

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
АССОЦИАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 8 (608)

Август 2009 г.

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

Главный редактор В. Г. Себешев

Редакционная коллегия: А. А. Афанасьев,
В. Л. Баладинский, Т. И. Баранова, В. А. Воробьев,
П. А. Дмитриев, В. А. Игнатьев, В. И. Костин (зам.
гл. редактора), Г. Б. Лебедев (зам. гл. редактора),
Е. М. Лобанов, Л. С. Ляхович, В. И. Морозов,
Ю. П. Панибратов, Ю. А. Попов, Ю. П. Правдивец,
В. Г. Себешев, И. Б. Соколов, Ю. А. Феофанов,
Е. М. Чернышов, Г. Н. Шоршнев

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 14.09.09. Формат 70×108¹/₁₆.
Усл. печ. л. 11,55+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 437.

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

Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕР- НЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Мищенко А. В., Немировский Ю. В.** Динамический расчет сооружений башенного типа на ветровую нагрузку 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МА- ТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Фатыхов Г. А., Кузнецов Д. П.** Влияние добавок молотых компонентов мелкозернистого бетона на свойства композиционных шлакощелочных вяжущих 11

- Перфилов В. А., Алаторцева У. В., Дмитрук М. И., Жога И. Л.** Применение модифицирующих нанодобавок для повышения прочности фибробетонов 17

- Зырянова В. Н., Бердов Г. И., Верещагин В. И.** Магнезиальное вяжущее из шламов магнийхлоридных рассолов 21

- Косач А. Ф., Кузнецова И. Н., Рашупкина М. А.** Влияние минерального состава цемента на теплопроводность цементного камня 26

- Кара-сал Б. К., Ондар Э. Э., Сат К. Л.** Керамический материал на основе отходов извлечения кобальтового концентрата 32

- Немец И. И., Ивлева И. А.** Прочнопористая стеновая керамика 37

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Кочев А. Г., Сергиенко А. С., Кочева М. А., Федорова О. В. Пути создания энергосберегающих систем кондиционирования микроклимата в православных храмах	42
Морозов А. Ю., Шумилов Р. Н., Толстова Ю. И., Ушаков М. Г. Повышение эффективности вентиляции в спекательных отделениях агломерационных фабрик	48
Унаспеков Б. А., Алимова К. К. Интенсификация тепловой работы и совершенствование системы газоснабжения высокотемпературной туннельной печи	55
Кротов В. М. Исследование тепловых характеристик вертикальных грунтовых теплообменников систем теплоснабжения	61
Халтурина Т. И., Чурбакова О. В. Регенерация смазочно-охлаждающих жидкостей	66

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

Строев Д. А., Гаркавенко С. Я. Зависимость деформативных свойств асфальтогранулобетонов от вида применяемых вяжущих и скоростей нагружения	72
Заморин В. В. Исследование областей применения одномерной и двумерной интерпретационных моделей земляного полотна железных и автомобильных дорог при его диагностике методом электромагнитного сканирования	78

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А., Гладышев Г. В., Кутумов А. А. Управляемые камеры с присоединенным объемом в дроссельном пневмоударном механизме	89
--	----

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

Потапов А. Д., Сенющенко И. М. Градостроительный потенциал овражно-балочных территорий	95
Тарасова Л. Г. Социально-территориальная структуризация городского сообщества как предпосылка развития процессов самоорганизации в крупных городах	101

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Леонович С. Н., Снежков Д. Ю. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом контроля	108
Притыкин А. И. Повышение местной устойчивости перфорированных балок за счет смещения оси расположения отверстий	116
Рудяк В. Я., Серяков А. В. Напряженное состояние пород вблизи наклонной траншеи или выработки	122

Памяти ученого и педагога	130
--	------------

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.971

А. В. МИЩЕНКО, Ю. В. НЕМИРОВСКИЙ

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА НА ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ¹

Для высотного сооружения, моделируемого многослойным стержнем переменного сечения, получены разрешающие дифференциальные соотношения вынужденных колебаний. Учтено наличие распределенных и сосредоточенных масс, сил вязкоупругого взаимодействия с внешней средой, инерции вращения. Функциональная зависимость нагрузок от времени представлена в виде рядов Фурье...

высотное сооружение, ветровая нагрузка, слоистый стержень, жесткость, вязкость.

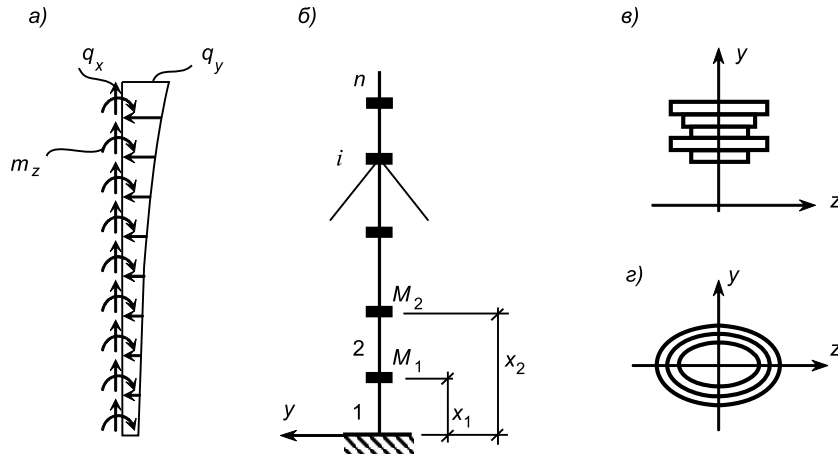
Инженерные сооружения, такие как высотные здания, башни, мачты различного назначения, дымовые и вентиляционные трубы, в силу значительности своей высоты, специфики предназначения, конструктивного и объемно-планировочного исполнения являются объектами уникальными, требующими индивидуального ответственного подхода при проектировании. Значительный эффект в снижении их материалоемкости и стоимости может быть достигнут на пути использования современных композитных материалов и конструкций.

Особую и весьма важную роль для высотных сооружений играют нестационарные воздействия, в частности, ветровые [1–3]. Динамическая реакция неоднородного сооружения на такие воздействия в существенной мере определяется его внутренними жесткостными и вязкостными характеристиками, аэродинамическими параметрами, условиями взаимодействия объекта со средой, что для неоднородных сооружений в действующих нормах проектирования не отражено в должной мере.

Указанные аспекты определяют практическую важность развития методов динамического расчета неоднородных высотных сооружений на ветровые воздействия.

1. Расчетная модель. Сооружение моделируется плоским консольным неоднородным стержнем переменного сечения с промежуточными упругоподатливыми связями, несущим наряду с распределенными также и дискретные массы с тремя степенями свободы, сосредоточенными в центрах приведения на границах n расчетных участков (рисунок, б). Стержень, составленный из s_n продольных слоев, имеет симметричную структуру, которая в поперечном сечении характеризуется эквидистантными (см. рисунок, в) или концентрическими (рисунок, г) границами раздела слоев с произвольной привязкой в системе координат xuz к отсчетной плоскости $y = 0$. Геометрическая ось стержня x образована пересечением силовой $z = 0$ и отсчетной плоскостей.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки РФ, номер проекта 2.1.2/4822.



Расчетные схемы нагрузок (а), стержня (б), поперечных сечений (в, г)

В пределах i -го участка ($i = 1, \dots, n$) к стержню приложены (см. рисунок, а) порожденные ветром² динамические нагрузки $q_{yi}(x, t)$, $q_{xi}(x, t)$ в направлении осей y , x и моменты $m_{zi}(x, t)$ в плоскости xy . Первая нагрузка возникает в результате нормального давления ветрового потока на вертикальную поверхность сооружения, вторая обусловлена силами трения между вертикальной составляющей ветра и поверхностью сооружения [1, 2]. Моменты появятся в результате приведения нагрузок к отсчетной поверхности $y = 0$.

В результате принятия гипотез Бернулли — Эйлера (что является оправданным для сооружений рассматриваемого типа) получим следующие соотношения для функций продольных u и поперечных v перемещений, деформаций ϵ_x , ϵ_y в направлении осей x , y и сдвигов γ_{yx} :

$$\begin{aligned} u(x, y, t) &= u_0(x, t) - \theta(x, t)y, \quad v(x, y, t) = v_0(x, t), \\ \epsilon_x(x, y, t) &= \epsilon_0(x, t) - \kappa(x, t)y, \quad \epsilon_y(x, y, t) = 0, \quad \gamma_{yx}(x, y, t) = 0, \\ \epsilon_0(x, t) &= u'_0(x, t), \quad \kappa(x, t) = \theta'(x, t), \quad \theta(x, t) = v'(x, t), \end{aligned} \quad (1)$$

где u_0 , v_0 — смещения точек продольной оси в направлении осей x , y ; θ — угол поворота плоскости поперечного сечения относительно оси z ; ϵ_0 , κ — деформация и кривизна геометрической оси стержня; штрихом обозначено дифференцирование по координате x .

Рассмотрим запись основных уравнений динамики гибкого стержня с учетом возможности непрерывного взаимодействия с упругой средой и наличием внешнего и внутреннего трения по гипотезе Фойгта. Материал k -го слоя ($k = 1, \dots, s_n$) характеризуется объемной плотностью ρ_k , модулем упругости E_k и коэффициентом вязкости η_k .

На основе подобной расчетной модели при воздействии произвольных не связанных между собой динамических нагрузок могут рассматриваться и некоторые другие задачи, в частности — задачи о собственных и вынужденных колебаниях слоистых многопролетных стержней на упругом основании при продольно-поперечном изгибе с учетом демпфирования.

При динамическом движении на стержень со стороны упругой среды с коэффициентами нормальной β_y и касательной β_x погонной жесткости на i -м участке действуют силы и моменты

$$q_{xi}^{(r)} = -\beta_x u(x, y_r, t), \quad q_{yi}^{(r)} = -\beta_y v(x, t), \quad m_{zi}^{(r)} = -\beta_x u(x, y_r, t) y_r. \quad (2)$$

² Беспрозванная И. М., Соколов А. Г., Фомин Г. М. Воздействие ветра на высокие сплошностенчатые сооружения. М.: Стройиздат, 1976. 183 с.

Через $y_r(x)$ обозначена координата уровня взаимодействия стержня с основанием (средой).

В задачах с демпфированием при воздействии динамических нагрузок, не являющихся ветровыми, следует учесть дополнительные реактивные силы со стороны вязкой среды, зависящие от скоростей относительных перемещений:

$$q_{xi}^{(s)} = - \int_{L(x)} \bar{c}_x \dot{u}(x, y, t) dl, \quad q_{yi}^{(s)} = -c_y \dot{v}(x, t), \quad m_{zi}^{(s)} = - \int_{L(x)} \bar{c}_x \dot{u}(x, y, t) y dl, \quad (3)$$

где \bar{c}_x — удельный коэффициент касательного сопротивления;
 c_y — погонный интегральный коэффициент сопротивления при поперечном смещении, учитывающий форму стержня;
 dl — элемент линии контура поперечного сечения длиной $L(x)$;
 точкой обозначена частная производная по времени.

При расчете на ветровое воздействие нагрузки (2), (3) не учитываются.

2. Основные соотношения. Интегральные уравнения движения для слоистого стержня, записанные с учетом реактивных нагрузок (2), (3) и гипотез (1), принимают вид

$$\begin{cases} N' + q_x - \beta_{xx} u_0 + \beta_{x\theta} \theta - c_{xx} \dot{u}_0 + c_{x\theta} \dot{\theta} = m_A \ddot{u}_0 - m_S \ddot{\theta}, \\ Q' - Nv'' - q_y + \beta_y v_0 + c_y \dot{v}_0 = -m_A \ddot{v}_0, \\ M' - Q + m_z + \beta_{x0} u_0 - \beta_{\theta\theta} \theta + c_{x\theta} \dot{u}_0 - c_{\theta\theta} \dot{\theta} = -m_S \ddot{u}_0 + m_I \ddot{\theta}. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь на основе (2), (3), (1) введены характеристики: жесткости основания β_{xx} , $\beta_{x\theta}$, $\beta_{\theta\theta}$, взаимодействующего со стержнем в уровне y_r

$$[\beta_{xx}, \beta_{x\theta}, \beta_{\theta\theta}](x) = \beta_x [1, y_r, y_r^2],$$

вязкости среды c_{xx} , $c_{x\theta}$, $c_{\theta\theta}$

$$[c_{xx}, c_{x\theta}, c_{\theta\theta}](x) = \int_{L(x)} \bar{c}_x [1, y, y^2] dl.$$

Инерционные члены в правых частях равенств (4) записаны с учетом массовых функциональных характеристик слоистого стержня

$$[m_A, m_S, m_I](x) = \sum_{k=1}^s \rho_k \int_{A_k} [1, y, y^2] dA.$$

Во втором равенстве системы (4) учтено слагаемое Nv'' , характерное для расчета в геометрически нелинейной постановке, отражающее влияние продольных сил в гибком стержне на поперечные перемещения. При колебаниях высотных сооружений, вызванных ветровой нагрузкой, данное слагаемое может быть линеаризовано путем приближенной замены полной продольной силы $N(x, t)$ ее статической составляющей $N_{St}(x)$.

Представив напряжение в k -м слое при вязкоупругом деформировании в форме

$$\sigma_k(x, y, t) = E_k \epsilon_x(x, y, t) + \eta_k E_k \dot{\epsilon}_x(x, y, t), \quad k=1, \dots, s_i,$$

после интегрирования по слоистому сечению получим физическую систему равенств для продольной силы $N(x, t)$ и изгибающего момента $M(x, t)$:

$$\begin{cases} D_A \epsilon_0 - D_S \kappa + B_A \dot{\epsilon}_0 - B_S \dot{\kappa} = N, \\ -D_S \epsilon_0 + D_I \kappa - B_S \dot{\epsilon}_0 + B_I \dot{\kappa} = M. \end{cases} \quad (5)$$

Функциональные коэффициенты при обобщенных деформациях ϵ_0, κ

$$[D_A, D_S, D_I](x) = \sum_{k=1}^S E_k \int_{A_k} [1, y, y^2] dA \quad (6)$$

представляют собой мембранную, смешанную и изгибную жесткости слоистого сечения, а при скоростях обобщенных деформаций $\dot{\epsilon}_0, \dot{\kappa}$ — функциональные вязкости слоистого сечения:

$$[B_A, B_S, B_I](x) = \sum_{k=1}^S \eta_k E_k \int_{A_k} [1, y, y^2] dA. \quad (7)$$

Объединяя (4), (5), учитывая (1), имеем разрешающую систему дифференциальных равенств для искомых перемещений $u_{0i}(x, t)$, $v_{0i}(x, t)$ на i -м участке. Выполнив переобозначение $u_{0i} \rightarrow u$, $v_{0i} \rightarrow v$, запишем ее в виде

$$\begin{cases} (D_A u' - D_S v'' + B_A \dot{u}' - B_S \dot{v}'')' - \beta_{xx} u + \beta_{x\theta} v' - c_{xx} \dot{u} + c_{x\theta} \dot{v}' - \\ - m_A \ddot{u} + m_S \ddot{v}' = -q_x(x, t), \\ (-D_S u' + D_I v'' - B_S \dot{u}' + B_I \dot{v}'')'' - N_{St} v'' + (\beta_{x\theta} u)' - (\beta_{\theta\theta} v')' + \beta_y v + \\ + (c_{x\theta} \dot{u})' - (c_{\theta\theta} \dot{v}')' + c_y \dot{v} + (m_S \dot{u})' - (m_I \dot{v}')' + m_A \ddot{v} = m_z'(x, t) + q_y(x, t). \end{cases} \quad (8)$$

В дополнение к ней при наличии внутренних вязкоупругих связей на границах расчетных участков должны быть сформулированы условия на концах стержня $x=0, l$:

$$\begin{aligned} N_1(0, t) &= \beta_{x0} u_1(0, t) + C_{x0} \dot{u}_1(0, t), \\ Q_1(0, t) &= -\beta_{y0} v_1(0, t) - C_{y0} \dot{v}_1(0, t), \\ M_1(0, t) &= \beta_{\theta 0} v_1'(0, t) + C_{\theta 0} \dot{v}_1'(0, t); \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} N_n(l, t) &= -\beta_{xn} u_n(l, t) - C_{xn} \dot{u}_n(l, t) + F_{xn}(t) - X_n(t), \\ Q_n(l, t) &= \beta_{yn} v_n(l, t) + C_{yn} \dot{v}_n(l, t) - F_{yn}(t) + Y_n(t), \\ M_n(l, t) &= -\beta_{\theta n} v_n'(l, t) - C_{\theta n} \dot{v}_n'(l, t) - M_{zn}(t) - T_n(t) \end{aligned} \quad (10)$$

и на $i=1, \dots, n-1$ границах участков:

$$\begin{aligned} N_{i+1}(x_i, t) &= \beta_{xi} [u_{i+1}(x_i, t) - u_i(x_i, t)] + C_{xi} [\dot{u}_{i+1}(x_i, t) - \dot{u}_i(x_i, t)], \\ Q_{i+1}(x_i, t) &= -\beta_{yi} [v_{i+1}(x_i, t) - v_i(x_i, t)] - C_{yi} [\dot{v}_{i+1}(x_i, t) - \dot{v}_i(x_i, t)], \\ M_{i+1}(x_i, t) &= \beta_{\theta i} [v_{i+1}'(x_i, t) - v_i'(x_i, t)] + C_{\theta i} [\dot{v}_{i+1}'(x_i, t) - \dot{v}_i'(x_i, t)]; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} N_{i+1}(x_i, t) &= N_i(x_i, t) - F_{xi}(t) + X_i(t), \\ Q_{i+1}(x_i, t) &= Q_i(x_i, t) + F_{yi}(t) - Y_i(t), \\ M_{i+1}(x_i, t) &= M_i(x_i, t) + M_{zi}(t) + T_i(t), \end{aligned} \quad (12)$$

где $\beta_{xi}, \beta_{yi}, \beta_{\theta i}$ — жесткости продольной, поперечной и угловой внутренних связей, расположенных на границе между i и $i+1$ участками;

$C_{xi}, C_{yi}, C_{\theta i}$ — вязкости вышеуказанных связей;

F_{xi}, F_{yi}, M_{zi} — заданные на i -й границе динамические сосредоточенные нагрузки;

X_i, Y_i, T_i — инерционные нагрузки масс, сосредоточенных на i -й границе, определяемые выражениями

$$\begin{aligned} X_i(t) &= -\ddot{u}_i(x_i, t) M_i + \ddot{v}_i'(x_i, t) S_{xi}, \\ Y_i(t) &= -\ddot{v}_i(x_i, t) M_i - \ddot{v}_i'(x_i, t) S_{yi}, \\ T_i(t) &= -\ddot{u}_i(x_i, t) S_{xi} + \ddot{v}_i(x_i, t) S_{yi} + \ddot{v}_i'(x_i, t) I_i \end{aligned}$$

через инерционные характеристики i -й массы

$$[M_i, S_{xi}, S_{yi}, I_i] = \iint_{V_i} [1, y, x, (x^2 + y^2)] dm$$

относительно центра приведения, расположенного в точке $x = x_i - 0$, $y = 0$. Сосредоточенная i -я масса располагается в верхнем сечении i -го участка, а i -е вязкоупругое соединение — в нижнем сечении $i + 1$ -го участка. При жестком соединении участков условия (11) записываются в виде

$$u_{i+1}(x_i, t) = u_i(x_i, t), \quad v_{i+1}(x_i, t) = v_i(x_i, t), \quad v'_{i+1}(x_i, t) = v'_i(x_i, t).$$

В случае наличия наклонных упругоподатливых связей на границах участков (например, моделирующих тросовые предварительно напряженные оттяжки мачтовых сооружений) условия (12) для усилий N, Q соответственно дополняются слагаемыми

$$\sum_r S_{ir}(t) \cos \alpha_{ir}, \quad - \sum_r S_{ir}(t) \sin \alpha_{ir},$$

где $S_{ir}(t) = S_{ir}^0 + \beta_{ir} [u_i(x_i, t) \cos \alpha_{ir} + v_i(x_i, t) \sin \alpha_{ir}]$ — полное усилие в r -й связи i -го яруса, составляющей угол α_{ir} с осью x ; $S_{ir}^0, \beta_{ir} = (EA/l)_{ir}$ — начальное усилие и жесткость r -й связи i -го яруса.

Входящие в условия (9)–(12) силовые факторы определяются через перемещения физическими равенствами (5).

В качестве начальных условий для перемещений, как правило, используются условия типа:

$$u_i(x, 0) = v_i(x, 0) = 0, \quad \dot{u}_i(x, 0) = \dot{v}_i(x, 0) = 0, \quad i = 1, \dots, n. \quad (13)$$

3. Построение решения. В общем случае при произвольных нагрузках решение начально-краевой задачи (8)–(13) может быть получено численными шаговыми способами³, либо аналитически на основе специальных разложений нагрузок и перемещений, позволяющих выполнить разделение переменных.

