реализация объектов». Результатом такого потока является получение конечной схемы сети движения ресурсов, объектов. Задача блока «Технология» — формирование сквозного потока специализированных работ по объектам структуры комплекса объектов. Результатом такого потока является получение конечной схемы сети движения работ этапа обеспечения, строительства и реализации

объектов. Задача блока «Информация» — формирование сквозного информационного потока по этапам «материальное обеспечение — строительство объектов — реализация объектов». Результатом такого потока является получение конечной схемы сети движения документов по принятию решений. Комплекс задач блоков системы безопасности определяет комплекс моделей, задачей которых является формализация структурных, сетевых, процессных и программных схем в видах, обеспечивающих формирование рабочих алгоритмов решения практических задач по планированию и управлению организационно-технологической безопасностью строительных систем. Для этого используются следующие модели.

Модель «Объект» определяется структурой распределенного множества видов, типов объектов и ресурсов:

$$K_0 = \bigcup O_i; \quad (1)$$

$$O = \sum P_j, \quad (2)$$

где K — комплекс i -х объектов O , j -х — ресурсов P .

В уравнениях (1), (2) отображается совокупность множества видов и типов объектов и ресурсов, которые могут быть ориентированы на объектные, проектные, портфельные и программные форматы. Решение задачи по модели направлено на формализацию процессов проектирования, планирования и реализацию по этапам процесса жизненного цикла объектов строительного комплекса.

Для реализации моделей используется метод анализа иерархий, обеспечивающий возможность формализации и структурирования множества объектов комплекса по вариантам, составляющим разновидности комплексов по ОКР с соответственно сгруппированными с ними ОТР [4].

Модель «Организация» имеет вид

$$T_k^0 = \bigcup T_{ijk}^0; \quad (3)$$

$$Z_k^0 = \bigcup Z_{ijk}^0; \quad (4)$$

$$T_{ijk}^0 = \sum T_l^0 \cdot K_{tl}^0 \cdot H_{tl}^0 \cdot B_{tl}^0; \quad (5)$$

$$Z_{ijk}^0 = \sum Z_l^0 \cdot K_{3l}^0 \cdot H_{3l}^0 \cdot B_{3l}^0, \quad (6)$$

где T_k^0 , Z_k^0 — соответственно продолжительность и затраты комплекса по фактору организации по этапам процессов комплекса;

i, j, k, l — соответственно i -й этап подготовки производства, j -й этап производства, k -й этап реализации, т.е. индекс этапа объекта;

K_{tl}^0 — коэффициент совмещения процессов по параметру продолжительности l -го этапа объекта комплекса;

H_{tl}^0 , B_{tl}^0 — соответственно надежность и вероятность параметров комплекса [5, 6].

В уравнениях (3), (4) отображается соответственно специфика балансов структуризации комплекса по этапам цикла строительства, в (5), (6) — структура локальных параметров комплекса с учетом факторов риска. Решение задачи по модели направлено на формализацию процессов комплексного потока объектов с учетом факторов риска.

Для реализации моделей используется поточный сетевой метод, обеспечивающий возможность формализации и структурирования множества видов, типов объектов и ресурсов:

жества объектных потоков комплекса и специализированных потоков технологий по вариантам, составляющим разновидности ОКР и ОТР с соответственно сгруппированными с ними параметрами затрат и продолжительностью работ.

Модель «Технология» имеет вид

$$T_k^T = \bigcup T_{ijk}^T; \quad (7)$$

$$3_k^T = \bigcup 3_{ijk}^T; \quad (8)$$

$$T_{ijk}^T = \sum T_l^T \cdot K_{Tl}^T \cdot H_{Tl}^T \cdot B_{Tl}^T; \quad (9)$$

$$3_{ijk}^T = \sum 3_l^T \cdot K_{3l}^T \cdot H_{3l}^T \cdot B_{3l}^T; \quad (10)$$

$$\sum T_k^T = T_k^0; \quad (11)$$

$$\sum 3_k^T = 3_k^0, \quad (12)$$

где T_k^T — продолжительность процессов комплекса по фактору технологии.

В уравнениях (7)–(10) отображаются балансы формирования комплекса по фактору технологии, в (11), (12) — балансы по параметрам комплекса в области организации и технологии процессов комплекса объектов. Решение задачи по модели направлено на формализацию процессов специализированного потока работ с учетом факторов риска.

Для реализации моделей используется поточный метод структурирования сетей, обеспечивающий возможность формализации и структурирования множества специализированных потоков объектов по вариантам технологических группировок, составляющих разновидности технологических машинных комплексов с соответственно сгруппированными с ними параметрами затрат и продолжительностью работ.

Модель «Информация» имеет вид

$$3(T(Y, P))_k = 3(T(Y, P))_{ki} \dots 3(T(Y, P))_{kn}, \quad (13)$$

где $3(T(Y, P))_k$, $3(T(Y, P))_{ki}$ — соответственно затраты и продолжительность работ с координатами управления Y и ресурсами P комплекса по i -му этапу жизненного цикла строительства.

В уравнении (13) отображается поток информационных затрат и спряженных с ними продолжительностей процессов в рамках объемов работ комплекса.

Для реализации моделей используется метод программирования объектов, обеспечивающий возможность формализации и структурирования множества информационных модулей потоков объектов комплекса по вариантам, составляющим разновидности комплексов по ОКР и ОТР с соответственно сгруппированными с ними параметрами затрат и продолжительностью работ.

Основой метода исследования системы является последовательность выполнения работ:

- структурирование и классификация множества объектов, отображающих их территориальную организацию с формированием специализированных группировок объектов;

- разработка системного интегрированного потока комплекса, объектов и видов работ;

- имитационное моделирование случайных процессов отклонений параметров потоков с созданием базы данных для формирования аналитического комплекса функций параметров процессов в зависимости от отклонений с вычисляемой вероятностью их появления;
- разработка аналитического комплекса зависимостей изменения базовых параметров объектов в зависимости от уровней организованности и технологичности процессов;
- разработка методических положений по использованию аналитического комплекса в формировании проектных планов;
- разработка методических положений по использованию аналитического комплекса в формировании областей безопасности деятельности в зависимости от вариантов отклонений;
- разработка нормативов и методических положений по использованию аналитического комплекса в формировании управленческих решений для повышения безопасности деятельности.

Аналитический комплекс используется для решения следующих основных научно-практических задач:

- нормализации детерминированных параметров комплекса основных процессов строительного производства в соответствии с установленными методическими положениями и формирования стochастических нормативов строительных норм и правил;
- оптимизации нормализованных параметров комплекса основных процессов строительного производства;
- оптимизации стохастических параметров комплекса основных процессов строительного производства с корректировкой их значений с учетом отклонений параметров в процессе реализации комплекса основных процессов строительного производства.

Решение первой задачи основано на применении существующих методик и средств автоматизации структурно-сетевой организации работ с вычислением качества организационных решений по критерию уровня организованности процессов на основе определения организационных перерывов, определяющих эффективность использования ресурсов организационных процессов. Качество технологических решений определяется по критерию уровня технологичности процессов на основе вычисления технологических перерывов, определяющих эффективность использования ресурсов технологических процессов.

Решение второй задачи основано на применении специальных методик и средств автоматизации структурно-сетевой организации работ с вычислением качества организационных решений по критерию уровня организованности процессов на основе учета дополнительных значений организационных перерывов, обусловленных необходимостью резервирования параметров процессов и уровня технологичности процессов на основе учета дополнительных значений технологических перерывов.

Решение третьей задачи основано на применении специальных методик и средств автоматизации структурно-сетевой организации работ с вычислением качества процессов реализации организационно-технологических решений.

Приведенный подход позволяет сформировать базовый стохастический норматив параметров затрат и продолжительности работ, принятый для стадии реализации объекта:

$$N_{cp} = N_d + \Delta N_c + \Delta N_p, \quad (14)$$

где N_d , ΔN_c , ΔN_p — соответственно норматив параметров детерминированный; часть норматива параметров, учитывая фактор стохастичности; часть норматива параметров, учитывая фактор реализации.

Составляющие норматива (14) имеют следующие области использования: стохастический норматив применяется в сфере проектирования при разработке ОТР, а его части — соответственно при разработке мероприятий страхования рисков и управлении при разработке мероприятий по регулированию отклонений параметров при реализации объектов.

Области интегрированной безопасности представляют собой системную проекцию организационных и технологических параметров потоков объектов и работ, определенных ОКР, и отклонений, вызванных случайными факторами, группировка которых обеспечивает формирование оценок состояния организации в различных уровнях эффективности: допустимой — при увеличении затрат на уровне ниже расчетной прибыли; предельной — при увеличении затрат на уровне расчетной прибыли; кризисной — при увеличении затрат на уровне выше расчетной прибыли. Разработанные по этому принципу шкалы важности влияния факторов и соответствующие им мероприятия могут быть использованы в процессе управления реализацией объекта.

Модель областей безопасности имеет вид

$$\begin{aligned} O_{ib} &= O_b, T_b, \\ O_b &= f(\Delta o, B), \\ T_b &= f(\Delta T, B), \\ M(O_b, T_b) &= \bigcup (O_d, O_n, O_h), \end{aligned}$$

где O_{ib} , O_b , T_b — области интегрированной безопасности системы объекта; Δo , ΔT и B — организационные и технологические отклонения и соответствующая вероятность событий; $M(O_b, T_b)$ — матрица множества организационных и технологических параметров безопасности; O_d , O_n , O_h — соответственно область безопасности — допустимая, предельная, недопустимая.

Группировка отклонений организационных и технологических параметров по уровням экономического состояния организации позволяет на стадии реализации объекта осуществлять прогнозирование ситуаций и принятие мер по минимизации отклонений от нормативов за счет как резервов, так и реструктуризации потоковых процессов.

Таким образом, разработанный подход позволяет осуществлять формирование стохастических нормативов организационно-технологических решений, он может быть использован в практике бизнес-исследования, инженерного проектирования, проектного планирования и в сферах управления по реализации строительных объектов, проектов, проектных комплексов.

Выводы. 1. Практика показывает, что в условиях рыночных преобразований важной методологической проблемой становится учет факторов внешней и внутренней среды в нормативной базе проектирования, строительства и эксплуатации строительных объектов.

2. Методологией проектирования интегрированной безопасности предусматривается формирование блочной системы групп факторов в области организационных и технологических решений в соответствую-

щих проектных документах, которыми оптимизируются модули стохастических нормативов на основе использования научных методов и инструментов.

3. Методами оптимизации модулей нормативов в проектах и их реализациях обеспечивается: в организационных документах — минимизация организационных перерывов и отклонений в зависимости от ожидаемых факторов на стадии проектирования и строительства; в технологических документах — минимизация технологических перерывов и отклонений в зависимости от ожидаемых факторов на стадии проектирования и строительства.

4. Предлагаемой нормативной базой в условиях рынка обеспечивается формирование проектных и плановых документов для исходного этапа, а областями интегрированной безопасности — возможность управления эффективностью строительной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусаков, А.А. Системотехника в строительстве [Текст] / А.А. Гусаков. — М. : Стройиздат, 1993. — 245 с.
2. Бурков, В.Н. Модели и методы управления организационными системами [Текст] / В.Н. Бурков. — М. : Наука, 1994. — 270 с.
3. Герасимов, В.В. Интегрированное проектирование объектов жилищного строительства [Текст] / В.В. Герасимов, Л.С. Минина. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2001. — 194 с.
4. Герасимов, В.В. Организационно-экономическая надежность строительных проектов [Текст] / В.В. Герасимов, О.Ю. Михальченко // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 4. — С. 104–108.
5. Герасимов, В.В. Организационная диагностика и обоснование преобразований предприятий [Текст] / В.В. Герасимов, А.Л. Кунц. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. — 109 с.
6. Михальченко, О.Ю. Организационная надежность реализации строительных проектов [Текст] / О.Ю. Михальченко // Проблемы строительного комплекса : сб. науч. тр. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. — С. 78–90.

*ГЕРАСИМОВ Виталий Владимирович, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

*КОРОБОВА Ольга Александровна, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

*ПИМЕНОВ Александр Трофимович, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

*МИХАЛЬЧЕНКО Олег Юрьевич, ст. препод.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 05.12.11

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

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

Pimenov Alexander Trofimovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Mikhalkchenko Oleg Yuryevich, senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

PRINCIPLES OF INTEGRATED SECURITY BUILDING SYSTEMS

On the basis of generalization of experience and the executed researches the technique of definition of the integrated safety is resulted at designing and building of objects, based on system integration of organization and technological decisions.

Key words: integration, security, construction, system.

REFERENCES

1. G u s a k o v, A.A. System Engineering in Construction [Text] / A.A. Gusakov. — M. : Stroyizdat, 1993. — 245 p.
 2. B u r k o v, V.N. Models and Methods for Managing Organizational Systems [Text] / V.N. Burkov. — M. : Nauka, 1994. — 270 p.
 3. G e r a s i m o v, V.V. Integrated Design of Housing Projects [Text] / V.V. Gerasimov, L.S. Minina. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2001. — 194 p.
 4. G e r a s i m o v, V.V. Organizational and economic security of construction projects [Text] / V.V. Gerasimov, O.Yu. Mikhalkchenko. — News of Higher Educational Institutions. Construction, 2008. — N 4. — P. 104–108.
 5. G e r a s i m o v, V.V. Organizational Diagnosis and Rationale for Transformation of Enterprises [Text] / V.V. Gerasimov, A.L. Kunz. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2011. — 109 p.
 6. M i k h a l c h e n k o, O.Yu. Organizational Reliability of Construction Projects [Text] / O.Yu. Mikhalkchenko // Problems of Building Complex. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2011. — P. 78–90.
-

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 626.4.001.24

А.А. АТАВИН, В.В. ТАРАСЕВИЧ, А.П. ЯНЕНКО

СУДОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ И ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Приводится постановка задачи о совместном расчете движения судна и воды в судопропускных сооружениях с учетом такого важного фактора, как трение. Движение потока описывается на основе теории «мелкой воды» и основных законов сохранения.

Использование ряда естественных с физической точки зрения предположений позволяет с помощью осреднения системы квазилинейных уравнений упрощенно описывать гидродинамические процессы в шлюзе совместно с движением судна системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, для которой ставится и решается задача оптимального управления. В качестве управляющего параметра выступает расход, подаваемый в камеру шлюза насосами обводной галереи.

Ключевые слова: судопропускное сооружение, движение судна, математическая модель, обводная галерея, подача воды, оптимальное управление, расчет.

В судоходных шлюзах, запроектированных в полном соответствии с действующими на определенный период времени нормативными документами, реальная скорость прохождения через камеру шлюза современных крупногабаритных судов, имеющих размеры, близкие к размерам камеры шлюзов, из-за возникающих при этом гидродинамических эффектов оказывается намного ниже расчетной.

С целью ускорить прохождение судов через камеры шлюзов, а следовательно увеличить их пропускную способность, авторами этой статьи была предложена конструкция судоходных шлюзов, оснащенных специальными обводными галереями, на которую было получено авторское свидетельство [1]. Эти галереи могут быть оснащены насосами. Изменяя подаваемый насосами расход воды в камеру шлюза или в подходной канал в зависимости от направления движения судна, можно добиваться наиболее благоприятного режима шлю佐ования судна, позволяющего существенно увеличить скорость движения судна в камере.

В работе приводится постановка задачи о расчете движения судна и воды в судопропускных сооружениях с учетом трения. Движение потока описывается на основе теории «мелкой воды» и основных законов сохранения.

Использование ряда естественных с физической точки зрения предположений позволяет с помощью осреднения системы квазилинейных уравнений упрощенно описывать гидродинамические процессы в шлюзе совместно с движением судна системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, для которой ставится и решается задача по определению, допустим, мощности насосных установок при заданных за-

ранее размерах камер шлюза и обводных галерей или решается задача по оптимальному режиму работы насосных установок обводных галерей с целью увеличения пропускной способности шлюза.

1. Математическая постановка задачи о неустановившихся гидродинамических процессах в камерах шлюзов

Задача о расчете движения судна в камере будет решаться при следующих допущениях:

— судопропускное сооружение представляет собой систему последовательно соединенных каналов (рис. 1);

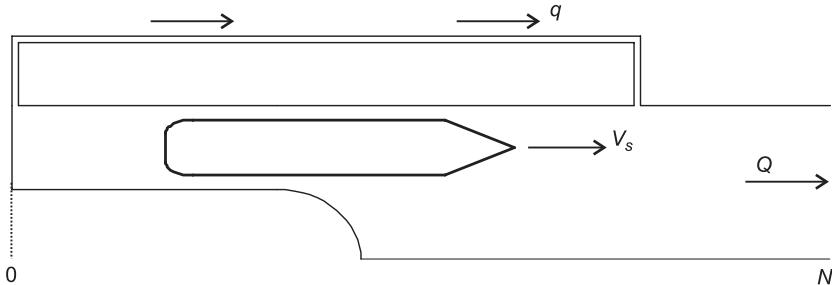


Рис. 1. Схема ввода-выхода судна в процессе шлюзования

— судно имеет форму параллелепипеда, причем параметры судна определяются согласно рис. 2, а также еще рядом некоторых других предположений.

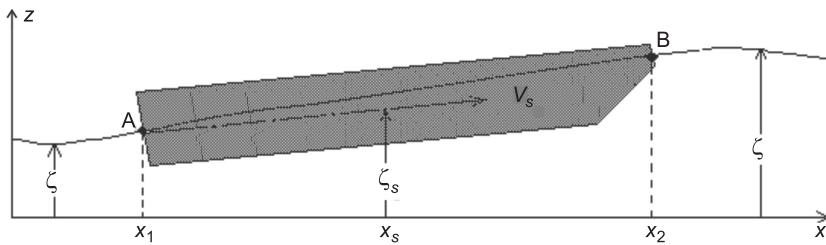


Рис. 2. Судно на возмущенной водной поверхности в камере

Уравнения течения воды на участках шлюза. Для математического описания гидродинамических процессов в судопропускных сооружениях используется одномерная теория мелкой воды, которая предполагает, что все искомые параметры потока зависят только от продольной координаты x и времени t . В качестве таких параметров выберем расход воды $Q(x, t)$ и отметку свободной водной поверхности $\zeta(x, t)$.

Пренебрегая поперечными колебаниями судна, рысканием и бортовой качкой (что было подтверждено лабораторными экспериментами), будем считать, что положение судна однозначно определяется положением его центра тяжести и углом дифферента судна $\psi(t)$. Обозначим продольную и вертикальную координаты центра тяжести судна через $x_s(t)$ и $\eta_s(t)$ соответственно. Тогда $V_s = dx_s/dt$ и $U_s = d\eta_s/dt$ будут горизонтальной и вертикальной скоростями судна, а $\Phi = d\psi/dt$ — его угловой скоростью.

Пусть ω_s — площадь поперечного «мокрого» сечения судна, которая в общем виде определяется по формуле

$$\omega_s = \int_{\zeta-d}^{\zeta} b_s(x - x_s, \eta) d\eta, \quad (1)$$

где $d = d(\zeta, x - x_s, \eta_s, \psi)$ — осадка судна;
 b_s — ширина судна в точке x на уровне η .

Обозначим $\omega = \omega_k(\zeta, x) - \omega_s(\zeta, x - x_s, \eta_s, \psi)$ — площадь поперечного «мокрого» сечения потока, где $\omega_k(\zeta, x)$ — площадь поперечного «мокрого» сечения канала (камеры шлюза без учета судна), а ω_s определяется согласно (1). Соответственно $B_k = B_k(\zeta, x)$ будет обозначать ширину канала на уровне водной поверхности, $B_s = B_s(\zeta, x - x_s, \eta_s, \psi)$ — ширину судна по ватерлинии; $B(t, x) = B_k - B_s$ — ширину водной поверхности поверху; χ_k — длина смоченного периметра канала, χ_s — длина смоченного периметра судна.

Принимая во внимание вышесказанное, совместное движение воды и судна в камере шлюза можно описать следующей системой уравнений [2, 3]:

$$\begin{aligned} B \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= - \left(\frac{\partial \omega_s}{\partial x} \right)_\zeta V_s - B_s U_s - k_\psi \Phi, \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \left(\frac{g\omega}{B} - V^2 \right) B \frac{\partial \zeta}{\partial x} + 2V \frac{\partial Q}{\partial x} &= -RV^2 - \frac{\tau \chi}{\rho}, \\ M_s \frac{dV_s}{dt} &= -\rho g \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \omega_s dx + \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \tau_s \chi_s dx + F, \\ M_s \frac{dU_s}{dt} &= -\rho g \left(W_s - \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \omega_s dx \right), \\ I_s \frac{d\Phi}{dt} &= L_y, \end{aligned} \quad (2)$$

где g — ускорение свободного падения;

ρ — плотность воды;

$V(x, t) = Q/\omega$ — средняя по сечению скорость жидкости;

$x_1(t)$ и $x_2(t)$ — координаты носа и кормы судна соответственно;

W_s, M_s — объемное водоизмещение и масса судна;

I_s — момент инерции массы судна относительно центральной поперечно-горизонтальной оси;

F — продольная сила, действующая на судно со стороны причальных устройств, механизмов заводки либо движителей судна;

$$k_\psi = -\partial \omega_s / \partial \psi;$$

L_y — центрально-поперечный момент сил инерции.

Здесь $(\partial \omega / \partial x)_\zeta$ обозначает производную от ω по переменной x при фиксированном значении ζ , а

$$R = (\partial \omega_s / \partial x)_\zeta - (\partial \omega_k / \partial x)_\zeta.$$

Сила трения в уравнении вычисляется по формулам

$$\tau \chi = \begin{cases} \tau_k \chi_k & \text{для участка без судна,} \\ \tau_k \chi_k + \tau_s \chi_s & \text{для участка с судном,} \end{cases}$$

причем напряжение трения будет определяться по формулам

$$\tau_k = \frac{\rho \cdot g |V| V}{C_k^2}, \quad \tau_s = \frac{\rho \cdot g |V - V_s| (V - V_s)}{C_s^2},$$

где C_k , C_s — коэффициенты Шези для канала и судна соответственно, которые можно вычислить, например, по формулам

$$C_k = \frac{1}{n_k} R^{1/6}, \quad C_s = \frac{1}{n_s} R^{1/6},$$

а $R = \omega / (\chi_k + \chi_s)$ — гидравлический радиус;

n_k и n_s — шероховатости поверхности канала и судна соответственно.

Обводная галерея. Схема подсоединения обводной галереи к камере шлюза представлена на рис. 1. Как уже отмечалось, галерея может быть снабжена активными элементами (насосами), обеспечивающими нужную подачу воды. Пренебрегая волновыми процессами в обводной галерее и учитывая только инерционность движения жидкости, расход $q(t)$ в обводной галерее можно определить из соотношения

$$\Lambda \frac{dq}{dt} = \Delta\zeta - \Omega |q| q / 2 + H(q), \quad (4)$$

где Ω — гидравлическое сопротивление линии;

$\Lambda \approx \frac{1}{g} \sum_i l_i / \omega_i$ — гидравлическая индуктивность линии;

$H(q)$ — напор, создаваемый насосами обводной галереи;

$\Delta\zeta = \zeta(0, t) - \zeta_L(t)$ — перепад уровней на концах обводной галереи.

При стационарном перетекании воды через галерею «самотеком» (при отсутствии насосов) формула (4) будет определять «естественный» расход воды по галерее $q_e = \text{sgn}(\Delta\zeta) \sqrt{2|\Delta\zeta|/\Omega}$, причем знак $\Delta\zeta$ будет определять направление движения потока.

Начальные и граничные условия для системы уравнений. Итак задача определения переходных процессов в камерах и каналах судопропускных сооружений сводится к решению системы уравнений (2), (3) относительно неизвестных $\zeta(x, t)$, $Q(x, t)$, $x_s(t)$, $\eta_s(t)$, $\psi(t)$, определяющих характер протекания этих процессов. Областью изменения независимых переменных (x, t) является прямоугольник $D = \{(x, t) | 0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq L\}$, где T — рассматриваемый временной интервал; L — общая длина рассматриваемых участков сооружения, причем ось x можно считать состоящей из отдельных отрезков, соответствующих различным камерам или участкам канала. Места сопряжения этих отрезков являются неподвижными внутренними граничными точками. Кроме того, оконечности шлюзующегося судна также являются внутренними граничными точками, причем подвижными.

В створах стыковки камер шлюза и подходного канала задаются условия сопряжения в виде баланса расходов и равенства отметок уровня воды по обе стороны от створа. Аналогичные условия ставятся для оконечностей судна, но в движущейся вместе с судном системе координат. В конце шлюза могут задаваться граничные условия, имитирующие либо выход в водоем больших размеров, либо, если канал имеет значительную протяженность, так называемые «мягкие» граничные условия, задающие постоянство выходящего из узла инварианта [4].

В голове шлюза задается изменение во времени поступающего в камеру шлюза расхода воды

$$Q(0, t) = Q_0(t) - q(t). \quad (5)$$

Здесь $Q_0(t)$ — расход, поступающий в камеру шлюза извне через ворота шлюза;

$q(t)$ — расход воды в обводной галерее.