Известно [2], что скорость ветра $w(x, t) = w_1(x)w_2(t)$ является функцией времени в рассматриваемой точке пространства и ее высоты над уровнем поверхности земли. Зависимость скорости $w_2(t)$ от времени носит сложный квазипериодический характер⁴. Для описания изменения скорости от высоты применяются степенное и логарифмическое выражения [2]

$$w_1(x) = w_f (x / x_f)^\alpha, \quad w_1(x) = w_f \frac{\ln(x / x_f)}{\ln(x_f / x_0)},$$

где w_f — скорость ветра, измеренная на высоте x_f ; x_0 — высота с условно нулевой скоростью ветра.

При небольшой длине расчетных участков могут применяться и другие зависимости, например, алгебраические полиномы до второй степени [1].

Переход от скорости ветра к ветровому давлению осуществляется на основе соотношения [2] $q = c\rho w^2$, содержащего плотность воздуха ρ и аэродинамический коэффициент c .

Учитывая рассмотренные особенности ветра, представим нагрузки на i -м участке в виде произведения

$$p_i(x, t) = \bar{p}_i(x) f_p(t), \quad p \in [q_x, q_y, m_z], \quad (14)$$

где $\bar{p}_i(x)$ — координатный профиль нагрузки.

³ Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 430 с.

⁴ Гордеев В. Н. и др. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Под общ. ред. А. В. Перельмута. М.: ИАСВ, 2006. 480 с.

относительно неизвестных координатных функций $a_{uj}(x)$, $b_{uj}(x)$, $a_{vj}(x)$, $b_{vj}(x)$ общим числом $2 + 4j_m$.

Преобразовав аналогичным образом граничные условия (10), (11), (12) с учетом разложений (16), получаем краевую задачу (18), (10), (11), (12). Решение ее может быть выполнено известными способами³, например, основанными на использовании координатных базисных функций, в степенных рядах и др.

3.2. Решение однородной системы, соответствующей (8), получим, записав перемещения в виде

$$u_k(x, t) = U_k(x)T_k(t), \quad v_k(x, t) = V_k(x)T_k(t). \quad (19)$$

В общем случае в качестве функции времени $T_k(t)$ может быть использовано разложение (15) с заменой частоты ω_q на ω_k , что дает однородную систему равенств, аналогичную (18) при $\bar{q}_x = \bar{q}_y = \bar{m}_z = 0$, описывающую координатные функции $U_k(x)$, $V_k(x)$ собственных колебаний с частотой ω_k .

В частном случае, пренебрежем силами взаимодействия с внешней средой ($\beta = c = 0$), влиянием нелинейного члена $N_{st}v''$ и введем единый для всех материалов коэффициент вязкости $\eta_k = 2\eta_0$ ($k = 1, \dots, s_i$), что для характеристик (6), (7) приведет к зависимости $B = 2\eta_0 D$. Тогда подстановка разложений (19) в (8) без правых частей дает систему с разделяющимися переменными. В результате для функции времени имеем известное уравнение

$$\ddot{T}_k + 2\eta_0 \omega_k^2 \dot{T}_k + \omega_k^2 T_k = 0,$$

которое при малом демпфировании $\eta_0 < 1 / \omega_k$ (что обычно реализуется в сооружениях рассматриваемого типа [2, 3]) описывает гармонические затухающие колебания

$$T_k(t) = e^{-\alpha t} (C_1 \cos \gamma t + C_2 \sin \gamma t), \quad \alpha = \eta_0 \omega_k^2, \quad \gamma = \omega_k [1 - (\eta_0 / \omega_k)^2]^{0.5}.$$

При этом координатные функции должны удовлетворять системе

$$\begin{cases} (D_A U'_k - D_S V''_k)' + \omega_k^2 (m_A U_k - m_S V'_k) = 0, \\ (D_I V''_k - D_S U'_k)'' - \omega_k^2 [m_A V_k - (m_I V'_k - m_S U_k)'] = 0. \end{cases} \quad (20)$$

В общем случае слоистый стержень будет совершать связанные продольно-поперечные колебания

$$\begin{aligned} u(x, t) &= \sum_{k=1}^r U_k(x)T_k(t) + \sum_{j=0}^{j_m} [a_{uj}(x) \cos j\omega_q t + b_{uj}(x) \sin j\omega_q t], \\ v(x, t) &= \sum_{k=1}^r V_k(x)T_k(t) + \sum_{j=0}^{j_m} [a_{vj}(x) \cos j\omega_q t + b_{vj}(x) \sin j\omega_q t], \end{aligned}$$

где r — число учитываемых собственных форм.

Если слоистая структура характеризуется параметрами $D_S(x) = m_S(x) \equiv 0$ и отсутствуют наклонные промежуточные связи, то система (20) распадается на независимые равенства для продольных и поперечных колебаний, каждое со своим частотным спектром.

Выводы. Полученные соотношения и рассмотренные методы их решения позволяют в уточненной постановке выполнять расчеты высотных сооружений на динамическое ветровое воздействие; решать разнообразные прямые и обратные задачи динамики свободных и вынужденных колебаний слоистого неоднородного стержня переменного сечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия [Текст]/Госстрой России.— М.: Стройиздат, 2005.— 48 с.
2. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения [Текст]/Г. А. Савицкий. — М.: Стройиздат, 1972.— 111 с.
3. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения [Текст]/Э. Симиу, Р. Сканлан; пер. с англ.— М.: Стройиздат, 1984.— 358 с.
4. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст]/Г. М. Фихтенгольц.— М.: Наука, 1969.— Т. 3.— 656 с.

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

*НЕМИРОВСКИЙ Ю. В., д-р физ.-мат. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 04.05.09

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

Nemirovsky Yu. V., doctor of physical and mathematical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

DYNAMIC ANALYSIS OF TOWER TYPE STRUCTURE ON WIND FORCE

The differential resolving equations of forced oscillation for tall structures modeling layered variable cross-section rod are received. Availability distributed and concentrated mass, visco-elastic medium, rotatory inertia are considered. Force-time dependence described as Fourier series...

tall structures, wind force, layered rod, rigidity, viscosity.

REFERENCES

1. CN&R 2.01.07–85. Force and Influences [Text]/State Building of Russia.— М.: Building Publishing House, 2005.— 48 p.
2. Savitsky, G. A. Wind Force on the Structures [Text]/G. A. Savitsky.— М.: Building Publishing House, 1972.— 111 p.
3. Simiu, E. Wind Effects on Structures [Text]/E. Simiu, R. Scanlan.— М.: Building Publishing House, 1984.— 358 p.
4. Fihtenholz, G. M. Course of Differential and Integral Calculation [Text]/G. M. Fihtenholz.— М.: Science, 1969.— Vol. 3.— 656 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.002.3

Р. З. РАХИМОВ, Н. Р. РАХИМОВА, Г. А. ФАТЫХОВ, Д. П. КУЗНЕЦОВ

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МОЛОТЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ

Приведены результаты исследования возможности использования в качестве добавок к композиционным шлакощелочным вяжущим продуктов дробления портландцементного бетона. Установлены зависимости изменения свойств композиционного шлакощелочного вяжущего в зависимости от содержания молотых добавок, вида доменного шлака и затворителя, условий твердения...

композиционное шлакощелочное вяжущее, продукты дробления бетона, минеральные добавки.

Современные проблемы обеспечения дальнейшего устойчивого развития земной цивилизации, в том числе и строительной индустрии, связаны с решением задач сбережения природных сырьевых ресурсов, энергосбережения и охраны окружающей среды. Решение этих задач в строительной отрасли во многом зависит от уровня разработок научных основ и технологических решений эффективного использования отходов различных отраслей промышленности взамен природного минерального сырья в производстве строительных материалов.

Одной из многотоннажных разновидностей отходов строительной отрасли являются отходы бетонного лома, образующегося при разборке зданий, которых в нашей стране накопилось более 40 млн т. Известны европейские и отечественные нормативные документы по использованию продуктов дробления бетонного лома в качестве заполнителей бетонов. Перспективно применение молотых продуктов бетонного лома и в качестве наполнителей и активных минеральных добавок при получении композиционных вяжущих веществ и строительных материалов на основе таких вяжущих. Актуальность этого направления отвечает мировым современным тенденциям преимущественного развития исследований, разработок и производства композиционных вяжущих веществ. Разработка научных и технологических основ получения и эффективного использования молотого бетонного лома в качестве наполнителей и минеральных добавок вяжущих является возможной в рамках отдельного научного направления. Это связано с многофакторностью проблемы изучения влияния на свойства, закономерности гидратации, структурообразования и твердения портландцементов с различным минералогическим составом и различными минеральными добавками, других разновидностей минеральных вяжущих с добавками молотого бетонного лома из бетона с различными свойствами, различными плотными и пористыми заполнителями на основе различных вяжущих веществ и с различными химическими добавками.

© Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Фатыхов Г. А., Кузнецов Д. П., 2009

В настоящее время известны отдельные разработки вяжущих с добавками молотого бетонного боя, в которых не приводятся сведения о составе, соотношении компонентов и свойствах бетона. Результаты подобных исследований не представляют научной ценности и практической значимости без таких сведений. Научное направление целесообразно развивать с постановки системных последовательных исследований влияния на свойства вяжущих отдельных компонентов бетонного камня, а затем совместного влияния этих компонентов в зависимости от их соотношения. В данной работе представлены некоторые результаты исследований по разработке и изучению свойств композиционных шлакощелочных вяжущих с добавками молотых продуктов дробления бетонного лома, проведенных в 2006–2008 гг. в Казанском ГАСУ по планам научно-исследовательских работ Российской академии архитектуры и строительных наук.

При проведении исследований использовались доменные шлаки Орско-Халиловского (ОХМК) и Челябинского (ЧМК) металлургических комбинатов с модулем основности 1,0 и 0,9 соответственно; кварцевый песок Юдинского месторождения, примененный при производстве бетонных изделий и извлеченный из продуктов дробления; сода кальцинированная техническая (ГОСТ 51000–85) производства ОАО «Сода» (г. Салават); натриевое жидкое стекло (ГОСТ 13078–81) производства ГУП «Камэнергстройпром»; натрия гидроокись (ГОСТ 4328–77) производства Стерлитамакского ОАО «Сода»; портландцемент М500Д0 Ульяновского цементного завода. Предел прочности при сжатии камня вяжущих определялся как после твердения в течение 28 сут нормально-влажностного твердения (НВУ), так и после тепловлажностной обработки (ТВО) по режиму 4+3+6+3 (ч) с изотермической выдержкой при $95 \pm 5^\circ\text{C}$.

В ранее опубликованных работах [1–3] были представлены сведения о влиянии содержания и тонкости помола кварцевого песка на нормальную густоту, сроки схватывания и кинетику твердения, прочность в различных условиях твердения на свойства композиционных шлакощелочных вяжущих (КШЩВ), затворяемых водным раствором кальцинированной соды плотностью 1,15 г/см³. В этих работах установлено, что введение добавок молотого кварцевого песка с дисперсностью:

- 200 м²/кг приводит к снижению прочности КШЩВ независимо от условий твердения;

- 500 м²/кг позволяет получать равнопрочное с бездобавочным КШЩВ при содержании 20 % добавки при НВУ и 30 % содержания добавки при ТВО;

- 800 м²/кг позволяет получать равнопрочный с бездобавочным камень КШЩВ при содержании добавки 30 % при НВУ и при содержании добавки 40 % при ТВО. При введении добавок 20–30 % молотого кварцевого песка дисперсностью 800 м²/кг при ТВО прочность камня КШЩВ незначительно (на 4–5 %) повышается. Влияние содержания и дисперсности молотого кварцевого песка на закономерности изменения прочности не отличается для КШЩВ, полученных на основе как нейтрального, так и кислого шлака.

При длительном твердении в течение одного года прочность камня КШЩВ с добавками молотого кварцевого песка нарастает в 1,45–1,6 раза интенсивнее, чем у бездобавочного вяжущего. Интенсивность набора прочности камня КШЩВ, твердевших в течение года в НВУ, в 1,8–2 раза выше, чем у прошедших ТВО.

Прочность шлакощелочного камня бездобавочного и с добавками молотого кварцевого песка на базе нейтрального шлака ОХМК через год твердения в НВУ выше до 20 %, чем у образцов, подвергнутых ТВО. Добавка 40 % молотого кварцевого песка дисперсностью 800 м²/кг позво-

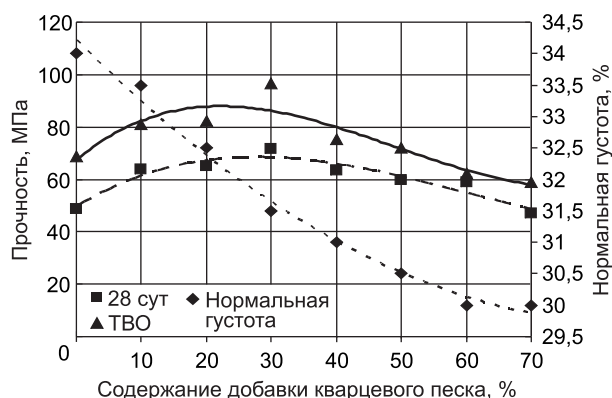


Рис. 1. Влияние добавок кварцевого песка на нормальную плотность теста и прочность камня КШЩВ с силикатным затворителем

ляет получать КШЩВ такой же марки М400, как и бездобавочного вяжущего на основе обеих разновидностей использованных в работе шлаков.

На рис. 1 приведены результаты исследований влияния содержания молотого кварцевого песка дисперсностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ на нормальную плотность и прочность камня КШЩВ на основе шлака ОХМК с силикатным затворителем плотностью $1,3 \text{ г}/\text{см}^3$. Представленные данные показывают, что введение 30 % молотого кварцевого песка дисперсностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ повышает прочность камня КШЩВ на 30 %, а 70 % этой добавки обеспечивает получение КШЩВ, равнопрочного с бездобавочным.

Исследования влияния на свойства КШЩВ добавок молотого портландцементного камня (ПЦК) производились с введением полученного помолом до $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ камня, изготовленного из теста нормальной плотности.

На рис. 2 приведены результаты исследований влияния содержания добавки молотого ПЦК на прочность при сжатии КШЩВ с содовым и силикатным затворителем после ТВО.

Представленные данные показывают, что введение любого количества добавок молотого ПЦК независимо от вида шлака отрицательно сказывается

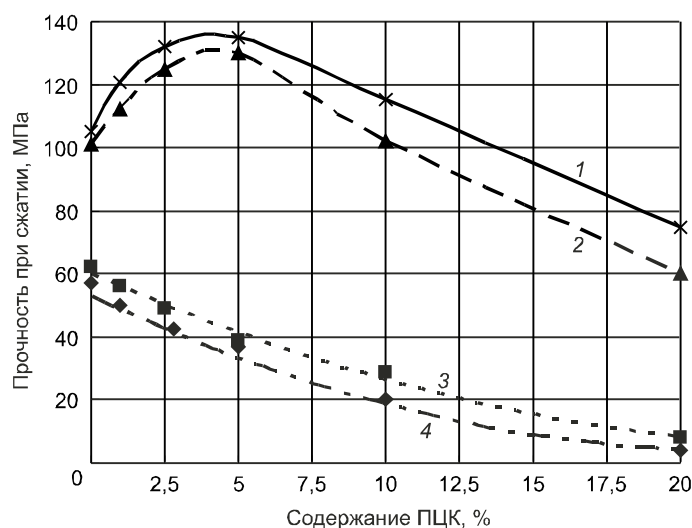


Рис. 2. Влияние вида шлака, затворителя и содержания добавки молотого ПЦК на прочность образцов камня КШЩВ после ТВО, изготовленных на основе

1 — шлака ОХМК и раствора жидкого стекла; 2 — шлака ЧМК и раствора жидкого стекла; 3 — шлака ОХМК и раствора соды; 4 — шлака ЧМК и раствора соды

вается на прочности камня шлакощелочного вяжущего с содовым затворителем. Введение добавок молотого ПЦК приводит к сокращению сроков схватывания, повышению нормальной густоты теста и водопоглощения камня КШЩВ. При использовании силикатного затворителя введение 5 % добавки молотого ПЦК приводит к повышению прочности камня КШЩВ на 25 %, а 10 % — к получению равнопрочного с бездобавочным камнем вяжущего. Добавки ПЦК приводят к более значительному повышению прочности КШЩВ на основе нейтрального шлака, чем на основе кислого.

Введение добавки молотого ПЦК до 5 % не приводит к заметным изменениям нормальной густоты и сроков схватывания КШЩВ. Увеличение содержания добавки до 10 % вызывает сокращение сроков схватывания, затрудняющее укладку теста в формы.

Исследования влияния добавок молотого мелкозернистого бетона (МЗБ) на свойства КШЩВ производились с введением молотых дисперсностью 500 м²/кг добавок мелкозернистого бетона состава 1:3, подвергнутого ТВО. На рис. 3 приведены результаты исследований влияния добавок молотого МЗБ на прочность КШЩВ с содовым затворителем, соответственно твердевших при НВУ и ТВО.

Анализ приведенных на рис. 3 результатов исследований показывает, что прочность камня КШЩВ после твердения в НВУ незначительно повышается при содержании добавки молотого МЗБ до 10 %. При содержании добавки молотого МЗБ до 20 % камень КШЩВ равнопрочен с камнем бездобавочного вяжущего. При увеличении содержания добавки до 60 % прочность камня КШЩВ на основе шлака ОХМК снижается с 52,3 до 27 МПа, а на основе шлака ЧМК с 48,9 до 19,1 МПа. Закономерности, описывающие влияние содержания добавок молотого МЗБ на прочность камня ШЩВ после тепловлажностной обработки, идентичны закономерностям изменения прочности камня КШЩВ от содержания добавки при твердении в НВУ. Вместе с тем у камня КШЩВ, подвергнутого ТВО, наблюдается незначительное повышение прочности при содержании добавки до 5 %. Равнопрочный камень КШЩВ с камнем бездобавочного ШЩВ получен при содержании добавки от 7 до 10 % в зависимости от содержания шлака. При увеличении содержания добавки более 10 % прочность КШЩВ снижается, а при содержании добавки 60 % снижается с 57,5 до

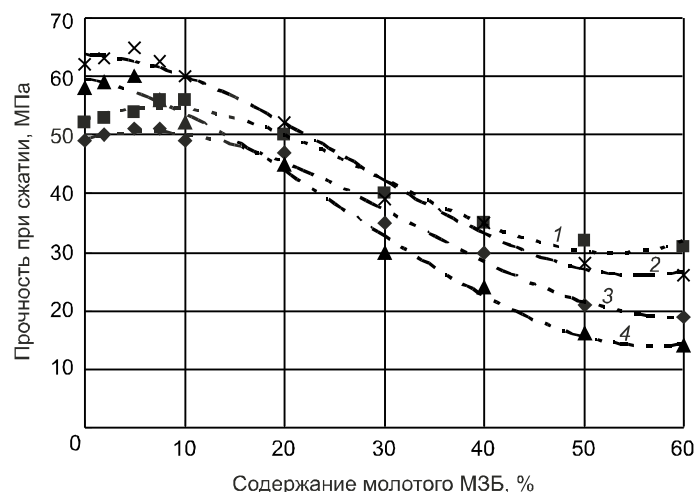


Рис. 3. Влияние содержания молотого МЗБ на прочность камня КШЩВ с содовым затворителем на основе

1 — шлака ОХМК после 28-суточного твердения; 2 — шлака ОХМК после ТВО; 3 — шлака ЧМК после 28-суточного твердения; 4 — шлака ЧМК после ТВО

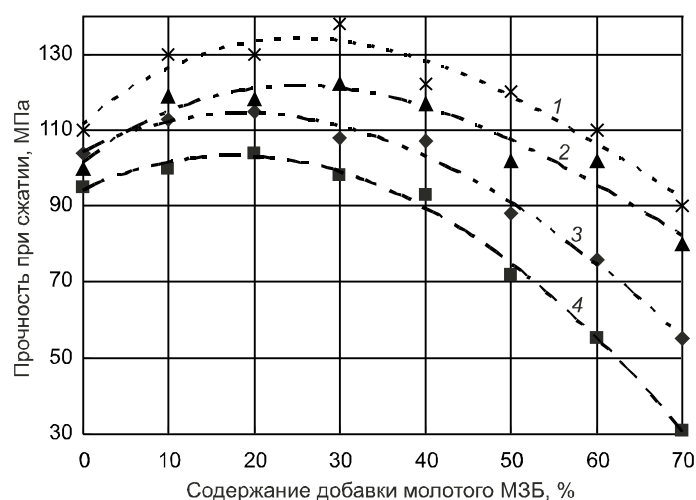


Рис. 4. Влияние содержания добавки молотого МЗБ на прочность камня КШЩВ с силикатным затворителем на основе
1 — шлака ОХМК после ТВО; 2 — шлака ЧМК после ТВО; 3 — шлака ОХМК после 28-суточного твердения; 4 — шлака ЧМК после 28-суточного твердения

10,8 МПа на основе шлака ЧМК и с 62,4 до 19,3 МПа на основе шлака ОХМК.