Для завершения постановки задачи необходимо также задать начальные условия:

$$\begin{aligned} \zeta(0, x) &= \zeta_0(x), \quad Q(0, x) = 0, \quad x_s(0) = x_{s,0}, \quad \eta_s(0) = \eta_{s,0}, \\ \psi(0) &= 0, \quad V_s(0) = 0, \quad U_s(0) = 0, \quad \Phi(0) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

2. Постановка задачи об оптимальном управлении движением судна в камере судопропускного сооружения

Выбор критерия оптимальности. Уменьшение времени прохождения судна через определенное судопропускное сооружение, имеющее фиксированные значения камер, обводных галерей и мощности насосных установок, во многом зависит от эффективности управления его движением в камерах. Формулирование критерия эффективности управления представляет собой одну из наиболее важных сторон оптимизационной задачи. В общем виде показатель эффективности управления можно давать некоторым функционалом

$$J = \int_0^T f^0(\zeta, Q, q, t) dt.$$

Задача оптимального управления в достаточно общем виде формулируется следующим образом: требуется найти такое управление $q(t)$, удовлетворяющее уравнению (4), и параметры потока ζ , Q , удовлетворяющие уравнениям (2), (3), краевым условиям и начальным данным, описанным выше, при которых значение функционала J принимает минимальное значение:

$$J = \int_0^T f^0(\zeta, Q, q, t) dt \rightarrow \min. \quad (7)$$

При этом должны выполняться определенные ограничения на предельные напряжения в чалках и недопустимость контакта днища судна со шлюзом:

$$d \geq d_{\min}, \quad |F| \leq F_{\max}, \quad x_s \geq x_{\min}, \quad T \leq T_{\max}, \quad (8)$$

где $d(\eta_s, \psi_s)$ — глубина под днищем судна;

d_{\min} — минимально допустимый запас глубины под днищем судна;

F_{\max} — максимальная продольная сила тяги;

x_{\min} — минимально допустимое расстояние до головы шлюза;

T_{\max} — максимально допустимое время шлюзования.

Нахождение вышеописанного оптимального управления является весьма сложной задачей, поэтому в настоящей работе эта задача рассматривается в упрощенной постановке, которая позволяет свести ее к классической задаче оптимального управления [5].

Упрощенная постановка задачи. Для упрощения задачи используется гипотеза «гибкого судна», которая предполагает, что каждое попечное сечение судна перемещается в вертикальном направлении независимо от соседних сечений. Математически это формулируется как

$$\frac{\partial \omega_s}{\partial t} + V_s \frac{\partial \omega_s}{\partial x} = 0.$$

Второе упрощающее предположение состоит в том, что на участках без судна пренебрегаем инерцией потока, поскольку основной вклад вносит баланс масс, следовательно, $\partial \zeta / \partial x = 0$ и $\zeta = \zeta(t)$ при $x \in [0, x_1(t)]$. На участках с судном, наоборот, учитывается инерционность потока, но расход воды вдоль всей длины судна предполагается постоянным по x , т.е. $\partial Q / \partial x = 0$, откуда $Q = Q(t)$ при $x \in [x_1(t), x_2(t)]$.

С учетом этого, а также граничных условий получим нелинейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно двух неизвестных $\zeta(t)$ и $Q(t)$:

$$\frac{d\zeta}{dt} = \frac{q - \omega_s V_s - Q}{B_k \cdot l(t)}, \quad (9)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{(\zeta - \zeta_L)R_1 R_2}{\tilde{L}_s R_2 + (L_s - \tilde{L}_s)R_1} - g \left[\frac{R_2 \tilde{L}_s S_1 + R_1 (L_s - \tilde{L}_s) S_2}{\tilde{L}_s R_2 + (L_s - \tilde{L}_s)R_1} \right], \quad (10)$$

где $l(t) = l_0 + \int_0^t V_s(\tau) d\tau$ — расстояние до левой оконечности судна;

l_0 — расстояние от начала координат до абсциссы точки старта судна. Здесь использованы следующие обозначения:

$$S = \left| \frac{Q}{\omega} \right| \frac{Q \chi_k}{\omega C_k^2} + \left| \frac{Q}{\omega} - V_s \right| \left(\frac{Q}{\omega} - V_s \right) \frac{\chi_s}{C_s^2}, \quad R = g \omega - \frac{Q^2}{\omega^2} (2B_k - B_s). \quad (11)$$

Индексы 1 и 2 в формуле (10) обозначают камеру шлюза или подходной канал соответственно; L_s, \tilde{L}_s — длина судна и той части судна, которая находится слева от места соединения камеры и канала ($\tilde{L}_s = L_s$, когда судно целиком в камере, $\tilde{L}_s = 0$, когда судно находится в канале). Для того чтобы система уравнений (9), (10) имела единственное решение, необходимо задать начальные данные

$$\zeta(x, 0) = \zeta_0, \quad Q(x, 0) = 0. \quad (12)$$

Алгоритм решения этой задачи Коши базируется на явной схеме Рунге–Кутта второго порядка (метод Эйлера с пересчетом) с переменным шагом по времени при прохождении оконечностей судна через створы соединения различных участков.

В качестве критерия эффективности (7) выберем требование минимального отклонения уровня водной поверхности в камере шлюза при выводе-выводе судна; тогда функционал J будет выглядеть как

$$J = \int_0^T (\zeta - \zeta_L)^2 dt. \quad (13)$$

На рис. 3 представлено полученное решение для вывода судна из камеры шлюза. Показан требуемый график подачи $q(t)$, при соблюдении которого в случае вывода судна за его кормой держится постоянный уровень, что обеспечивает минимальное сопротивление, обусловленное перепадом уровней между носовой и кормовой частями судна и гарантирует от аварийной «посадки» судна на дно шлюза.

Возможные обобщения. В качестве другого управляющего воздействия можно, например, выбрать силу тяги движителя судна F .

Возможность увеличения пропускной способности состоит в минимизации времени шлюзования. При этом возможно минимизировать затраты энергии, например

$$\int_0^T (N_s + N_p) dt \rightarrow \min, \quad (14)$$

где N_s — мощность двигателя; N_p — мощность, потребляемая насосом.

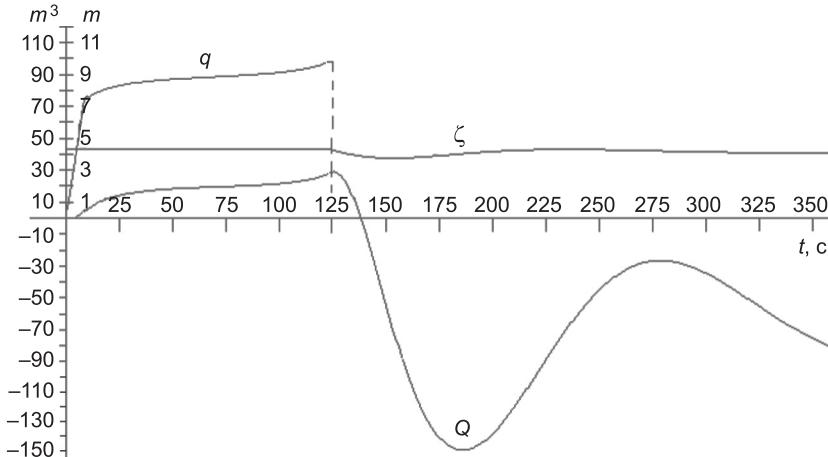


Рис. 3. Результаты расчета при выводе судна из камеры со скоростью $V_s = 1,2$ м/с

(Насос отключается, когда судно покидает камеру)

Этот критерий необходимо использовать вместо (13) при решении системы уравнений (9), (10) с начальными данными (12) совместно с уравнением (4) для поиска оптимальных графиков подачи расхода $q(t)$ и силы тяги $F(t)$. При этом потребуется задействовать соответствующий математический аппарат теории оптимального управления [5].

Выходы. Предварительные расчеты показывают, что даже применение пассивных обводных галерей увеличивает пропускную способность шлюза. Использование дополнительного насоса на галереях позволяет сократить время движения судна в камере и как следствие существенно увеличить пропускную способность шлюзов.

Таким образом, использование оптимально подобранных параметров судопропускных сооружений и самого судна (сила тяги) позволяет выявить дополнительные резервы повышения пропускной способности судопропускных сооружений без существенных конструктивных переделок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 867995 (СССР) Судоходный шлюз [Текст] / Ленингр. отд-ние ин-та Гидропроект; Авт. изобр. А.А. Атавин, А.П. Яненко и др. Опубл. в БИ. — 1981. — № 36.
2. Атавин, А.А. Гидродинамические процессы в судопропускных сооружениях [Текст] / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, А.П. Яненко. — Новосибирск : Наука, 1993. — 101 с.
3. Атавин, А.А. Нестационарные процессы в судопропускных сооружениях: математическое и лабораторное моделирование, натурные испытания [Текст] / А.А. Атавин, О.Ф. Васильев, В.В. Тарасевич, А.П. Яненко // Тр. Междунар. конф. RDAMM-2001 (Спец. выпуск). — 2001. — Т. 6, ч. 2. — С. 63–69.

4. Рождественский, Б.Л. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике [Текст] / Б.Л. Рождественский, Н.Н. Яненко. — М. : Наука, 1988. — 637 с.
5. Понtryагин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л.С. Понtryагин. — М.: Наука, 1976.

АТАВИН Аркадий Анатольевич, канд. техн. наук, доц.

*Новосибирский филиал Института водных и экологических проблем СО РАН
ТАРАСЕВИЧ Владимир Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ЯНЕНКО Аркадий Петрович, д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 08.12.11

Atavin Arkady Anatolievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk Branch of Institute for Water and Ecological Problems of SB RAS, Russia

Tarasevich Vladimir Vladimirovich, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Yanenko Arkady Petrovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

SHIPPING LOCKS AND THE WAYS TO INCREASE THEIR THROUGHPUT CAPACITY

The complete formulation of the problem about the coupling calculation of vessel and water moving in the navigation passes taking the friction into consideration also. The water flow is considered on the basis of «shallow water» theory and the basic integral conservation laws.

Using some natural assumptions (from physic point of view) allows with the help of averaging of the considered system describe the hydrodynamic processes in the lock jointly with the vessel moving by the system of ordinary differential equations, for which the problem of optimal control is formulated and solved. The discharge delivering in the chamber lock by the pumps of bypass gallery is used as the control parameter.

Key words: navigation pass, vessel moving, mathematical model, bypass gallery, discharge, optimal control, calculation.

REFERENCES

1. Inventors certificate 867995 (USSR). Shipping lock [Text] / Leningrad Division of Hydroproect Institute, Inventors: A.A. Atavin, A.P. Yanenko et al. Publ. in Bulletin of Inventions. — 1981. — N 36. (in Russian).
2. Atavin, A.A. Hydrodynamic processes in navigation structures [Text] / A.A. Atavin, O.F. Vasiliev, A.P. Yanenko. — Novosibirsk : Nauka, 1993. — 101 p. (in Russian).
3. Atavin, A.A. Unsteady processes in navigation structures: mathematical and laboratory modeling, full-scale tests [Text] / A.A. Atavin, O.F. Vasiliev, V.V. Tarasevich, A.P. Yanenko. — Proc. Intern. Conf. RDAMM-2001 (Special issue). — 2001. — V. 6, pt 2. — P. 63–69 (in Russian).
4. Rozhdestvensky, B.L. Systems of quasi-linear equations and its applications to gas dynamics [Text] / B.L. Rozhdestvensky, N.N. Yanenko. — M. : Nauka, 1988. — 637 p. (in Russian).
5. Pontryagin, L.S. Mathematical Theory of Optimal Processes [Text] / L.S. Pontryagin. — M. : Nauka, 1976 (in Russian).

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.1:536.2

О.Д. САМАРИН, А.В. БУШОВ

ВЛИЯНИЕ ЭКРАНОВ И ЖАЛОУЗИ НА ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены способы повышения теплозащиты заполнений светопроемов с помощью непрозрачных штор и жалюзи. Приведены результаты расчетов сопротивления теплопередаче таких конструкций с аппроксимацией его зависимости от геометрических характеристик штор.

Ключевые слова: светопрозрачные конструкции, сопротивление теплопередаче, тепловой поток, ромб-штора, жалюзи, конвекция.

В настоящее время во всем мире наблюдается заметная тенденция к увеличению потребления топливно-энергетических ресурсов. Это следствие бурного развития таких отраслей экономики, как энергетика, промышленность, жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, транспорт. Наиболее сложным в современных зданиях является обеспечение энергоэффективности светопрозрачных конструкций. Анализ структуры энергетического баланса в зданиях показывает, что для реального снижения энергозатрат необходимо в первую очередь повышать теплозащитные качества светопрозрачных и ограждающих конструкций. Сопротивления теплопередаче оконных конструкций в несколько раз ниже, чем стен зданий, что приводит к повышенным теплопотерям через окна в зимний период времени и дополнительным затратам на охлаждение помещений в летний период. Особенно это актуально при общей тенденции к увеличению площади остекления фасадов современных зданий и сооружений. Кроме того, в холодный период времени из-за низкой температуры на внутренней поверхности остекления существенно понижается комфортность жилых и производственных помещений. Поэтому теплоизоляционным качествам светопрозрачных конструкций необходимо уделять первоочередное внимание при решении проблемы энергосбережения. Особое значение данная тема приобретает в настоящее время — в условиях действия Закона РФ «Об энергосбережении...» [1].

Достаточно простой способ снижения теплопотерь — это устройство с наружной стороны окна экрана, выполненного из непрозрачных пластиин. Как известно, вечером происходит понижение температуры наружного воздуха, и опущенный на ночь экран или закрывающиеся ставни позволяют уменьшить поток теплоты, излучаемый остеклением наружу, и создать дополнительную воздушную прослойку, являющуюся хорошей теплоизоляцией. Зашторивание светопроемов устройствами, размещае-

мыми между остеклением, позволяет не только сократить теплопотери через остекление в холодное время года, но и в некоторой степени отрегулировать освещенность. Широкое распространение получают шторы-жалюзи, экран которых представляет систему горизонтальных пластин, соединенных гибкими связями. Пластины, сделанные из алюминия и покрытые эмалью или лаком, могут поворачиваться вокруг собственной оси, изменяя количество солнечной радиации, поступающей через световые проемы, и улучшать показатели естественного освещения благодаря использованию света, отраженного пластинаами.

Одним из вариантов повышения теплозащиты окон является также установка штор или жалюзи со стороны помещения [2]. Их устройство позволяет снизить теплопотери в помещении в результате уменьшения потока лучистой теплоты. При этом не следует закрывать шторами поверхность отопительного прибора, находящегося под окном. Если теплоизолирующая штора, жалюзи или экран выполнены из непрозрачного материала, то их опускают на окно, когда начинает смеркаться. В этом случае теплозащита окон повысится на определенный период времени — на ночь, когда температура наружного воздуха понижается и используется искусственное освещение. Причем это наиболее существенно для центральных и северных районов РФ, где относительная длительность светового дня для отопительного периода не превышает 40 %.

Экран или жалюзи с помощью приводного устройства может полностью или частично убираться в зависимости от требований к сопротивлению теплопередаче и светопропусканию окна. Для использования экранов и жалюзи с теплоотражающими покрытиями в конструкциях окон необходимо провести цикл экспериментально-расчетных исследований таких устройств.

Рассмотрим влияние конструктивных характеристик штор и жалюзи на теплозащитные свойства заполнений светопроеемов. В серии многовариантных численных экспериментов при помощи программного комплекса Ansys были определены значения сопротивления теплопередаче $R_{\text{ок}}$ конструкции стеклопакета с ромб-шторой. В процессе исследования решалась система, включающая уравнение неразрывности, уравнение Навье–Стокса для ламинарного нестационарного течения в приближении Буссинеска, уравнение сохранения энергии, теплопроводности и уравнение состояния идеального газа. Затем по рассчитанному профилю плотности теплового потока через поверхность шторы, обращенную в помещение, вычислялось осредненное по площади окна значение этой плотности $q_{\text{ср}}$, $\text{Вт} / \text{м}^2$, и величина $R_{\text{ок}}$ как отношение $(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / q_{\text{ср}}$, где $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ — температура внутреннего и наружного воздуха, принятые равными соответственно $+20^{\circ}\text{C}$ [3] и -28°C [4]. Результаты вычислений для наиболее характерных вариантов приведены в таблице.

По представленным данным построены графики зависимости сопротивления теплопередаче окна от расстояния между внутрен-

Результаты расчета сопротивления теплопередаче конструкции стеклопакета и ромб-шторы при различных толщинах ячеек

Расстояние от внутренней поверхности стекла до ромб-шторы, δ , мм	$R_{\text{ок}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, с горизонтальной диагональю ячейки Δ , мм	100	50	25
100	0,58	0,61	0,63	
80	0,60	0,63	0,65	
40	0,61	0,64	0,66	
1	0,61	0,64	0,66	

ней поверхностью стеклопакета и ромб-шторы при различных толщинах ячеек (рис. 1). Нижние сплошные линии соответствуют $\Delta = 100$ мм, средние — $\Delta = 50$ мм, верхние — $\Delta = 25$ мм. Пунктирные кривые представляют собой аппроксимацию результатов квадратичными полиномами. Легко видеть, что абсолютная погрешность при этом не превышает $0,004 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, а относительная — 0,7 %, что заведомо лежит в пределах обычной точности инженерных расчетов и справочных данных. Поэтому аппроксимирующие функции достаточно адекватно представляют реальное поведение величины $R_{\text{ок}}$ и их анализ позволяет получить вполне достоверные выводы.

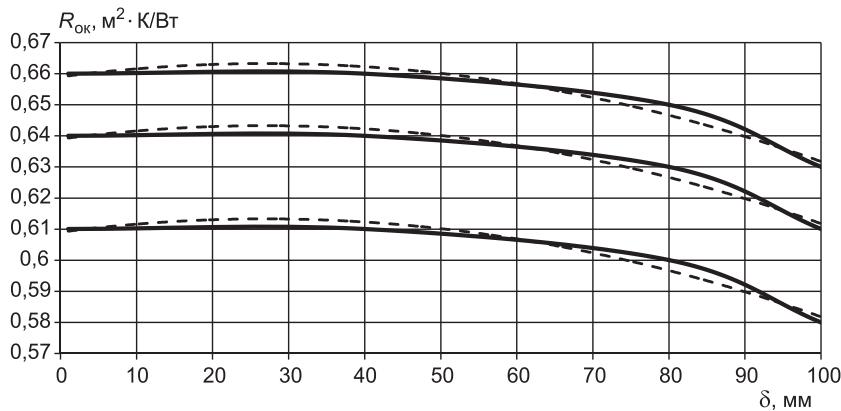


Рис. 1. График зависимости $R_{\text{ок}}$ от расстояния δ между внутренней поверхностью стеклопакета и ромб-шторой при различных размерах ее ячейки Δ

Можно показать, что числовые коэффициенты полученных полиномов у слагаемых с δ и δ^2 при разных Δ не меняются, поэтому в дальнейшем ищем зависимость от Δ только для свободного члена. График такой зависимости показан на рис. 2. Здесь пунктирная линия — линейное приближение построенной кривой.

Окончательное уравнение двумерной аппроксимации для данного случая имеет вид

$$R_{\text{ок}} = -6\delta^2 + 0,3\delta + 0,674 - 0,7\Delta. \quad (1)$$

Здесь δ и Δ необходимо измерять в метрах. Исследуем полученную функцию на экстремум:

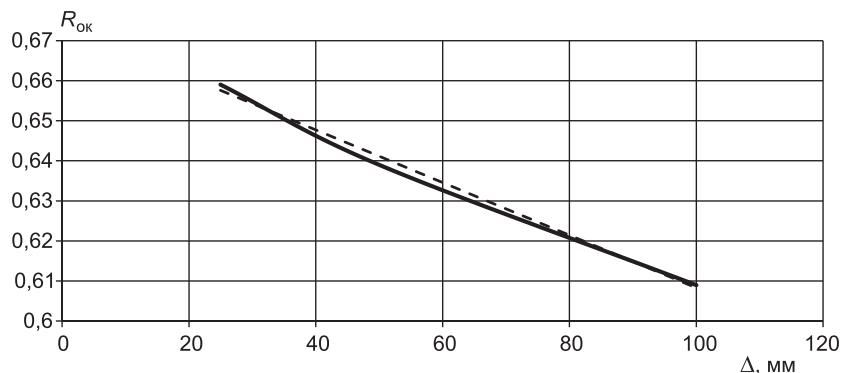


Рис. 2. График зависимости свободного члена аппроксимационных полиномов для $R_{\text{ок}}$ от размера ячейки ромб-шторы Δ , мм

$$\frac{\partial R_{\text{ок}}}{\partial \delta} = -12\delta + 0,3 = 0, \text{ откуда } \delta_{\text{опт}} = 0,3 / 12 = 0,025 \text{ м} = 25 \text{ мм.} \quad (2)$$

Таким образом, оптимальное расстояние ромб-шторы от стеклопакета $\delta_{\text{опт}}$ равно 25 мм независимо от толщины ячеек.

При увеличении величины δ сверх $\delta_{\text{опт}}$ сопротивление теплопередаче стеклопакета постепенно падает из-за усиления конвекции в пространстве между стеклом и шторой. С другой стороны, при очень малом расстоянии от шторы до стекла значение $R_{\text{ок}}$ тоже понижается, так как конвекция в этом режиме еще недостаточно развита, поэтому проявляется тот же фактор, что и для зависимости $R_{\text{ок}}$ от толщины межстекольного пространства в стеклопакете: понижается термическое сопротивление проложки неподвижного воздуха (за счет теплопроводности). Напротив, зависимость $R_{\text{ок}}$ от Δ является монотонно убывающей опять-таки из-за усиления конвекции, но уже в самих ячейках, поэтому в реальных конструкциях следует принимать минимально возможное значение Δ (порядка 25 мм).

Для сравнения отметим, что в отсутствие штор величина $R_{\text{ок}}$ для рассматриваемого типа заполнений светопроемов составляет $0,54 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$. Следовательно, установка ромб-шторы с $\Delta = 25 \text{ мм}$ при $\delta = \delta_{\text{опт}}$ позволяет в данном случае повысить теплозащитные свойства окон примерно на 22 %. Таким образом, использование предлагаемых технологий на самом деле позволяет значительно уменьшить нагрузку на системы энергообеспечения зданий. При этом также обеспечивается улучшение качества микроклимата в помещениях за счет эффективного управления каждым отдельным окном, так как здесь такое управление будет осуществлять непосредственно пользователь, заинтересованный в максимальном снижении затрат на поддержание необходимых внутренних метеопараметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. [Текст].
2. Бу́шов, А.В. Изучение экспериментальных факторов, влияющих на сопротивление теплопередаче окон за счет использования экранов и жалюзи [Текст] / А.В. Бу́шов // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Промышленное и гражданское строительство в современных условиях». — М. : МГСУ, 2011. — С. 204–207.
3. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]. — М. : ГУП ЦПП, 1999.
4. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология [Текст]. — М. : ГУП ЦПП, 2004.

*САМАРИН О.Д., канд. техн. наук, доц.
Московский государственный строительный университет
БУШОВ А.В., асп.
Московский государственный строительный университет*

Получено 12.11.11

Samarin O.D., candidate of technical sciences, assistant professor, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Bushov A.V., post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

INFLUENCE OF SCREEN AND GILLS ON HEAT-SHIELDING PROPERTIES OF GLAZING

The ways of increase of glazing heat protection using non-transparent curtains and gills are reviewed. The outcomes of calculations of thermal resistance of such constructions with approximation of its dependence from the geometrical characteristics of curtains are adduced.

Key words: glazing, thermal resistance, heat flow, rhombus curtain, gills, convection.

REFERENCES

1. Federal Law of the Russian Federation «On energy saving and increasing of energy efficiency and on correcting several Acts of the Russian Federation» № 261-FZ from 2009, November the 23th [Text].
 2. Bushov, A.V. Analysis of the experimental factors, influential on thermal resistance of windows using screens and gills [Text] / A.V. Bushov // Papers of the Intern. Scientific and Technological Conf. «Industrial and Civil Building in Modern Conditions». — M. : MSUSE, 2011. — P. 204–207.
 3. National Standard 30494–96. Residential and Public Buildings. Indoor Conditions [Text]. — State Unitary Company Center of Design Products. — M., 1999.
 4. State Building Code (SNiP) 23-01-99*. Building Climatology [Text]. — State Unitary Company Center of Design Products. M., 2004.
-

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 666.775.4+678.048

В.П. КИСЕЛЕВ, М.Б. БУГАЕНКО, Н.В. КЕМЕНЕВ

СТАБИЛИЗАЦИЯ СВОЙСТВ НЕФТЯНОГО ДОРОЖНОГО БИТУМА

Рассмотрены вопросы повышения устойчивости дорожного битума к термоокислительной деструкции — одной из стадий целого комплекса физических и химических процессов, протекающих при старении нефтебитумных композиций в составе асфальтобетонных покрытий. Для достижения эффекта в работе использованы промышленные антиоксиданты и отстойная смола пиролиза древесного сырья. Определена концентрация антиоксидантов в композиции. Выбрана наиболее эффективная добавка.

Ключевые слова: нефтебитумные композиции, антиоксидантная активность, период индукции, эффективность стабилизации битума.

Асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог в процессе эксплуатации под влиянием погодных условий и механического воздействия автотранспорта подвергаются «старению» и последующему разрушению. В летний период идут физические процессы размягчения и постепенного расслоения битума в поверхностном слое асфальтобетона. Под воздействием кислорода воздуха, ультрафиолетовой и инфракрасной составляющих солнечного света в битуме — основном компоненте асфальтобетона происходят сложные структурные и химические превращения. Следует отметить, что специалисты неодинаково оценивают долю физической или химической составляющих процесса старения асфальтобетона [1, 2]. Однако наличие стадии термоокислительной деструкции при разрушении битума является бесспорным и совершенно доказанным. Процесс окисления углеводородов (к ним относят не только нефтяные дистиллятные топлива, но также и битум) рассматривается учеными как цепной радикальный процесс с вырожденным разветвлением реакций [3, 4].

В дистиллятные топлива, масла, смазки вводят различные по характеру защитного действия добавки, в том числе и антиокислительные [3–5]. Для замедления протекания ионных реакций структурирования в композициях на основе сланцевых фенолов в качестве стабилизатора физико-механических свойств предложены ацетонитрил и продукт взаимодействия диэтилентриамина с нитрилом акриловой кислоты¹. Эффективны в качестве антиокислителей пространственно-затрудненные фенолы, амины и их смеси [5]. В монографии Т.П. Вишняковой и др. [3] установлено, что пространственно затрудненные фенолы и вторичные ароматические амины, имеющие в своем составе подвижный атом водорода (InH),

¹ Поконова Ю.В. Стабилизация композиций на основе сланцевых фенолов // Химия твердого топлива. 2010. № 3. С. 54–56.

выступают в роли акцепторов свободных радикалов; образующиеся малоактивные радикалы неспособны взаимодействовать с молекулами углеводородных материалов (к ним относится и битум) и за счет этого прерывают цепной окислительный процесс.

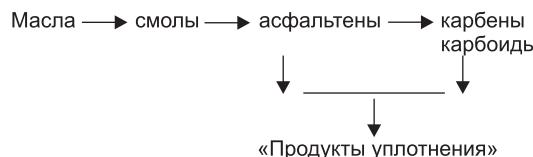
В битум для улучшения свойств добавляют ПАВ, эластомеры^{2,3}, которые, по мнению авторов, влияют на старение. Однако отсутствуют сведения об использовании в составе дорожных битумов специальных антиоксидантов. Поэтому целью исследования является изыскание антиокислительных присадок, повышающих стабильность углеводородной смеси.

В работе использовали битум марки БНД 90/130 ОАО «Ачинский НПЗ» по ГОСТ 22245–90. В качестве добавок использовали промышленные антиоксиданты, применяющиеся для замедления старения эластомеров и нефтяных дистиллятных топлив:

- диафен ФП (N^l -фенил — N -изопропил — n -фенилendiамин) — твердое вещество в виде чешуек серо-фиолетового цвета;
- ВТС-150 — пастообразный продукт взаимодействия дифениламина с α -метилстиролом (г. Воронеж, АО «Синтезкаучук»);
- ацетонанил Н — полимеризованный 2, 2, 4-триметил 1,2-дигидрохинолин (продукт конденсации ацетона с анилином);
- неозон Д (фенил- β -нафтиламин) — твердое порошкообразное вещество светло-коричневого цвета;
- ионол-(алкофен БП) (2,6-дитретбутил — 4-метилфенол) — твердое вещество белого цвета;
- амин Б (дифениламин Б) (смесь аминов) — отход производства антрахиноновых красителей (г. Кемерово), темно-коричневая жидкость.

Наряду с синтетическими антиоксидантами использовали отстойную смолу пиролиза древесины кедра (ОСП-ДК) влажностью 7–12 %, полученную при термодеструкции кедровых опилок при температуре 500 °C в инертной атмосфере. Смолы пиролиза древесного сырья являются модификаторами для органических вяжущих² и вследствие наличия в своей структуре фенольных и пирокатехиновых группировок могут проявлять свойства антиоксидантов. При исследовании составов исходных битумов и модифицированных вяжущих использовались стандартные методы испытания³.

Битум на АБЗ претерпевает следующий температурно-временной цикл: обезвоживание ~ 10...15 ч при 105...110 °C (вероятен перегрев битума на тенах до температуры 200 °C); разогрев и перемешивание 1...2 мин при 175 °C; доставка к месту укладки и укладывание 2...4 ч при 165...130 °C. Здесь он претерпевает большую температурную деградацию, чем за последующее время эксплуатации в дорожном покрытии⁴.



При повышенных температурах в присутствии кислорода воздуха в условиях солнечной радиации в битумах за счет реакций термо- и фотокисления происходит структурирование материала (см. рисунок).

² Киселев В.П., Иванченко А.В., Ефремов А.А. Смолы пиролиза древесины как сырье для модификации битума // Химия раст. сырья. 2001. № 4. С. 111–113.

³ Горелышев Н.В., Гурячков И.Л., Пинус Э.Р. Материалы и изделия для строительства дорог: справочник / под ред. Н.В. Горелышева. М.: Транспорт, 1986. 288 с.

⁴ Гун Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия, 1989. 152 с.

Более высокомолекулярная часть битума плохо смачивает минеральные компоненты, поверхность каменных минералов частично становится непокрытой битумом, нарушается целостность структуры асфальтобетона. В результате проведенных экспериментов была определена остаточная адгезия в образцах асфальтобетона, более пяти лет находившихся в дорожном покрытии. Образцы асфальтобетона в виде вырубок подвергались механическому разрушению. Установлено, что на всех значительных по величине (от 0,5 см и более) каменных включениях не наблюдалось прочного соединения с битумом. Частицы песка выступали из массы битума и легко отделялись от него. Асфальтобетон сохранял свою структуру только за счет механической прочности битума. Заметно было, что битум стал твердым и хрупким материалом. В противоположность этому в образцах свежеприготовленного асфальтобетона соединение щебня и песка с битумом было значительно более прочным.

В лабораторных условиях битум подвергали интенсивному старению (прогрев при 200 °C в течение 5 ч с периодическим облучением ультрафиолетовым (УФ) светом — 5 циклов по 10 мин). Использовали УФ-облучатель УФО-В, генерирующий все три составляющие ультрафиолетового спектра: УФ-А, УФ-В, УФ-С с λ соответственно 400...320, 320...27, 275...100 нм.

Для определения группового состава образцы битума растворяли в горячем гексане с последующей последовательной экстракцией нерастворимого остатка бензолом и этиловым спиртом. Далее мальтены (растворимая в гексане фракция) были разделены в стеклянной колонке с силикагелем адсорбционно-хроматографическим методом на масла и смолы. Масла десорбировали смесью 15 % бензола + 85 % гексана, нейтральные смолы — бензолом, кислые смолы — спирто-бензольной смесью (1:1). После десорбции групп веществ растворитель отгоняли от смол и масел; полученные продукты высушивали до постоянного веса под вакуумом.

Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что в битуме при нагреве и облучении происходит закономерное увеличение содержания асфальтенов, асфальтогеновых кислот, карбенов в основном за счет участия нейтральных смол в процессе. В дальнейшем, по-видимому, происходит углубление термоокисления битума с образованием более высокомолекулярных конденсированных структур. Кислотное число исходного битума после нагревания увеличивается (с 1,38 до 2,52 мг

Таблица 1

**Групповой анализ битума БНД 90/130 до и после прогрева при 200 °C
в течение 5 ч с периодическим облучением УФ-светом**

Номер образца	Мальтены* (растворимые в гексане), мас. %	Асфальтены (растворимые в бензоле, но не растворимые в гексане), мас. %	Асфальтогенные кислоты и карбены (растворимые в спирте, но не растворимые в бензоле), мас. %
1	80,9 I — 53,6 II — 17,5 III — 9,8	18,2	0,9
2 После испытания на старение	70,7 I — 52,8 II — 9,1 III — 8,8	27,9	1,4

* I — масла; II — нейтральные смолы; III — кислые смолы.

КОН/г). Это обусловлено окислением компонентов битума. Увеличение эфирного числа (с 12,6 до 15,7 мг КОН/г) связано с тем, что карбоксильные группы асфальтогеновых кислот битума при нагреве вяжущего участвуют в образовании простых и сложных эфирных связей в продуктах уплотнения.

На основании рекомендаций [3] и собственных исследований установлено, что концентрация антиоксидантов в углеводородной смеси должна быть в пределах 0,5...1,0 мас. %.

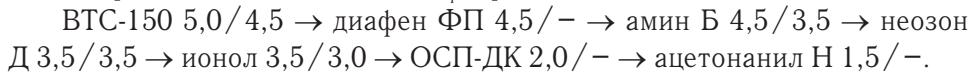
При изучении влияния содержания добавок в вяжущем на физико-механические свойства битума было установлено, что антиоксиданты амин Б, ВТС-150, ионол, неозон Д при содержании их более 0,5...1,0 мас. % резко снижают вязкость битума при 25 °C, в то время как добавки ацетонамила Н, диафена, ОСП-ДК в меньшей степени влияют на вязкость. Предлагаемые добавки, за исключением диафена ФП и ВТС-150, во всем изученном диапазоне концентраций снижают на 2...4 °C температуру хрупкости вяжущего. В большей мере снижает температуру хрупкости (на 5...6 °C) смола пиролиза из-за пластифицирующего действия. Все использованные типы вяжущего выдерживали сцепление с мрамором по контрольному образцу № 2. Индекс пенетрации соответствовал требованиям ГОСТ 22245-90, находился в пределах от -1,0 до +1,0, растяжимость для всех образцов не менее 80 см. Эти результаты подтверждают выбранное содержание антиокислительных добавок: 0,5...1,0 мас. %.

Влияние всех исследованных добавок на антиокислительную способность нефтьбитума исследовали методом нагрева образцов в течение 5 ч при 163 °C в чашках Петри в слое толщиной 4 мм (ГОСТ 18180-72). Как видно из данных табл. 2, у исходного битума разница в температурах размягчения до и после испытания составляет 5,5 °C, что свидетельствует о его невысокой устойчивости к термодеструкции (Δt_p , равная 6 °C, является критической, после чего битум считается не выдержавшим испытание). Все образцы антиоксидантов повышают устойчивость битума к термодеструкции, и по эффективности, заключающейся в минимизации зна-

Таблица 2
Свойства битумных композиций до и после испытания на старение
по ГОСТ 18180-72

Номер образца	Содержание модификатора в вяжущем, мас. %	Потеря массы, %	Пенетрация Π_{25} , 0,1 мм	Температура размягчения, °C
			до / после испытания	до / после испытания
1	Исходный битум	2,8	118/96	46,5/52,0
2	Ионол (0,5)	3,2	138/128	44,0/47,5
3	Ионол (1,0)	3,8	148/136	43,5/46,5
4	Неозон Д (0,5)	3,1	132/128	46,0/49,5
5	Неозон Д (1,0)	3,7	135/124	46,5/50,0
6	Амин Б (0,5)	3,2	144/131	44,5/48,5
7	Амин Б (1,0)	3,7	149/139	44,0/47,5
8	ВТС-150 (0,5)	3,3	156/138	42,0/47,5
9	ВТС-150 (1,0)	3,9	172/155	41,5/46,5
10	Диафен (0,5)	2,9	126/112	50,5/54,5
11	Ацетонамил (0,5)	2,5	120/115	45,0/46,5
12	ОСП-ДК (0,5)	2,6	119/114	44,5/46,5

чения Δt_p по КиШ, они могут быть расположены в ряд (Δt_p при концентрации добавки 0,5 % / Δt_p при 1,0 %>):



Проведенные исследования методом комплексного термического анализа показывают, что термостабильность и работоспособность в течение длительного времени (до 5 ч) у всех изученных антиоксидантов неодинакова. Предел работоспособности неозона Д, диафена ФП и ацетонанила Н как ингибиторов образования перекисных соединений 170...185 °C, ионола, амина Б и ВТС-150 составляет 130...140 °C. В связи с этим менее термостабильные соединения можно рекомендовать к применению на стадии обезвоживания битума. В дальнейшем в битум для достижения синергетического эффекта необходимо вводить термически более стойкие антиоксиданты — диафен ФП и особенно неозон Д или ацетонанил Н. Отдельно следует остановиться на ОСП-ДК. При хорошей эффективности смолы как антиоксиданта методом КТА зафиксирована ее высокая термостабильность (до 350 °C).

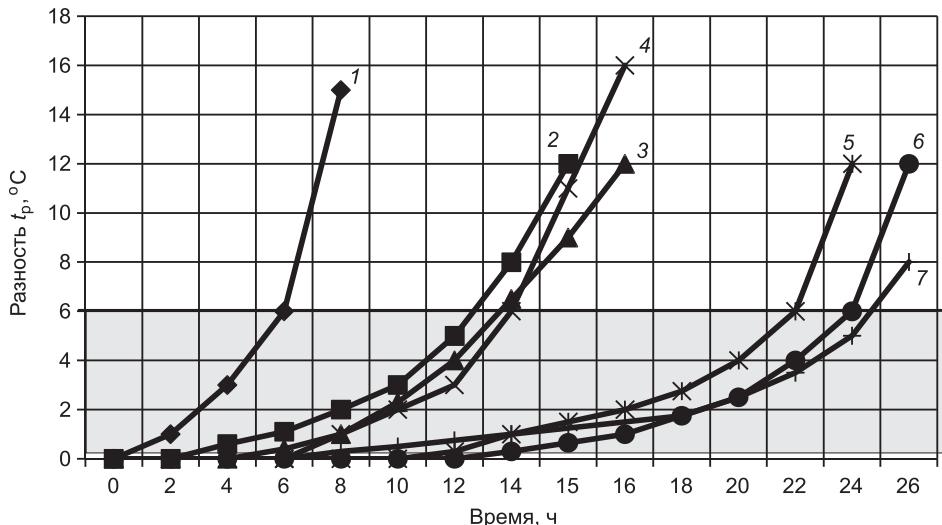
Как видно из данных табл. 2, добавка ВТС-150 довольно резко увеличивает пенетрацию битума, при этом значительно снижает температуру размягчения. Антиокислительный эффект у этой добавки минимальный, поэтому из дальнейших исследований ее исключили. Для остальных образцов антиокислительную стабильность оценивали по кинетике окисления битума при длительном выдерживании образцов битума (400 мл) при 175 °C в круглодонных колбах с обратными холодильниками. Через определенные промежутки времени отбирают пробы на анализ для установления начала развития интенсивных процессов окисления, в результате которых показатели качества битума выходят за пределы, допускаемые государственным стандартом. Стабильность битума оценивали по периоду индукции $\tau^{175}_{\text{инд}}$, определяемому как время нагрева при 175 °C, после которого температура размягчения превышает допустимые ГОСТ 22245–90 значения — 6 °C. Результаты, приведенные в табл. 3 и на рис. 1, показывают, что наиболее эффективными антиокислительными добавками являются неозон Д, ацетонанил Н,

Таблица 3
Период индукции и относительная эффективность антиокислительного действия добавок

Нефтебитумная композиция*	Период индукции, $\tau^{175}_{\text{инд}}$, ч	Относительная эффективность антиокислительного действия добавки**
Битум БНД90 / 130	6,0	1,00
с амином Б	12,8	2,13
с ионолом	14,0	2,30
с диафеном	14,4	2,40
с неозоном Д	22,0	3,67
с ОСП-ДК	24,0	4,00
с ацетонанилом	24,8	4,13

* Концентрация добавок 0,5 мас. %.

** Относительная эффективность добавки представляет собой отношение $\tau^{175}_{\text{инд}}$ композиции / $\tau^{175}_{\text{инд}}$ исходного битума.



Влияние антиокислительных добавок на изменение температуры размягчения по Киппсу при прогреве образцов при 175 °C; определяется время, при котором $\Delta t_p \geq 6$ °C. Исходный битум — 1; битум с амином Б — 2; битум с ионолом — 3; битум с диафеном — 4; битум с неозоном Д — 5; битум с ОСП-ДК — 6; битум с ацетонанилом Н — 7

ОСП-ДК. Добавки ВТС-150, амин Б, ионол в 1,5–2 раза уступают им по эффективности действия.

Выводы. Таким образом, применение в составе битумных композиций специальных антиоксидантов и отстойных смол пиролиза древесины в концентрациях 0,5...1,0 мас. % повышает устойчивость к термоокислительной деструкции дорожного битума и асфальтобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Угловая, Е.В. Старение асфальтобетона в условиях юга России [Текст] / Е.В. Угловая, С.К. Илиополов, Н.В. Мардиросова // Автомоб. дороги. — 1993. — № 4. — С. 26–28.
- Бабаев, В.И. Отклики на статью Угловой Е.В., Илиополова С.К., Мардиросовой Н.В. Старение асфальтобетона в условиях юга России [Текст] / В.И. Бабаев // Автомоб. дороги. — 1994. — № 3. — С. 21.
- Вишнякова, Т.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив [Текст] / Т.П. Вишнякова, И.А. Голубева, И.Ф. Крылов, О.П. Лыков. — М. : Химия, 1980. — 192 с.
- Tergman, L.M. Macromolecular and oligomeric compounds as stabilisers for polymers / L.M. Tergman, L.S. Kochneva // Russ. Chem. Rev. — 1972. — V. 41, N 10. — P. 878–890.
- Мухин, А.А. О целесообразности применения в минеральных маслах смеси фенольных и аминных антиокислителей [Текст] / А.А. Мухин, В.Ю. Кащицкая, С.А. Потапова // Химия и технология топлив и масел. — 2009. — № 3. — С. 45–47.

КИСЕЛЕВ Владимир Петрович, д-р техн. наук, доц.

Институт фундаментальной подготовки «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

БУГАЕНКО Максим Борисович, инж.

Институт фундаментальной подготовки «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

КЕМЕНЕВ Николай Викторович, асп.

Институт фундаментальной подготовки «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Получено после доработки 06.11.11

Kiselev Vladimir Petrovich, doctor of technical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Bugaenko Maxim Borisovich, engineer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Kemenev Nikolay Viktorovich, post-graduate student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

PROPERTIES STABILIZATION OF PETROLEUM-BITUMEN COMPOSITIONS

It is described that the items of the stability improvement of road bitumen to the thermo-oxidative degradation — one of the stages of the entire complex of physical and chemical phenomenons proceeding in the time of deterioration of petroleum-bitumen compositions consisting of asphaltic concrete pavements. The industrial anti-oxidants and sedimentation tar of raw wood pyrolysis are used in the work for the achievement of effect. The concentration of anti-oxidants in the composition is determined here. The most effective additive has been selected.

Key words: petroleum-bitumen compositions, antioxidant activity, induction period, efficiency of bitumen stabilization.

REFERENCES

1. U glova, E.V. The deterioration of asphaltic macadam in circumstances of the south of Russia [Text] / E.V. U glova, S.K. Iliopolov, N.V. Mardirosova // Automobile Roads. — 1993. — N 4. — P. 26–28.
2. B abae v, V.I. The feedback on the article of U glovoi E.V., Iliopolova S.K., Mardirosovoi N.V. The deterioration of asphaltic macadam in circumstances of the south of Russia // Automobile Roads. — 1994. — N 3. — P. 21.
3. V ishnyak ova, T.P. The stabilizers and modifiers of petroleum fuel oils [Text] / T.P. Vishnyakova, I.A. Golubeva, I.F. Krilov, O.P. Likov. — M. : Chemistry, 1980. — 192 p.
4. T erman, L.M. Macromolecular and oligomeric compounds as stabilisers for polymers / L.M. Terman, L.S. Kochneva // Russ. Chem. Rev. — 1972. — V. 41, N 10. — P. 878–890.
5. Mu hin, A.A. About the practicability use in the mineral oils mixes of phenolic and amine antioxygens [Text] / A.A. Mu hin, V.Yu. Kashizkaya, S.A. Potapova // Chemistry and the Technology of Fuel and Oil Engineering. — 2009. — N 3. — P. 45–47.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

**П.В. ЧУБАРОВ, Г.В. ГЛАДЫШЕВ, Д.Э. АБРАМЕНКОВ,
Э.А. АБРАМЕНКОВ**

ДРОССЕЛЬНЫЙ ПНЕВМОУДАРНЫЙ МЕХАНИЗМ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ПРОТОЧНЫМИ КАМЕРАМИ ПРИСОЕДИНЕННЫХ ОБЪЕМОВ

Рассматривается принципиальная схема дроссельного пневмоударного механизма с управляемыми проточными камерами присоединенных объемов с различными вариантами перепуска в камеры рабочего и холостого хода.

Ключевые слова: пневмоударный механизм, ударник, управляемая проточная камера присоединенного объема, предкамера, сжатый воздух, выпуск, камера рабочего хода, камера холостого хода.

Объект исследования — конструктивная схема дроссельного пневмоударного механизма (ДПУМ) с управляемыми проточными камерами присоединенных объемов с фигурными каналами перепуска в виде треугольников с меньшим основанием со стороны крышки и рабочего инструмента. Процесс распределения воздуха в пневмоударном механизме в соответствии с рис. 1 осуществляется в следующем порядке. Впуск сетевого сжатого воздуха происходит через выпускные каналы 11 и 13. Предка-

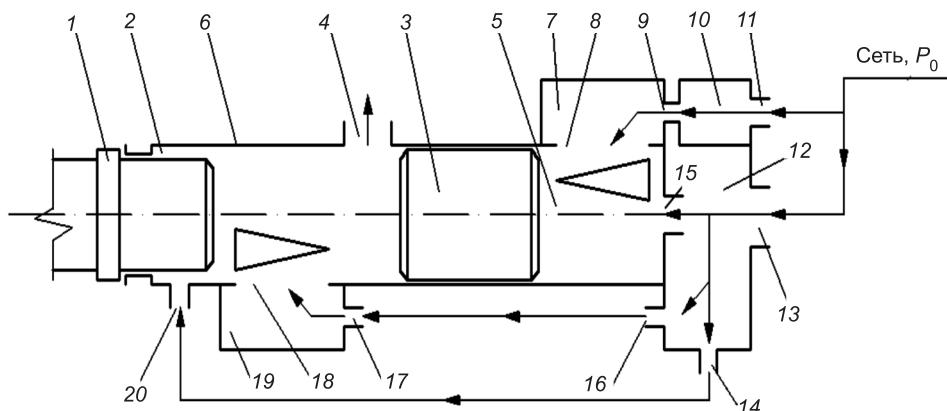


Рис. 1. Схема ДПУМ с управляемыми проточными камерами присоединенных объемов со стороны рабочего и холостого хода

1 — рабочий инструмент; 2 — камера холостого хода; 3 — ударник; 4 — выпускной канал; 5 — камера рабочего хода; 6 — цилиндр; 7 — управляемая проточная камера присоединенного объема; 8 и 18 — фигурные перепускные каналы; 9 — дроссельный калибранный канал; 10 — предкамера рабочего хода; 12 — предкамера; 11, 13, 15 и 17 — выпускные каналы предкамеры; 14 и 16 — выпускные каналы; 19 — управляемая проточная камера присоединенного объема; 20 — канал запуска камеры холостого хода

меры 10 и 12 выполняют функцию ресивера для накопления сжатого воздуха и сглаживания импульсов подачи сжатого воздуха. Предкамеры разделены между собой жесткими сплошными перегородками и в процессе работы ДПУМ не сообщаются друг с другом. Из предкамеры 10 сжатый воздух через дроссельный калиброванный канал 9 поступает в управляемую проточную камеру 7, которая сообщается с камерой 5 рабочего хода через фигурный перепускной канал 8 в случае, когда этот канал не закрыт боковой поверхностью ударника. Из основной предкамеры 12 сжатый воздух через впускной канал 15 поступает в камеру рабочего хода, и по каналу 16 в управляемую проточную камеру 19 присоединенного объема. Сжатый воздух из предкамеры 12 поступает в камеру холостого хода через выпускной канал 14 и канал запуска 20. При осуществлении холостого хода ударником, когда последний под давлением воздуха начинает движение в сторону предкамеры 12, камера рабочего хода сообщается с атмосферой через выпускной канал 4. Воздух под давлением поступает в камеру 2 холостого хода одновременно из предкамеры 12 через каналы 14 и 20 и в управляемую проточную камеру 19 присоединенного объема через каналы 16, 17. Импульс давлений воздуха в камере холостого хода возрастает и, достигнув определенного значения, обеспечивает последующее движение ударника в сторону предкамеры 12. При этом фигурный перепускной канал 18 открывается последовательно при перемещении ударника в сторону предкамеры 12. При движении ударник своей боковой поверхностью открывает выпускной канал 4. В данный момент камера холостого хода сообщается с атмосферой и давление в последней начинает постепенно уменьшаться. Когда ударник окажется в крайней точке своего движения при холостом ходе, он своей боковой поверхностью полностью закроет фигурный перепускной канал 8. Начинается рабочий ход.