На рис. 4 представлены результаты исследований влияния содержания добавок молотого МЗБ на прочность при сжатии камня КШЩВ с силикатным затворителем, твердевших при НВУ и ТВО.

Анализ приведенных результатов показывает, что введение добавки молотого МЗБ до 20 % в состав КШЩВ приводит к повышению прочности его камня до 10 % независимо от вида шлака. При содержании добавки 30–40 % прочность камня КШЩВ находится на уровне прочности камня бездобавочного ШЩВ. При дальнейшем увеличении добавки прочность КШЩВ пропорционально ее содержанию снижается.

Введение добавки молотого МЗБ до 30 % позволяет увеличить прочность термообработанного камня шлакощелочного вяжущего независимо от вида шлака на 30 %, при этом уже при введении добавки 5–10 % прочность камня КШЩВ выше на 10–20 % по сравнению с прочностью камня бездобавочного ШЩВ. Введение добавки 60 % обеспечивает получение камня КШЩВ равнопрочного с камнем бездобавочного ШЩВ. При увеличении содержания добавки более 60 % прочность камня на основе КШЩВ снижается по сравнению с прочностью камня бездобавочного вяжущего.

Таким образом, полученные в работе результаты показывают целесообразность и эффективность использования продуктов помола мелкозернистого бетона при получении композиционных шлакощелочных вяжущих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимова, Н. Р. Влияние добавок молотого кварцевого песка на кинетику твердения композиционного шлакощелочного вяжущего [Текст]/Н. Р. Рахимова// Строительные материалы.— 2007.— № 7.— С. 78–79.
2. Рахимова, Н. Р. Влияние содержания и дисперсности добавок молотого кварцевого песка на нормальную плотность и сроки схватывания теста композиционного шлакощелочного вяжущего [Текст]/Н. Р. Рахимова, Р. З. Рахимов, Р. Ф. Гатауллин// Вестн. ВРО РААСН.— Н. Новгород: ННГАСУ, 2007.— Вып. 10.— С. 95–99.
3. Рахимова, Н. Р. Влияние содержания и тонкости помола кварцевого песка на прочность камня композиционного шлакощелочного вяжущего в различных условиях твердения [Текст]/Н. Р. Рахимова, Р. З. Рахимов, Р. Ф. Гатауллин// Вестн. Отделения строительных наук РААСН.— Курск: КГТУ, 2007.— № 11.— С. 357–361.

*РАХИМОВ Р. З., д-р техн. наук, проф.; E-mail: rahimova.07@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
РАХИМОВА Н. Р., канд. техн. наук, доц.; E-mail: rahimova.07@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ФАТЫХОВ Г. А., инж.; E-mail: abdul86@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
КУЗНЕЦОВ Д. П., инж.; E-mail: kot373@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 01.06.09

Rakhimov R. Z., doctor of technical sciences, professor; E-mail: rahimova.07@list.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia
Rakhimova N. R., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: rahimova.07@list.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia
Fatikhov G. A., engineer; E-mail: abdul86@yandex.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia
Kuznetsov D. P., engineer; E-mail: kot373@rambler.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

EFFECT OF THE GROUND FINE CONCRETE COMPONENTS ON THE PROPERTIES OF COMPOSITIONAL SLAG-ALKALINE BINDINGS

The present paper aims to study the effect of the adding of the milled Portlandcement concrete. The influence of the detached concrete constituents — milled Portlandcement artificial stone, quartz sand, and fine-grained concrete is investigated. The regularities of the compositional slag-alkaline bindings properties in dependence on milled concrete additions, type of the blast furnace slag and alkaline component, conditions of the hardening, are determined. The received results open the possibilities of the recycling of the waste products — used concrete and reinforced concrete in design of the slag-alkaline bindings...

compositional slag-alkaline bindings, milled concrete products, mineral additions.

REFERENCES

1. Rakhimova, N. R. Influence of the additions of the milled quartz sand on hardening kinetics of compositional slag-alkaline bindings [Text]/N. R. Rakhimova//Building materials.— 2007.— N 7.— P. 78–79.
2. Rakhimova, N. R. The influence of the content and dispersion of the milled quartz sand on the normal consistency and setting time of the compositional slag-alkaline binding paste [Text]/N. R. Rakhimova, R. Z. Rakhimov, R. F. Gataullin//Herald RAABS.— N. Novgorod: NNGASU, 2007.— Fasc. 10.— P. 95–99.
3. Rakhimova, N. R. The influence of the content and dispersion of the milled quartz sand on the strength of the compositional slag-alkaline binding artificial stone in different hardening conditions [Text]/N. R. Rakhimova, R. Z. Rakhimov, R. F. Gataullin.— Kursk: KGTU, 2007.— N 11.— P. 357–361.

УДК 691.32:539.4.33

В. А. ПЕРФИЛОВ, У. В. АЛАТОРЦЕВА, М. И. ДМИТРУК, И. Л. ЖОГА

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ НАНОДОБАВОК
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ФИБРОБЕТОНОВ**

Разработаны новые составы фибробетона с улучшенными физико-механическими свойствами. Комплексное введение в сырьевую смесь металлических волокон-фибр «Миксарм» с коническими анкерами на концах, а также применение комплексной добавки, включающей пластифицирующую добавку «СП-3» и многостенные углеродные нанотрубки, способствовало увеличению прочности фибробетона...

фибробетоны, модифицирующие нанодобавки, суперпластификаторы, фибра «Миксарм», прочность, трещиностойкость.

Дисперсное фибровое армирование позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки бетона — низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. Фибровое армирование способствует стойкости бетона к воздействию агрессивной среды, позволяет уменьшить толщину конструкций и значительно снизить или полностью исключить расход арматуры. Таким образом, создаются благоприятные условия для снижения материалоемкости и трудоемкости строительства. Однако до настоящего времени применение фибробетона практически отсутствует из-за дороговизны стальной фибры, незначительного повышения прочности на сжатие, так как упрочнение бетона на макроуровне не изменяет микроструктуру применяемых цементных вяжущих материалов. Отсутствует оптимальная технология приготовления фибробетонной смеси.

Задача научных исследований — повышение эффективности процесса получения модифицированной фибробетонной смеси, направленное на увеличение ее прочности на сжатие и растяжение при изгибе за счет использования компонентов, упрочняющих структуру фибробетона на микро- и наноуровнях.

При изготовлении фибробетонов в качестве вяжущего использовался портландцемент М 500 Себряковского цементного завода. В качестве крупного заполнителя применялся щебень из гранитных пород. Мелкий заполнитель представлен кварцевым песком Оленьевского и Орловского карьеров с модулем крупности 2,2. Для повышения прочности и трещиностойкости фибробетона на макроуровне применялись стальные волокна-фибры с конусообразными анкерами на концах, блокирующие развитие макротрещин. В качестве макроупрочнителя использовалась фибра «Миксарм» [1] на основе стальной проволоки, выпускаемой ОАО «Северсталь-метиз» по ТУ 1211-205-46854090–2005. Эта фибра с конусообразными анкерами разработана люксембургской компанией AWD, мировым лидером в производстве фибры. Коэффициент удержания фибры в бетоне достигает 95 %. Стальные фибры «Миксарм» имеют длину от 30 до 54 мм, а диаметр до 1 мм. Плотность стальных фибр «Миксарм» составляет 7800 кг/м³. Временное сопротивление разрыву не менее 1100 МПа.

Исследования влияния объемного содержания стальной фибры «Миксарм» длиной 54 мм и диаметром 1 мм на механические свойства

Таблица 1

Влияние объемного содержания фибры на прочность фибробетона

Составы	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа
	цемент М 500 ДО	песок	щебень гранитный фракция 5–20 мм	фибра «Миксарм»	вода		
1. Эталон	327	661	1250	—	180	44,2	4,1
2. Фибра 0,25 % от объема смеси	327	661	1250	20	180	50,4	5,3
3. Фибра 0,5 % от объема смеси	327	661	1250	39	180	54,2	5,7
4. Фибра 1,0 % от объема смеси	327	661	1250	78	180	55,4	6,5
5. Фибра 1,5 % от объема смеси	327	661	1250	117	180	53,5	7,6
6. Фибра 2,0 % от объема смеси	327	661	1250	156	180	53,1	9,5
7. Фибра 2,5 % от объема смеси	327	661	1250	195	180	50,1	10,1

фибробетонных были проведены на основе состава тяжелого бетона класса В 30 (табл. 1). Размер бетонных образцов в соответствии с ГОСТ 10180 составлял 100×100×400 мм.

Анализ результатов испытаний показал, что во всех составах фибробетон с объемным содержанием фибры от 0, 25 до 2,5 % происходит увеличение прочности на сжатие и на растяжение при изгибе. Наиболее оптимальным является состав № 6 фибробетона с концентрацией фибры, составляющей 2 % от объема смеси. Дальнейшее увеличение расхода фибры приводит к ее комкованию (образованию «ежей»), снижению прочности на сжатие и к мизерному увеличению прочности на растяжение при изгибе, а также к неоправданному удорожанию фибробетона.

Таким образом, для дальнейших исследований тяжелых бетонов с целью повышения прочности применялась стальная фибра «Миксарм» диаметром 1 мм и длиной 54 мм (относительная длина — 54) [1] в количестве, составляющем 2 % от общего объема смеси.

В составе комплексной модифицирующей добавки использовались многостенные углеродные нанотрубки диаметром 8–40 нм, длиной 2–50 мкм и суперпластификатор «СП-3». Нанотрубки представляют собой полые цилиндрические трубки из одного или нескольких атомов углерода. Использование нанотрубок значительно изменяет микро- и наноструктуру фибробетонных. Этот эффект связан с тем, что высокопрочные нанотрубки являются центрами кристаллизации новообразований цементного камня. В результате образуется упрочненная армированная микроструктура цементного камня, что значительно повышает прочность фибробетона. Дозировка нанотрубок производится в зависимости от расхода пластификатора и составляет не более 0,5 % или тысячные и десятитысячные доли процента от массы вяжущего (до 15 грамм на 1 кубометр фибробетона).

В качестве пластификатора наибольшую эффективность проявляет добавка «Полипласт СП-3» (ТУ 5870-006-58042865–05). Эта добавка относится к классу суперпластификаторов и обладает пластифицирующе-водоредуцирующим, снижающим водоцементное отношение действием.

Особенности технологии изготовления фибробетонных с нанодобавками заключаются в дозировании и перемешивании нанодобавок совместно с пластификаторами. Так как углеродные нанотрубки нерастворимы в воде, предварительно изготавливался коллоидный раствор с применением ультразвукового диспергатора с частотой 22 кГц в течение 1–3 мин.

Полученный раствор, обладающий длительной устойчивостью (до 2-х нед), смешивают с пластифицирующей добавкой в небольшом количестве воды и вводят в фибробетонную смесь с остатальной водой затворения.

Фибровые волокна диаметром 1 мм и длиной 54 мм вводились в количестве 2 % от объема смеси (см. табл. 1, состав № 6). В составе комплексной модифицирующей добавки использовались вышеуказанные многостенные углеродные нанотрубки и суперпластификатор «СП-3». Результаты испытаний образцов фибробетона представлены в табл. 2.

Анализ результатов испытаний показал, что введение в фибробетонную смесь комплексной модифицирующей добавки, включающей нанотрубки и суперпластификатор «СП-3», способствует увеличению прочности на сжатие по сравнению с образцами без добавки на 50 %, прочности на изгиб — почти в 2 раза.

В дальнейших исследованиях мелкозернистых бетонов при увеличении количества нанодобавки до 0,01–1 % прочность образцов увеличивалась на 62–86 % по сравнению с эталоном без нанодобавки.

По результатам научных исследований разработана компьютерная программа по подбору состава фибробетона с нанодобавками [2].

Для практического применения новых составов фибробетонов на предприятиях строительной индустрии, а также в монолитном строительстве были разработаны Технические условия «Фибробетонные смеси с упрочнителем из фибры «Миксарм» и нанодобавками» [3]. Они распространяются на конструкционные тяжелые фибробетоны с упрочнителем из фибры «Миксарм», имеющие следующие объекты применения: монолитное строительство, покрытия промышленных полов, автомобильных дорог и аэродромов, тоннельные сооружения, банковские хранилища, трубопроводы, железнодорожные шпалы, сваи, тротуарные покрытия, стеновые панели, панели перекрытия и покрытия, черепица и многие другие строительные изделия и конструкции.

Таким образом, повышение эффективности процесса получения модифицированной фибробетонной смеси, а также применение в составе смеси стальной фибры «Миксарм» с конусообразными анкерами на концах, суперпластификатора «Полипласт СП-3» и многостенных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм способствует повышению однородности структуры, снижению количества дефектов, увеличению прочности фибробетона на сжатие и растяжение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перфилов, В. А. Фибробетон ускоренного твердения [Текст]/В. А. Перфилов, У. В. Алаторцева, А. А. Тюрин//Изв. вузов. Строительство.— 2009.— № 1.— С. 48–51.
2. Перфилов, В. А. Расчет фибробетона с нанодобавкой [Текст]/В. А. Перфилов, С. П. Митяев//Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612195, от 29.04.2009 г.
3. Перфилов, В. А. Фибробетонные смеси с упрочнителем из фибры «Миксарм» и нанодобавками [Текст]/В. А. Перфилов, У. В. Алаторцева//Технические условия ТУ 574510-002-02068077–2008.— 13 с.

Таблица 2

Влияние комплексной нанодобавки на прочность фибробетона

№ п/п	Суперпластификатор «СП-3», % от массы цемента	Нанотрубки, % от массы цемента	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа
1	0	0	9,5	53,1
2	0,5	0	12,4	65,7
3	0,5	0,002	18,2	79,2

*ПЕРФИЛОВ В. А., д-р техн. наук, доц.; E-mail: Perfilov.V@mail.ru
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
АЛАТОРЦЕВА У. В., асп.
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
ДМИТРУК М. И., асп.
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
ЖОГА И. Л., асп.
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 08.06.09

Perfilov V. A., doctor of technical sciences, assistant professor; E-mail: Perfilov.V@mail.ru, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Alatortseva U. V., post-graduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Dmitruk M. I., post-graduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Zhoga I. L., post-graduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

APPLICATION MODIFYING ADDITION FOR STRENGTH INCREASE FIBRECONCRETE

New structures fibreconcrete with the improved physico-mechanical properties are developed. Complex introduction in a raw mix threw-licheskih fibers of «Miksarm» with conic anchors on the ends, and also application of the complex additive including plastic the additive «CP-3» and multiwall carbon nanotubes, promoted strength increase fibreconcrete...

fibreconcretes, modifying addition, superplastic, fibr «Miksarm», strength, cracking.

REFERENCES

1. Perfilov, V. A. Fibreconcrete accelerated become hard [Text]/V. A. Perfilov, U. V. Alatortseva, A. A. Tyurin//News of Higher Educational Institutions. Construction.— 2009.— N 1.— P. 48–51.
2. Perfilov, V. A. Calculation fibreconcrete with modifying addition [Text]/V. A. Perfilov, S. P. Mityaev//The Certificate on the state registration of the computer program N 2009612195, from 29.04.2009.
3. Perfilov, V. A. Fibreconcrete of a mixture with reinforcement from a fiber «Miksarm» and nanoaddition/V. A. Perfilov, U. V. Alatortseva//Specifications THAT 574510-002-02068077–2008.— 13 p.

УДК 691.51/.55.002.3

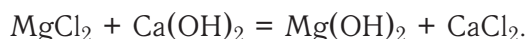
В. Н. ЗЫРЯНОВА, Г. И. БЕРДОВ, В. И. ВЕРЕЩАГИН

**МАГНЕЗИАЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ ИЗ ШЛАМОВ
МАГНИЙХЛОРИДНЫХ РАССОЛОВ**

Исследованы условия получения магнезиального вяжущего на основе магнезиального шлама. Установлено, что после обжига при 450–500 °С шлам содержит 74 % активного MgO. Магнезиальное вяжущее на его основе обладает быстрым набором прочности в ранние сроки твердения, прочностью при сжатии до 38–60 МПа, равномерностью изменения объема. Для повышения водостойкости рекомендуется введение в его состав тонкоизмельченного диопсида, дунита, серпентинита или волластонита...

оксид магния (MgO), магнезиальные вяжущие вещества, композиционные магнезиальные вяжущие, отход—продукт от переработки рассола.

Технология переработки озерных рассолов и рапы, морской воды и подземных рассолов [1] с получением оксида магния заключается в осаждении $Mg(OH)_2$ из растворимых солей магния ($MgCl_2$, $MgSO_4$ и др.) известковым молоком по схеме



В настоящее время известковая технология получения оксида магния из морской воды и рапы соленых озер достаточно хорошо отработана и как промышленный способ получила распространение в США, Великобритании, Германии, Австрии, Мексике и других странах.

В России эта технология ограничилась только стадией исследований и предложений, касающихся переработки сырья с низким содержанием $CaCl_2$ (до 15 г·л⁻¹) и минерализацией рассола не выше 60 г·л⁻¹.

Для получения высококачественного MgO из рассолов высокой концентрации Т. К. Акчуриным с соавторами предложен усовершенствованный вариант известковой технологии переработки природных рассолов бишофита Волгоградского месторождения с содержанием ~460 г·л⁻¹ $MgCl_2$ [2].

Другим примером осаждения магния из высокоминерализованных рассолов является получение оксида магния и магнезиальных вяжущих материалов из дренажных рассолов трубки «Удачная» (Якутия) с общим солесодержанием 320 г·л⁻¹. Используя указанный прием, можно осаждавать $Mg(OH)_2$ из рассолов высокой минерализации [3]. Так, например, при переработке 1 м³ рассола и выделении полезных продуктов образуется 125 кг бишофита и 41 кг воздушно-сухого магнезиального шлама.

Цель работы — исследование состава и свойств магнезиального шлама, а также условий получения магнезиального вяжущего вещества на его основе.

Шлам представляет собой белый порошок с удельной поверхностью 7 м²/г. Химический состав шлама следующий, мас. %: MgO — 54,40; CaO — 8,11; Na₂O — 1,21; CO₂ — 8,17; Cl — 1,32; п.п.п. — 26,79.

Рентгенофазовый анализ пробы исходного шлама свидетельствует о том, что рефлексы максимальной интенсивности соответствуют гидрокси-

ду магния (0,477; 0,237; 0,179; 0,149 нм), менее интенсивные — карбонату кальция (0,386; 0,249; 0,209 нм) и хлориду кальция (0,190; 0,160 нм).

На кривой ДТА пробы исходного шлама наблюдаются эндоэффекты при 420, 840 °С; соответствующие им потери массы характерны для дегидратации гидроксида магния и карбоната кальция.

На основе рентгенофазового, термического и химического анализов выполнен расчет минерального состава шлама, который показал следующее содержание компонентов в исходном состоянии, мас. %: $\text{Mg}(\text{OH})_2$ — 78,88; CaCO_3 — 14,47; NaCl — 1,14; CaCl_2 — 5,50. Таким образом, шлам содержит гидравлически инертные компоненты, основным из которых является гидроксид магния. В исходном состоянии он не обладает вяжущими свойствами, однако они могут проявиться после термической обработки с выделением гидравлически активного оксида магния.

Было исследовано изменение структуры и свойств шлама после термообработки при разных температурах. Пробы шлама обжигались при 350–600 °С с изотермической выдержкой 2 ч.

При нагревании наблюдается изменение размеров агрегированных зерен шлама. В исходном образце шлама частицы собраны в агрегаты размером до 200 мкм. После обжига при 350 °С морфология поверхности агрегатов не изменяется, но отсутствуют крупные скопления зерен. Средний размер основного количества их составляет 80–150 мкм, соответственно после обжига при 400 °С — 50–60 мкм, при 450 °С — 45–175 мкм, при 600 °С — 180–200 мкм. Максимальная дисперсность частиц наблюдается в обожженном при 400–450 °С шламе и соответствует 34,0–39,7 м²/г.

На рентгенограмме обожженного при 350 °С шлама наблюдаются рефлексы, характерные для MgO (0,242; 0,210; 0,149 нм). Наряду с ними присутствуют менее интенсивные рефлексы, характерные для CaCO_3 (0,386; 0,303; 0,228; 0,187 нм), и CaCl_2 (0,191; 0,160 нм). Присутствие линии малой интенсивности (0,237 нм), характерной для $\text{Mg}(\text{OH})_2$, свидетельствует о том, что дегидратация брусита не завершена.