При осуществлении рабочего хода ударником, когда последний ускоренно движется в сторону рабочего инструмента, камера холостого хода сообщена с атмосферой через выпускной канал 4. Воздух под давлением поступает по каналу 15 в камеру 5 рабочего хода и одновременно из предкамеры 10 через выпускной канал 9 предкамеры и управляемую проточную камеру 7 присоединенного объема рабочего хода и далее через фигурный перепускной канал 8, который открывается последовательно в соответствии с перемещением ударника, также в камеру 5 рабочего хода. Разница импульсов давлений между камерой 5 рабочего хода и камерой 2 холостого хода возрастает. Ударник 3, преодолевая сопротивление импульса давления со стороны камеры 2 холостого хода, ускоренно движется в сторону рабочего инструмента 1 и своей боковой поверхностью постепенно закрывает фигурный перепускной канал 18 камеры 2 холостого хода. Закрыв его полностью, ударник передает свою кинетическую энергию рабочему инструменту. После соударения с рабочим инструментом ударник отскакивает от него. Под действием импульса отскока и давления воздуха со стороны камеры 2 холостого хода ударник начинает движение в сторону камеры 5 рабочего хода. Начинается холостой ход ударника.

Управление впуском при выполнении перепускных каналов в виде треугольника с меньшим основанием со стороны крышки и рабочего инструмента, изображенного на рис. 2, позволяет без увеличения общего расхода воздуха увеличить импульс давления и предударную скорость ударника по хвостовику рабочего инструмента.

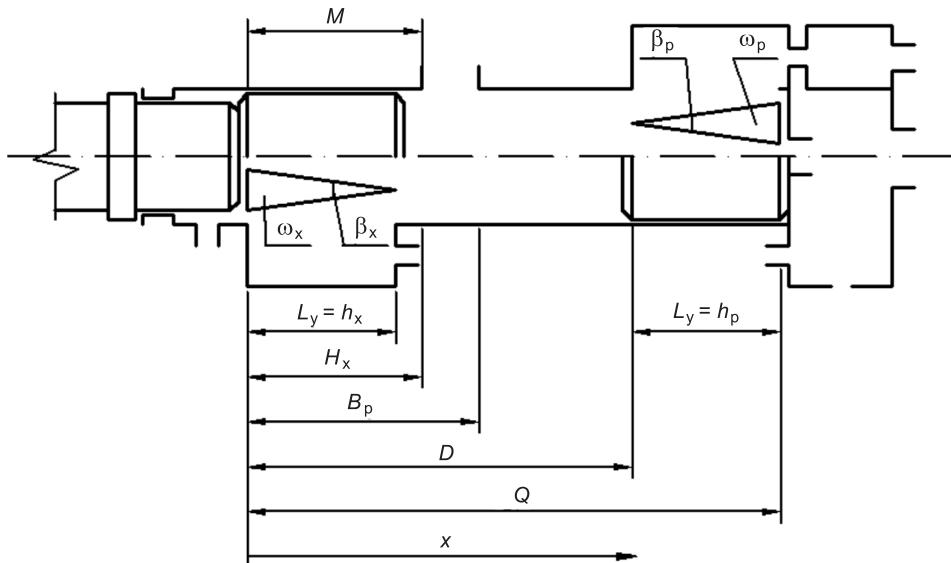


Рис. 2. Схема ДПУМ с фигурным перепускным каналом в виде треугольника с меньшим основанием со стороны крышки и рабочего инструмента

В статье приняты следующие обозначения.

L_y — длина ударника;

h_x — длина фигурного перепускного канала со стороны камеры холостого хода;

ω_x — проходное сечение фигурного перепускного канала со стороны камеры холостого хода;

β_x — угол фигурного перепускного канала, выполненного в виде треугольника, со стороны камеры холостого хода;

h_p — длина фигурного перепускного канала со стороны камеры рабочего хода;

ω_p — проходное сечение фигурного перепускного канала со стороны камеры рабочего хода;

β_p — угол фигурного перепускного канала, выполненного в виде треугольника, со стороны камеры рабочего хода;

H_x — длина камеры холостого хода;

B_p — координата отсекающей кромки перепускного дроссельного канала со стороны камеры холостого хода;

D — координата отсекающей кромки перепускного дроссельного канала с учетом его длины со стороны камеры холостого хода;

Q — расстояние между крайними положениями ударника;

x — перемещение ударника;

M — высота камеры холостого хода.

Расчетная схема выглядит следующим образом:

$$Q \geq D + L_y = D + h_p,$$

$$H_x = M \geq h_x = L_y,$$

$$(D - L_y) \leq x \Rightarrow \omega_p = h_p^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \Rightarrow \max \omega_p, \text{ так как } h_p = \max h_p,$$

$$Q \geq x \geq D \Rightarrow \omega_p = (h_p^2 - x^2 + 2xD + D) \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \Rightarrow \omega_p,$$

$$(x + L_y) \geq Q \Rightarrow \omega_p = 0, \text{ так как } x = 0 \text{ и } h_p = 0 \text{ при } h_p^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} = 0,$$

$$x = 0 = \omega_x = 0, \text{ так как при } x = 0 \Rightarrow h_x = 0 \Rightarrow \omega_x = x^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_x}{2} = 0,$$

$$0 < x \leq L_y \Rightarrow \omega_x = x^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_x}{2} \Rightarrow \omega_x,$$

$$D \geq x \geq L_y \Rightarrow \omega_x = h_x^2 \operatorname{tg} \frac{\beta_x}{2} \Rightarrow \text{при } h_x = \max h_x \Rightarrow \max \omega_x.$$

Выполнение фигурных перепускных каналов может дать различные эффекты в формировании силового импульса воздуха со стороны камер рабочего и холостого хода:

- в виде прямоугольника со сторонами, параллельными образующей цилиндра, предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде наклонного сквозного паза под углом винтовой линии предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от величины угла винтовой линии, ширины паза, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде треугольника с меньшим основанием со стороны крышки и рабочего инструмента предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от величины углов при основании, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде треугольника с острым углом со стороны крышки и рабочего инструмента предопределяет изменение проходного сечения канала в зависимости от угла между сторонами треугольника при вершине, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде трапеции с одинаковыми либо разными углами при большем основании со стороны крышки и рабочего инструмента предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от углов при основании, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде трапеции с одинаковыми или разными углами при большем основании со стороны выпускных каналов предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от углов при основании, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде ромба с большей диагональю, параллельной образующей цилиндра, либо под острым углом к образующей цилиндра предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от величины острых углов, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение перепускного канала в виде круглых отверстий (перфораций) одинакового либо разного сечения, вписанных в прямоугольник, либо треугольник, либо трапецию, либо ромб с большей диагональю вдоль образующей цилиндра, либо расположенных по винтовой линии, предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от площадей сечения перфораций, скорости и координаты положения ударника.

Выводы. Различные расположения фигурных перепускных каналов позволяют изменять величину хода ударника и длину участка его разгона без увеличения времени цикла, что будет способствовать увеличению ударной мощности и снижению удельного расхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м е н к о в , Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные [Текст] : справ. пособие / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. — Новосибирск : Изд-во НГУ, 1993. — 430 с.
2. Пат. № 2062692. РФ. МКИ B25 D9/04. Пневматический молоток с дроссельным воздухораспределением [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, В.Ф. Корчаков. — Заявл. 16.11.1992; опубл. 27.06.1996, Бюл. № 18. — Приоритет от 16.11.1992.
3. Пат. № 2256544. РФ. МКИ B25 D9/04, E21C 1/30. Пневматический молоток с дроссельным воздухораспределением [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Ю.Н. Боровских, А.А. Кутумов, Ю.Э. Малышева, В.С. Матюхин. — Заявл. 04.08.2004; опубл. 20.07.2005, Бюл. № 20. — Приоритет от 05.08.2005.
4. А б р а м е н к о в , Д.Э. Дроссельные пневмоударные механизмы с управляемыми пропорциональными камерами присоединенных объемов с раздельным впуском сетевого воздуха [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Г.В. Гладышев, П.В. Чубаров // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 11–12. — С. 73–85.

ЧУБАРОВ Павел Валерьевич, асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ГЛАДЫШЕВ Григорий Владимирович, асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

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

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

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

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 24.10.11

Chubarov Pavel Valerievich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Gladyshev Georgy Vladimirovich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

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

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

THROTTLE PNEUMOSHOCK MECHANISM WITH OPERATED FLOWING CHAMBERS OF VOLUME ATTACHED

Basic schemes and physical and mathematical models of throttle pneumoshock mechanisms with operated flowing chambers of volume attached are considered from working course and from idling.

Key words: pneumoshock mechanism, drummer, operated flowing chamber of volume attached, prechamber, compressed air, intake, working course chamber, idling chamber.

REFERENCES

1. A b r a m e n k o v, E.A. Pneumatic mechanisms of machines of shock action: throttle, jet, without plunger, without valvate [Text]: handbook / E.A. Abramenkov, D.E. Abramenkov. — Novosibirsk: Publ. House of NSU, 1993. — 430 p.
 2. A stalemate N 2062692. Russian Federations. МКИ B25 D9/04. A pneumatic hammer with throttle air distribution [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, V.F. Korchakov. — It is submitted 16.11.1992; it is published 27.06.1996, Bull. N 18. — The Priority from 16.11.1992.
 3. A stalemate N 2256544. Russian Federations. МКИ B25 D9/04, E21C 1/30. A pneumatic hammer with throttle air distribution [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, Yu. N. Borovsky, A.A. Kutumov, Yu. E. Malysheva, V.S. Matjushin. — It is submitted 04.08.2004; it is published 20.07.2005, Bull. N 20. — The Priority from 05.08.2005.
 4. A b r a m e n k o v, D.E. Throttle pneumoshock mechanism with operated flowing chambers of volume attached with separate intake air network [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, G.V. Gladyshev, P.V. Chubarov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 11-12. — P. 73–85.
-

УДК 69.002.5

**М.В. ЛОМУХИНА, В.Б. ЛОМУХИН,
А.Б. ВИНОГРАДОВ, Д.Г. СУВОРОВ, П.В. ПРИВАЛОВ**

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ
СОСТАВОВ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ
НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
И ДОРОЖНЫХ МАШИН НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Одной из важных и ответственных систем дизельного двигателя является топливная аппаратура высокого давления (ТАВД). Эффективность использования дизелей во многом определяется уровнем надежности топливной аппаратуры. Рассмотрена возможность применения ремонтно-восстановительных составов для ТАВД и оценка действенности от их применения с помощью биоиндикаторов.

Ключевые слова: строительные и дорожные машины, ремонтно-восстановительные составы, топливная аппаратура.

Топливный насос высокого давления (ТНВД) и форсунка — одни из основных узлов топливной аппаратуры высокого давления (ТАВД) строительных и дорожных машин, надежность которых в значительной степени определяется плунжерными парами. Изучение опыта эксплуатации дизельной топливной аппаратуры показало, что основной причиной выхода из строя узлов и прецизионных пар является гидроабразивный износ и воздействие коррозионно-окислительной среды. Актуальным вопросам износа и ремонта деталей ТАВД посвящены работы П.Л. Ребиндера, М.М. Хрущева, И.В. Крагельского, Д.Н. Гаркунова, А.И. Селиванова, В.И. Казарцева, В.В. Антипова, Н.М. Бахтиарова, В.Н. Бугаева и других ученых [1, 2].

Таким образом, перед эксплуатацией строительных и дорожных машин стоит важная задача — снижение износа деталей топливной аппаратуры, защита ее от воздействия воды, т.е. увеличение ресурса. Достичь намеченного можно путем разработки и внедрения современных методов поддержания деталей топливной аппаратуры в работоспособном состоянии в процессе эксплуатации.

Существуют различные методы восстановления изношенных плунжерных пар [1], к недостаткам которых следует отнести сложность режимов обработки, применение дорогостоящего оборудования, а также простой техники.

В.Б. Ломухиным разработана и апробирована методика безразборного воздействия на пары трения в режиме штатной эксплуатации дизеля с помощью ремонтно-восстановительных составов (РВС), вводимых в масло [3, 4]. Согласно этой методике, выбор РВС осуществляется в зависимости от текущего технического состояния дизеля, определяемого в соответствии с диагностическими параметрами картерного масла.

**© Ломухина М.В., Ломухин В.Б., Виноградов А.Б., Суворов Д.Г., Привалов П.В.,
2012**

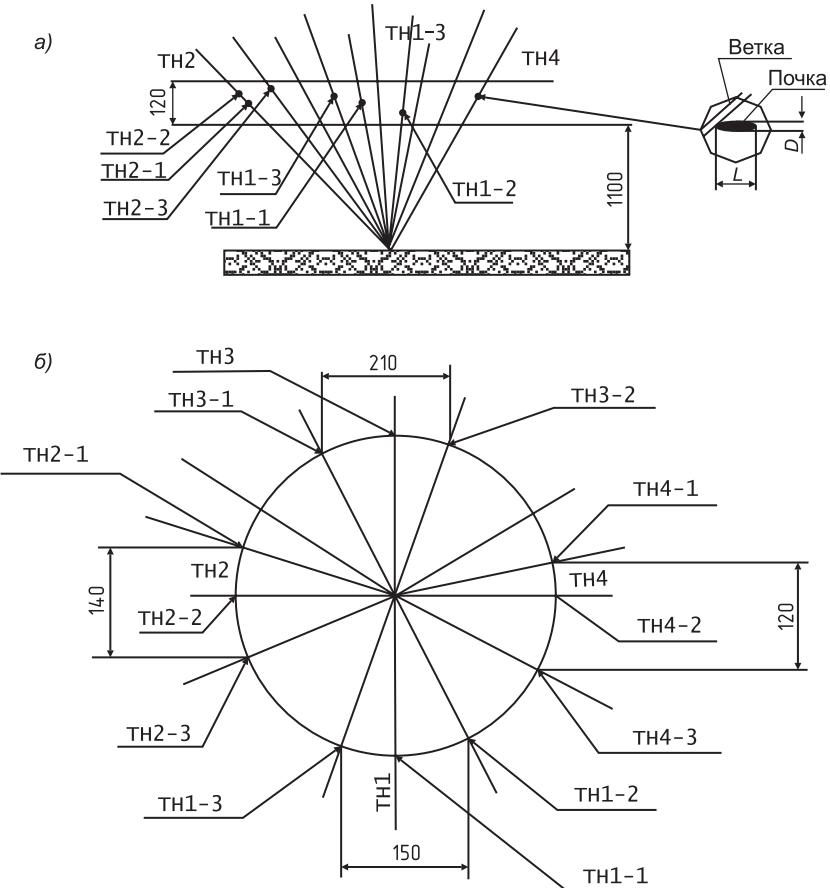


Схема биоиндикатора: вид сбоку (а); вид сверху (б)

ТН 1... ТН 4 — точки наблюдений
ТН 1-1... ТН 4-4 — точки замеров

Условно все ремонтно-восстановительные составы можно разделить на три группы:

- препараты, содержащие в своем составе твердые, износостойкие материалы;
- составы, которые не содержат порошковых и коллоидных частиц — кондиционеров металла;
- препараты, имеющие в своем составе порошки различных металлов или их смеси.

Каждый из них имеет свой механизм действия, свои достоинства и недостатки, свою область применения.

Исследованиями доказано [3, 4], что применение РВС дает положительный эффект, связанный с увеличением безремонтного пробега, снижением эксплуатационных затрат предприятия, обусловленный отсрочкой капитального ремонта.

Исходя из опыта применения восстановительных составов для двигателей внутреннего сгорания предлагается исследовать применение РВС для восстановления деталей ТАВД, где «носителем», соответственно, будет являться топливо. Метод применения РВС для деталей ТАВД «РВС-топливо» аналогичен методу «РВС-масло».

Одним из эффектов от работы строительных машин и механизмов является вредное воздействие на окружающую среду, в частности вследствие выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

На основании произведенного анализа выдвинута рабочая гипотеза, которая сводится к следующему: если силовая установка находится в исправном и оптимальном техническом состоянии, то ее вредное воздействие на окружающую среду снижается и становится минимальным.

В качестве фиксирования эффекта в результате применения РВС для восстановления ТАВД предлагается использовать разработанную методику «Оценка влияния транспорта на парковую зону». Сущность данной методики заключается в исследовании негативного влияния работы дизелей на атмосферный воздух на примере растительности придорожной парковой зоны. Вводится понятие «биоиндикатор» (БИ) (деревья, кустарники), который является объектом контроля, производится выбор линии наблюдения. По выбранной линии наблюдения выбираются БИ. В свою очередь, на БИ определяются точки наблюдения (ТН), с которых в ходе работы производятся замеры.

Результатом наблюдений будет служить зависимость скорости роста почек в ТН от времени. Данные наблюдения покажут глубину воздействия строительной и дорожной техники на окружающую среду. Полученные зависимости подтверждают действенность РВС-технологий на ТАВД, что позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты и снизить антропогенное воздействие на окружающую среду. Выявленные зависимости можно также использовать в качестве научного обоснования для формирования и размещения системы зеленых насаждений (при проектных разработках парковых зон, лесополосных ограждений дорог и др.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахтияров, Н.И. Производство и эксплуатация прецизионных пар [Текст] / Н.И. Бахтияров, В.Е. Логинов. — М. : Машиностроение, 1979. — 205 с.
2. Ломухин, В.Б. Трибологические аспекты работы топливной аппаратуры дизеля на эмульгированном топливе [Текст] / В.Б. Ломухин, Е.А. Белов, И.Г. Мироненко // Двигателестроение. — 2004. — № 1. — С. 50–51.
3. Ломухин, В.Б. Основы современной эксплуатации двигателей [Текст] / В.Б. Ломухин. — Новосибирск : Наука, 2004. — 194 с.
4. Ломухин, В.Б. Совершенствование системы диагностирования судовых дизелей по параметрам смазочного масла [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / В.Б. Ломухин. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2002. — 17 с.

ЛОМУХИНА Мария Владимировна, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЛОМУХИН Владимир Борисович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: d1191@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ВИНОГРАДОВ Алексей Борисович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: same@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СУВОРОВ Дмитрий Григорьевич, д-р техн. наук, проф.;
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ПРИВАЛОВ Петр Васильевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: Privalov.Petr.V@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 05.11.11

Lomuhina Mariya Vladimirovna, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Lomuhin Vladimir Borisovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: dll91@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Vinogradov Alexey Borisovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: same@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Suvorov Dmitriy Grigoryevich, doctor of technical sciences, professor; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Privalov Pyotr Vasilyevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: Privalov.Petr.V@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

APPLICATION REPAIR-REGENERATIVE STRUCTURES AS THE WAY OF DECREASE NEGATIVE INFLUENCES OF BUILDING AND ROAD CARS ON ENVIRONMENT

One of the important and responsible system of diesel engine fuel injection equipment is a high-pressure (TAVDA). The effectiveness of uses of diesel engines is largely determined by the level of reliability of fuel equipment. The possibility of using the repair amounted to TAVDA Islands and assessment of the effectiveness of using bioindikaorov.

Key words: construction and road machines, maintenance and repair compounds, fuel injection equipment.

REFERENCES

1. Bahtiyarov, N.I. Manufacture and operation of precision pairs [Text] / N.I. Bahtiyarov, V.E. Loginov. — M. : Mechanical Engineering, 1979. — 205 p.
 2. Lomuhin, V.B. Tribology aspects of work of fuel apparatus of diesel on the emulsified fuel [Text] / V.B. Lomuhin, E.A. Belov, I.G. Mironenko // Propulsion Engineering. — 2004. — N 1. — P. 50–51.
 3. Lomuhin, V.B. Bases of modern operation of engines [Text] / V.B. Lomuhin. — Novosibirsk : Science, 2004. — 194 p.
 4. Lomuhin, V.B. Perfection of system of diagnosing of ship diesel engines on parameters of lubricant oil [Text]: abstract dis... cand. techn. sciences / V.B. Lomuhin. — Novosibirsk : Novosibirsk State Academy of a Sailing Charter. — 2002. — 17 p.
-

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.112(571.56)

Л.Н. ВОЛЬСКАЯ, М.В. БЕЖАНОВА

ОБ ОСОБЕННОСТИХ РАЗВИТИЯ АГЛОМЕРАЦИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И СИБИРИ

Рассматриваются исторические особенности системы расселения в России (СССР) и в Западной Сибири, сложения и развития центров агломераций и городов, входящих в них.

Ключевые слова: система расселения, инфраструктура, формирование и функции городов, урбанизация, агломерационные процессы.

Понятие «агломерация», возникшее в XX веке, было связано с изменением мировоззрения, повлиявшего на представление о системах расселения, понятии «город» и теоретических концепциях как «урбанистов», так и дезурбанистов (утопистов: Фурье, Оуэна, а затем в 20-х годах XX века Бруно Таута, Ле Корбюзье, Гинзбурга и др.).

В 60-х годах XX века теория Константина Доксиадиса «Экуменополис» как система расселения будущего человечества нашла живой отклик среди архитекторов-градостроителей всего мирового сообщества, неоднозначно воспринявшего ее, но способствовавшего появлению концепций по обустройству жизненного пространства в дальнейшем, иногда не соответствующих реальности, но затрагивавших специфику стран и государств, позволяя более рационально на основе социоэкономических факторов создавать системы расселения с учетом существующих городов со сложившейся инфраструктурой, становящихся центрами агломераций.

Начало XXI века внесло свои корректизы в такие понятия, как «агломерация», «новый город», а также «исторический — старый город» в системе расселения со своими особенностями.

Обобщая концепции ученых-теоретиков XX века, современные архитекторы предлагают свои идеи развития систем расселения, создания агломераций в зависимости от природно-климатических условий, транспортной инфраструктуры, существующих исторических центров городов с развитой архитектурно-планировочной системой, наличия природных ресурсов.

В силу социоэкономических и экономико-географических причин процесс урбанизации, сложения систем расселения и агломераций в европейской части России в первой половине XX века шел более замедленными темпами по сравнению с Западной Европой, не говоря уже о территории азиатской части. Однако в России (бывшем СССР) в 20–30-е годы XX века появились очень интересные концепции относительно урбанистических принципов развития, получившие широкий отклик за рубежом, созданные такими архитекторами, как А. и Л. Веснины, И. Кузь-

мин, В.А. Лавров, В.С. Попов, проф. П. Ладовский и др. Были и противники — сторонники дезурбанизации: М. Барщ, М.Я. Гинзбург, В.Н. Владимиров, М.А. Охитович и др. Изменения в политической и социокультурной жизни страны повлекли за собой участие архитекторов в преобразовании жизненной среды, создание ими проектов новых городов или концепций по их созданию в дальнейшем.

Великая Отечественная война (1941–1945 гг.) внесла свои коррективы в процесс дальнейшего развития городов и всей системы расселения этого периода — разрушение исторических городов европейской части России, перебазирование промышленных предприятий на восток — в Сибирь, что повлияло на создание новых городов, усиление агломерационных процессов на сибирской территории, способствовавших активному процессу урбанизации края.

Анализ урбанизированных территорий России во второй половине XX и начале XXI века позволяет выявить особенности развития агломераций на европейской части государства на примере таких, как Московская и Ленинградская, наиболее крупных, которые имеют проблемы, аналогичные проблемам, характерным для крупнейших центров зарубежных систем расселения (территориальный рост центров агломераций, преобразование моноцентрической системы в поликентрическую с новыми центрами и устранение дальнейшего уплотнения центра агломераций).

Московская агломерация состоит из более чем 60 городов и десятков поселков городского типа с общей численностью около 12 млн человек. Эта моноцентрическая агломерация прошла несколько этапов эволюции, связанных с решением социоэкономических, архитектурно-планировочных, технических и прочих проблем, характерных для развития крупнейшего города как центра агломерации. На каждом этапе решались определенные задачи, связанные с социополитической ситуацией, экономическими проблемами как Москвы, так и городов, входящих в Московскую агломерацию. Значительным этапом в развитии этой агломерации были двадцатые–тридцатые годы, когда возникла необходимость создания нового типа расселения, реализованная в концептуальных проектах мастерской А.В. Щусева и И.В. Жолтовского по реконструкции Москвы как центра агломерации, созданию системы поселков-спутников вокруг Москвы. В мастерской над проектами работали и молодые архитекторы: И.А. Голосов, П.А. Голосов, К.С. Мельников, С.Е. Чернышев, Н.Я. Колли и др.

В тридцатые годы XX века возникли архитектурные объединения с различными взглядами на систему расселения и сам город как центр ее. Значительна была роль архитекторов старшего поколения, придерживавшихся уже сложившихся традиций в градостроительстве (А.В. Щусев, И.В. Жолтовский, В. Семенов и др.). В этот период архитекторы-теоретики «урбанисты» считали города с населением 40–60 тыс. жителей основой сети новой системы агломерации вместо реконструируемых и расширяемых исторических городов как центров системы (И.В. Кузьмин, братья Веснины, Л. Сабсович и др.). Они активно выступали против создания «Новой Москвы», ее реконструкции. Взгляды урбанистов опережали в то время экономические возможности государства, но в них было многое жизнеспособного, что в дальнейшем было отчасти реализовано в градостроительстве (сеть системы обслуживания, создание «буферных» зон между промышленной и жилой зонами). «Дезурбанисты» (М. Охитович, М. Гинзбург и др.) выступали с прямо противоположными концепциями — об уничтожении городов — порождением капиталистической формации, предложив идеи линейной системы расселения. Концепции и «урбанистов», и «дезурбанистов» в тот период вызвали огромный интерес у зарубежных архитекторов.

Второй этап агломерационных процессов был прерван Великой Отечественной войной, получив свое развитие в послевоенный восстановительный период в реализации нового генерального плана развития и реконструкции Москвы, создании системы расселения и структуры Московской агломерации в 60–70-х годах XX века. В это время воплощаются в реальность проекты советских архитекторов-градостроителей, складывается крупнейший урбанизированный центр страны, ядром которого становятся Московская и Тульская агломерации, сосредоточивающие 54 % городского населения.

После 70-х годов происходит рост Московской агломерации с размещением производств и населения по периметру (возникновение городов Зеленограда, Фрязино и др.) на расстоянии населенных пунктов в 100 км от Москвы. В послевоенный период Московская агломерация интенсивно развивается с уплотнением ядра. Происходит слияние пояса подмосковных районов с ядром агломерации — Москвой. Для перспективного существования этой агломерации, как предполагают градостроители, экономисты, географы и проч., должна получить свое развитие тенденция полицентричности. Ленинградская агломерация, равно как и Московская, характеризуется теми же проблемами, свойственными значительной части западно-европейских городов, которые возможно разрешить путем застройки периферийных районов, созданием новых центров пребывания населения и полицентричности.

Система расселения и агломерационные процессы на территории европейской части России значительно отличаются от проходящих в Сибири. Территория Сибири остается малоосвоенной, так как это огромный по площади край, где немного населенных мест, а города и поселки сосредоточены вдоль мощных водных магистралей и транспортной инфраструктуры (Транссибирская железная дорога, автотрассы федерального значения). Возникшие в XVI–XVIII веках города Сибири становятся в XIX–XX веках административными, торговыми или культурными центрами (Тобольск, Тюмень, Томск, Омск и др.) [1].

Исторически основание и развитие сибирских городов первоначально было связано с освоением территорий, созданием крепостей и острогов (Тюмень в 1586 г., Тобольск в 1597 г., Томск в 1604 г. и др.). Сибирские исторические города были многофункциональны уже в XVIII веке. Кроме фортификационных функций, здесь развивалась и промышленность: судостроение, железноделательное производство ножей, кос, топоров и проч., мыловарение, ставшие основой их дальнейшего социоэкономического развития.

С приходом к власти Петра I начался рост городов и поселений в Сибири, связанный с добычей и переработкой полезных ископаемых, особенно на Алтае (Барнаул, Змеиногорск) и в Кузнецком бассейне (Гурьевск, Салаир). Развитие различных народно-хозяйственных производств, интенсификация торговых связей требовали строительства торгово-транспортного пути, который связал бы Сибирь с европейской частью России и Уралом. В начале XVIII века им стал Московско-Сибирский тракт, что привело к росту городов. Так, удачно расположенная в транспортном отношении Тюмень стала центром торговли и основным местом перевалки грузов с речного на гужевой, а позднее, в XIX веке, и на железнодорожный транспорт, причем развитие получили кузнечное, колокольное, мыловаренное производства. Томск в это время приобретает значение торгово-ремесленного, экономического, административного центра Сибири, а также центра губернии.

Огромную роль в формировании, развитии городов и всей системы расселения в конце XIX века сыграла прокладка в девяностых годах Ве-

ликой Сибирской железнодорожной магистрали, способствующей в целом росту и процветанию края, развитию существующих городов, образованию новых — Новониколаевска (1893), Анжеро-Судженска (1897), а также поселков возле станций — Татарска, Барабинска, Искитима. Однако в тех городах, где магистраль не прошла, отмечается экономический спад (Томск). Анализ развития системы расселения на территории Западной Сибири показывает, что каркас расселения сложился уже в XVII веке, развиваясь в XVIII–XIX веках.

Период социализма в XX веке был временем теоретических поисков путей организации городов, реализации градостроительных задач в связи с новыми социальными требованиями, ограниченными технико-экономическими показателями. Период 20–30-х годов XX века был для Сибири временем активных агломерационных процессов на территории Кузбасса, где за период с 1926 по 1939 год появилось 12 новых промышленных городов с общей численностью населения около 800 тысяч человек, в том числе Новокузнецк, Прокопьевск, Кемерово, Ленинск-Кузнецкий и др. Многочисленные заводские и шахтерские поселки включались в планировочную ткань города, создавая тем самым децентрализованные, протяженные на десятки километров агломерационные структуры (Ленинск-Кузнецкий, Новокузнецк). Формирование архитектурно-пространственной структуры городов Кузбасса в первой половине XX века происходило на основе мощных градообразующих комплексов (в отличие от остальной территории Западной Сибири) с ярко выраженным индустриально-промышленным профилем (угледобывающая, металлургическая, химическая промышленность) [2]. Рост других городов Сибири (например, Омска, Барнаула) происходил более сдержанно до начала Великой Отечественной войны, однако в военный период произошло перебазирование крупных предприятий в сибирский регион, куда также были эвакуированы жители из европейской части России.

Послевоенный период (1950-е годы XX века) для Сибири стал новым этапом народно-хозяйственного развития и образования новых систем расселения. Активный рост населения в существующих городах, создание новых населенных пунктов повлияли на развитие агломераций в Западной Сибири. На территории Кузбасса в результате освоения природных ресурсов складывается групповая система расселения, включающая два урбанизированных района.

Анализ крупнейших агломераций Западной Сибири позволяет говорить о моноцентричности агломерационных процессов в регионе (Тюменская, Томская, Новосибирская агломерации и др.) в отличие от европейской части России, что связано в значительной степени с территорией каждой агломерации, с невысокой плотностью населения (например, Новосибирская — площадь 178,2 тысячи квадратных километров с населением 2,5 млн человек и сосредоточением ресурсов в локальных районах с центром — крупным городом).

Примером развития моноцентрических агломераций служат такие исторические города, как Тюмень, Томск, давшие одноименные названия агломерациям. Их крупные города-спутники (в Тюменской агломерации — Ялуторовск, в Томской — Северск) имеют разные траектории развития, связанные с функционированием их производств, городской среды. Ялуторовск прошел путь от военного округа, центра ярмарочной торговли в XVIII веке, к административному центру в начале XX века. Ныне это один из промышленных центров переработки сельхозпродукции, производимой в южных районах Тюменской области. Экономика города отличается диверсифицированной многоотраслевой структурой, ее основными отраслями и сферами являются пищевая промышленность,

стройиндустрия, переработка древесины и мебельное производство, металлообрабатывающая промышленность. В Томской агломерации значимым является город Северск, возникший при градообразующем предприятии — Сибирском химическом комбинате, где развивающееся производство диктовало высокие темпы развития города, за короткий срок выросшего среди болот и тайги. Город стал одной из главных экономических опор региона, изюминкой Томской области.

Анализ развития исторических городов Западной Сибири, явившихся центрами расселения в XVIII–XXI веках, позволяет выявить ряд общих социально-экономических предпосылок, определивших отдельные этапы их развития, такие как:

- многофункциональность исторических городов;
- развитие производства, транспорта;
- наличие специфических народно-хозяйственных факторов и природных условий, способствовавших появлению индивидуальных черт в планировочно-пространственном построении и архитектурном облике отдельных городов [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оглы, Б.И. Строительство городов Сибири [Текст] / Б.И. Оглы. — Л. : Стройиздат, 1980. — 272 с.
2. Благиных, Е.А. Архитектурно-градостроительная культура Кемеровской области [Текст] / Е.А. Благиных. — Новокузнецк, 2007. — 220 с.
3. Вольская, Л.Н. Архитектурно-градостроительное наследие Сибири [Текст] / Л.Н. Вольская. — Новосибирск, 2008. — 276 с.

ВОЛЬСКАЯ Лариса Николаевна, д-р арх., проф.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

БЕЖАНОВА Марина Владимировна, асп.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено после доработки 24.11.11

Wolskaya Larisa Nikolayevna, doctor of architecture, professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Art, Russia

Bezhanova Marina Vladimirovna, post-graduate student, Novosibirsk State Academy of Architecture and Art, Russia

ABOUT FEATURES OF DEVELOPMENT OF AGGLOMERATIONS THE EUROPEAN PART OF RUSSIA AND SIBERIA

In article historical features of system of moving to Russia (USSR) and in Western Siberia, additions and developments of the centers of agglomerations and the cities entering into them are considered.

Key words: moving system, an infrastructure, formation and functions of cities, an urbanization.

REFERENCES

1. Ogly, B.I. City building in Siberia [Text] / B.I. Ogly. — L. : Stroyizdat, 1980. — 272 p.
2. Blaginylh, E.A. Architecturally-town-planning culture of the Kemerovo region [Text] / E.A. Blaginylh. — Novokuznetsk, 2007. — 220 p.
3. Wolskaya, L.N. Architecturally-town-planning heritage of Siberia [Text] / L.N. Wolskaya. — Novosibirsk, 2008. — 276 p.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 624.075.235

В.М. МИТАСОВ, В.Г. СЕБЕШЕВ, Г.Г. АСТАШЕНКОВ, М.А. ЛОГУНОВА

К ВОПРОСУ УЧЕТА И УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

На основании вероятностной оценки изгибающих моментов, возникающих в рамном каркасе из-за отклонений от проектного положения вертикальных элементов в процессе возведения здания, даны предложения по снижению отрицательного влияния случайных неточностей изготовления и монтажа колонн за счет совершенствования контроля геометрических параметров каркаса и применения конструктивных решений, обеспечивающих повышенную точность реализации его проектной геометрии.

Ключевые слова: сталежелезобетонный каркас, геометрические несовершенства, расчетная модель, точность монтажа.

В предыдущий период в отечественном жилищном строительстве доминировало применение сборных железобетонных конструкций — в крупнопанельных зданиях либо в кирпичных домах с железобетонными перекрытиями, лестничными маршами, диафрагмами и фундаментами. В настоящее время внедряются и получили признание технически и экономически эффективные жилые здания каркасного типа, возводимые из монолитного железобетона. Но кроме ряда безусловных преимуществ (гибкие объемно-планировочные решения, пониженная материалоемкость, отсутствие потребности в тяжелом крановом и автотранспортном оборудовании и др.) у них имеется и ряд недостатков. Одним из них является необходимость более строгого учета геометрических несовершенств при возведении таких зданий, прежде всего — отклонений железобетонных колонн от вертикали.

Требование об учете в расчетных моделях зданий возможных отклонений геометрических параметров от их номинальных значений содержится в действующем с 2010 года Федеральном законе № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1]. Существенное влияние указанных отклонений, имеющих явно стохастическую природу, на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций зданий отмечается в [2, 3]. В существующих методиках расчета влияние геометрических несовершенств учитывается для отдельных элементов железобетонных монолитных зданий введением случайных эксцентрикитетов, причем одновременная реализация несовершенств всего ансамбля элементов либо не рассматривается, либо отражается в расчетной схеме упрощенно, квазидетерминированно [3].

В настоящей статье приводится вероятностное решение задачи об определении изгибающих моментов в колонне многоэтажной рамы с узлами, имеющими отклонения от проектного положения, возникающих как

дополнительные к вычисляемым без учета геометрических несовершенств. Используется расчетная модель, представленная на рис. 1, а. Угловыми связями в узлах моделируется влияние ригелей, жесткостные характеристики которых отражаются в параметрах c_i ($i = 1, \dots, n$ — номер этажа); узловые нагрузки F_1, \dots, F_n — суммы поперечных сил в концевых сечениях, примыкающих к узлу ригелей, найденных расчетом по идеализированной (без несовершенств) схеме; EI_i — изгибная жесткость сечения колонны i -го этажа; Δ_i — горизонтальное отклонение i -го узла от проектного положения.

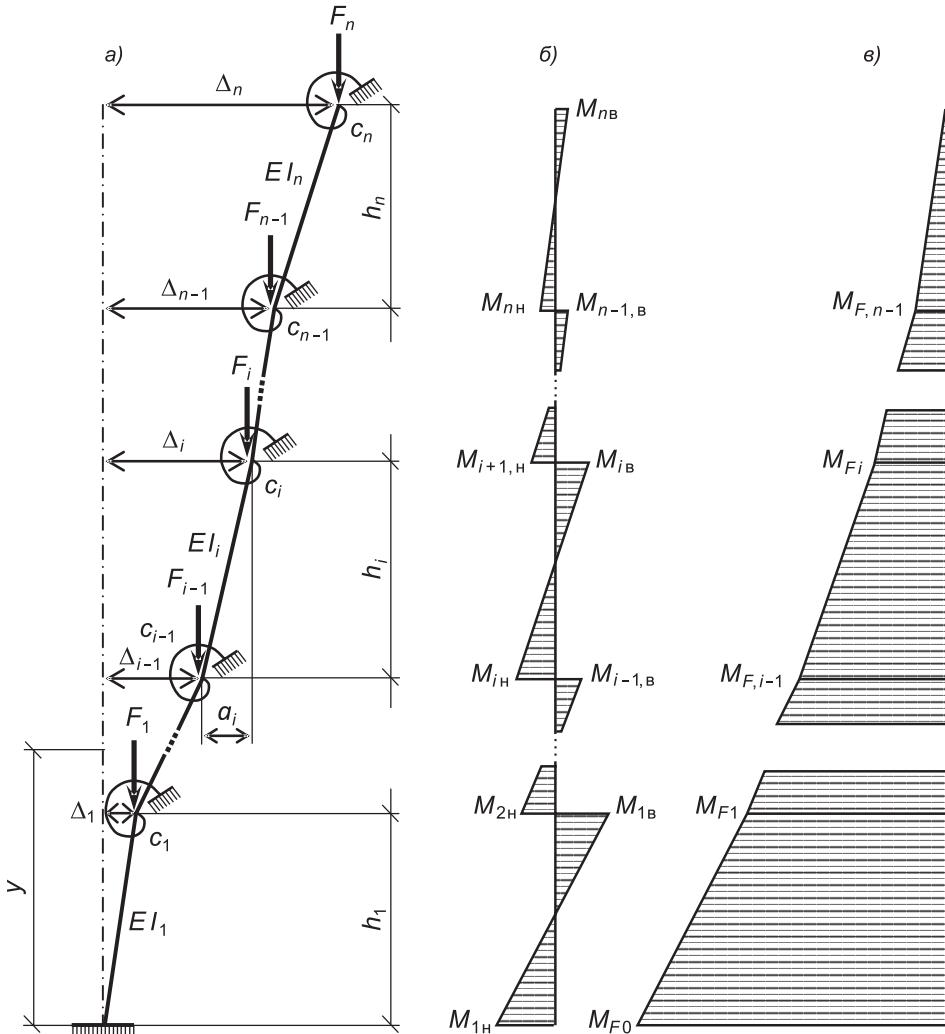


Рис. 1. Расчетная модель колонны (а); изгибающие моменты в ней (б); условные изгибающие моменты при отсутствии упругих угловых связей в узлах (в)

Принятая модель полностью соответствует характеру деформации однопролетной проектно-симметричной рамы с попарно одинаковыми горизонтальными отклонениями узлов каждого этажа. В других случаях результаты расчета будут приближенными, с погрешностями в сторону некоторого завышения моментов (т.е. в запас прочности).

В линейной постановке для изгибающих моментов в верхнем и нижнем концевых сечениях колонны i -го этажа (рис. 1, б) получаются следующие выражения:

$$M_{i_B} = \frac{1}{2(1+k_{ci})} [(1+2k_{ci})M_{F_i} - M_{F_{i-1}}]; \quad (1)$$

$$M_{i_H} = \frac{1}{2(1+k_{ci})} [(1+2k_{ci})M_{F_{i-1}} - M_{F_i}], \quad (2)$$

где $k_{ci} = \frac{EI_i}{h_i} \left(\frac{1}{c_i} + \frac{1}{c_{i-1}} \right)$;

$$M_{F_i} = \sum_{k=i+1}^n \left(F_k \sum_{j=i+1}^k a_j \right) \text{ и } M_{F_{i-1}} = \sum_{k=i}^n \left(F_k \sum_{j=i}^k a_j \right) \quad (3)$$

— изгибающие моменты в условно свободной колонне (без учета влияния ригелей рамы, т.е. при $c_1 = c_2 = \dots = c_n = 0$) — рис. 1, ε; $a_j = \Delta_j - \Delta_{j-1}$.

Заметим, что в случае мощных ригелей рамы ($c_i \gg EI_i/h_i$) формулы (1)–(3) дают

$$M_{i_B} = -M_{i_H} = (M_{F_i} - M_{F_{i-1}})/2 = -a_i \sum_{k=i}^n F_k \quad (4)$$

(нулевая моментная точка колонны любого этажа располагается посредине его высоты).

В (1)–(4) все параметры (нагрузки, жесткости колонн и угловых связей в узлах, высоты этажей и отклонения узлов от проектного положения) — случайные. Но при оценке влияния на дополнительные моменты неточностей изготовления и монтажа рамы будем учитывать стохастические свойства только величин Δ_i ($i = 1, \dots, n$), все остальные считаем квазидетерминированными. Отклонения Δ_i и связанные с ними поэтажные относительные несовершенства $a_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ (рис. 1, а) могут рассматриваться как нормально распределенные случайные величины с математическими ожиданиями $\bar{\Delta}_i$, $\bar{\Delta}_{i-1}$ и \bar{a}_i , равными нулю. Последнее подтверждается данными натурных обмеров реальных объектов, в частности геодезической съемки возведенного каркаса, результаты которой представлены на рис. 2, где наблюдаются разнозначные горизонтальные отклонения узлов многоэтажной многопролетной рамы.

При $\bar{\Delta}_i = \bar{a}_i = 0$ изгибающие моменты в концевых сечениях колонны i -го этажа — случайные величины с доверительными интервалами соответственно $\pm \hat{M}_{i_B} t_P$ и $\pm \hat{M}_{i_H} t_P$ (здесь \hat{M}_{i_B} и \hat{M}_{i_H} — стандарты моментов M_{i_B} и M_{i_H} ; t_P — квантиль распределения с обеспеченностью P). Для принципиальной количественной оценки зависимости моментов от геометрических несовершенств колонны используем выражение (4), с помощью которого определяем стандарты концевых моментов:

$$\hat{M}_{i_B} = \hat{M}_{i_H} = \hat{a}_i \sum_{k=i}^n F_k, \quad (5)$$

где \hat{a}_i — стандарт относительного отклонения верха и низа колонны i -го этажа.

Если измеряются и рассматриваются как независимые случайные величины полные отклонения узлов Δ_i и Δ_{i-1} , то

$$\hat{a}_i = \sqrt{\hat{\Delta}_{i-1}^2 + \hat{\Delta}_i^2} \approx \sqrt{2}\hat{\Delta}_i. \quad (6)$$

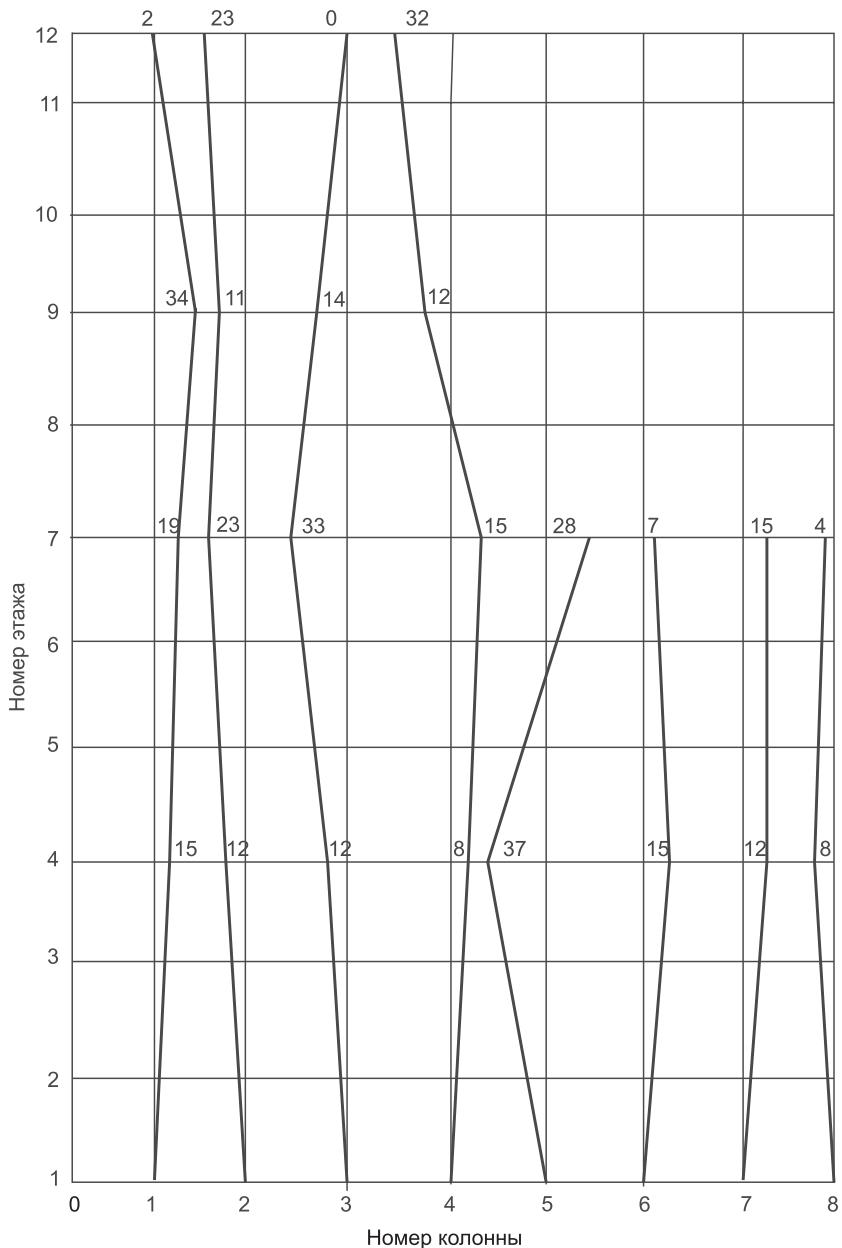


Рис. 2. Отклонения по горизонтали (в мм) осей колонн наблюдаемых этажей относительно 1-го этажа

Из формулы (5) видно, что при одинаковых статистических свойствах относительных поэтажных отклонений a_i , т.е. при $\hat{a}_1 = \dots = \hat{a}_i = \dots = \hat{a}_n$, наибольшими получаются стандарты и, следовательно, разбросы (доверительные интервалы) значений изгибающих моментов в колоннах нижних этажей. Поэтому целесообразно устанавливать повышенные требования к точности монтажа колонн нижних частей зданий, а именно — допустимые погрешности $[\Delta_i]$ и $[\Delta_n]$ координат узлов этажей с номерами i и n назначать по зависимости

$$[\Delta_i] : [\Delta_n] \approx i : n, \quad (7)$$

что позволяет получить статистически выровненные моменты в колоннах разных этажей от неточностей монтажа каркаса.

В случае массивных колонн и относительно гибких ригелей либо их отсутствия (безригельный каркас) ($c_i \ll EI_i / h_i$) из (1) и (2) следует, что $M(y) \Rightarrow M_F(y)$ (рис. 1, б, в), тогда, используя (3), по методу статистической линеаризации получаем

$$\hat{M}_{ih} = \sqrt{\sum_{j=i}^m \left(\hat{a}_j \sum_{k=j}^n F_k \right)^2}, \quad (8)$$

и принципиальный вывод о целесообразности ужесточения требований к точности контроля за отклонениями узлов нижних этажей сохраняет силу, но вместо условия (7) будет

$$[\Delta_i] : [\Delta_n] \approx (i : n)^2. \quad (9)$$

Заметим, что наиболее опасны однозначные монтажные отклонения узлов на уровне ригелей некоторого этажа. Эффекты влияния разнозначных геометрических несовершенств могут частично взаимно гасить друг друга.

Для обеспечения выполнения сформулированных выше рекомендаций о повышении точности монтажа колонн нижних частей зданий предлагаются следующие технические решения:

- использовать специальные технологии измерений, позволяющие обеспечить необходимую точность этих работ;
- нижние ярусы зданий выполнять в виде сталежелезобетонного каркаса.