Рентгенофазовый анализ обожженного при 400–450 °С шлама свидетельствует об интенсивной дегидратации $\text{Mg}(\text{OH})_2$, после обжига при 500–600 °С наблюдается частичная диссоциация CaCO_3 , что нежелательно, так как при гидратации и твердении это может привести к деструктивным процессам.

Термический анализ показывает, что на кривой ДТА отмечаются эндоэффекты при 340, 395 и 450 °С, характерные для ступенчатой дегидратации брусита. Ступенчатый процесс выделения воды из брусита (дегидратация) может быть вызван разной дисперсностью частиц.

На основе химического, рентгенофазового и термического анализов выполнен расчет фазового состава шлама (табл. 1). После обжига при температурах 400–500 °С шлам содержит 64,70–74,04 % MgO , недожог в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$ составляет 5,8–14,18 %, при этом удельная поверхность порошка увеличивается до 34,0–39,7 м²/г. Следует отметить низкую

Таблица 1

Состав и свойства шлама после обжига

$T_{\text{обж.}},$ °С	$S_{\text{уд.}},$ м ² /г	Насыпная плотность, г/см ³	Крис- талличность, %	Плот- ность, г/см ³	Минеральный состав, мас. %					
					MgO	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	CaCO_3	NaCl	CaCl_2	CaO
—	7,0	—	—	2,37	0	78,88	14,47	1,14	5,50	0
350	32,0	0,79	27	2,38	54,42	24,47	14,47	1,14	5,50	0
400	34,0	0,8	34	3,00	64,70	14,18	14,47	1,14	5,50	0
450	39,7	0,8	48	3,00	67,28	11,60	14,47	1,14	5,50	0
500	35,0	0,87	75	3,10	74,04	5,80	12,22	1,14	5,50	1,30
600	24,0	0,89	87	3,20	78,78	2,58	7,80	1,14	5,50	4,20

кристалличность образующегося в этих условиях оксида магния, что свидетельствует о его несовершенной структуре. С повышением температуры обжига до 600 °С содержание MgO возрастает, но удельная поверхность порошка уменьшается до 24,0 м²/г.

Для определения вяжущих свойств термообработанный шлам затворяли водным раствором хлорида магния с концентрацией 1,5 моль/л при соблюдении постоянного соотношения MgO:MgCl₂ = 3:1.

Исследование дисперсной системы «шлам–раствор MgCl₂» показало, что со временем магнезиальное тесто схватывается и затвердевает. Продуктами твердения являются преимущественно гидроксохлориды магния. В объеме образца наблюдается выделение игольчатых кристаллов тригидроксохлорида (3-ОХ) и пентагидроксохлорида магния (5-ОХ). Наряду с объемной кристаллизацией происходит образование локальных зон игольчатых кристаллов. На внутренней поверхности микропор формируются игольчатые кристаллы ОХ-фазы, наблюдается зарастание игольчатыми кристаллами свободного объема пор. Вместе с ОХ-фазой наблюдается кристаллизация Mg(OH)₂.

Определение физико-механических свойств образцов (предела прочности при сжатии после твердения на воздухе, нормальной густоты теста, равномерности изменения объема) проведено по общепринятым стандартным методикам. Для оценки водостойкости образцов определяли предел прочности при сжатии после 28 сут твердения на воздухе и после хранения таких же образцов в воде в течение 28 сут. Коэффициент водостойкости определен как соотношение $K_{ст} = R_{сж}(вода)/R_{сж}(воздух)$.

Анализ результатов исследований показывает следующее (табл. 2). В условиях мягкого обжига шлама (450–500 °С) возможно получение химически активного MgO. Низкая кристалличность, пониженная плотность и развитая поверхность продуктов обжига свидетельствуют о дефектности MgO и обуславливают повышение его гидратационной активности.

Магнезиальное вяжущее на основе обожженного при 500 °С шлама и его краткосрочного помола в шаровой мельнице характеризуется быстрым схватыванием, быстрым и равномерным набором прочности в ранние сроки твердения (7, 28 сут). Макси-

мальная прочность при сжатии в возрасте 28 сут составляет 62 МПа. Вяжущее обладает равномерностью изменения объема.

Для получения магнезиального вяжущего из шлама с повышенной водостойкостью целесообразно удаление примесей хлоридов натрия и кальция, так как их присутствие приводит к снижению прочности и водостойкости. Наличие карбоната кальция повышает водостойкость магнезиального вяжущего. СаСО₃ интенсифицирует образование и кристаллизацию ОХ-фазы во всем объеме и внутри пор, что обеспечивает повышение плотности камня и его водостойкости.

Для повышения водостойкости магнезиального вяжущего материала целесообразно введение в его состав химически стойкого компонента. В качестве такового в состав вяжущего вводились тонкоизмельченные силикат магния и кальция — диопсид, а также дунит, серпентинит или волластонит. Удельная поверхность соответственно была равна 4,5; 5,0;

Таблица 2

**Физико-механические свойства
магнезиального вяжущего материала
на основе шлама**

$T_{обж.},$ °С	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		$K_{ст}$
	начало	конец	7 сут	28 сут	
350	0–10	0–25	19	23	0,51
400	0–14	0–38	25	32	0,54
450	0–20	0–45	30	38	0,77
500	0–22	0–48	39	62	0,82
600	0–25	0–60	30	40	0,77

6,0; 3,5 м²/г. Затворение образцов производилось раствором хлорида магния с плотностью 1,2 г/см³. Соотношение MgO:MgCl₂:H₂O в тесте составляло от 6,59:1:2,41 до 1,31:1:2,95, т. е. так, чтобы нормальная густота теста была примерно одинаковой и равной 48–52 %. Состав и физико-механические свойства композиционного диопсид-магнезиального вяжущего приведены в табл. 3.

Таблица 3

Состав и физико-механические свойства композиционного магнезиального вяжущего материала, содержащего диопсид

Состав вяжущего, диопсид: шлам, мас. %	MgO/MgCl ₂	H ₂ O/MgCl ₂	Среда твердения, 28 сут	Плотность, г/см ³	R _{сж} , МПа, 28 сут	K _{ст} = R _с среда / R _{сж} воздух	ОХ-фаз, %
50:50	6,59	2,41	Воздух	2,06	42	–	92
			Вода	2,01	39	0,92	86
			3 % MgCl ₂ *	2,05	46	1,09	100
			3 % MgSO ₄	2,02	34	0,80	82
70:30	3,95	2,42	Воздух	2,14	52	–	76
			Вода	2,14	49	0,94	77
			3 % MgCl ₂	2,14	55	1,12	79
			3 % MgSO ₄	2,10	46	0,88	72
80:20	2,63	2,52	Воздух	2,10	38	–	71
			Вода	2,08	38	1,0	73
			3 % MgCl ₂	2,10	42	1,11	82
			3 % MgSO ₄	2,06	35	0,92	66
90:10	2,31	2,53	Воздух	2,12	34	–	60
			Вода	2,10	32	0,94	61
			3 % MgCl ₂	2,11	38	1,12	66
			3 % MgSO ₄	2,10	27	0,79	52
0:100	6,59	2,41	Воздух	1,87	40	–	95
			Вода	1,85	28	0,70	85
			3 % MgCl ₂	1,87	29	0,72	95
			3 % MgSO ₄	1,84	20	0,50	78

* Здесь и далее указана концентрация водного раствора.

Анализ полученных результатов показывает, что диопсид в системе оксохлоридного твердения выполняет двойную роль. Тонкоизмельченный диопсид является не только микронаполнителем, что способствует повышению плотности искусственного камня, но и активным компонентом, участвующим в образовании прочной кристаллизационной структуры. Композиционные магнезиальные вяжущие материалы, содержащие 20–30 мас. % шлама и 70–80 мас. % диопсида, обладают высокой механической прочностью и нормальными сроками схватывания, а также характеризуются высокой стойкостью к воде, растворам хлоридов и сульфатов. Аналогичные результаты получены при введении в состав композиционного магнезиального вяжущего соответствующего количества дунита, серпентинита, волластонита.

Таким образом, магнезиальные шламы от переработки магниихлоридных рассолов и аналогичные им промышленные отходы могут использоваться как ценное сырье для производства магнезиальных вяжущих веществ. Целесообразные области применения получаемых вяжущих веществ таковы же, как и для традиционных магнезиальных вяжущих:

изготовление магнезиальных строительных растворов, сухих смесей, облицовочных плит, ксилолита и фибролита, пенобетонов, тепло- и звукоизоляционных материалов и т.д. Использование шламов от переработки магнийхлоридных рассолов и аналогичных им высокомагнезиальных отходов позволяет расширить сырьевую базу для получения магнезиальных вяжущих веществ, обеспечивает комплексную безотходную переработку сырья и улучшает экологическую обстановку в регионе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пинеcker, Е. В. Рассолы Ангаро-Ленского Артезианского бассейна [Текст]/Е. В. Пинеcker.— М.: Наука, 1966.— 330 с.
2. Акчури́н, Т. К. Перспективы освоения и технология переработки бишофита Волгоградских месторождений [Текст]/Т. К. Акчури́н, С. А. Ананьина, И. И. Никитин.— Волгоград: ВолгГАСА, 1995.— 115 с.
3. Коцупало, Н. П. Выбор комплексной технологии для переработки рассолов хлоридного кальциевого типа [Текст]/Н. П. Коцупало, Л. Т. Менжерес, А. Д. Рябцев//Химия в интересах устойчивого развития.— Новосибирск, 1999.— № 3.— С. 57.

*ЗЫРЯНОВА В. Н., канд. техн. наук, доц.; E-mail: V.Zyr@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

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

*ВЕРЕЩАГИН В. И., д-р техн. наук, проф.; E-mail: V.Ver@TPU.ru
Томский политехнический университет*

Получено после доработки 25.05.09

Zyryanova V. N., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: V.Zyr@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Berdov G. I., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Vereshagin V. I., doctor of technical sciences, professor; E-mail: V.Ver@TPU.ru, Tomsk Polytechnic University, Russia

MAGNESIA ASTRINGENT FROM PRODUCT PROCESSING OF MAGNESIUM-CHLORIDE BRINE

The chemical and mineralogical structures of (waste) product processing of brine are investigated. In the research determine the waste do not show astringencies. The heat treatment of waste (450–500 °C) allows to receive MgO with high hydration activity. The heat treatment of waste and introducing of the activator of concreting allows to receive magnesium astringent with a compressive strength 38–60 MPa or magnesium astringent composit with abnormally high firmness for water...

magnesia, magnesia astringent, composit of magnesia astringent, waste-product processing of brine.

REFERENCES

1. Pinekker, E. V. Brines of Angaro-Lensky Artesian basin [Text]/E. V. Pinekker.— М.: Science, 1966.— 330 p.
2. Akchurin, T. K. Perspectives of development and processing of bischofite of Volgogradsky deposit [Text]/T. K. Akchurin, S. A. Ananina, I. I. Nikitin.— Volgograd: VolgGASA, 1995.— 115 p.
3. Kotsupalo, N. P. Selection of complex processing from chloride-calcium brines [Text]/N. P. Kotsupalo, L. T. Menzheres, A. D. Ryabtsev//Chemistry to interest of stable development.— Novosibirsk, 1999.— N 3.— P. 57.

УДК 691.54:536.21

А. Ф. КОСАЧ, И. Н. КУЗНЕЦОВА, М. А. РАЩУПКИНА

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТА
НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

Предложены формулы определения теплопроводности цементного камня на стадии проектирования в зависимости от его плотности и содержания основных минералов применяемого цемента...

теплопроводность, бетон.

Повышение требований к тепловой защите зданий и энергосберегающие мероприятия в строительстве направлены на сокращение ежегодных затрат на отопление, что характерно для большинства городов с длительным отопительным периодом. В настоящее время в жилищном строительстве с разными климатическими условиями применяют теплоизоляционные бетоны, которые обладают высокими теплозащитными свойствами. Портландцемент в современном строительстве — основное высококачественное вяжущее вещество для бетона, отвечающее физико-техническим требованиям. Наибольшее значение для практических результатов теплофизических расчетов ограждающих конструкций имеют изменения теплопроводности материалов компонентов конгломерата бетона от их плотности, пористости, химического состава (природы материала), влажного состояния и т.д. $\lambda = f(\rho, c, L, X, \omega)$ [1]. Поэтому решать проблему создания строительных материалов с заданными теплофизическими свойствами, а именно снижать теплопроводность изделий из пенобетона и разрабатывать надежные методы определения теплопроводности изделий на стадии проектирования актуально, если в качестве вяжущего применяют цемент.

Исследования последних лет показывают, что снизить теплопроводность пенобетона, состоящего из порообразующих перегородок, сформированных из цементного камня и структуры его пор, можно путем введения различных воздухововлекающих химических добавок и порообразующих микронаполнителей и за счет увеличения количества пор.

Эффект снижения теплопроводности порообразующей перегородки пенобетона и изделия в целом может быть достигнут благодаря использованию определенного минерального состава цемента, применяемого в производстве пенобетона. В работе [2] авторами проведен анализ определения теплопроводности цементного камня от химического состава основных оксидов портландцемента.

Исследования теплопроводности цементного камня основаны на работах ученых по теории теплофизики — К. Ф. Фокин, М. А. Мехеев, Ф. В. Ушков, Н. А. Тачкова, А. Ф. Чудновский, В. П. Некрасов, О. Кришер, В. Г. Петров-Денисов и др., где теплопроводность цементного камня определяется по плотности. В данных работах не учитываются особенности состава основных минералов цемента [3]. Исследования бетона, пенобетона проведены в работах таких ученых, как И. Н. Ахвердов, Ю. М. Баженов, А. В. Крылова, М. М. Сычев, П. А. Ребиндер, В. В. Помазков, Е. И. Шмитько, В. В. Шаталова и др. В них обоснованы макроструктура

© Косач А. Ф., Кузнецова И. Н., Рашупкина М. А., 2009

пенобетона и микроструктура порообразующей перегородки, сформированной из цементного камня.

Выполненный анализ литературных данных показал, что, несмотря на значительные научно-теплофизические разработки в области снижения теплопроводности композиционных строительных материалов, требуются поиск и теоретическое обоснование новых способов снижения теплопроводности изделий из пенобетона.

Экспериментально теплопроводность цементного камня $\lambda_{ц.к}^э$, сформированного из портландцемента Искитимского завода, определена методом стационарного теплового потока на приборе ИТП-МГ4 согласно ГОСТ 7076–99. Данные цементы удовлетворяют требованиям ГОСТ 10178–85 и ГОСТ 1581–96. Процентное содержание основных минералов и оксидов для каждого вида цемента представлено в табл. 1. Образцы изготавливались из цементного теста нормальной густоты размерами $100 \times 100 \times 15$ мм (табл. 2). Наилучшие результаты показали образцы на цементе марок № 1, 2 и 4.

Таблица 1

Химико-минеральный состав цемента

Цемент	Марка цемента	Основные минералы цемента, %				Основные оксиды цемента, %			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
№ 1	ПЦ 500-Д0-Н	62–63	16–17	6–7	12–13	20,28	4,74	4,2	61,84
№ 2	ПЦ 400-Д20	60–61	17–18	5–6	11–12,5	22,86	5,18	4,07	65,55
№ 3	ПЦ 500-Д0	63–64	15–16	5–5,5	10–10,5	22,29	4,74	3,85	66,68
№ 4	ПЦ А	61–62	18–19	7–8,5	13,4–14	20,52	5,31	4,48	62,87
№ 5	ПЦ Т I-50	64–65	14,5–16	4–5	13–14	20,16	4,71	4,29	62,27
Алитовый		64–66	12–13	7–8	10–11				
Белитовый		23–25	48–49	7–8	14–15				
Алюминатный		44–45	28–29	13–14	7–8				
Алюмоферитный		54–55	17–18	5–6	17–18				

Для определения содержания пор в цементном камне использовали анализатор «Porosimeter 2000». Данный прибор позволил измерить широкий интервал размеров пор (мезо- и макропор), где экспериментальная пористость образцов цементного камня на разной марке цемента составляет для № 1 и 3 — $7,2 \div 7,9$ %; для № 4 — $9 \div 9,6$ %; для № 2 и 5 — $10 \div 11,5$ %. При сообщающихся порах в материале возникают конвекционные потоки воздуха, что приводит к увеличению коэффициента теплопроводности, а материал с очень мелкими закрытыми порами имеет более низкую теплопроводность за счет уменьшения количества тепла, передаваемого излучением и массопереносом в материале [1, 3, 4].

Теплопроводность цементного камня является суммарной характеристикой кондуктивной теплопроводности непрореагировавших зерен и новообразований цемента, а также микропор (8–10 % от общей пористости). При расчетах теплопроводности цементного камня $\lambda_{ц.к}^p$ принимается абсолютно плотное состояние, без капиллярных и гелевых пор:

$$\lambda_{ц.к}^p = \lambda_{ц.к}^э \cdot k_{ц.к} - \lambda_{в} \cdot k_{в}, \quad (1)$$

где $\lambda_{ц.к}^э$ — теплопроводность цементного камня, определяется экспериментально, Вт/м·С;

$k_{ц.к}$, $k_{в}$ — процентное содержание цементного камня и воздуха;

$\lambda_{в}$ — коэффициент теплопроводности воздуха, 0,23 Вт/м·°С.

Таблица 2

Физико-химические характеристики портландцемента

Характеристика	Портландцемент				
	бездобавочный для бетона дорожных и аэродромных покрытий	с минеральными добавками	бездобавочный	с асбестом	бездобавочный для низких и нормальных температур
Номер марки цемента	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Марка цемента	ПЦ 500-Д0-Н	ПЦ 400-Д20	ПЦ 500-Д0	ПЦ А	ПЦ I-50
<i>Вещественный состав цемента, мас. %:</i> портландцементный клинкер	100	88–82	100	85–80	100
гипсовый камень–ангидрид серной кислоты SO ₃	1,5–3,5	2,0–3,0	2,3–3,0	2,0–3,0	1,9–2,9
гранулированный доменный шлак	—	12–18	—	—	—
<i>Предел прочности через 28 сут твердения, МПа:</i> при сжатии	50,7–52,6	43,0–46,3	50,2–53,4	34–35,8	—
при изгибе	7,8–8,0	5,6–6,3	6,1–6,9	6,3–6,5	—
Нормальная плотность цементного теста В, мл	100	109	106	110	350
Ц, г	400	400	400	400	700
В/Ц, %	25	27,25	26,5	27,5	50
ГОСТ	10178–85				1581–96

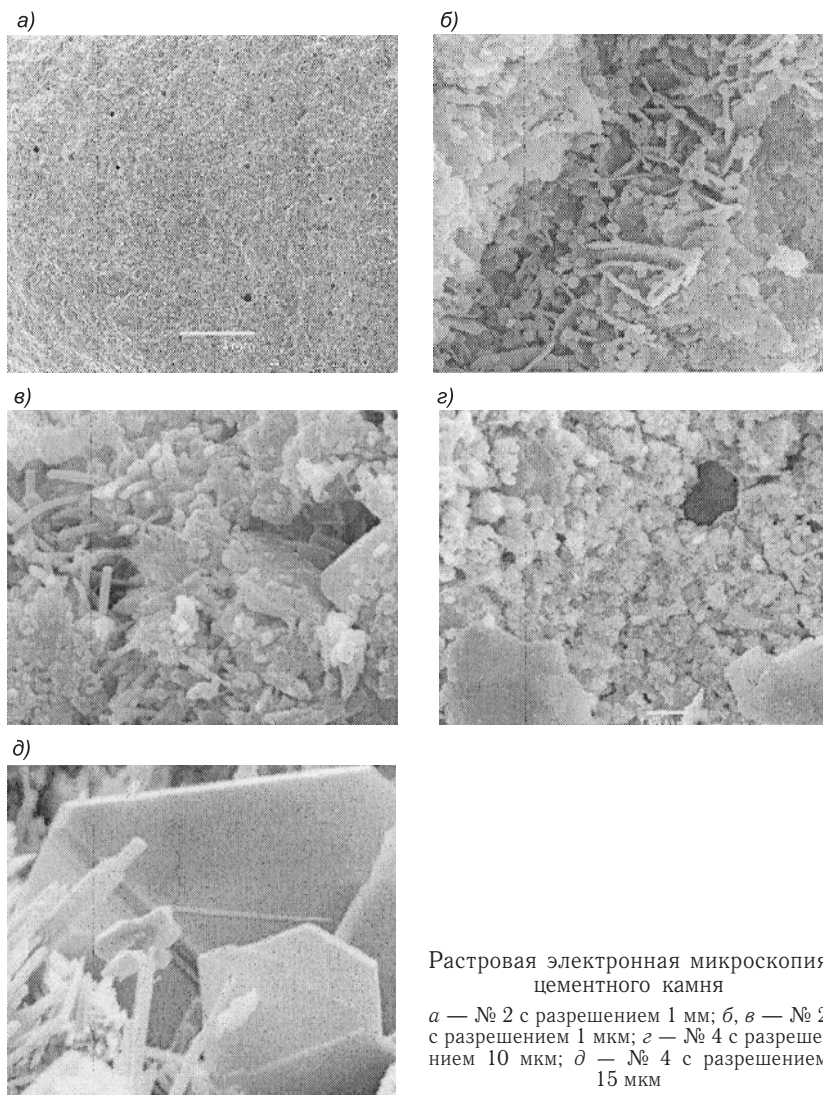
На микрофотографиях исследуемых образцов цементного камня (рис., а) отчетливо видны игольчатые кристаллы и их сростки (рис., б, в, д), характерные для гидросиликатов кальция. Выявлены гидрооксиды кальция, кристаллизующиеся в виде шестиугольников или удлиненных кристаллов (см. рис., б, д) и массивов (рис., в). Данные массивы способствуют увеличению теплопроводности. Призматические кристаллы свидетельствуют о наличии алита (см. рис., з). Присутствие гексагональных пластинок и кубических кристаллов свидетельствует о наличии гидроалюминатов кальция (см. рис., в, д), что согласуется с результатами рентгенофазового и дифференциально-термического анализов.