Применение сталежелезобетонного каркаса соответствует основным представлениям о сборно-монолитном возведении зданий. На первом этапе монтируется формообразующий стальной каркас (рис. 3), который обладает достаточной жесткостью и не требует каких-либо мероприятий по сохранению устойчивости в период возведения. При этом могут быть сведены к минимуму неточности его изготовления и монтажа. На следующем этапе устанавливается необходимая опалубка, укладываются арматура, определяемая проектом, и вся система омоноличивается [4]. В итоге получается рамный каркас с жесткими узлами и дополнительными возможностями сопротивления сжатию для колонн с внутренней обоймой.

В соответствии с вышеизложенными соображениями был разработан и осуществлен проект экспериментального здания с сеткой колонн

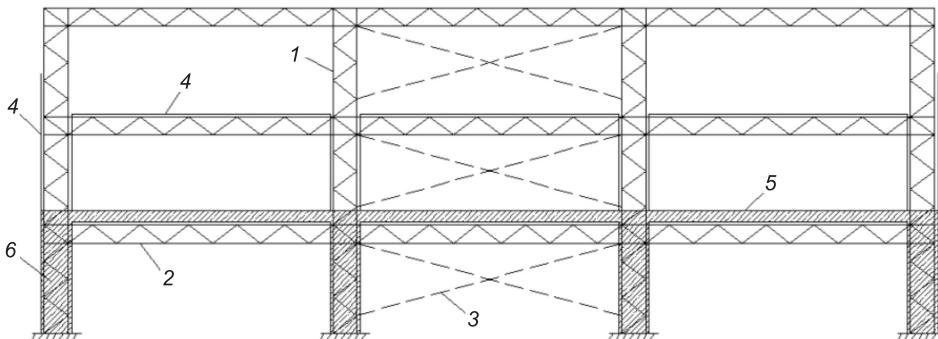


Рис. 3. Конструктивная схема формообразующего каркаса

1 — колонны формообразующего каркаса; 2 — съемные ригели; 3 — временные связи; 4 — опалубка; 5 — монолитная плита перекрытия; 6 — колонна после обетонирования



Рис. 4. Здание со сталежелезобетонным каркасом

четырех ярусов, в которых был применен формообразующий каркас, существенно меньше, чем у колонн, возведенных традиционным способом.

7,5 × 6 м, толщиной перекрытий 200 мм, из бетона класса В20. Для наружных стен по периметру здания выпущены консоли, позволяющие возводить ненесущие стены в пределах одного этажа с навесными фасадами. Такой каркас упрощает контроль за соответствием возводимых элементов проектному положению и одновременно обладает одним из главных достоинств монолитного железобетона — способностью «подстраиваться» под нагрузки, которые на него действуют.

Для оценки фактических несовершенств геометрии возведенного каркаса (рис. 4) была выполнена его контрольная геодезическая съемка, показавшая, что отклонения первых

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон № 384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Текст]. — Введ. 2009-12-30. — М. : Проспект, 2009. — 63 с.
2. ГОСТ 21780-2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности [Текст]. — Введ. 2008-01-01. — М.: Изд-во стандартов, 2007. — 11 с.
3. Лебедев, В.В. Влияние начальных горизонтальных отклонений колонн и диафрагм на напряженно-деформированное состояние и несущую способность монолитных железобетонных каркасных зданий : Автореферат дис. ... канд. техн. наук [Текст] / В.В. Лебедев. — Красноярск, 2011. — 27 с.
4. Пат. РФ № 112693, МПК Е04В 1/16. Железобетонный каркас здания [Текст] / В.М. Митасов, Н.Н. Пантелейев, Ю.К. Аргунов, М.А. Логунова. — № 2010145365/03 ; заявл. 08.11.2010 ; опубл. 20.01.2012 ; Бюл. № 2. — 2 с.

МИТАСОВ Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: mitassovv@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СЕБЕШЕВ Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, проф.; E-mail: sebeshev@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

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

ЛОГУНОВА Мария Александровна, асп.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 29.10.11

Mitasov Valeriy Mihailovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Sebeshev Vladimir Grigoriyevich, candidate of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Astashenkov Gennadiy Grigoriyevich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Logunova Maria Alexandrovna, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

TO THE PROBLEM OF EVALUATION AND REDUCING OF THE INITIAL GEOMETRIC IMPERFECTIONS' INFLUENCE IN THE ERECTING MULTI-STORY SKELETON-TYPE BUILDINGS

On the basis of the probabilistic analysis of bending moments, arising in the framework due to the columns' deviations from a project position in the process of building's erection, the authors make proposals to reduce the negative impact of an occasional inaccuracies in manufacture and installation of columns through the improvement of the control over a geometrical parameters of the framework and application of some constructive solutions to ensure high accuracy of the designed geometry's realization.

Key words: steel-concrete frame, geometric imperfections, design model, accuracy of the installation.

REFERENCES

1. The Federal Law N 384-FL. Technical regulations on the safety of buildings and constructions [Text]. — Introduced 2009-12-30. — M. : Prospect, 2009. — 63 p.
 2. State Standard 21780-2006. System of ensuring the accuracy of geometrical parameters in construction. Accuracy calculation [Text]. — Introduced 2008-01-01. — M. : Standards Publ. House, 2007. — 11 p.
 3. Lebedev, V.V. The impact of initial horizontal deviations of the columns and the aperture on the stress-strain state and the carrying capacity of the monolithic reinforced concrete frame buildings : author's abstract of the diss. ... cand. techn. sci. [Text] / V.V. Lebedev. — Krasnoyarsk, 2011. — 27 p.
 4. Patent RF N 112693, MPK E04B 1/16. Reinforced concrete frame building [Text] / V.M. Mitasov, N.N. Panteleyev, Yu.K. Argunov, M.A. Logunova. — N 2010145365/03 ; appl. 08.11.2010 ; publ. 20.01.2012 ; Bull. N 2. — 2 p.
-

УДК 666.6:620.1

В.Г. БЕЗБОРОДОВ, Л.Ф. МЕДЕНЦОВ, А.В. БРЮКОВ, Н.Л. МЕДЕНЦОВА

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СПЕКАНИЯ ПЕНОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СУГЛИНКА

Предложено в качестве показателя степени спекания высокопористой керамики использовать значение твердости материала (НВ). Для определения числа твердости рекомендован метод Бринелля. Опытное опробование твердости в качестве критерия спекания на образцах пенокерамики из смеси порошков суглинка и листового стекла показало целесообразность использования предложенной методики контроля процесса обжига в производстве керамических изделий.

Ключевые слова: степень спекания, обжиг керамики, твердость, пористая структура, прочность, плотность.

Физико-механические и эксплуатационные свойства керамических изделия приобретают в результате обжига. Под воздействием высокой температуры происходит процесс спекания сырцовой массы, сопровождаемый уплотнением и упрочнением материала. С повышением степени спекания формируется структура керамического черепка, определяющая такие важные свойства изделия, как плотность, прочность и теплопроводность.

С развитием технологии изделий из высокопористой керамики возрастает значимость вопроса контроля процесса спекания. Получение материала с заданной структурой, характеризуемой сочетанием низкой плотности и достаточно высокой прочности, требует новых подходов к выбору состава сырьевой смеси и проведению операции обжига изделий.

Известен ряд способов количественной оценки степени спекания образцов из плотной керамики, основанных на изменении свойств материала: уплотнении и упрочнении, относительной плотности, удельной объемной усадки, относительной пористости, относительном сохранении объема пор, водопоглощении, характеризующем пористость [1]. Предложенные способы контроля результатов обжига оказываются непригодными для изделий, сформированных из вспененных масс. Для оценки степени спекания керамического материала с ячеистой структурой необходим показатель, учитывающий пористость исследуемого образца. Такой показатель позволял бы сравнивать по спекаемости материалы, обожженные в одинаковых условиях, но имеющие различную плотность.

В настоящей работе рассматривается возможность использования в качестве показателя степени спекания керамических масс числа твердости материала (*HB*). Твердость характеризует прочность и пластичность материала, следовательно, зависит от его структурного состояния и уровня развития в нем сил межмолекулярного взаимодействия. Уровень прочности керамического черепка из глинистого сырья обусловлен степенью развития химических связей между частицами твердой фазы и стекловидным расплавом, возникающим в силикатных системах за счет легкоплавких эвтектик или плавления флюсующих добавок.

В эксперименте величина твердости определялась по методу Бринелля [2] вдавливанием стального шарика в испытуемый образец. Значение

твердости находится из отношения сжимающей силы (F) к приведенной площади шарового отпечатка ($S_{\text{пп}}$), рассчитанного по формуле (в Н/мм²)

$$HB = \frac{F}{S_{\text{пп}}} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{(D^2 - d^2)})K},$$

где D — диаметр шарика, мм;

d — диаметр отпечатка, мм;

K — множитель, определяющий долю площади «живого» сечения материала керамики в границах контура отпечатка; K определялся экспериментальным путем.

По данным замера отпечатков шарика на образцах выбранного состава с различной пористостью, обожженных в одинаковых условиях (температура, время, газовая среда), вычислялось значение твердости по формуле

$$HB' = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{(D^2 - d^2)})}.$$

По полученным результатам строилась кривая зависимости $HB' = f(\Pi)$ (рис. 1). Анализ хода кривой позволил определить значение K .

Для пенокерамики из смеси суглинка Каменского месторождения Новосибирской области и натрий–кальцийсиликатного стекла (оконного), взятых в соотношении 4:1 по весу, и обожженной при 1050 °C в течение 1 ч в воздушной среде, получено соотношение

$$HB' = HB(1 - \Pi)^{2.6\Pi},$$

где Π — пористость пенокерамики в долях единицы;

HB — твердость керамики с нулевой пористостью.

Из сравнения формул следует:

$$K = (1 - \Pi)^{2.6\Pi}.$$

Таким образом, влияние пористости на значение твердости (HB) данного вида керамики исключено введением в выражение приведенной площади $S_{\text{пп}}$ множителя K .

Значение твердости пенокерамики указанного выше состава использовалось в эксперименте по определению оптимальной температуры об-

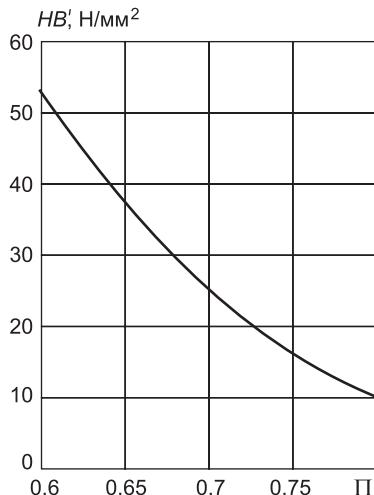


Рис. 1. Влияние пористости на твердость пенокерамики

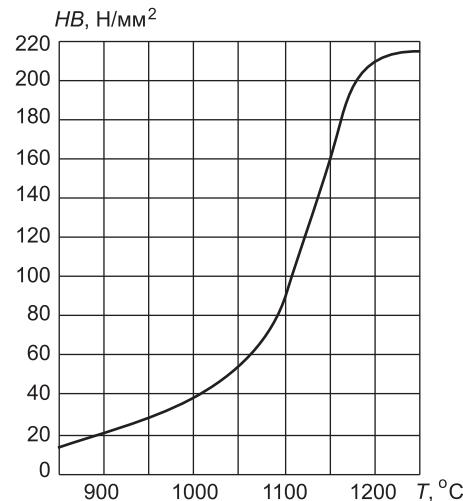


Рис. 2. Зависимость твердости (HB) пенокерамики от температуры обжига

жига материала. Образцы — кубики с размером ребра 20 мм — формовались отливкой в металлические формы вспененной водной суспензии из указанных материалов. Пеномасса готовилась интенсивным вспениванием в миксере в присутствии пенообразователя «Пеностром-М». Плотность пеномассы регулировалась содержанием воды, отвечающим водо-глиняному отношению в пределах от 0,7 до 0,83. Образцы после сушки на воздухе в течение трех суток с последующей выдержкой в течение суток в сушильном шкафу при температуре 110 ± 5 °C обжигались в муфельной печи при предельных температурах выдержки, взятых в интервале от 800 до 1250 °C с шагом 50 °C. Для испытания отбирались образцы с плотностью от 600 до 630 кг / м³. Число твердости материала определялось вдавливанием в поверхность пенокерамики стального закаленного шарика диаметром 2,5 мм под воздействием сжимающего усилия 200 Н. Испытания проводились на автоматическом прессе Бринелля. В результате вдавливания шарика в материале образовывался отпечаток в форме лунки. По результату замера диаметра шарового сегмента (лунки) и значению пористости керамики вычислялась приведенная площадь отпечатка:

$$S_{\text{пп}} = \frac{1}{2} \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}) (1 - \Pi)^{2,6\Pi}.$$

Отношение сжимающей силы к этой площади давало число твердости испытуемого образца:

$$HB = \frac{F}{S_{\text{пп}}}.$$

На рис. 2 представлена зависимость числа твердости пенокерамики от температуры обжига.

По разнице в характере спекания кривую можно разбить на три участка. На первом участке в интервале температур от 800 до 950 °C происходило твердофазовое спекание материала. Массоперенос, обусловленный диффузией, протекал слабо. Из-за отсутствия смачивания расплавом стекла частиц суглинка стеклофаза не участвовала в процессе спекания. Значение твердости ($HB = 25$ Н / мм²) отражало низкое сцепление частиц суглинка.

В интервале второго участка от 950 до 1100 °C со снижением вязкости стекла активизировалось химическое взаимодействие между частицами суглинка и стекла. С ростом смачивания развилось капиллярное течение расплава стекла, ведущее к уплотнению материала и росту его прочности. Число твердости возросло с 25 до 90 Н / мм².

На третьем участке в диапазоне температур от 1100 до 1200 °C спекание характеризовалось интенсивной усадкой и упрочнением керамического черепка. Число твердости увеличилось до 119 Н / мм². После достижения температуры обжига, соответствующей предельной усадке образцов без потери формы (1190 °C), следовал перелом в ходе кривой $HB = f(T)$. Дальнейший нагрев пенокерамики вел к переходу массы в расплав. При этом значение твердости достигло предельного значения 210 Н / мм². Результаты опытов по выявлению оптимального режима спекания пенокерамики данного состава позволили установить температуру обжига, равную $T_{\text{обж}} = 0,87T_d$, где T_d — температура начала деформации образца. В данном исследовании $T_d = 1190$ °C. Температуре обжига соответствовало значение твердости $HB = 50...60$ Н / мм². Кроме того, анализ зависимости $HB = f(T)$ позволил понять роль стеклофазы в спекании пенокерамики на основе глинистых материалов.

Выводы. Применение значения твердости в качестве показателя степени спекания керамики обеспечивает:

- возможность оценки спекаемости высокопористой керамики, изготовленной различными методами;
- экономию материала, так как отсутствует необходимость в специальных образцах для испытания; степень спекаемости можно определять на поверхности изделия или его фрагментах;
- высокую точность и объективность оценки показателя спекания, так как измерения проводятся на стандартном оборудовании и малых участках материала с высокой степенью однородности структуры (без дефектов);
- простоту, низкую трудоемкость и оперативность контроля процесса обжига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимашев, В.В. Агломерация порошкообразных силикатных материалов [Текст] / В.В. Тимашев, Л.М. Сулименко, Б.С. Альбац. — М. : Стройиздат, 1978. — 136 с.
2. ГОСТ 9012-59. Метод определения твердости материалов (Метод Бринелля) [Текст].

БЕЗБОРОДОВ Владилен Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МЕДЕНЦОВ Лев Федорович, канд. техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

БРЮКОВ Алексей Викторович, инж.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МЕДЕНЦОВА Наталья Львовна, инж.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 16.11.11

Bezborodov Vladilen Gennadyevich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Medentsov Lev Fyodorovich, candidate of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Bryukov Alexey Victorovich, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Medentsova Natalya Lvovna, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF SINTERING THE POROUS CERAMICS ON THE BASIS OF CLAY

Proposed as an indicator of the sintering of high porous ceramics use the value of the material hardness (*HB*). To determine the number of hardness recommended method of Brinell. The experimental investigation as a criterion for the sintering of the samples the porous ceramics of a mixture of powders of clay and glass sheet showed the expediency of use of the proposed methodology for control of the burning process in the production of ceramic products.

Key words: degree of sintering, baking of ceramics, porous structure, strength, density.

REFERENCES

1. Timashov, V.V. Agglomeration of Powdery Silicate Materials [Text] / V.V. Timashov, L.M. Sulimenko, B.S. Albats. — M. : Stroyizdat, 1978. — 136 p.
2. GOST 9012-59. Method of Determining the Hardness of Materials (Method Brinell) [Text].

УДК 624.012.2:620.17

В.В. ПАНГАЕВ, М.М. ОНИНА, В.М. СЕРДЮК, Д.В. МОЛОКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ
ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ СЖАТИИ**

На основании литературных данных и результатов экспериментальных испытаний выполнено определение соотношения между средним пределом прочности при сжатии стандартных образцов цементного раствора с размерами $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм и пределами прочности цементного раствора в кубиках других размеров. Установлено несоответствие между общепринятыми требованиями действующего ГОСТ 5802–86 и результатами проведенных исследований.

Ключевые слова: раствор, образец, масштабный фактор, марка раствора.

1. Актуальность проблемы. Контроль качества цементного раствора (далее раствора) непосредственно в швах каменной кладки (далее кладки) осуществляется испытанием образцов, изготовленных из плинток раствора горизонтальных «швов». Как правило, результаты таких испытаний показывают более низкую прочность на сжатие (марку раствора), чем образцы того же раствора, взятого непосредственно на строительной площадке перед его использованием в кладке. Причиной такого снижения считаются различные факторы и в первую очередь обезвоживание раствора в швах кладки за счет капиллярного «отсоса» влаги раствора сухим кирпичом. Рекомендуемое нормами предварительное замачивание кирпича (камня) при отрицательных температурах воздуха весьма затруднительно. Кроме того, излишки воды на поверхностях кирпича способствуют образованию зазоров между камнем и раствором швов, что нарушает сцепление камня с раствором и изменяет деформационные свойства кладки. Тем не менее в летнее время года предварительное замачивание кирпича может оказывать положительное влияние на прочность кладки. Воздействие увлажнения поверхностей кирпича на свойства раствора в швах кладки требует тщательного изучения. В данной работе рассмотрен другой фактор, оказывающий, на наш взгляд, весьма существенное влияние на оценку марки раствора непосредственно в швах кладки. Это масштабные коэффициенты, рекомендуемые нормами [1] для приведения результатов испытания образцов различных размеров к результатам испытания стандартных кубиков раствора $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм. По нашему мнению, установленные нормами коэффициенты не вполне реально отражают зависимость между результатами испытания раствора из швов кладки и его прочностью при стандартных испытаниях на сжатие.

2. Литературный анализ. Для оценки достоверности применяемых в соответствии с нормами [1] масштабных коэффициентов был выполнен анализ имеющихся литературных данных (по нормативным и справочным источникам различных лет). В источнике [2] приведено соотношение между пределами прочности при сжатии кубиков различных размеров (рис. 1).

© Пангаев В.В., Онина М.М., Сердюк В.М., Молоков Д.В., 2012

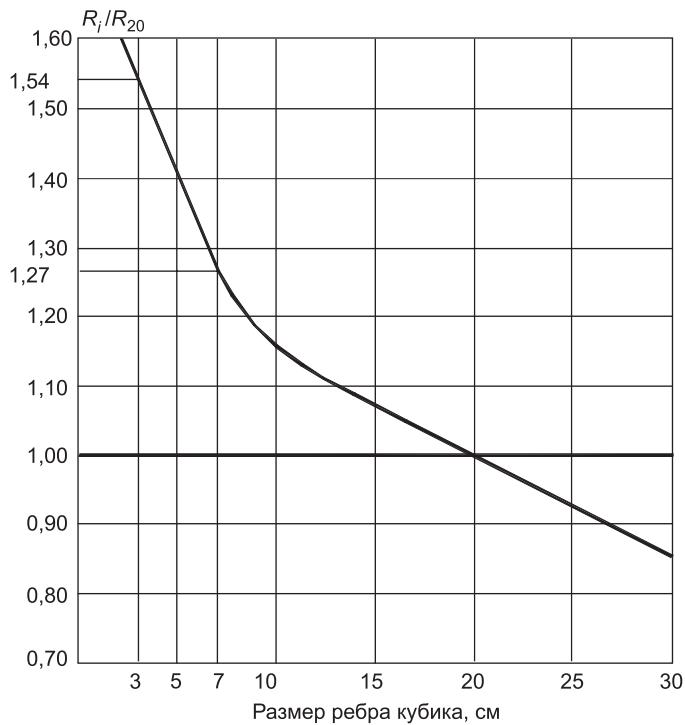


Рис. 1. Соотношения между пределами прочности при сжатии кубиков различных размеров, по данным [2]

На рис. 2 указанное соотношение представлено относительно стандартного для раствора образца ($70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм) R_7 . На этом же рисунке приведено соотношение между пределом прочности при сжатии стандартного

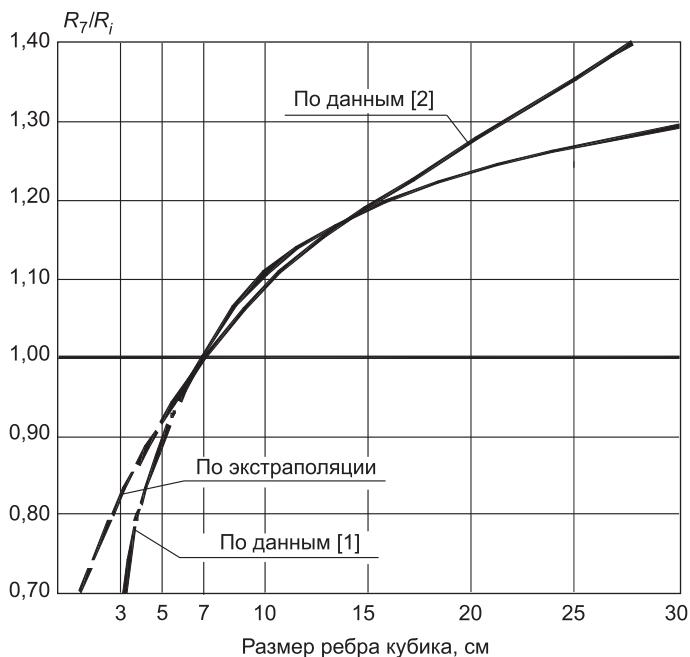


Рис. 2. Соотношения между пределами прочности при сжатии стандартного образца ($70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм) и кубиков раствора различных размеров

образца ($70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм) и кубиками раствора различных размеров R_i , принятые в современных нормах проектирования.

Анализ рис. 2 показывает существенную разницу между представлениями справочного источника [2] и рекомендациями современного ГОСТ. Так как в данной работе, прежде всего, рассматриваются растворы в швах кладки, было обращено особое внимание на образцы (кубики) с размерами ребер 30 мм. По нашему мнению, масштабный коэффициент $\alpha = 0,68$ ($\alpha = 0,65$ для зимних кладок), установленный ГОСТ для приведения результатов испытания образцов, приготовленных из раствора швов кладки, к марке раствора, принят с чрезмерным запасом (фактически требует получать в швах более высокую марку раствора, чем марка, заложенная в проекте).

3. Экспериментальные исследования. Для проверки применяемых на практике масштабных коэффициентов нами на протяжении последних десяти лет проводились испытания растворов различных марок, направленные как на уточнение масштабных коэффициентов, так и на выявление особенностей поведения кубиков раствора, полученных склеиванием пластинок, взятых из швов кладки. Ниже приведены результаты двух экспериментов из проведенных нами исследований.

Эксперимент 1. Для проверки масштабных коэффициентов, применяемых при оценке прочности раствора швов кладки, были проведены исследования образцов раствора одного и того же состава. Состав раствора подбирался по рекомендациям [3] и соответствовал раствору марки 25.

Было испытано девять серий образцов раствора, по шесть кубиков в каждой серии. Серия А.I-1 состояла из образцов стандартного размера $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм. Остальные серии состояли из кубиков, соответствующих по размеру образцам, изготавливаемым при испытании раствора из швов кладки, т.е. кубикам размером $30 \times 30 \times 30$ мм. При этом кубики серии А.II-1, А.II-2 изготавливались в специальных формах и были сплошными, кубики серии А.III-1, А.III-2 выполнялись из двух склеенных раствором строительного гипса пластин, изготовленных в специальных формах. Образцы серии А.IV-1, А.IV-2, А.V-1, А.V-2 изготавливались из раствора швов в соответствии с требованиями ГОСТ. Пластинки раствора швов были получены при твердении слоев раствора между двумя кирпи-

Таблица 1
Результаты испытаний

№ серии образцов	Размеры образцов, мм	Средний предел прочности серии образцов R_u , МПа	Марка раствора гипса для склеивания плиток	Масштабный коэффициент
A.I-1	$70,7 \times 70,7 \times 70,7$	3,24	—	1,00
A.II-1	То же	3,92	—	0,83
A.II-2	$\approx 30 \times 30 \times 30$	3,98	—	0,81
A.III-1	То же	3,70	25	0,87
A.III-2	»	3,84	25	0,84
A.IV-1	»	3,78	25	0,86
A.IV-2	»	3,84	25	0,84
A.V-1	»	0,51	25	—
A.V-2	»	0,55	25	—

чами. Во время изготовления растворного слоя образцов серий А.IV-1, А.IV-2 камни увлажнялись с выдержкой в воде в течение одной минуты. Водопоглощение камня (кирпича) составляло 14,6 %. Раствор серий А.V-1, А.V-2 укладывался между двумя «сухими» кирпичами. Применение сухого кирпича выполнялось для проверки влияния на прочность раствора наиболее распространенных условий его твердения в кладке строящихся зданий.

Образцы раствора, за исключением раствора серий А.V-1, А.V-2, твердели в условиях 100%-ной влажности при температуре $\approx 20^{\circ}\text{C}$. Образцы раствора серий А.V-1, А.V-2 твердели при естественной влажности в условиях лаборатории. Испытания проводились после 28 сут твердения. Результаты испытания (средние по каждой серии) приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что экспериментально установленные масштабные коэффициенты соответствуют результатам испытаний, проведившихся в первой половине двадцатого века. Несколько более низкий предел прочности образцов из отдельных пластинок и слоев раствора объясняется влиянием склеивающих слоев гипсового раствора.

На основании выполненного исследования были отмечены условия набора прочности опытными образцами кладки, при которых предел прочности раствора швов соответствовал пределу прочности раствора стандартных образцов. Эти условия заключались в следующем:

- кирпич перед укладкой увлажнялся с выдержкой в воде в соответствии с требованием [4];

- образцы кладки после изготовления на время набора прочности раствором изолировались от внешней среды для предотвращения высыхания раствора.

Показано, что применение «сухого» кирпича в условиях естественной потери влаги может существенно понизить марку раствора в швах кладки.

Эксперимент 2. Для экспериментальной оценки масштабных коэффициентов были проведены испытания на сжатие кубиков растворов различной прочности размерами $100 \times 100 \times 100$ мм, $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм, $50 \times 50 \times 50$ мм, $30 \times 30 \times 30$ мм, $20 \times 20 \times 20$ мм. Кубики всех серий были сплошными. Образцы твердели в воде при температуре $\approx 20^{\circ}\text{C}$. Испытания проводились после 28 сут твердения.

Было испытано пятнадцать серий образцов раствора, по шесть кубиков в каждой серии. Составы раствора подбирались по рекомендациям

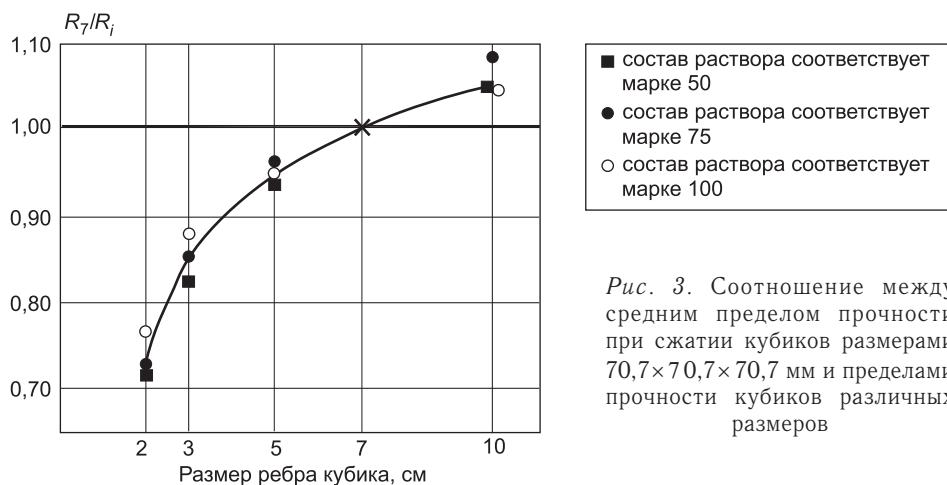


Рис. 3. Соотношение между средним пределом прочности при сжатии кубиков размерами $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм и пределами прочности кубиков различных размеров

Таблица 2

№ серии образцов	Размеры образцов, мм			Средний предел прочности серии образцов R_u , МПа	Масштабный коэффициент
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>		
Б.I-1	100	100	100	4,58	1,04
Б.I-2	70,7	70,7	70,7	4,78	1
Б.I-3	50	50	50	5,09	0,94
Б.I-4	30	30	30	5,75	0,83
Б.I-5	20	20	20	6,62	0,72
Б.II-1	100	100	100	6,84	1,08
Б.II-2	70,7	70,7	70,7	7,37	1,00
Б.II-3	50	50	50	7,70	0,96
Б.II-4	30	30	30	8,67	0,86
Б.II-5	20	20	20	10,06	0,73
Б.III-1	100	100	100	11,49	1,04
Б.III-2	70,7	70,7	70,7	11,92	1,00
Б.III-3	50	50	50	12,53	0,95
Б.III-4	30	30	30	13,59	0,88
Б.III-5	20	20	20	15,53	0,77

[3] и соответствовали для серий Б.I-1–Б.I-5 раствору марки 50, для серий Б.II-1–Б.II-5 раствору марки 75, для серий Б.III-1–Б.III-5 раствору марки 100. Результаты испытания (средние по каждой серии) приведены в табл. 2. По указанным результатам построено соотношение между пределом прочности раствора при сжатии кубика с размерами

Таблица 3
По результатам испытаний и в соответствии с рис. 3

Вид раствора	Размер ребра куба, см		
	2	3	4
	Коэффициент		
Растворы цементные	0,74	0,85	0,91

Таблица 4
По ГОСТ 5802–86 [1]

Вид раствора	Размер ребра куба, см		
	2	3	4
	Коэффициент		
Летние растворы	0,56	0,68	0,8
Зимние растворы и затвердевшие после оттаивания	0,46	0,65	0,75

Таблица 5
По данным «Справочника проектировщика промышленных сооружений», 1935 г. [2]

Вид раствора	Размер ребра куба, см		
	2	3	4
	Коэффициент		
Растворы цементные	—	0,82	0,91

$70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм, R_7 и средними пределами прочности при сжатии R_i кубиков различных размеров (рис. 3).

В связи со значимостью полученных результатов из данных табл. 2 были выделены коэффициенты для определения прочности раствора в кубиках с ребрами $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм по результатам испытания кубиков других размеров (табл. 3). Для сравнения в табл. 4 и 5 приведены аналогичные данные, взятые из других источников [1, 2].

Сравнение данных табл. 3–5 свидетельствует о возможном занижении ГОСТ применяемых в настоящее время масштабных коэффициентов. Учитывая огромную значимость (без преувеличения) этих коэффициентов для практики строительства, по-видимому, требуется их серьезная корректировка.

Выводы. Результаты литературного анализа и экспериментальных исследований свидетельствуют, что коэффициенты для определения прочности раствора в кубиках с размерами $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм по результатам испытания кубиков других размеров, приведенные в ГОСТ [1], могут существенно отличаться от действительных значений. Это отличие искажает представление о реальной прочности кладки и может служить причиной ее неоправданного усиления.

По нашему мнению, переход от результатов испытания образцов, приготовленных из раствора швов кладки, к прочности кубика с размером ребер $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм следует выполнять с применением коэффициента перехода не менее 0,8 (обычно испытываются образцы с размерами, близкими к размерам кубика $30 \times 30 \times 30$ мм). В первую очередь это относится к растворам высокой прочности, так как с ростом прочности раствора значение указанного коэффициента также возрастает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 5802–86. Растворы строительные. Методы испытаний [Текст]. — Взамен ГОСТ 5802–78; введ. в дейст. 01.07.1986. — М. : Изд-во стандартов, 1986. — 22 с.
2. Справочник проектировщика промышленных сооружений. Железобетонные конструкции [Текст]. — М. : ОНТИ, 1935. — Т. IV. — 804 с.
3. СП 82-101-98. Приготовление и применение растворов строительных [Текст]. — Взамен СН 290-74; введ. в дейст. 15.07.1998. — М. : Изд-во стандартов, 1999. — 46 с.
4. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. — Взамен СНиП III-15-76; введ. в дейст. 01.07.1988. — М. : ГУП ЦПП, 2004. — 192 с.

ПАНГАЕВ Валерий Владимирович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ОНИНА Майя Митрофановна, канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СЕРДЮК Вера Михайловна, инж.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МОЛОКОВ Дмитрий Валерьевич, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 05.11.11

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

Onina Maiya Mitrofanovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Serdyuk Vera Mikhaelovna, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Molokov Dmitry Valeryevich, post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

INVESTIGATION OF SCALE COEFFICIENTS FOR DETERMINATION OF DURABILITY OF CEMENT MORTARS AT COMPRESSION

On the basis of literary data and results of experimental tests certain ratios between average ultimate strength at compression of standard samples of cement mortar in the sizes $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ mm and ultimate strength of cement mortar in cubes of other sizes are fulfilled. Discrepancy between the general accepted requirements of operating State Standard 5802–86 and results of the carried-out researches is established.

Key words: mortar, sample, scale factor, brand of mortar.

REFERENCES

1. State Standard 5802–86. Construction solutions. Methods of tests [Text]. — In exchange State Standard 5802–78; It is installed 01.07.1986. — M. : Publ. Standards, 1986. — 22 p.
2. Directory of the designer of industrial building. Reinforced concrete constructions [Text]. — M. : DSTI, 1935. — V. IV. — 804 p.
3. SP 82-101-98. Preparation and application of construction solutions [Text]. — In exchange SN 290-74; It is installed 15.07.1998. — M. : Publ. Standards, 1999. — 46 p.
4. SN&P 3.03/01-87. Bearing and protecting constructions [Text] — In exchange SN&P III-15-76; It is installed 01.07.1988. — M. : SUE CDP, 2004. — 192 p.

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.014.072.2

Б.Н. ВАСЮТА, Г.В. ЧАЛКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРИ МЕСТНОМ КРУЧЕНИИ ВЕРХНЕГО ПОЯСА*

Сообщение 3

Приведены результаты экспериментальных исследований поддерживающего влияния тормозной конструкции.

Ключевые слова: стальная подкрановая балка, местное кручение, рельс, тормозная конструкция, напряжения местного изгиба.

В промышленных цехах при интенсивных режимах эксплуатации мостовых опорных кранов (групп режимов работы по ГОСТ 25546–82 6К...8К) компоновка подкранового пути предусматривает обязательное применение тормозной конструкции (ТК) в виде так называемой тормозной балки, включающей горизонтальную сплошную стенку (настил) и вспомогательную балку (при расположении вдоль крайних рядов колонн). В руководящих и справочных документах по проектированию 1970–1980-х годов [1, 2] горизонтальный настил рекомендовался в двух вариантах конструктивного исполнения. Вариант 1 — в виде составного сечения из гнутого неравнополочного уголка и рифленого листа (рис. 1, а); вариант 2 — только из рифленого листа с ребрами жесткости из полосовой стали (рис. 1, б). Второй вариант допускался к применению только в зданиях с «обычным (!) режимом работы» [1]. К «обычному режиму работы» зданий в данном случае были отнесены все здания с мостовыми кранами, кроме зданий с тяжелым и весьма тяжелым режимом работы мостовых кранов. Согласно [1, 2] в первом и втором вариантах конструктивного оформления крепление тормозных элементов к верхнему поясу подкрановых балок и колонн требовалось выполнять сплошными двусторонними швами (с наложением швов снизу тормозного настила) вне зависимости от режима работы кранов.

Авторы более позднего справочного документа по проектированию металлических конструкций [3], очевидно, сочли некоторые требования представленных выше решений излишне сложными. Поэтому вариант 1 в справочник [3] не вошел, а требование подварки продольного шва снизу осталось только для подкрановых конструкций для мостовых кранов режимов работы 7К...8К (рис. 1, б). Для других режимов работы мостовых кранов тормозной лист приваривается сплошным швом только сверху (рис. 6.26, 6.27 [3]).

* Сообщение 1 в № 4, 2008 г.; сообщение 2 в № 1, 2009 г.

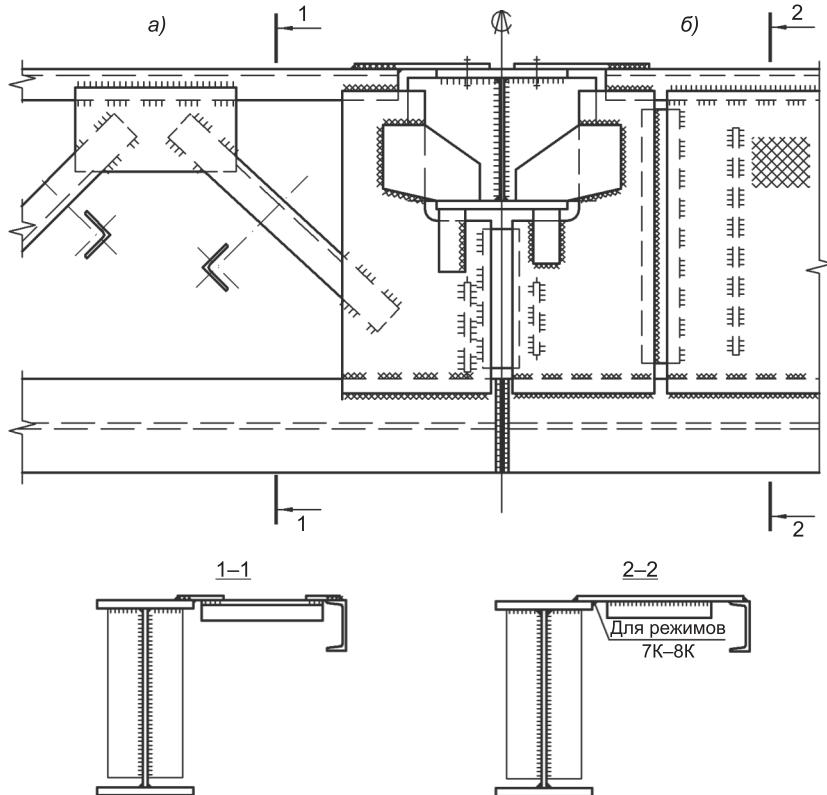


Рис. 1. Варианты раскрепления верхнего пояса подкрановой балки в горизонтальной плоскости

а) решетчатая тормозная ферма; б) сплошностенчатая тормозная балка

Известно, что ТК является весьма повреждаемым элементом подкрановых конструкций. По данным [3], в них появляются около 20 % от общего числа усталостных повреждений элементов подкранового пути. Выход из строя связан, с одной стороны, с низким качеством оформления швов приварки настила к верхнему поясу, с другой — с высокой нагруженностью этого узла. Авторы настоящей работы не встречали в литературе специальных указаний по методике определения усилий в швах крепления к верхнему поясу. Эти факты свидетельствуют о недостаточном внимании к обеспечению долговечности ТК и недооценке ее роли в работе подкранового бруса. У монтажников и эксплуатационных служб сохраняется отношение к ТК как к второстепенной конструкции. Поэтому ослабление требований к оформлению и креплению ТК в [3] вряд ли является обоснованным.

Тормозная конструкция влияет на общее и местное напряженное состояние подкрановой балки. Влияние ТК на общее напряженное состояние подкрановой балки связано с тем, что ТК включается в совместную работу с подкрановой балкой на общий косой изгиб с кручением. Натурный эксперимент [4] и сопоставление с теоретическими расчетами (с учетом стесненного кручения) показали, что благодаря включению в работу ТК конструктивная поправка по нормальным напряжениям (отношение экспериментальных напряжений к теоретическим) составляет 0,71...0,74. Таким образом, определение нормальных напряжений по двучленной формуле, принятой в проектной практике (табл. 6.8 [3]), обеспечивает существенный запас прочности. Противоположная картина с касательными напряжениями. При расчете подкранового бруса как тонкостенного стержня с учетом стесненного кручения касательные напряжения в мес-

те прикрепления настила к верхнему поясу превышают значения, определенные по применяемой двучленной формуле в 5–8 раз [4], т.е. фактическая нагруженность узла соединения верхнего пояса с тормозным листом может оказаться значительно выше, чем это принимается при сложившихся подходах при проектировании. Однако подробного всестороннего экспериментального подтверждения этим данным нет.

Известны четыре варианта раскрепления подкрановых балок в горизонтальной плоскости:

- решетчатая тормозная ферма в уровне верхнего пояса;
- сплошной тормозной лист в уровне верхнего пояса;
- пониженное расположение тормозной конструкции;
- отсутствие раскрепления.

Следует отметить двойственный эффект влияния тормозной конструкции на нагруженность верхней зоны стенки при местном кручении. С одной стороны, при закручивании верхнего пояса тормозная конструкция воспринимает часть сосредоточенного крутящего момента, действующего на пояс, разгружая стенку; с другой стороны, сдерживание перемещений верхнего пояса в горизонтальной плоскости ведет к увеличению кривизны верхней зоны стенки и, как следствие, к увеличению напряжений местного изгиба. Исходя из этих представлений наихудший случай компоновки будет при наличии тормозной фермы в уровне верхнего пояса. Дополнительное нагружение осуществляется по следующему механизму. При вертикальном прогибе подкранового бруса его контур искается, верхний пояс балки поворачивается, так как тормозной лист препятствует вертикальному прогибу балки. Это вызывает дополнительный местный изгиб стенки балки. Эксперимент показал [4], что даже при отсутствии местной нагрузки в отсеке при общем прогибе балки верхний пояс закручивается, а верхняя зона стенки (ВЗС) отсека испытывает местный изгиб.

И в первом и во втором случае деформации швы крепления настила к поясу испытывают дополнительные изгибные усилия, не учитываемые расчетами. Необходимо особо подчеркнуть, что при этом виде деформаций при односторонней сварке (наложении швов только сверху верхнего пояса) работа шва резко ухудшается, в шве возникают изгибные усилия. Этим, в частности, можно объяснить частое повреждение этих швов. По этой причине, очевидно, необходимо вернуться к требованию наложения шва снизу тормозного листа вне зависимости от режима работы мостовых кранов или рассматривать возможность крепления тормозного листа на высокопрочных болтах. Исходя из этих представлений максимальный уровень напряжений будет в случае горизонтального раскрепления верхнего пояса и отсутствия сопротивления кручению верхнего пояса со стороны тормозной конструкции, т.е. при наличии тормозной фермы в уровне верхнего пояса.

Поддерживающее влияние ТК при местном кручении при расчетах как при новом проектировании, так и при оценке технического состояния эксплуатируемой конструкции не учитывается. Между тем есть основания полагать, что при надлежащем надежном оформлении узла крепления к верхнему поясу возможно выявление резервов в нагруженности стенки, особенно при безреберном решении балок на основе прокатных профилей. Цель данного этапа работы — исследование влияния тормозной конструкции на НДС верхней зоны стенки.

Коротко остановимся на полученных ранее экспериментальных данных. Единственное известное экспериментальное исследование влияния тормозной конструкции на напряженное состояние ВЗС при местном

кручении верхнего пояса проводил В.М. Горпинченко¹. В 1980-х годах он испытал сварную модель подкрановой балки при сосредоточенном крутящем моменте, приложенном непосредственно к верхнему поясу при различной длине отсека стенки. Крепление тормозной конструкции к верхнему поясу было выполнено на сварке. Сделан вывод, что наличие тормозной конструкции оказывает значительное влияние на НДС стенки при кручении верхнего пояса. Необходимо отметить, что В.М. Горпинченко одним из первых получил экспериментальные графики зависимости напряжений местного изгиба от длины отсека стенки сварной балки с выходом на горизонтальный участок безреберного случая работы. Представленные им на рис. 2, а аппроксимирующие кривые показывают, что степень влияния ТК зависит от длины отсека стенки: при увеличении длины отсека это влияние растет. Так, при $a/2h_w = 0,5$ снижение напряжений σ_{fy} в результате включения в работу тормозной конструкции составляет 19 %, а при увеличении $a/2h_w$ до 1,5 достигает 32 %.

В настоящем экспериментальном исследовании «поддерживающее» влияние тормозной конструкции изучалось при загружении моделей БТ1,

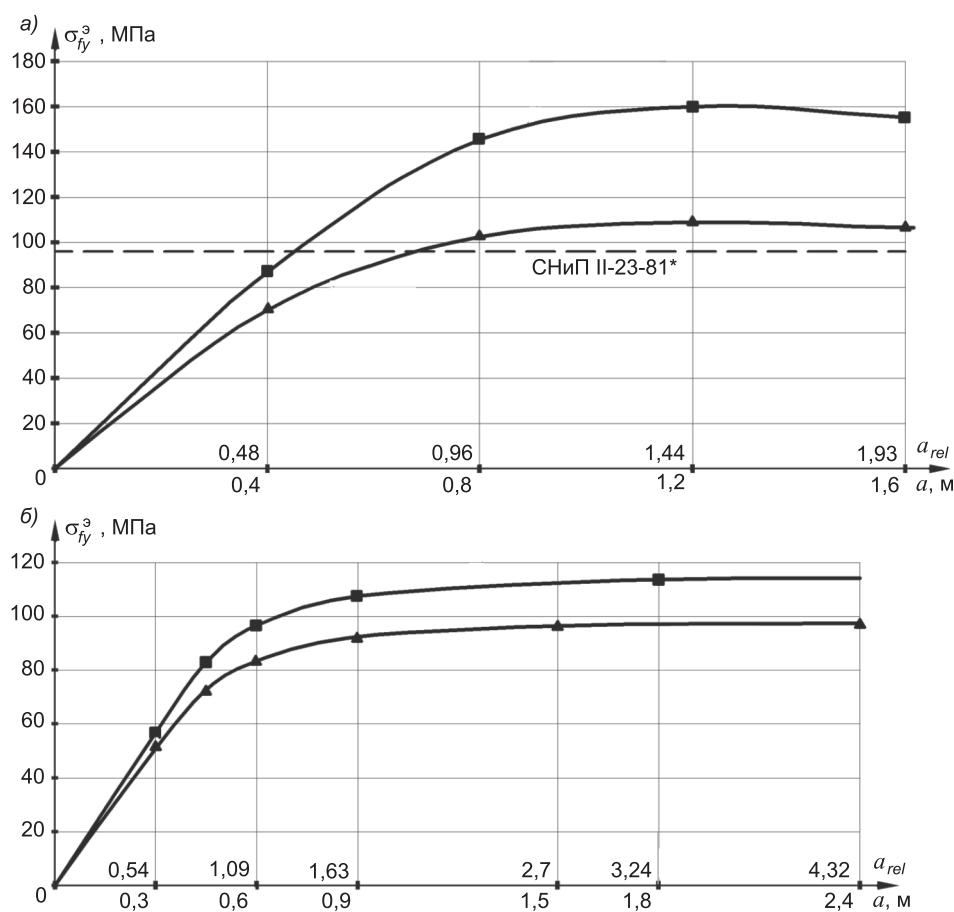


Рис. 2. Зависимость максимальных напряжений σ_{fy} от относительной длины отсека стенки a_{rel} и наличия тормозной конструкции в экспериментальных моделях:
а — по результатам В.М. Горпинченко; б — по результатам эксперимента, проведенного авторами (модель БТ1); —▲— с тормозной конструкцией (рис. 3, г); —■— без тормозной конструкции

¹ Горпинченко В.М. Разработка метода расчета на выносливость и создание надежных и эффективных конструкций балок для подвижной нагрузки: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ЦНИИСК, 1983. 329 с.

БТ2 (рис. 3, а и 3, б, описание моделей см. [5]). Тормозная конструкция (рис. 3, в) крепилась к верхнему поясу болтами М14 класса прочности 8.8 с шагом 300 мм с предварительным натяжением (момент закручивания 210 Н·м). При загружении модели БТ1 кроме безреберного варианта тормозного листа исследовались варианты с установкой ребер жесткости в тормозной конструкции с шагом 1,0 и 0,5 м (рис. 3, в). Ребра жесткости в тормозной конструкции выполнялись из уголка 63×5, прикрепляемого болтами М12 с предварительным натяжением. Результаты представлены на рис. 2, 4 и в таблице.