На основании полученных результатов рассчитаны уравнения регрессии, устанавливающие зависимость, теплопроводности цементного камня ($\lambda_{ц.к}^p - y$) от содержания основных минералов в портландцементе:

$$\lambda_{ц.к}^m = 0,427 + 0,0015 \cdot C_3S - 0,0012 \cdot C_2S - 0,0045 \cdot C_3A - 0,0038 \cdot C_4AF, \quad (2)$$

где C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF — процентное содержание основных минералов цемента.

Анализ полученных коэффициентов в уравнении (2) показал, что содержание алита C_3S приводит к увеличению коэффициента теплопроводности, с уменьшением содержания C_3S и увеличением содержания C_2S , алюмината C_3A , алюмоферита C_4AF теплопроводность уменьшается. Наиболее значимое влияние на теплопроводность оказывает алюминат кальция C_3A . Полученные экспериментальные $\lambda_{ц.к}^a$ и расчетные $\lambda_{ц.к}^m$ значения коэффициента теплопроводности цементного камня представлены в табл. 3. Расхождение между значениями незначительное — от 0,2 до 8 %.



Теплопроводность цементного камня составляет на алитовом цементе 0,435 Вт/(м·К), белитовом — 0,368, алюминатном — 0,351, алюмоферитном — 0,397 Вт/(м·К).

Т а б л и ц а 3

Теплопроводность цементного камня

Характеристика	Портландцемент				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
	Марка цемента				
	ПЦ 500-Д0-Н	ПЦ 400-Д20	ПЦ 500-Д0	ПЦ А	ПЦ 1-50
Средняя плотность цементного камня ρ , кг/м ³	2150	2100	2070	2120	2160
Экспериментальные данные $\lambda_{ц.к.}^э$, Вт/(м·К)	0,418	0,411	0,408	0,401	0,425
Расчетные данные $\lambda_{ц.к.}^м$, Вт/(м·К), по формуле (2)	0,428	0,431	0,413	0,411	0,436
Теплопроводность цементного камня λ^p , Вт/(м·К)	0,419	0,412	0,406	0,352	0,428

Уравнения зависимости теплопроводности цементного камня $\lambda_{ц.к}^p$ от его средней плотности на различных видах цемента определены с помощью регрессионного анализа:

- на ПЦ 500-Д0-Н $\lambda^p = 0,283 \cdot \rho - 0,19$;
- на ПЦ 400-Д20 $\lambda^p = 0,274 \cdot \rho - 0,163$;
- на ПЦ 500-Д0 $\lambda^p = 0,22 \cdot \rho - 0,049$;
- на ПЦ А $\lambda^p = 0,21 \cdot \rho - 0,2$;
- на ПЦТ I-50 $\lambda^p = 0,24 \cdot \rho - 0,09$,

где ρ — средняя плотность портландцементного камня, т/м³.

Расхождение величин теплопроводности цементного камня, полученных расчетным и экспериментальным путем, незначительное.

По данным зависимостям теплопроводности для ПЦ 400-Д20 составляет $\lambda = 0,493$ Вт/м·°С при средней плотности $\rho = 1800$ кг/м³, для ПЦ А $\lambda = 0,371$ Вт/м·°С при $\rho = 1800$ кг/м³. По экспериментальным данным (прибором ИТП-МГ4 в соответствии с ГОСТ 7076–99) теплопроводность для ПЦ 400-Д20 составляет $\lambda = 0,463 \div 0,526$ Вт/м·°С при средней плотности $\rho = 1930 \div 2180$ кг/м³, для ПЦ А $\lambda = 0,394$ Вт/м·°С при $\rho = 1950$ кг/м³, что согласуется с данными К. Ф. Фокина¹ и других авторов. Теплопроводность портландцементного камня составляет $\lambda = 0,464 \div 0,47$ Вт/м·°С при средней плотности $\rho = 1800$ кг/м³, для асбестоцемента $\lambda = 0,35$ Вт/(м·К) при $\rho = 1900$ кг/м³.

Расчет теплопроводности бетона по представленной в [3] методике с учетом заданных характеристик его компонентов на портландцементе марки 400 аппроксимируется выражением

$$\lambda_{ц.к} = (\rho_{ц.к} - 190) \cdot 0,415 \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где $\rho_{ц.к}$ — средняя плотность портландцементного камня, кг/м³.

По формуле (3) коэффициент теплопроводности цементного камня из портландцемента марки 400 при средней плотности $\rho = 1800$ кг/м³ составляет $\lambda_{ц.к} = 0,467$ Вт/м·°С, т.е. расчетные и экспериментальные данные согласуются с данными других авторов.

Полученные результаты экспериментальных и расчетных исследований теплопроводности цементного камня позволяют оценить влияние основных минералов цемента на его теплопроводность. Установлено, что повышение содержания в цементе алита приведет к повышению коэффициента теплопроводности, а увеличение содержания белита и особенно трехкальцевого алюмината и целлита — к его снижению. Рекомендуются при производстве пенобетона применять цементы с максимально допустимым содержанием алюмината C_3A , алюмоферита C_4AF и с наименьшим содержанием алита C_3S . При этом теплопроводность пенобетона можно снизить на 24 %.

Определены математические зависимости коэффициента теплопроводности λ^p и (2), которые позволяют с достоверной вероятностью 94 % прогнозировать теплопроводность цементного камня на стадии проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст]/Ю. М. Баженов.— М.: Изд-во АВС, 2003.— 500 с.
2. Косач, А. Ф. Проектирование изделий из пенобетона с заданной теплопроводностью [Текст]/А. Ф. Косач, И. Н. Кузнецова//Изв. вузов. Строительство.— 2008.— № 10.— С. 30–35.

¹ Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 5-е изд., пересм.; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

3. Ушков, Ф. В. Теплопроводность беспесчаного бетона [Текст]/Ф. В. Ушков, Н. А. Тачкова и др. // Строительная теплофизика: тр. НИИСФ.— М., 1978.— Вып. 19.— С. 3–7.
4. Шмитко, Е. И. Химия цемента и вяжущих веществ [Текст]/Е. И. Шмитко, А. В. Крылова, В. В. Шаталова.— СПб., 2006.— 206 с.

КОСАЧ А. Ф., д-р техн. наук, проф.

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

КУЗНЕЦОВА И. Н., асп.

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

РАЩУПКИНА М. А., инж.

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

Получено после доработки 13.05.09

Kosach A. F., doctor of technical sciences, professor, Siberian Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

Kuznetsova I. N., post-graduate student, Siberian Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

Raschupkina M. A., engineer, Siberian Automobile and Highway Academy (SibADI), Omsk, Russia

INFLUENCE OF MINERALS CEMENT ON THERMAL CONDUCTIVITY CONCRETE

The formulas of definition thermal conductivity of concrete are offered, depending on its density and from the contents of the basic minerals of used cement, at a stage of designing...

thermal conductivity, concrete.

REFERENCES

1. Bazhenov, Yu. M. Technology of concrete [Text]/Yu. M. Bazhenov.— М.: Publishing house ABC, 2003.— 500 p.
2. Kosach, A. F. Designing of products from cellular concrete with given thermal conductivity [Text]/A. F. Kosach, I. N. Kuznetsova // News of Higher Educational Institutions. Construction.— 2008.— N 10.— P. 30–35.
3. Ushkov, F. V. Thermal conductivity a demon of sand of concrete [Text]/F. V. Ushkov, N. A. Tachkova et al. // Building heat physics: works NIISF.— М., 1978.— Release 19.— P. 3–7.
4. Shmitko, E. I. Chemistry of cement and knitting substances [Text]/E. I. Shmitko, A. V. Krylova, V. V. Shatalova.— SPb., 2006.— 206 p.

УДК 691.43–431

Б. К. КАРА-САЛ, Э. Э. ОНДАР, К. Л. САТ

КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОБАЛЬТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Показана возможность использования отходов извлечения кобальтового концентрата в технологии производства керамических облицовочных плиток, в качестве добавки к легкоплавкой глине совместно с пегматитом для улучшения эксплуатационных свойств получаемых изделий...

отходы, кобальтовый концентрат, масса, обжиг, свойства.

В условиях рыночной экономики в связи с повышением тарифов на перевозку материалов при производстве керамических изделий все актуальнее становится использование местных дешевых глинистых пород и отходов промышленности в качестве добавок. Это позволяет значительно снизить себестоимость продукции и сэкономить традиционное керамическое сырье.

Несмотря на широкое распространение, неглубокое залегание и недорогую добычу, многие местные глинистые породы отличаются коротким интервалом спекания, непостоянным составом, наличием включений, которые ограничивают их использование в производстве облицовочной керамики. В результате для регулирования технологических и эксплуатационных свойств керамического материала необходимо введение в состав масс природных и техногенных добавок.

Применение отходов промышленности в производстве керамических изделий решает две проблемы — сырьевую и экологическую. В ряде случаев техногенные продукты представляют собой готовое сырье, не требующее дополнительной технологической обработки. В то же время недостаточная изученность самого сырья и его поведения в массах при термической обработке ограничивает его применение в производстве. Все это вызывает необходимость проведения дополнительных исследований с целью определения возможности использования вторичного сырья для производства различных видов керамических изделий.

Цель данной работы — разработка составов масс для получения керамических облицовочных изделий на основе отходов извлечения кобальтового концентрата. Результаты работы имеют научный и практический интерес, так как отходы извлечения кобальтового концентрата представлены силикатами кальция и магния (содержание $RO > 27\%$) и имеются только на территории Норильской промышленной зоны и Тывы. Перспективность применения отходов, содержащих силикаты кальция и магния, определяется особенностями процессов их кристаллизации, способностью к изоморфизму, а также возможностью взаимных переходов водных и безводных соединений, что определяет их основную роль в формировании эксплуатационных свойств получаемых керамических изделий.

Отходы извлечения кобальтового концентрата представляют собой дисперсные материалы серого цвета с преобладанием частиц размером менее 20 мкм. Насыпная средняя плотность 890–910 кг/м³, истинная плотность 2720 кг/м³. Химический состав отходов отличается высоким

© Кара-сал Б. К., Ондар Э. Э., Сат К. Л., 2009

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Материал	Массовое содержание оксидов, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	П.п.п.
Отходы извлечения кобальтового концентрата	36,72	9,44	0,12	10,01	15,47	12,01	1,17	1,32	—	13,81
Холчукская глина	56,01	15,89	0,36	5,11	6,88	2,19	2,95	2,10	0,32	8,06
Чарашские пегматиты	60,31	15,78	0,27	5,96	6,87	2,96	1,79	6,37	—	0,31

содержанием щелочно-земельных оксидов и железистых соединений (табл. 1). Рентгенофазовым анализом установлено, что минералогический состав отходов представлен кварцем, силикатами магния (хлорит, серпентинит, оливин), карбонатами (кальций, доломит), ортоклазом и железистыми соединениями (гематит, магнетит). При низкой пластичности отходы имеют температуру огнеупорности 1180 °С.

По данным дифференциально-термического анализа, на термограммах отходов кобальтообогащения фиксируется несколько эндотермических эффектов. Первый, в интервале температур 160–200 °С, связан с потерей низкотемпературной межслоевой воды гидрохлоритами и смешанослойными минералами типа серпентин, которые при температурах 625–700 °С теряют конституционную химически связанную воду. Эндотермический эффект в пределах 910–930 °С свидетельствует о разложении доломита и кальцита. Слабо выраженный экзотермический эффект при температурах 470 и 520 °С следует отнести к окислению железа до трехвалентного состояния.

В качестве пластичного компонента при разработке состава керамических масс принята местная глинистая порода месторождения Холчук, которое находится недалеко от отвалов отхода извлечения кобальтового концентрата. Исходная холчукская глина имеет монтмориллонитовую основу (32–34 %), в то же время содержит еще иллит (10–12 %). В фазовом составе глинистой породы наряду с глинистыми минералами присутствуют кварц, ортоклаз, кальцит и гидроксид железа. В гранулометрическом составе преобладают пылеватые частицы 42–54 %, содержание глинистых частиц составляет 34–38 %, песчаных 18–26 %. Глина среднепластичная с температурой огнеупорности 1210 °С. От местных глинистых пород холчукская глина отличается высоким содержанием щелочных оксидов и более широким интервалом спекания, где можно получить керамические изделия пористого и плотного черепка.

Для улучшения спекания керамических масс в состав шихты дополнительно вводили чарашские пегматиты, являющиеся отходами камнедробления для дорожного покрытия, содержащие полевые шпаты.

Работа выполнена по следующей методике. Шликер влажностью 43 % и со временем истечения на вискозиметре Энглера 13 с готовили совместным помолотом в шаровой мельнице, после сушки и дозировки сырьевых материалов. Время измельчения 6 ч. Образцы — кубики размерами 50×50×50 мм прессовали при удельном давлении 25 МПа из порошка с влажностью 10 %, полученного путем сушки шликера на гипсовых формах и последующим измельчением до зерен размером менее 0,31 мм. Высушенные при 105–110 °С образцы обжигались в лабораторной электропечи в интервале 1000–1100 °С с изотермической выдержкой 1 ч.

В табл. 2 представлен состав керамических масс. При разработке состава масс исходили из того, что в массах с высоким содержанием щелочно-земельных оксидов (CaO и MgO) в процессе обжига при температурах 900–1100 °С протекают твердофазовые реакции с образованием алюмо-

Таблица 2

Составы керамических масс

Материал	Массовое содержание, % в составе					
	1	2	3	4	5	6
Отходы извлечения кобальтового концентрата	30	40	50	50	60	30
Холчукская глина	50	40	30	40	30	40
Чарашские пегматиты	20	20	20	10	10	30

силикатов кальция, что позволяет получить изделия с высокой механической прочностью и малой усадкой. Учитывая значительную величину механической усадки глин при термической обработке (до 8 %), содержание холчукской глины ограничивалось в пределах 30–50 %.

Анализ физико-механических характеристик обожженных кубиков, представленных в табл. 3, показывает, что введение отходов извлечения кобальтового концентрата в состав керамической шихты на основе глини-

Таблица 3

Физико-механические свойства кубиков

Состав	Температура обжига, °С	Средняя плотность, г/см ³	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	1000	1,86	3,3	17,7	19,3
	1050	1,88	4,2	16,4	21,6
	1100	1,89	5,0	14,9	23,8
2	1000	1,87	2,2	15,7	22,5
	1050	1,89	2,6	14,4	24,3
	1100	1,91	3,1	12,7	26,7
3	1000	1,88	2,5	14,8	24,1
	1050	1,90	3,1	13,2	26,9
	1100	1,93	3,7	11,4	29,2
4	1000	1,86	2,6	16,9	21,2
	1050	1,87	3,0	15,7	22,7
	1100	1,88	3,8	14,8	24,0
5	1000	1,86	1,8	17,9	19,0
	1050	1,87	2,2	17,3	19,7
	1100	1,89	2,7	16,2	21,8

стых пород способствует спеканию массы при определенном количестве. Выявлено, что при указанном составе массы наиболее оптимальным является добавка 40–50 % отходов. Именно при таком содержании отходов (составы 2 и 3) свойства плиток, обожженных при 1000–1050 °С, удовлетворяют требованиям ГОСТ 6141–91. Установлено, что при введении 30 % (состав 1) отходов извлечения кобальтового концентрата водопоглощение полученных плиток, обожженных при 1000 и 1050 °С, выше 16 %. Повышение температуры до 1100 °С

приводит к значительной усадке, так как содержание глинистого компонента 50 %, что больше, чем в составах 2 и 3. В то же время повышение доли отходов в составе массы до 60 % с одновременным уменьшением содержания глины и пегматита вызывает увеличение пористости черепка и соответственно водопоглощения черепка выше требуемой величины. Это свидетельствует о снижении спекаемости массы при увеличении содержания отходов в керамической массе. Замена части отходов полевошпатным пегматитом в составе 6 не привела к значительному изменению прочности и водопоглощения образцов по сравнению с результатами состава 3.

Из выявленных составов 2 и 3, несмотря на удовлетворительные свойства кубиков, к дальнейшей разработке и изучению приняты изделия из состава 3, обожженные при температурах 1000 и 1050 °С. Повышение температуры обжига до 1100 °С для плиток из той же массы вызывает значительное уплотнение материала (до 11 %) и плохое сцепление с раствором.

Детальное исследование кубиков на основе массы 3 рентгенофазовым анализом и оптической микроскопией показывает, что после обжига при температуре 1000 °С фазовый состав представлен стеклофазой и кристаллическими компонентами: кварцем и полевыми шпатами. Образование ще-

лочеземельного расплава обеспечивает соединение более тугоплавких кристаллических фаз, что приводит к повышению прочности черепка. Тем не менее, в структуре материала наблюдаются отдельные сквозные поры.

При дальнейшем повышении температуры до 1050 °С происходит значительное увеличение содержания жидкой фазы вследствие плавления полевых шпатов. Кроме того, в ней идет растворение кварца, что подтверждается снижением интенсивности его пиков на рентгенограммах.

Особенностью фазового состава черепка, обожженного при 1050 °С, является образование анортита ($d/n = 0,417; 0,375; 0,321; 0,294$ нм). Кристаллизация анортита обеспечивается за счет продуктов разложения глинистых минералов, свободного оксида кремнезема и избыточного содержания СаО. Увеличение содержания щелочеземельной жидкой фазы может способствовать кристаллизации еще новых образований типа геленит и волластонит. За счет значительного накопления жидкой фазы формируется еще более прочная структура материала вследствие прямого контакта кристаллических фаз. Это приводит к уплотнению черепка с уменьшением пористости и водопоглощения (до 13,2 %), соответственно повышается прочность материала до 26,9 МПа.

Возрастание прочности образцов на основе состава 3 обусловлено благоприятным сочетанием химических и минеральных составов массы. Как отмечено в работах [1, 2], повышенное содержание щелочеземельных оксидов (RO) в массах позволяет получить алюмосиликатный расплав пониженной вязкости и в результате формируется более прочный и плотный керамический материал.

После нанесения белой глазури, изготовленной на основе фритты Новокузнецкого завода «Универсал» с добавкой 5 % Са(ОН)₂, обжиг кубиков на основе состава 3 проведен при 980 °С. Расчетные значения термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) основного черепка и глазури близки и составляют $6,1 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ соответственно. В результате после обжига глазурь на поверхности плиток не имела трещин, цека и отслоений. Водопоглощение полученных плиток — 13,6–14,4 %, прочность при изгибе — 23,8–24,6 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 6141–91.

Таким образом, на основе отходов кобальтового концентрата, легкоплавкой монтмориллонитовой местной глины с добавкой полевошпатового пегматита разработана керамическая масса для изготовления керамических облицовочных плиток. Результаты работы будут использованы для проведения заводских испытаний и при разработке технологического регламента производства керамических облицовочных плиток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов, В. Ф. Физико-химические основы строительной керамики [Текст]/В. Ф. Павлов.— М.: Стройиздат, 1977.— 239 с.
2. Веричев, Е. Н. Исследование легкоплавких глин с целью использования их в производстве некоторых видов керамических изделий [Текст]/Е. Н. Веричев, В. Ф. Павлов//Исследование по технологии производства и расширению ассортимента керамических изделий: сб. тр. НИИстройкерамика.— М., 1981.— С. 10–25.

КАРА-САЛ Б. К., д-р техн. наук, доц.

Тывинский государственный университет, г. Кызыл

ОНДАР Э. Э., ст. препод.

Тывинский государственный университет, г. Кызыл

САТ К. Л., ст. препод.

Тывинский государственный университет, г. Кызыл

Получено 15.04.09

Kara-sal B. K., doctor of technical sciences, assistant professor, Tyvan State University, Kyzyl, Russia

Ondar E. E., senior lecturer, Tyvan State University, Kyzyl, Russia

Sat K. L., senior lecturer, Tyvan State University, Kyzyl, Russia

CERAMIC MATERIAL ON THE BASIS OF WASTE PRODUCTS LEFT AFTER COBALT CONCENTRATE EXTRACTION

The aim of this article is to show the possibility of using the waste products left after the extraction of cobalt concentrate in the technological process of manufacturing ceramic decorative tiles. These waste products used as supplement to fusible clay together with pegmatite improve the operational properties of obtained products...

waste products, cobalt concentrate, mass, baking, properties.

REFERENCES

1. P a v l o v, V. F. Physical and chemical bases of building ceramics [Text]/V. F. Pavlov.— M.: Stroyizdat, 1977.— 239 p.
2. V e r i c h e v, E. N. The investigation of fusible sorts of clay in order to use them in the manufacture of some sorts of ceramics [Text]/E. N. Verichev, V. F. Pavlov//The investigation in the sphere of technology and broadening of assortment of ceramics: ed. by NIIsstroykeramika.— M., 1981.— P. 10–25.

УДК 691.42:325

И. И. НЕМЕЦ, И. А. ИВЛЕВА

ПРОЧНОПОРИСТАЯ СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА

Введение отходов производства пеностекла в глиносодержащие смеси поризует структуру материала, активизирует процесс спекания и синтеза неизометрических кристаллов, армирующих поверхность пор и межпоровой твердой фазы. Разработанный поризованный керамический материал отличается повышенной удельной прочностью...

пеностекло, пористость, прочность, спекание, поризованный керамический материал.

Теплоизоляция ограждающих конструкций зданий и сооружений, печных агрегатов, промышленного и энергетического оборудования обеспечивает экономию энергетических затрат и является эффективным средством снижения потерь тепла. Следовательно, одна из важных технологических задач — разработка эффективных методов поризации структуры материалов с целью повышения теплоизоляционных свойств изделий.

Весьма эффективный метод повышения прочности материала — армирование его структуры. Перспективными направлениями улучшения свойств материалов считают разработку и применение комплексных химических добавок, в том числе порообразующих, упрочняющих, микроармирующих структуру.

Направленное регулирование структуры и свойств конструкционной керамики на основе низкосортных тугоплавких глин и корректирующих добавок, низкокальциевых зол, зольных микросфер, цеолитных пород армирующеупрочняющего действия достигалось кристаллизацией неизометрической (игольчато-волокнистой и короткостолбчатой) формы кристаллов [1]. Игольчатые кристаллы волластонита, а также кристаллы энстатита армируют стеклофазу, что повышает плотность и прочность материала на основе природного волластонита [2].

В производстве стеновых керамических материалов применяют минеральное сырье, объем потребления которого непрерывно возрастает, что вынуждает использовать низкокачественное глинистое сырье без учета технологических свойств. Это не позволяет выпускать продукцию, соответствующую требованиям как по внешнему виду, так и по физико-механическим свойствам. Качество изделий можно регулировать добавками в составе сырьевой смеси, в том числе и поризующими. Для этой цели были применены отходы производства пеностекла, выполняющие роль в глиносодержащих смесях порообразующего, отошающего и спекающего компонента [3]. В исследованиях использовали как мономинеральное глинистое сырье: каолин просяновский, гидрослюда и монтмориллонит (выделенный из греческого бентонита), так и полиминеральные глины (табл. 1).

Предварительно высушенные и измельченные глины просеивали через сито с отверстиями диаметром 1,00 мм. Глины и стеклопористый компонент (СПК) дозировали в соответствии с рецептурой (табл. 2), смешивали в лабораторном шнековом смесителе при одновременном добавлении воды в соответствии с водозатворяемостью масс. Пластическую

Таблица 1

Химический состав исходных компонентов

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %										Σ
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	П.п.п.	
Просяновский каолинит (обогащенный)	47,0	37,18	0,59	0,43	0,86	0,46	0,66	0,10	0,43	10,97	100,24
Монтмориллонит	58,64	14,15	6,22	1,41	5,18	2,44	0,22	1,62	—	9,88	99,76
Гидролюда	61,70	22,13	2,45	—	1,23	0,94	4,65	0,59	0,10	4,01	97,80
Городищенская глина	67,70	12,2	4,30	0,70	2,43	0,78	1,56	0,92	0,14	7,30	98,03
Чибисовская глина	67,70	20,3	1,60	1,20	0,70	0,20	0,70	0,60	следы	6,8	99,80
Шебекинская глина	66,10	11,56	4,10	1,07	3,45	1,96	2,40	0,50	0,11	8,82	100,00
Пеностекло	71,60	2,70	0,30	—	8,2	1,1	14,70	0,40	—	—	99,00

массу формовали на гидравлическом прессе под удельным давлением 2–3 МПа. Образцы отформованные (кубики 50×50 мм) высушивали до остаточной влажности 2 %, а затем обжигали в силитовой печи при 950, 1050 и 1150 °С, при скорости подъема температуры 2...3 град/мин. Выдержка образцов при достижении принятой температуры — 2 ч.

Таблица 2

Составы и шифры смесей

Компоненты	Шифр смеси и содержание компонентов, мас. %					
	0к	4к	0м	4м	0гс	4гс
Каолин	100	60				
Бентонит			100	60		
Гидролюда					100	60
СПК	0	40	0	40	0	40
	0ш	4ш	0г	4г	0ч	4ч
Шебекинская глина	100	60				
Городищенская глина			100	60		
Чибисовская глина					100	60
СПК	0	40	0	40	0	40

минеральных глин после обжига при добавлении 40 мас. % СПК повышается для каолина на 50 %, для гидролюда в 3,5 раза. Такое упрочнение материала при уменьшении плотности и увеличении общей пористости объясняется не только повышенным содержанием стеклофазы в структу-

Пеностекло в глинистых смесях влияет на процесс структурообразования при обжиге. Свойства образцов после обжига на основе мономинеральных глин без и с пеностеклом представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Из анализа табл. 3 следует, что введение пено-стекла уменьшает огневую линейную усадку, плотность, открытую пористость и повышает прочность образцов из мономинеральных глин. Прочность образцов на основе моно-

Таблица 3

Физико-механические свойства образцов на основе мономинеральных глин (температура обжига, 1050 °С)

Индекс шихты	Огневая линейная усадка, %	Плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Удельная прочность, МПа/т/м ³
0к	–17,0	1,35	43,0	8,0	5,9
4к	+1,0	1,19	26,0	12,0	10,1
0м	—	—	—	—	—*
4м	+1,4	1,19	13,2	23,3	19,6
0гс	–3,0	1,45	43,0	10,0	6,9
4гс	+1,6	1,28	21,0	35,0	27,3

* Образцы разрушились в обжиге.

ре образцов, но и интенсивной кристаллизацией муллита ($d\text{\AA} = 5,40; 3,43; 2,21; 2,13; 1,52$), анортита ($d\text{\AA} = 3,91; 3,76; 3,46; 3,39; 3,26; 3,17; 3,12; 2,99; 2,89; 2,65; 2,52$), диопсида ($d\text{\AA} = 3,25; 2,99; 2,57; 1,84$), волластонита ($d\text{\AA} = 3,85; 3,52; 2,99; 2,52; 2,47; 1,83; 1,47$), неизометрические кристаллы которых армируют поверхность сферических пор и материал межпорового пространства (рис. 2, а–в).

Показатели плотности, огневой усадки и удельной прочности образцов из глинистых минералов без и с добавкой пеностекла (см. табл. 3) свидетельствуют о том, что пеностекло стабилизирует объем при обжиге и существенно (в 2–4 раза) увеличивает удельную прочность образцов.

Результаты влияния пеностекла на свойства образцов из полиминеральных глин подтверждаются данными табл. 4 и рис. 3. Введение пеностекла повышает прочность материала образцов после обжига в ряду чибисовская–городищенская–шебекинская глины от 29, 35 до 44 МПа соответственно. Этому способствует также повышенное содержание щелочных оксидов K_2O , Na_2O в чибисовской, городищенской и шебекин-



Рис. 1. Пористость и прочность образцов на основе мономинеральных глин без (0) и с добавкой пеностекла (4)

0к и 4к — просьяновский каолинит; 4м — монтмориллонит; 0гс и 4гс — гидрослюда

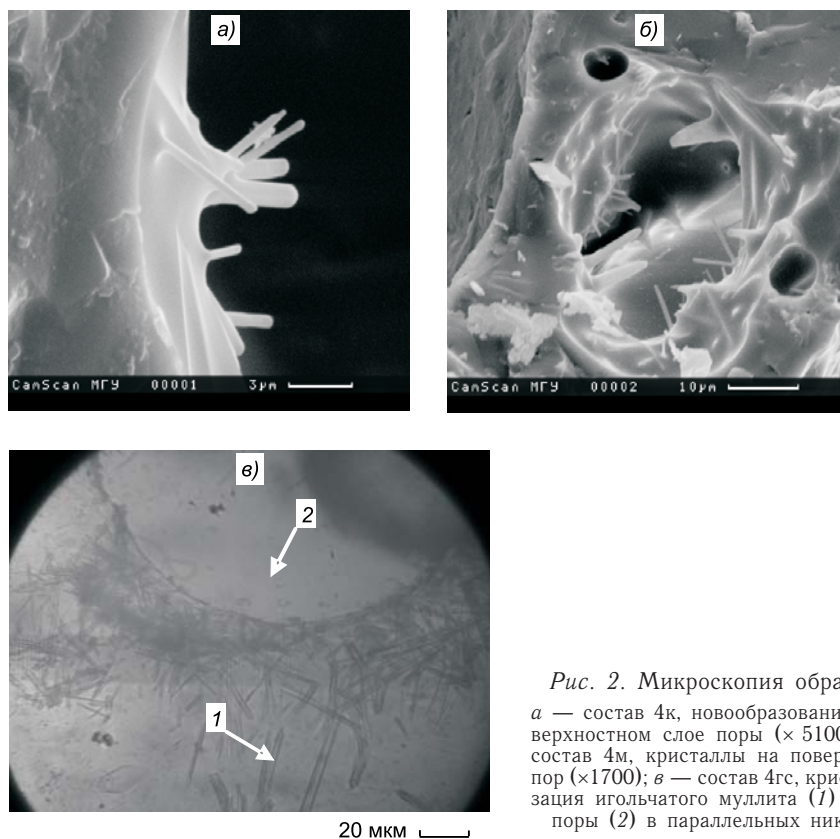


Рис. 2. Микроскопия образцов а — состав 4к, новообразование в поверхностном слое поры ($\times 5100$); б — состав 4м, кристаллы на поверхности пор ($\times 1700$); в — состав 4гс, кристаллизация игольчатого муллита (1) вокруг поры (2) в параллельных николях



Рис. 3. Пористость и прочность образцов на основе полиминеральных глин без и с добавкой пеностекла

0ч и 4ч — чибисовская; 0ш и 4ш — шебекинская; 0г и 4г — городищенская



Рис. 4. Пористость и прочность образцов АС состава неармированных (О) и армированных кристаллами муллита

ОС — обособленного синтеза; СА — синтезированных в процессе спекания масс

Таблица 4

Физико-механические свойства образцов на основе полиминеральных глин (температура обжига, 1150 °С)

Индекс шихты	Огневая линейная усадка, %	Плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Удельная прочность, МПа/т/м ³
0ч	-10,3	2,20	19,0	26,0	11,8
4ч	+0,0	1,47	14,0	29,0	19,3
0ш	-8,5	1,72	15,0	38,0	22,3
4ш	-3,5	1,24	10,0	44,0	35,4
0г	-11,5	2,30	18,5	35,0	15,2
4г	-2,5	1,35	18,0	35,0	25,9

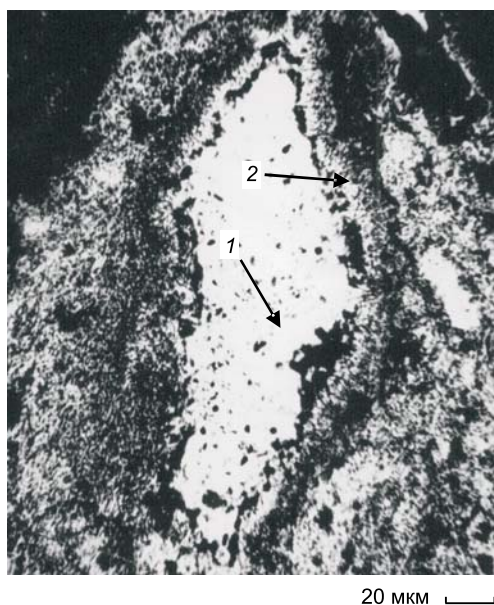


Рис. 5. Микрофотография образца АС
1 — пора; 2 — армирование кристаллами муллита поверхностного слоя поры

ской глинах, составляющее 1,3; 2,48 и 2,90 мас. % (см. табл. 1) соответственно.

Следует отметить, что пеностекло в полиминеральных глинах уменьшает огневую усадку образцов от 10 до 5 % и повышает удельную прочность на 8–13 МПа/т/м³.

Данные о повышении прочности при самоармировании керамических масс в процессе обжига подтверждаются результатами исследования влияния метода введения игольчатых кристаллов муллита, обособленного синтеза (ОС) и формирования кристаллов в структуре алюмосиликатного материала в процессе спекания (СА) [4]. Структура алюмосиликатного композита, формируемая в про-

цессе обжига, повышает прочность образцов вследствие самоармирования материала игольчатыми кристаллами муллита в 2 раза по сравнению с методом ОС (рис. 4, 5).

Таким образом, введение отходов пеностекла в глиносодержащие смеси повышает общую пористость и прочность образцов после обжига. При взаимодействии пеностекла с глинами активизируется процесс спекания, формирование в структуре материала сферических пор и синтез неизометрических кристаллов муллита, диопсида, волластонита, анортита. Микроармирование кристаллами поверхности пор и межпорового пространства повышает прочность керамического материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вакалова, Т. В. Управление качеством строительной и теплоизоляционной керамики путем проектирования состава масс [Текст]/Т. В. Вакалова, В. М. Погребенников, В. И. Верещагин, И. В. Рева//Строительные материалы.— 2007.— № 2.— С. 27–30.
2. Демиденко, Н. И. Макроструктура и свойства материала на основе природного волластонита [Текст]/Н. И. Демиденко, Г. Б. Тельнова//Стекло и керамика.— 2004.— № 6.— С. 13–15.
3. Беседин, П. В. Теплоэффективный композиционный стеновой материал [Текст]/П. В. Беседин, И. А. Ивлева, В. И. Мосьпан//Стекло и керамика.— 2005.— № 3.— С. 24–25.
4. Немец, И. И. Фазовый состав и некоторые свойства керамики из алюмосиликатных масс с фторидом алюминия [Текст]/И. И. Немец//Хим. технология строительных материалов: сб. науч. тр.— М.: МИСИ–БТИСМ, 1980.— С. 108–112.

НЕМЕЦ И. И., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

ИВЛЕВА И. А., доц.; E-mail: pipp@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Получено после доработки 16.06.09

Nemets I. I., doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Ivleva I. A., assistant professor; E-mail: pipp@mail.ru, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

STRENGTH-POROSITY WALL CERAMICS

The introduction of waste products of foam glass production in the clay containing mixtures makes porous the material structure, activates the sintering and synthesis processes of not isometric crystals that reinforce the surface of pores and interporous solid phase. Processed porous ceramic material is noted by higher specific strength...

glass production, porosity, strength, sintering, porous ceramic material.

REFERENCES

1. Vakalova, T. V. Quality management of building and heat insulating ceramics by the projection of masses composition [Text]/T. V. Vakalova, V. M. Pogrebennikov, V. I. Vereschagin, I. V. Reva//Building materials.— 2007.— N 2.— P. 27–30.
2. Demidenko, N. I. Macrostructure and properties of material on the basis of natural wollastonite [Text]/N. I. Demidenko, G. B. Telnova//Glass and ceramics.— 2004.— N 6.— P. 13–15.
3. Besedin, P. V. Heat effective composition wall material [Text]/P. V. Besedin, I. A. Ivleva, V. I. Mospan//Glass and ceramics.— 2005.— N 3.— P. 24–25.
4. Nemets, I. I. Phase composition and several properties of ceramics from aluminum silicate masses with aluminum fluoride [Text]/I. I. Nemets//Chemical technology of building materials: coll. art.— M.: Publishing house MISI–BTISM, 1980.— P. 108–112.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.1:726.5

А. Г. КОЧЕВ, А. С. СЕРГИЕНКО, М. А. КОЧЕВА, О. В. ФЕДОРОВА

ПУТИ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМАХ

Представлены результаты исследований по созданию энергетически эффективных систем климатизации с целью обеспечения требуемых микроклиматических условий в помещениях храма. Даны рекомендации по использованию комбинированных систем отопления, гравитационных систем вентиляции и аэрации храма, рациональному размещению оконного переплета и проведению мероприятий по осушке переувлажненных заглубленных ограждающих конструкций в православных храмах...

энергосбережение, параметры микроклимата, теплопотери, системы отопления и вентиляции, аэрация.

Основной задачей для создания и поддержания требуемых метеорологических условий в помещениях православных храмов является ассимиляция избыточной теплоты, водяных паров и углекислого газа, выделяемых от людей, зажженных свечей и лампад. По данным нормативных источников [1] в холодный период года при температуре в молебном зале $14 \div 16$ °С каждый человек выделяет до 40 г/ч, а в теплый период при температуре $23 \div 25$ °С до 50 г/ч водяного пара. Согласно результатам экспериментальных исследований количество водяного пара, выделяемого при сжигании свечей, составляет 1,3 кг/кг парафина, а теплота (по низшей теплоте сгорания), выделяемая от зажженных свечей, равна 46 810 кДж/кг парафина. Количество углекислого газа, выделяемого одним человеком, — 23 л/ч. Тепловыделения от людей по полной теплоте составляют 80 Вт в теплый и 100 Вт в холодный период года. Процесс сжигания свечей сопровождается и выделением сажи при неполном сгорании парафина.

При отсутствии требуемого воздухообмена в холодный период года в православных храмах сажа оседает на людей, станковую живопись (иконы), фрески и ограждающие конструкции, на которых имеется роспись. Для обеспечения требуемого воздухообмена в помещениях храма следует устанавливать двойное или тройное остекление в отдельных деревянных переплетах с конструктивными зазорами (щелями) в притворах открывающихся частей окон от 0,5 до 1 мм. Перераспределение ветрового давления на поверхностях ограждающих конструкций обеспечивает рассредоточенные потоки приточного воздуха (инфильтрацию) через неплотности оконных рам и наружных дверей. Для ассимиляции теплоты, влаги (водяного пара) и углекислого газа, выделяющихся в храме во время службы, необходимо конструировать вытяжные фрамуги или системы вентиляции, иначе все эти компоненты начинают переноситься в храме рециркуляционными конвективными потоками. Сажа обладает свойством

© Кочев А. Г., Сергиенко А. С., Кочева М. А., Федорова О. В., 2009

поляризации, поэтому при движении воздуха образуется статический потенциал на вертикальных ограждающих конструкциях, над отопительными приборами в храме видны следы осевшей сажи (копоты). При отсутствии вытяжной вентиляции это приводит к потемнению стен и свода купола.

В настоящее время известны случаи установки в храмах оконных переплетов из ПВХ и современных уплотненных деревянных оконных переплетов с одно- и двухкамерными стеклопакетами. Эти конструкции оконных переплетов исключают поступление наружного воздуха через неплотности оконных проемов и создают условия для образования сосредоточенных (компактных) воздушных потоков, врывающихся в храм при открывании наружных дверей. Компактные струи вызывают интенсивное колебание одежды на прихожанах и священнослужителях, задувание свечей и интенсивное раскачивание лампад, поэтому в храмах не следует устанавливать современные пластиковые и герметичные деревянные оконные переплеты со стеклопакетами. Если данные элементы остекления уже установлены, необходимо конструировать в оконных переплетах специальные устройства (аэрационные фрамуги, щелевые зазоры с заслонками или устройства типа «аегесо») для обеспечения регулируемого воздухообмена в храме для холодного, переходного и теплого периодов года.

Воздухообмен в храмах должен регулироваться до службы, во время службы и после ее завершения. После завершения службы свечи догорают на столешницах и производится влажная уборка пола помещения. В результате на пол выливается от 3 до 10 ведер воды, в зависимости от площади пола в храме. Всю эту высыхающую воду следует удалять из помещений храма вытяжными системами вентиляции. В противном случае она будет проникать в массивные ограждающие конструкции, снижая их прочность и теплоустойчивость, портить станковую живопись, фрески и предметы культовых обрядов.