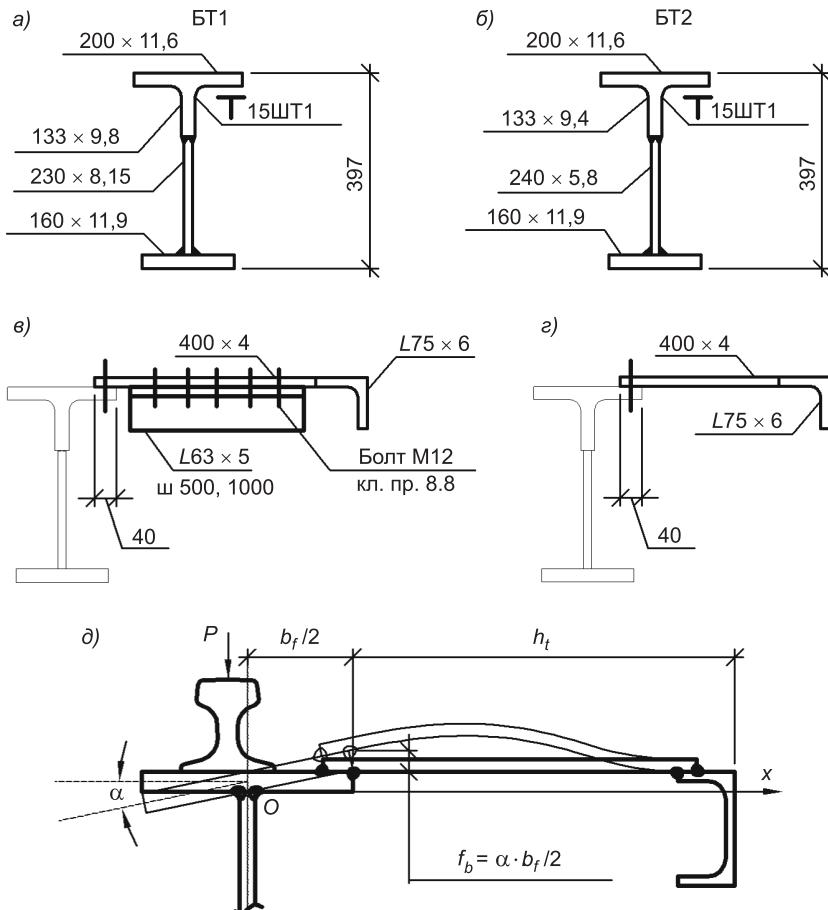


Рис. 3. Экспериментальные модели при исследовании тормозной конструкции (поперечные сечения)

а — БТ1; б — БТ2; в и г — варианты исполнения тормозной конструкции;
д — общая схема деформирования тормозной балки

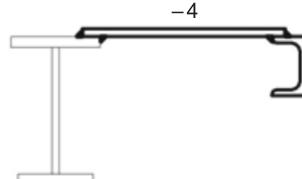
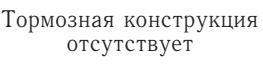
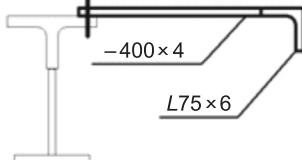
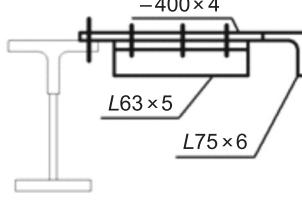
Рассмотрим предлагаемую модель определения напряжений σ_{fy} , учитывающую влияние ТК. Ранее авторами данной статьи была опубликована зависимость² для определения максимальных напряжений местного изгиба стенки:

$$\sigma_{fy} = \frac{6M_l k_r}{t_w^2 l_{ef,f}}, \quad (1)$$

² Васюта Б.Н., Чалков Г.В. Экспериментальное исследование моделей подкрановых балок на основе прокатных профилей при местном кручении верхнего пояса (сообщение 2) // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 1.

где M_t — сосредоточенный крутящий момент, приложенный к рельсу;
 t_w — толщина стенки;
 $l_{ef, f}$ — условная длина распределения крутящего момента на стенку (зависимость получена ранее [5]).

Сводная таблица экспериментальных показателей исследования влияния тормозной конструкции

Автор	Модель I_t , см ⁴	a , мм	a_{rel}	Тормозная конструкция	$\sigma_{f,y,z}$, МПа	k_r	k_t
Б.М. Горпинченко	<u>Сер. 1</u> 2,05	400	0,48		71	0,66	0,82
		800	0,96		103	0,945	0,70
		1200	1,44		108,9	1	0,68
		1600	1,93		107,3	0,985	0,68
		400	0,48		87	0,54	—
		800	0,96		146	0,91	
		1200	1,44		160	1	
		1600	1,93		156,8	0,98	
		300	0,54		52,8	0,47	
Б.Н. Васюта, Г.В. Чалков	<u>БТ1</u> 15,44	450	0,81		74,2	0,66	—
		600	1,09		87,3	0,77	
		900	1,63		99,9	0,89	
		1800	2,44		105,1	0,93	
		1950	3,52		112,8	1,0	
		300	0,54		56,5	0,59	0,96
		450	0,81		74,2	0,77	1
		600	1,09		89,4	0,93	0,975
		900	1,63		95,5	0,99	0,955
		1350	2,44		94,5	0,98	
	<u>БТ2</u> 14,96	1950	3,52		96,4	1,00	0,85
		3000	5,41		94,6	1	0,84
		300	0,41		44,6	0,46	—
		450	0,62		60,1	0,62	
		600	0,83		76,9	0,80	
		900	1,24		85,0	0,88	
		1800	2,48		96,7	1	
		3000	4,14		85,1	1	0,88

Коэффициент влияния длины отсека:

$$k_r = \text{th}(\mu_L a_{rel}), \quad (2)$$

где μ_L — коэффициент расчетной длины отсека стенки, отражающий условия защемления стенки поперечными ребрами жесткости;

$a_{rel} = a / l_{ef,f}$ — относительная длина отсека стенки;

a — длина отсека стенки.

В представляемой экспериментальной части исследования коэффициент μ_L определяется опытным путем.

Выражение (1) описывает затухающий характер зависимости σ_{fy} от a с выходом на горизонтальный участок, что подтверждается экспериментами, проводимыми ранее В.М. Горпинченко, а также авторами настоящей статьи (см. рис. 2). При увеличении длины отсека стенки влияние поперечных ребер на величину напряжений местного изгиба ослабевает и система постепенно стремится к случаю, когда влиянием поперечных ребер на величину изгибных напряжений можно пренебречь. Этот частный случай работы стенки при местном изгибе получил название «безреберного» [5], а максимальные напряжения σ_{fy} в середине отсека, соответствующие этому случаю работы, — «пределными».

На первом этапе экспериментально исследовалось влияние ТК на величину напряжений местного изгиба в случае безреберной работы стенки (рис. 2, б). Проведенный эксперимент показал, что прикрепление тормозной конструкции к верхнему поясу моделей БТ1, БТ2 в безреберном случае приводит к снижению максимальных напряжений σ_{fy} соответственно на 15 и 9 %. В эксперименте В.М. Горпинченко снижение напряжений в безреберном случае составило 32 %. Более высокая эффективность снижения напряжений в его эксперименте обусловлена большим соотношением толщин стенки тормозной конструкции и подкрановой балки по сравнению с экспериментом авторов. При одинаковой толщине тормозной конструкции стенка подкрановой балки в эксперименте В.М. Горпинченко имела толщину в два раза ниже, чем у авторов. Это обусловило более существенную степень разгружающего влияния тормозной конструкции в его эксперименте.

Рассмотрим физический смысл зависимости (1). В числителе произведение $M_t k_r$ представляет собой долю крутящего момента, воспринимаемого стенкой балки при местном кручении верхнего пояса. При этом оставшаяся часть $M_t(1 - k_r)$ воспринимается поперечными ребрами жесткости. В безреберном случае (при $k_r = 1$) весь момент воспринимается стенкой. При наличии жесткого сопряжения тормозной конструкции с верхним поясом часть крутящего момента, действующего на пояс, будет восприниматься ТК. В этом случае зависимость (1) можно дополнить коэффициентом k_t , учитывающим влияние тормозной конструкции:

$$\sigma_{fy} = \frac{6M_t k_r k_t}{t_w^2 l_{ef,f}}. \quad (3)$$

Произведение $M_t k_r k_t$ представляет собой долю крутящего момента, воспринимаемого стенкой балки с учетом влияния ТК.

В соответствии с предложенной зависимостью (3) экспериментальные значения коэффициентов влияния ТК составили: для модели серии 1 (по результатам В.М. Горпинченко) $k_t = 0,68$; для модели БТ1 $k_t = 0,85$; для модели БТ2 $k_t = 0,88$. При установленных ребрах поперек тормозного листа в модели БТ1 коэффициент снижается на 1 % ($k_t = 0,84$), т.е. доля

включения в работу тормозной конструкции существенное. Экспериментальные значения коэффициента k_t в серии 1 существенно ниже, чем в моделях БТ1 и БТ2. Это объясняется меньшим значением цилиндрической жесткости стенки модели серии 1 по сравнению с моделями БТ1 и БТ2 при равной цилиндрической жесткости тормозного листа.

Далее проведен анализ зависимости влияния ребер жесткости k_r от длины отсека стенки для всех экспериментальных моделей с учетом ТК (рис. 4). На графиках попарно приведены значения коэффициента k_r при разных значениях длины отсека стенки для двух случаев: с тормозной конструкцией и без нее (квадратные и треугольные маркеры). По этим

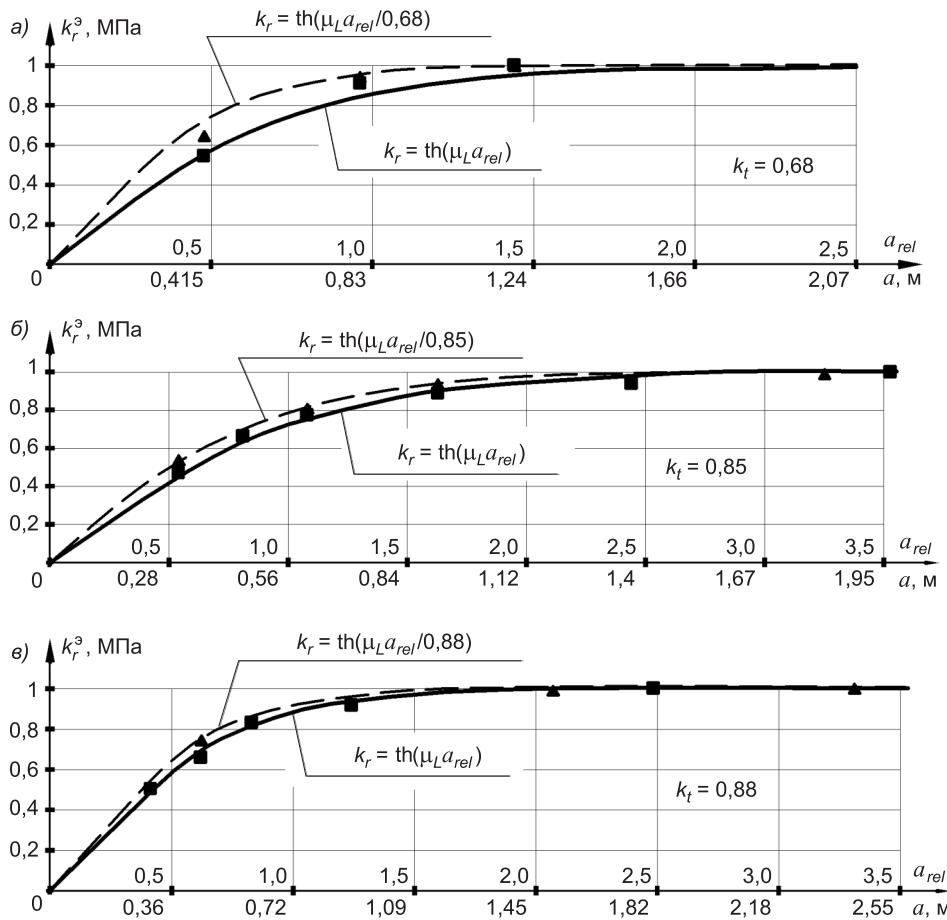


Рис. 4. Влияние наличия тормозной конструкции на зависимость коэффициента влияния длины отсека k_r

a — по данным В.М. Горпинченко (серия 1); *б* — модель БТ1; *в* — модель БТ2;
▲ — экспериментальные значения и аппроксимирующая кривая k_r при наличии тормозной конструкции; *■* — то же, без тормозной конструкции

значениям построены кривые аппроксимации зависимостью (2) с использованием метода наименьших квадратов. Для всех моделей выявлено качественное отличие зависимостей: в случае наличия тормозной конструкции кривая имеет большую кривизну, чем при ее отсутствии. Если зависимость k_t при отсутствии тормозной конструкции для всех экспериментальных моделей описывается зависимостью

$$k_r = \operatorname{th}(\mu_L a_{rel}), \quad (4)$$

то при наличии ТК на основе анализа вида графиков она дополняется множителем $1/\chi$:

$$k_r = \text{th}\left(\frac{\mu_L a_{rel}}{\chi}\right). \quad (5)$$

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что зависимость значений множителя χ от коэффициента влияния тормозной конструкции k_t имеет линейный характер с коэффициентом пропорциональности, равным единице: $\chi = k_t$ (с коэффициентом корреляции, равным 0,998). Тогда зависимость коэффициента влияния длины отсека в случае наличия ТК можно представить в виде

$$k_r = \text{th}\left(\frac{\mu_L a_{rel}}{k_t}\right). \quad (6)$$

Выводы. 1. Поддерживающее влияние тормозной конструкции является существенным фактором снижения напряжений в ВЗС от местного кручения верхнего пояса. Эффект снижения напряжений местного изгиба при традиционном реберном решении составляет от 4 до 18 %. Это влияние целесообразно учитывать при новом проектировании конструкций и изыскании резервов циклического ресурса.

2. Уточняя вывод, сделанный В.М. Горпинченко, необходимо отметить, что максимальный разгружающий эффект влияния тормозной конструкции возникает непосредственно в «безреберном» случае работы стенки при местном изгибе, а не ограничивается соотношением $a = 2h_\omega$, как было показано ранее.

3. Вне зависимости от режима работы крана сопряжение верхнего пояса с тормозной балкой должно быть жестким: с соединением на высокопрочных болтах или сварное, с верхним и нижним непрерывными швами. Наличие существенного изгибающего момента в узле сопряжения верхнего пояса с тормозной конструкцией и отсутствие потолочного сварного шва при приварке тормозной конструкции к верхнему поясу значительно снижает циклическую долговечность данного соединения.

4. Целесообразно с использованием аналитической модели или серии численных расчетов установить количественные зависимости коэффициента влияния тормозной конструкции k_t .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Металлические конструкции: справочник проектировщика / под ред. Н.П. Мельникова. — 2-е изд., перераб. и доп. [Текст]. — М. : Стройиздат, 1980. — 776 с.
2. Руководство по проектированию стальных подкрановых конструкций [Текст]. — М. : Госстрой, ЦНИИПСК, 1976.
3. Металлические конструкции: справочник проектировщика. — В 3 т. Т. 2 [Текст] / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова). — М. : Изд-во АСВ, 1998. — 576 с.
4. Уваров, Б.Ю. Исследование действительного напряженного состояния подкрановых балок и их элементов [Текст] / Б.Ю. Уваров, Ю.И. Кудишин, В.И. Симонов // Металлические конструкции : сб. науч. тр. — М. : Стройиздат, 1966.
5. Васюта, Б.Н. Экспериментальное исследование моделей подкрановых балок на основе прокатных профилей при местном кручении верхнего пояса (сообщение 1) [Текст] / Б.Н. Васюта, Г.В. Чалков // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 4. — С. 115–125.

*ВАСЮТА Борис Николаевич, канд. техн. наук, доц.
Научно-исследовательское проектно-строительное предприятие «РЕКОН»,
г. Новосибирск
ЧАЛКОВ Геннадий Владимирович, асп.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 13.11.11

Vasyuta Boris Nikolaevich, candidate of technical sciences, assistant professor,
Research and Development Design and Construction Plant «RECON», Russia
Chalkov Gennady Vladimirovich, post-graduate student, Novosibirsk State University
of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF CRANE GIRDER MODELS BASED
ON ROLLING SECTIONS AT LOCAL TORSION
OF THE TOP FLANGE**
R e p o r t 3

This report is dedicated to experiences results description of apron plate influence,
notably, about stress loading of walls upper zone at local torsion of a top flange.

Key words: steel crane beam, local torsion, rail, apron plate, bending stress.

REFERENCES

1. Metal Structures: Designers Handbook / Ed. N.P. Melnikov. — 2nd edition [Text]. — M. : Stroyizdat, 1980. — 776 c.
2. Steel Crane-supporting Structures Designers Handbook [Text]. — M. : Gosstroy, CNIIPSK, 1976.
3. Metal Structures: Designers Handbook. — 3 V. V. 2 [Text] / Ed. V.V. Kuznetsov (CNIIPSK named N.P. Melnikov). — M. : ASV, 1998. — 576 p.
4. Uvarov, B.Yu. Actual Mode Shapes Research of Crane-supporting Girders and Their Elements [Text] / B.Yu. Uvarov, Yu.I. Kudishin, V.I. Symonov // Metal Structures. — M. : Stroyizdat, 1966.
5. V a s y u t a, B.N. Experimental research of crane girder models based on rolling sections at local torsion of the top flange (Report 1) [Text] / B.N. Vasyuta, G.V. Chalkov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 4. — P. 115–125.

НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

НОВОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ*

Раскрытие данной темы опирается на системную совокупность проблем: философии, теории познания, психологии творческого мышления, научно-инженерных знаний, умения исследовать и изобретать, а также на устремление воспитать творческую личность, вооружить ее умением искать и находить себя в научном творчестве.

Все эти проблемы нашли оригинальное воплощение в данном учебном пособии для строительных специальностей на основе **системного подхода**. Именно системный подход, его функционально-структурный вариант является той идеологией и практической философией, которые необходимы для овладения сущностью и реальными возможностями методологии научного творчества. Для этого читателю предоставлены благоприятные условия, начиная с определений «что есть методология», «что есть наука», «что есть творчество».

Овладению системным подходом посвящена первая часть книги (первые три главы), которая подготовливает к созданию САТМ — системного творческого алгоритма мышления (часть вторая), на котором основана исследовательская и изобретательская части книги. Замечательной особенностью САТМ является его естественность, соответствующая природному мышлению человека. Ничего не требуется запоминать, алгоритм мышления начинается с определения потребности решения проблемы, образования системы (т.е. полного набора взаимосвязанных элементов, нацеленных на возможность ее решения), затем выполняется анализ противоречий данной системы и определяется ее кульминационный пункт — преодоление противоречия с помощью разных методов принятия решений (в том числе физических эффектов) с учетом закономерностей развития техники, и, наконец, завершается алгоритм оценкой принятого решения и порождаемых им последствий.

Следующая часть книги посвящена применению САТМ к актуальным проблемам строительства, среди которых: энергетический подход к формообразованию конструкций, к инновациям фундаментостроения малоэтажных зданий в сложных грунтовых условиях, к инженерным аспектам оптимизации строительных конструкций и др.

Предложен и реализован **алгоритм поиска принципов**, порождающих инновационные решения, которые принимаются сначала на функциональном уровне, а затем осуществляется его многообразная структурная реализация. Среди этих принципов — создание управляемых конструкций, энергетический подход к конструированию, принципы внешней сейсмозащиты зданий, особенно в сложных грунтовых условиях.

Важной и замечательной частью книги является **практикум нешаблонного творческого мышления** в виде набора семинарских за-

* Абовский Н.П. Методология научного творчества. Научиться исследовать и изобретать: учебн. пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 334 с.

нятий по следующим темам: системный подход, эволюция идей, целей и задач дисциплины, методология научных исследований, принятие решений в условиях неопределенности, выбор и обоснование темы научных исследований, самовоспитание творческой личности, приобретение навыков творческой работы и овладение умениями действительно определять понятия и правильно мыслить и вести научную дискуссию, рассматривая ее как некоторую систему. Интересны семинары по взаимосвязи творчества и компьютерных возможностей, в том числе компьютерной поддержки принятия решений, оценки достоинства и недостатков математической формализации и ряд других.

Следует отметить существенное отличие данного учебного пособия от некоторых других аналогичных тематических разработок, которые сводят методологию научного творчества к набору экзотических примеров, а само творчество представляют как некоторое таинство, загадку. В данном же пособии раскрывается сущность методологии научного творчества и создаются все условия для овладения читателем мастерством исследователя и изобретателя.

Можно выразить уверенность в том, что потребность и интерес строителей приведет к переизданию данного пособия, не имеющего аналогов в строительной литературе.

*И.С. ИНЖУТОВ, д-р техн. наук, проф.,
директор Инженерно-строительного института
Сибирского федерального университета, г. Красноярск*

Российская академия архитектуры и строительных наук
Международная ассоциация строительных высших учебных заведений
Учебно-методическое объединение ВУЗов РФ по образованию в области строительства
ФГБОУ ВПО Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
НИУ ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет



IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Россия, Челябинск

19–22 июня 2012 года

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СИМПОЗИУМА

1. Моделирование жизненных циклов конструкций и сооружений на стадиях их возведения, нагрузок, сопротивляемости прогрессирующему разрушению.
2. Нелинейные модели материалов, конструкций зданий и сооружений при проектировании, оптимизации и реконструкции.
3. Материалы и конструкции в нестационарных физических условиях при сложных воздействиях.
4. Моделирование повреждаемости и разрушения конструкций. Математические модели в системах мониторинга зданий и сооружений.
5. Возможности современных программных средств при анализе и проектировании строительных объектов. Решатели в задачах строительной механики. Проблемы и перспективы.
6. Дискуссия. Применение современных программных комплексов в учебном процессе: место классических методов прикладной механики (строительной механики) в образовательном процессе будущих инженеров-строителей; постановка задачи — анализ результатов.

Программа симпозиума.

Программа симпозиума включает в себя устные и стеновые доклады. Стеновые доклады могут быть размещены в первый день работы симпозиума. В рамках симпозиума предполагается организация «круглых столов» для обсуждения актуальных проблем и достижений в области компьютерного моделирования конструкций и сооружений.

Публикация материалов.

По рекомендации Программного комитета развернутые доклады будут изданы в журнале «Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». Англоязычные версии докладов могут быть опубликованы в международном рецензируемом журнале *«International Journal for Computation Civil and Structural Engineering»*.

Условия регистрации, оплаты участия и правила оформления тезисов докладов — на WEB-сайтах ЮУрГУ и МГСУ,

WEB-сайт ЮУрГУ: www.susu.ac.ru/~f/as/APCSCE, **WEB-сайт МГСУ:** www.mgsu.ru

Контакты: Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения» и «Строительная механика».

Телефоны: +7 (351) 267-90-00 (каф. строительной механики, заведующий кафедрой Потапов Александр Николаевич),
+7 (351) 267-92-94 (каф. СКиИС, заведующий кафедрой Сабуров Валерий Федорович),
+7 (902) 867-11-95 (секретарь оргкомитета Гусева Наталья Владимировна)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ И ЩАДЯЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Специалисты НГАСУ (Сибстрин) в области технологии строительного производства предлагают технологию зимнего бетонирования строительных конструкций с обеспечением энергосбережения.

Главные преимущества новой технологии:

- обеспечение энергосбережения до 25% при зимнем бетонировании конструкций призматической формы и до 40% при бетонировании типовых кустов буронабивных свай;
- гарантия отсутствия деструктивных процессов в бетоне без применения средств измерения.

Энергосбережение достигается путем применения регулируемых (прерывного, непрерывно-ступенчатого и пр.) режимов тепловой обработки бетона. Это позволяет полезно использовать суммарную тепловую инерцию:

- инерцию бетона (конструкции призматической формы),
 - инерцию грунтов основания (фундаментные блоки на мерзлом основании),
- а также взаимное тепловое влияние конструкций (буронабивных свай в составе типовых кустов).

Параметры регулирования режимов тепловой обработки обосновываются на стадии разработки ППР с использованием пакета программных продуктов и отвечают требованиям СНиП 52-01—2003.

В настоящее время НГАСУ (Сибстрин) научно разработана, а Конструкторско-технологическим институтом вычислительной техники СО РАН практически реализована «Система автоматического управления тепловой обработкой бетона на базе персонального компьютера».

Важное положительное качество предложенного устройства —нейтрализация возможных ошибок в расчете электрической сети нагревателей, а также последствий несовпадения расчетной и фактической температуры воздуха.

Разработчики: Попов Ю.А., д-р техн. наук, проф. НГАСУ (Сибстрин),
Молодин В.В., канд. техн. наук, доц. ООО «Евросети»,
Лунев Ю.В., канд. техн. наук НГАСУ (Сибстрин),
Суханов А.С., нач. отдела программирования НГАСУ
(Сибстрин)

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин).

E-mail: ntio-ngasu@yandex.ru

Internet: www.sibstrin.ru/innovation

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 подписью автора или руководителя представляющей статью организациии. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Сыг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и **e-mail** авторов;

— **название статьи на английском языке**;

— **аннотацию на английском языке**;

— **ключевые слова на английском языке**;

— **библиографический список на английском языке**.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (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 следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. **Русские и греческие буквы** и индексы, а также **цифры**, **аббревиатуры** и **стандартные функции** (Re, cos и др.) набираются **прямым шрифтом**. **Латинские буквы** набирать **курсивом**. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2012 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже 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 1-е полугодие 2012 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1440 р.

Цена отдельного номера — 240 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**

№ 2 (638) 2012

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Т.П. Петроченко*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*