Полностью исключить выделение сажи при сгорании свечей невозможно, поэтому для снижения темпа осаждения поляризованной сажи на ограждающих конструкциях над отопительными приборами рекомендуется использовать для отопления храмов радиаторы с теплопередачей порядка 50 % конвекцией и порядка 50 % излучением или регистры из гладких труб с аналогичным перераспределением видов теплопередачи [2]. Не следует в храмах устанавливать для отопления конвекторы, имеющие около 75 % теплопередачи конвекцией и порядка 25 % излучением [3]. Над конвекторами создаются мощные восходящие конвективные потоки, которые приводят к интенсивному осаждению сажи на ограждающих поверхностях над отопительными приборами. Для храмов в зависимости от их объемно-планировочных и конструктивных решений нужно конструировать либо радиаторные, либо комбинированные с панельно-лучистым или воздушным отоплением, либо только воздушные системы отопления.

Авторами статьи выполняются исследования по разработке рекомендаций конструирования тех или иных видов систем отопления с естественной вентиляцией в храме.

Естественная вентиляция обладает свойством саморегулирования из-за изменения разности удельных весов приточного и удаляемого из помещения храма воздуха, по периодам года и во время службы. Конструирование систем естественной вентиляции следует осуществлять с учетом исключения образования компактных приточных струй, поступающих в зону дыхания человека и наиболее эффективного удаления загрязненного воздуха из объема помещения, с помощью элементов конструкций вытяжных систем, не портящих интерьер и фасады здания храма [2].

Разрабатываются методы расчета аэрационного воздухообмена и конструкции аэрационных фрамуг на основе значительного количества проведенных теоретических и экспериментальных исследований в храмах, наиболее распространенных архитектурных форм.

Перераспределение давлений внутри храма и ветровых воздействий на наружных поверхностях ограждений (рис. 1, 2) определяет особенности создания аэрационного воздухообмена (расчетный перепад давления в холодный период $\Delta P = 34 \div 160$ Па, для теплого периода $\Delta P = 7,5 \div 54$ Па) при степени герметичности здания $k_v = 0,4 \div 0,6$. Давление внутри здания храма обозначается избыточным внутренним давлением $P_v = P_{изб}$. Воздействие ветра на элементы ограждений характеризуется аэродинамическими коэффициентами на соответствующих уровнях аэрационных фрамуг с наветренной и заветренной сторон C_v [4].

Конструировать системы отопления «теплыми полами» в храмах следует только после проведения специальных теплофизических и аэродинамических исследований. Образующиеся конвективные потоки над «теплым полом» ухудшают микроклиматические параметры в зоне дыхания человека. В большинстве архитектурно-конструктивных форм одно- и пятикупольных (двух-, четырех- и шестистолпных) храмов и в храмах типа корабля с доминирующей вертикальной планировкой в молебном зале не следует конструировать «теплые полы», так как образующиеся конвективные потоки отрицательно влияют на параметры микроклимата, на людей и на устойчивость горения свечей.

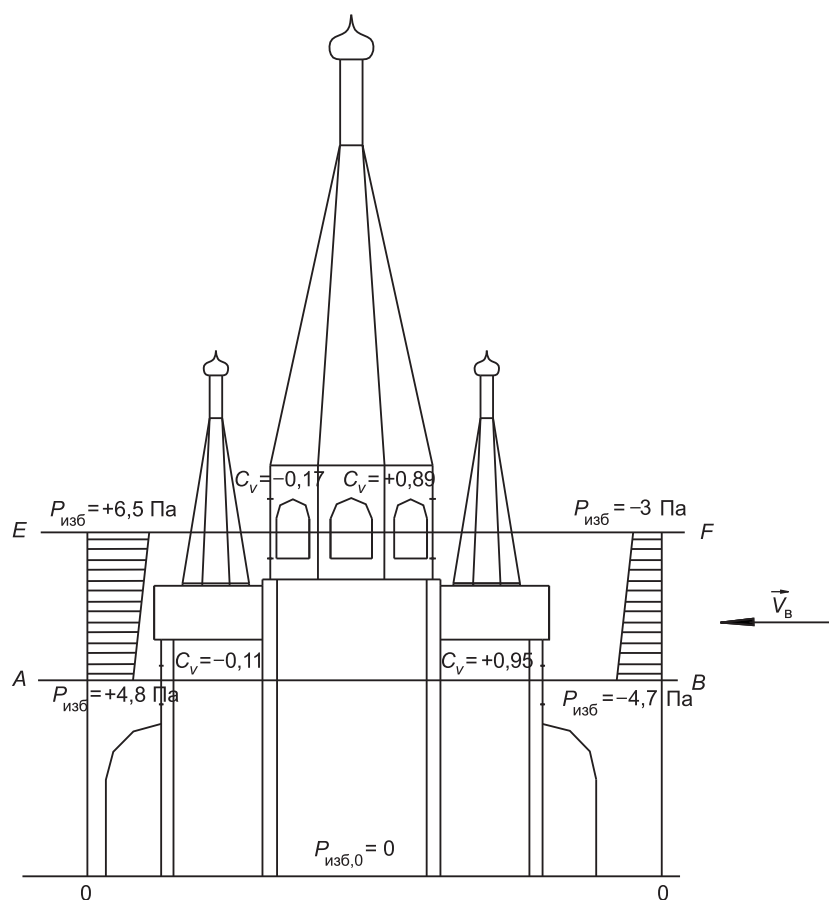


Рис. 1. Распределение избыточных давлений в здании храма св. Александра Невского и значения аэродинамических коэффициентов при северо-восточном направлении ветра

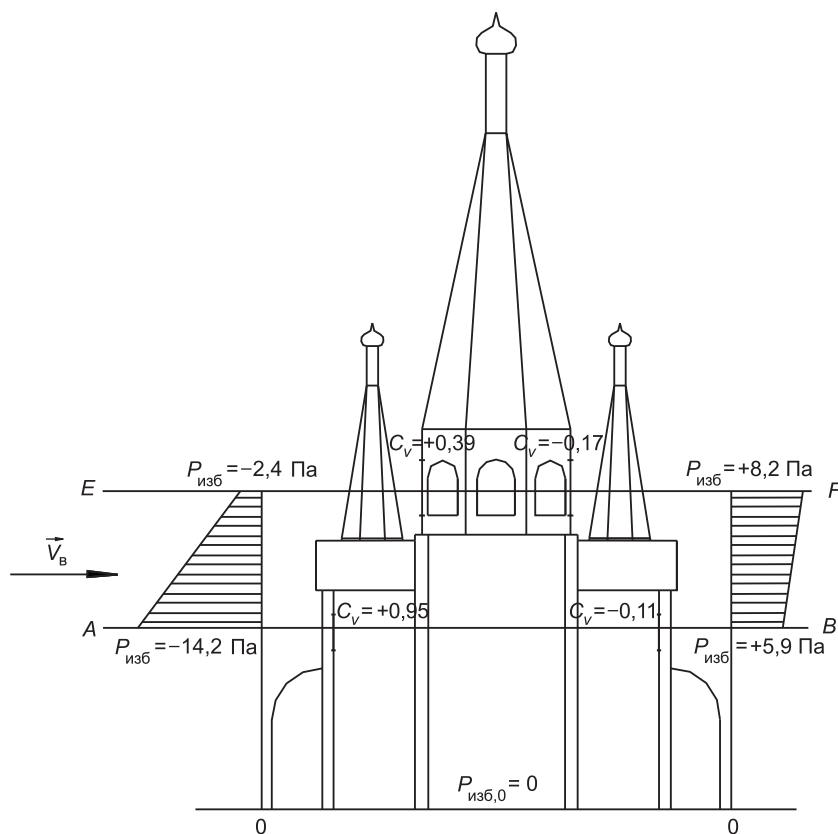


Рис. 2. Распределение избыточных давлений в здании храма св. Александра Невского и значения аэродинамических коэффициентов при юго-западном направлении ветра

На основании полученных экспериментальных и расчетных данных можно проводить анализ теплотехнического состояния наружных стен вблизи заполнения оконного проема различной конструкции, а также анализировать энергетическую и экономическую эффективность предлагаемых конструктивных решений, не прибегая к сложным исследованиям, что дает возможность применять полученные зависимости для любых архитектурных форм православных храмов.

Экономически целесообразное оформление оконного заполнения для здания с естественной вентиляцией определяется по соотношению

$$C_{\text{пр}} = \left[(1 + 0,05 \cdot T_{\text{н}}) \cdot C_{\text{ок}} + B \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{нхп}}}{R_{\text{ок}}} \right]_{\text{мин}},$$

где $C_{\text{пр}}$ — приведенные затраты на оконное заполнение, р./м²;

$T_{\text{н}}$ — нормативный срок окупаемости, лет;

$C_{\text{ок}}$ — полная удельная стоимость оконного заполнения, р./м²;

B — удельные приведенные затраты на теплоснабжение здания, р./Вт;

$t_{\text{в}}$ — расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{\text{нхп}}$ — расчетная температура наиболее холодной пятидневки, °С;

$R_{\text{ок}}$ — расчетное сопротивление теплопередаче оконного заполнения, м²·°С/Вт.

Число 0,05 означает отношение годовых затрат на амортизационные отчисления и текущий ремонт оконного заполнения к его стоимости. Значение $R_{\text{ок}}$ учитывает также дополнительные теплотери, зависящие от расположения оконного переплета по отношению к продольной оси стены [4]. Относительное уменьшение приведенных затрат $C_{\text{пр}}$ при опти-

мизации расположения оконного переплета по отношению к продольной оси стены может достигать 11 %.

Расчетный удельный годовой экономический эффект (Э) от проведенных мероприятий по оптимизации расположения оконного проема в наружной стене для исследуемых конструкций составляет $15 \div 24$ р./($\text{м}^2 \cdot \text{год}$).

При наличии в храмах подклетов с эксплуатируемыми помещениями следует гидравлически и аэродинамически увязывать системы отопления и вентиляции подклетов с инженерными системами помещений храмов.

Прежде чем конструировать инженерные системы в храмах, необходимо обеспечить герметичность здания с теплотехнической точки зрения. Авторами разработаны программные продукты, позволяющие определить рациональное расположение оконной коробки по отношению к продольной оси стены, в зависимости от минимальной зоны возможной конденсации (с температурой на поверхности ниже $+5^\circ\text{C}$). Это обеспечивает экономию теплоты от 3,5 до 7 % относительно общих теплопотерь зданием и такое расположение эффективней на $30 \div 35$ % традиционного расположения оконной коробки в четверть толщины, считая от наружной поверхности стены.

Саморегулируемость расходов естественной системы вентиляции позволяет экономить $20 \div 50$ % теплоты относительно аналогичных по максимальным расходам воздуха механических систем вентиляции.

Переувлажненные ограждающие конструкции вызывают дополнительные теплопотери через зоны регулярных (сезонных) температурных колебаний. Однако при расчетах отопления эти дополнительные теплопотери не учитываются, что приводит к понижению значений температуры в помещениях подклетов ниже точки росы и конденсации водяных паров на внутренних поверхностях наружных стен и пола в храмах. Теплопотери через ограждающие конструкции подклетов храмов оказываются больше на $10 \div 20$ % от расчетных. За счет осушки переувлажненных конструкций подклетов с обеспечением требуемого паропроницания, защитой стен от атмосферных осадков и при создании требуемых метеорологических условий инженерными системами можно достичь экономии тепловой энергии в храмах порядка $7 \div 15$ % от общих теплопотерь здания. К этому следует добавить, что повышение температуры на внутренней поверхности стен будет способствовать сохранности фресок и художественной росписи интерьера подклетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 31-103-99. Здания, сооружения и комплексы православных храмов [Текст]/Гострой России.— М.: АХЦ «Арххрам», ГУП ЦПП, 2000.— 34 с.
2. Павловский, А. К. Курсъ отопленія и вентиляціи. Ч. 2. Центральная система отопленія. Вентиляція [Текст]/А. К. Павловскій.— СПб.: Строитель, 1907.— 440 с.
3. Богословский, В. Н. Отопление [Текст]: учеб. для вузов/В. Н. Богословский, А. Н. Сканава.— М.: Стройиздат, 1991. — 735 с.
4. Кочев, А. Г. Микроклимат православных храмов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.03/А. Г. Кочев.— Н. Новгород: Нижегородск. гос. арх.-строит. ун-т, 2006.— 338 с. + Прил.

КОЧЕВ А. Г., д-р техн. наук, проф.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
СЕРГИЕНКО А. С., канд. техн. наук, ст. препод.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

КОЧЕВА М. А., канд. техн. наук, доц.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

ФЕДОРОВА О. В., ассист.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 14.05.09

Kochev A. G., doctor of technical sciences, professor, Hlzhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Sergienko A. S., candidate of technical sciences, senior lecturer, Hlzhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kocheva M. A., candidate of technical sciences, assistant professor, Hlzhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Fedorova O. V., assistant, Hlzhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE WAYS OF CREATION OF ENERGY SAVING SYSTEMS OF MICROCLIMATE CONDITIONING IN ORTHODOX TEMPLES

In this article the results of theoretical and experimental research of creation and maintenance microclimate parameters in orthodox temples have been introduced. The main tasks and the ways of their solution of creation energy effective systems with the purpose provision required microclimate condition in temple premises have been said. Recommendations of using combined heating systems, gravitation ventilation and aeration systems in the temple, rational placement of casement concerning to lengthwise axis of wall and measures upon reclamation of moist underground enclosure construction of the orthodox temples have been given...

energy saving; microclimate parameters; heat losses; heating and ventilation systems; aeration.

REFERENCES

1. SP 31-103-99. Buildings, installations and complex of orthodox temples [Text]/ Gosstroj of Russia.— M.: AHC «Arhhram», GUP CPP, 2000.— 34 p.
2. Pavlovsky, A. K. Treatise of heating and ventilation. Part 2. Central heating systems. Ventilation [Text]/A. K. Pavlovsky. — SPb.: Builder, 1907.— 440 p.
3. Bogoslovsky, V. N. Heating [Text]: Textbook for Univ/V. N. Bogoslovsky, A. N. Scanavi.— M.: Stroyisdat, 1991.— 735 p.
4. Kochev, A. G. Microclimate of orthodox temples [Text]: paper. ... Doctorate of techniques: 05.23.03/A. G. Kochev.— N. Novgorod: N. Novgorod University of Architecture and Civil Engineering, 2006.— 338 p. + App.

УДК 697.92:669

А. Ю. МОРОЗОВ, Р. Н. ШУМИЛОВ, Ю. И. ТОЛСТОВА, М. Г. УШАКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИИ В СПЕКАТЕЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ФАБРИК

На основании метода позонных тепловоздушных балансов разработана математическая модель, позволившая сформулировать условия предотвращения загрязнения рабочей зоны спекательных отделений аглофабрик. Мероприятия позволяют значительно сократить затраты на вентиляцию аглофабрик...

агломерационная фабрика, укрытие агломашины, организация воздухообмена, гравитационное давление, технологический отсос, аспирационный режим, конвективно-лучистый теплообмен.

Одним из основных этапов в получении первичного металла в современной металлургии является производство агломерата путем спекания рудного концентрата при температурах до 1400 °С на конвейерных агломашинах, оборудованных укрытиями. Спекательный процесс требует значительного расхода воздуха, который, как правило, забирается непосредственно из помещения спекательного отделения (рис. 1, а).

Для компенсации расхода воздуха, удаляемого технологическим отсосом, в спекательных отделениях предусматривается устройство систем приточной механической вентиляции. При этом общая производительность этих систем может достигать нескольких миллионов кубических метров в час, что требует значительных затрат на обработку и транспортирование воздуха, а также сооружение вентиляционных систем.

Сократить затраты на вентиляцию позволяет подача непосредственно в укрытие агломашины наружного воздуха (см. рис. 1, б), либо воздуха из укрытия узла разгрузки агломерата (см. рис. 1, в). Однако опыт внедрения таких способов на аглофабриках России показал, что при этом зачастую происходит перетекание загрязненного воздуха через неплотности укрытия в рабочую зону цеха. Как следствие, несмотря на значительные воздухообмены, концентрации вредных веществ и пыли в воздухе рабочей зоны превышают предельно допустимые в десятки раз [1]. В связи с этим приобретают актуальность совершенствование конструкций укрытий, а также разработка теоретически обоснованных способов организации и расчета технологического отсоса.

Рассмотрим условия формирования воздушных потоков в укрытии. Воздух в укрытии нагревается в результате теплообмена с агломашиной. Вследствие разности плотностей нагретого и холодного окружающего воздуха возникают гравитационные силы, являющиеся одной из причин движения воздуха через проемы укрытия. Методы расчета воздухообмена под действием гравитационных сил наиболее полно разработаны в трудах С. Е. Бутакова, В. В. Батурина, В. М. Эльтермана, П. Н. Каменева, В. Н. Талиева, Н. В. Акинчева, Я. А. Штромберга, В. П. Титова, Р. Н. Шумилова.

В данной работе было рассмотрено движение воздуха под действием гравитационных сил в многозонном укрытии агломашины. Для этого был

© Морозов А. Ю., Шумилов Р. Н., Толстова Ю. И., Ушаков М. Г., 2009

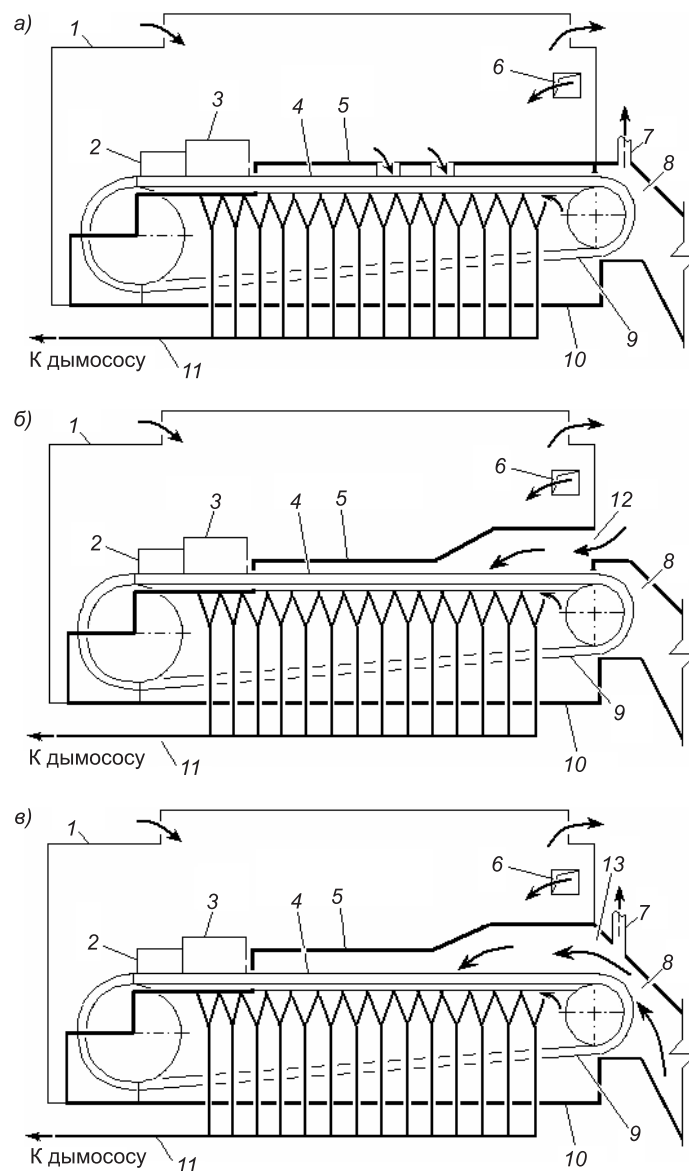


Рис. 1. Схемы организации воздухообмена в спекательном отделении

а — забор воздуха из помещения; *б* — забор наружного воздуха; *в* — забор воздуха из укрытия разгрузки агломерата; 1 — спекательное отделение; 2 — загрузка рудного концентрата; 3 — зажигательный горн; 4 — рабочая ветвь агломашины; 5 — укрытие рабочей ветви; 6 — подача приточного воздуха; 7 — воздуховод системы аспирации; 8 — укрытие узла разгрузки агломерата; 9 — холостая ветвь; 10 — укрытие холостой ветви; 11 — газоход; 12 — наружный проем; 13 — проем, соединяющий укрытие агломашины с укрытием узла разгрузки агломерата

использован метод позонных тепловоздушных балансов, основы которого рассмотрены в работах В. Н. Богословского, И. А. Шепелева, Е. О. Шилькорта и Г. М. Позина. Укрытие было разбито на три характерных объема — зоны 1, 2, 3. Схема воздушных потоков приведена на рис. 2, *а*.

Наружные гравитационные давления, действующие на проемы укрытия, изменяются линейно по высоте (см. рис. 2, *б* — наклонные линии). Статические давления воздуха в зонах укрытия, в помещении, в укрытии узла разгрузки агломерата и атмосферное давление показаны в виде вертикальных линий ($P_{ст}$).

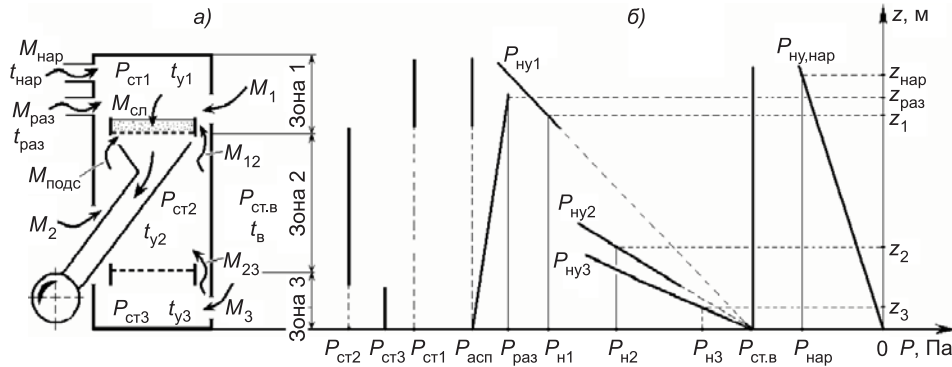


Рис. 2. Схема воздушных потоков в укрытии агломашины (а) и распределение давлений (б)
 M — расход воздуха, кг/с; t — температура воздуха, °С; P — давление воздуха, Па; z — отметка центра проема относительно уровня земли, м; индексы: в — воздух в помещении; н — гравитационное давление; нар — наружный проем; подс — подсосы в газовый тракт; раз — проем укрытия узла разгрузки агломерата; сл — спекаемый слой; ст — статическое давление; у — воздух в укрытии; 1, 2, 3 — соответственно зоны 1, 2 и 3; 12, 23 — соответственно проемы между зонами 1 и 2, 2 и 3

Согласно [2] гравитационное давление $P_{ну}$ определяется относительно давления $P_{ст.в}$ соотношением

$$P_{ну} = P_{ст.в} - gz(\rho_v - \rho_y), \quad (1)$$

где ρ_v, ρ_y — плотности воздуха соответственно в помещении и средняя по объему укрытия, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Гравитационное давление на отметке z_1 центра проемов зоны 1 определяется формулой (1) и составляет величину $P_{н1}$, для зоны 2 на отметке z_2 — величину $P_{н2}$, для зоны 3 на отметке z_3 — величину $P_{н3}$, для наружного проема на отметке $z_{нар}$ — величину $P_{нар}$, для проема, соединяющего укрытие агломашины с укрытием узла разгрузки агломерата на отметке $z_{раз}$ — величину $P_{раз}$. При этом две последние величины определяются относительно атмосферного давления и давления в укрытии узла разгрузки агломерата.

Величины позонных статических давлений $P_{ст1}, P_{ст2}, P_{ст3}$ принимают такие значения, при которых обеспечиваются воздушные балансы, определяемые суммами расходов воздуха:

$$\text{зона 1: } M_{сл} + M_1 + M_{нар} + M_{12} + M_{раз} = 0, \quad (2)$$

$$\text{зона 2: } M_{подс} + M_{23} + M_{12} + M_2 = 0, \quad (3)$$

$$\text{зона 3: } M_3 + M_{23} = 0. \quad (4)$$

В зависимости от степени герметичности укрытия и воздушного дебаланса, создаваемого технологическим отсосом, величины позонных статических давлений воздуха в укрытии могут принимать различные значения.

В работе [2] были выявлены возможные воздушные режимы укрытия. Так на рис. 2 показан вариант соотношения давлений $P_{н1} > P_{ст1}$. Для всех проемов укрытия наружное гравитационное давление превышает внутреннее статическое, и воздух подсасывается через проемы укрытия из помещения. Такой режим работы проемов называется аспирационным. При аэрационном режиме $P_{н1} < P_{ст1}$ или $P_{н2} < P_{ст2}$ и загрязненный воздух выбивается в помещение через проемы зон 2 и 1.

Для определения расходов воздуха в проемах укрытия используется известное соотношение

$$M_i = \mu_i F_i \sqrt{2\Delta P_i \rho_i}, \quad (5)$$

где μ_i — коэффициент расхода воздуха;

F_i — площадь проема, м²;

ΔP_i — перепад давлений по разные стороны проема, Па;

ρ_i — плотность воздуха.

Перепады давлений определяются по графику (см. рис. 2, б):

в проемах зоны 1: $\Delta P_1 = P_{н1} - P_{ст1}$;

в проемах зоны 2: $\Delta P_2 = P_{н2} - P_{ст2}$;

в проемах зоны 3: $\Delta P_3 = P_{н3} - P_{ст3}$;

в наружном проеме: $\Delta P_{нар} = P_{нар} - P_{ст1}$;

в проеме укрытия узла разгрузки агломерата:

$$\Delta P_{раз} = P_{раз} - P_{ст1}.$$

Перепады давлений ΔP_{12} , ΔP_{23} , под действием которых происходит перетекание воздуха через проемы между зонами укрытия, определяются соотношениями

$$\Delta P_{12} = P_{н12} - P_{ст1},$$

$$\Delta P_{23} = P_{н23} - P_{ст2},$$

где $P_{н12}$, $P_{н23}$ — гравитационные давления между зонами

$$P_{н12} = P_{ст2} - gz_{12}(\rho_{y2} - \rho_{y1}),$$

$$P_{н23} = P_{ст3} - gz_{23}(\rho_{y3} - \rho_{y2}).$$

Как видно из уравнений (1)–(5), расходы воздуха и перепады давлений зависят от плотности воздуха, которая, в свою очередь, обусловлена температурой воздуха. Значения температур воздуха в укрытии определяются из позонных тепловоздушных балансов, составленных на основе известных закономерностей тепло- и массообмена. Расчетная схема тепловых и воздушных потоков приведена на рис. 3.

В соответствии со схемой составлены уравнения тепловоздушных балансов для каждой зоны укрытия:

$$\begin{aligned} \text{зона 1: } Q_{yh1} + Q_{ук} + Q_{бh1} + c_1 M_1 t_{пр1} + c_{нар} M_{нар} t_{нар} + c_{раз.пр} M_{раз} t_{раз} + \\ + c_{y1} M_{сл} t_{y1} + c_{12} M_{12} t_{пр12} = 0; \end{aligned}$$

$$\text{зона 2: } Q_{ah2} + Q_{yh2} + Q_{вак.у} + c_2 M_2 t_2 + c_{12} M_{12} t_{12} + c_{23} M_{23} t_{23} + c_{y2} M_{подс} t_{y2} = 0;$$

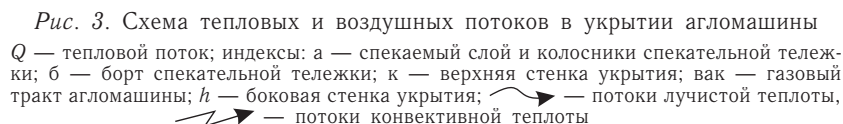
$$\text{зона 3: } Q_{ay3} + Q_{yh3} + Q_{бh3} + c_3 M_3 t_3 + c_{23} M_{23} t_{23} + c_{y2} M_3 t_{y3} = 0.$$

Система представленных уравнений является математической моделью процессов тепло- и массообмена в укрытии. Модель была реализована в виде алгоритма расчетной компьютерной программы в среде Visual Basic.

Для оценки соответствия математической модели реальному объекту был проведен эксперимент на физической модели аглофабрики КачГОКа в масштабе 1 : 50 с двумя агломашинами [3]. Результаты физического эксперимента показали удовлетворительное совпадение с результатами численного эксперимента, что можно считать достаточным основанием для применения математической модели в дальнейших расчетах.

Так, было проведено численное исследование закономерностей формирования воздушного режима укрытия агломерационной машины К-200 Качканарского ГОКа с площадью спекания 219 м². При этом рассмотрено влияние шести основных факторов (см. таблицу). Области определения факторов были приняты согласно статистическим данным [4] и результатам собственных обследований аглофабрик.

Путем вариации значений факторов в соответствии с определенным планом были смоделированы различные воздушные режимы укрытия и получены составляющие воздушных балансов. Выполненный статистический



Наименование фактора	Область определения
1. Скорость воздуха на входе в спекаемый слой W_0 , м/с	0,2...0,42
2. Доля подсосов в газовый тракт агломашины χ	0,32...0,6
3. Площадь неплотностей зоны 1 F_1 , м ²	6...34
4. Площадь неплотностей зоны 2 F_2 , м ²	8...40
5. Площадь неплотностей зоны 3 F_3 , м ²	2...40
6. Давление в укрытии разгрузки агломерата $P_{асп}$, Па	-20...0

1. Укрытие с забором воздуха из спекательного отделения (см. рис. 1, а):
 проемы зоны 1: $0,4F_1 - 0,5F_2 - 0,5F_3 \geq 33,5 - 127,7W_0 - 53,5\chi$;
 проемы зоны 2: $-0,3F_1 + 0,6F_2 - 0,6F_3 \geq 24,4 - 93,5W_0 - 61,4\chi$;
 проемы зоны 3: $-0,1F_1 - 0,2F_2 + 1,2F_3 \geq 2,7 - 21,8W_0 - 15,5\chi$.

2. Укрытие с наружным проемом (см. рис. 1, б):

$$\text{проемы зоны 1: } 2,4F_1 - 0,4F_2 - 0,3F_3 + 2,5F_{\text{нар}} \geq 31 - 59W_0 - 24\chi;$$

$$\text{проемы зоны 2: } -0,6F_1 + 1,6F_2 - 0,6F_3 + 2F_{\text{нар}} \geq 33 - 80W_0 - 56\chi;$$

$$\text{проемы зоны 3: } -0,3F_1 - 0,4F_2 + 1,6F_3 + 0,8F_{\text{нар}} \geq 8 - 32W_0 - 22\chi;$$

$$\text{наружный проем: } -1,4F_1 - 0,8F_2 - 0,6F_3 - 5,1F_{\text{нар}} \geq 0,4 - 82W_0 - 38\chi.$$

3. Укрытие агломашины, объединенное с укрытием разгрузки агломерата (см. рис. 1, в):

$$\text{проемы зоны 1: } 0,1F_1 - 0,2F_2 - 0,3F_3 - 1,3F_p \geq 31,3 - 82,3W_0 - 32,1\chi + 1,6P_{\text{асп}};$$

$$\text{проемы зоны 2: } -0,002F_1 + 0,4F_2 - 0,6F_3 - 1,5F_p \geq 32,6 - 82,5W_0 - 56\chi + 1,1P_{\text{асп}};$$

$$\text{проемы зоны 3: } -0,03F_1 - 0,1F_2 + 1,1F_3 - 0,2F_p \geq 4,2 - 18W_0 - 12,1\chi + 0,2P_{\text{асп}};$$

проем укрытия разгрузки агломерата:

$$0,02F_1 - 0,01F_2 - 0,13F_3 + 2,2F_p \geq 13 - 40,2W_0 - 23\chi - 2,8P_{\text{асп}}.$$

По результатам численного эксперимента выполнена оценка максимальной степени компенсации технологического отсоса агломашин при различных способах организации воздушных потоков в укрытии. Установлено, что при заборе наружного воздуха в размере 33 % или воздуха из укрытия узла разгрузки агломерата в размере 54 % от общего расхода технологического отсоса в укрытии агломашины будет соблюдаться аспирационный режим.

Для условий спекательного отделения Качканарского ГОКа с двумя агломашинами К-200 ($W_0 = 0,2$ м/с и $\chi = 0,45$) было проведено сопоставление годовых затрат на вентиляцию при различных схемах компенсации технологического отсоса:

	тыс. р./год
полная компенсация воздухом приточной вентиляции.....	8 872
частичная компенсация наружным воздухом.....	6 654
частичная компенсация газом из укрытия разгрузочной части.....	3 904.

Таким образом, получены данные по обоснованию допустимой степени компенсации технологического отсоса наружным воздухом и воздухом из укрытия разгрузки агломерата. Из сопоставления очевидно, что эти мероприятия по сравнению с традиционной схемой организации воздухообмена позволяют значительно сократить затраты на вентиляцию спекательных отделений аглофабрик.

Проектирование новых укрытий агломашин и модернизация существующих укрытий в соответствии с полученными рекомендациями позволит повысить эффективность укрытий по локализации вредных выделений и улучшить состояние воздушной среды и условия труда в спекательных отделениях аглофабрик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумаков, Н. С. Пылегазовые выбросы и запыленность рабочих мест агломерационных фабрик [Текст]/Н. С. Шумаков, Г. А. Пехотин, О. Г. Воробьев.— М.: НИИ-ТЭХим, 1974.— 36 с.
2. Шумилов, Р. Н. Проблемы обеспыливания агломерационных машин [Текст]/Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова, А. Ю. Морозов, А. А. Поммер//Строительство и образование.— Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003.— Вып. 12.— С. 303–305.
3. Шумилов, Р. Н. Математическое моделирование вентиляции аглофабрик [Текст]/Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова, А. Ю. Морозов, А. А. Поммер//Вестн. УГТУ-УПИ. Строительство и образование: сб. науч. тр.— Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006.— С. 178–179.
4. Базилевич, С. В. Теплотехнические расчеты агрегатов для окискования железорудных материалов [Текст]/С. В. Базилевич, В. М. Бабошин, Я. Л. Белоцерковский и др.; под ред. Е. Ф. Вегмана.— М.: Металлургия, 1979.— 208 с.

*МОРОЗОВ А. Ю., ст. препода.; E-mail: amorozov@el.ru, a.Kolotun@mail.ru
Уральский государственный технический университет — УПИ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

ШУМИЛОВ Р. Н., канд. техн. наук, проф.

Уральский государственный технический университет — УПИ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

ТОЛСТОВА Ю. И., канд. техн. наук, доц.

Уральский государственный технический университет — УПИ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

УШАКОВ М. Г., канд. техн. наук, доц.

Уральский государственный технический университет — УПИ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Получено 19.05.09

Morozov A. Yu., senior lecturer; E-mail: amorozov@el.ru, a.Kolotun@mail.ru, Ural State Technical University — UPI named after First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Shumilov R. N., candidate of technical sciences, professor, Ural State Technical University — UPI named after First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Tolstova Yu. I., candidate of technical sciences, assistant professor, Ural State Technical University — UPI named after First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Ushakov M. G., candidate of technical sciences, assistant professor, Ural State Technical University — UPI named after First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

INCREASED EFFICIENCY OF SINTER PLANT VENTILATION

A mathematical model making it possible to formulate conditions for pollution prevention the working zone has been worked out based on the method of zone heat of sinter plant and air balances. By computational research it was founded out that suggested measures allow to greatly reduce sinter plant ventilation expenses...

sinter plant, agglomachine hood, air change organization, gravitation pressure, technological extraction, aspiration operation, heat transfer by convection and radiation.

REFERENCES

1. Shumakov, N. S. Dust and gas emission and working area dust level of sinter plants [Text]/N. S. Shumakov, G. A. Pehotin, O. G. Vorobiev.— M., 1974.— 36 p.
2. Shumilov, R. N. Problems of agglomachine dedusting [Text]/R. N. Shumilov, J. I. Tolstova, A. Y. Morozov, A. A. Pommer//Construction and education.— Ekaterinburg: USTU–UPI, 2003.— Fasc. 12.— P. 303–305.
3. Shumilov, R. N. Mathematical modelling of sinter plant ventilation [Text]/R. N. Shumilov, Y. I. Tolstova, A. Y. Morozov, A. A. Pommer//Construction and education.— Ekaterinburg: USTU–UPI, 2006.— P. 178–179.
4. Basilevich, S. V. Thermotechnical calculation of iron-ore agglomeration aggregates [Text]/S. V. Basilevich, V. M. Baboshin, Y. L. Belocerkovskiy and others; edited by E. F. Vegman.— M.: Metallurgy, 1979.— 208 p.

УДК 696.2:666.3.041

Б. А. УНАСПЕКОВ, К. К. АЛИМОВА

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Приведены результаты исследований высокотемпературной туннельной печи по производству огнеупорных изделий. Установлено, что значительный перепад температур по сечению обжигаемых изделий приводит к снижению качества продукции. Выполнены расчеты и установлены оптимальные параметры нагрева изделий. Применительно к условиям работы зоны обжига туннельной печи выполнены расчеты распределения природного газа и воздуха по газогорелочным устройствам. Разработаны мероприятия, направленные на совершенствование системы газоснабжения теплового агрегата...

туннельные печи, газоснабжение, тепловой режим.

В реальных условиях обеспечить получение требуемых, согласно технологии обжига, температур (1650–1700 °С) на позициях зоны обжига трудноосуществимо. Это связано с поступлением значительного количества топлива на последние позиции зоны обжига. В результате обеспечение вышеуказанных температур и, как следствие, осуществление выпуска качественной продукции затрудняются.

В связи с этим возникла необходимость теоретического расчета распределения природного газа и воздуха по газовым горелкам позиций зоны обжига для обеспечения требуемого наиболее эффективного теплового режима.

С целью получения требуемых температур обжига и поддержания этих температур на позициях зоны обжига печи прежде всего необходимо составить тепловой баланс каждой позиции зоны обжига и на этой основе определить расход природного газа и воздуха по горелкам.

В качестве примера анализируется работа высокотемпературной крупногабаритной туннельной печи завода «Казогнеупор».

В данной работе проведен расчет нагрева изделий как в зоне подогрева, так и в зоне обжига на основе решения задачи теории теплопроводности при граничных условиях I рода, которое не требует знания теплообменных характеристик, а решается только внутренняя задача распространения тепла в изделиях. Это обосновано тем, что решение задачи теории теплопроводности при граничных условиях I рода упрощает составление теплового баланса.

Расчет проводим при условии, что нагрев изделий в зоне подогрева происходит с постоянной скоростью (линейное изменение температуры поверхности тела) с боковой и верхней стороны изделий, т.е. решается двумерная задача теории теплопроводности при граничных условиях I рода.

Основной частью расчета зоны подогрева является определение разности температур между поверхностью и центром изделий в конце зоны подогрева, т.е. при входе в зону обжига. Так как изделия находятся в зоне подогрева длительное время, то в расчете использовались упрощенные формулы регулярного режима.

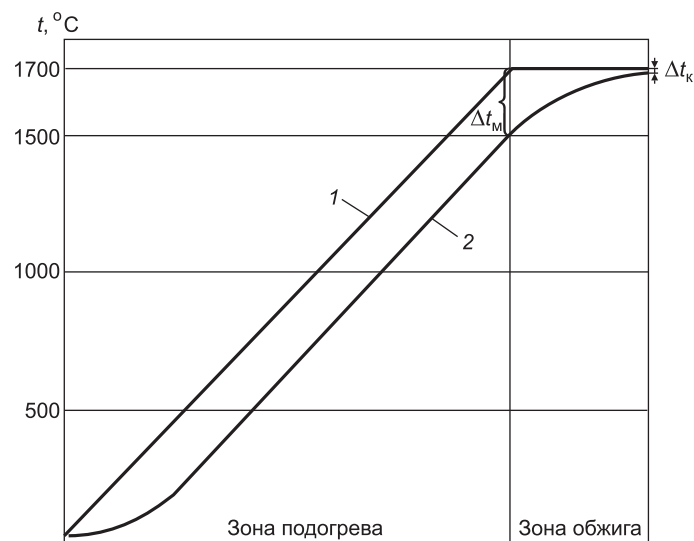


Рис. 1. Изменение температуры поверхности (кривая 1) и центра садки (кривая 2) с изделиями в зоне подогрева и обжига туннельной печи

В зоне обжига туннельной печи температуру на поверхности изделий следует поддерживать постоянной. При поступлении обжигаемых изделий из зоны подогрева в зону обжига известен перепад температур Δt_M между поверхностью и центром изделий, который определяется по известным зависимостям [1].

Расчетные данные изменения температуры поверхности и центра садки с изделиями в зоне подогрева и обжига туннельной печи показаны на рис. 1.

Составлен тепловой баланс высокотемпературной туннельной печи. Уравнение теплового баланса позиции зоны обжига имеет вид

$$B_i Q_H^p + B_i Q_{г.в} = Q_M^i + Q_{ст}^i + Q_{св}^i + Q_{ваг,i}^i + Q_{ваг,i}^т + \\ + C_{пр.сг} \cdot t_{пр.сг} \cdot v_{пр.сг} \cdot B_i + Q_{дис}^i + \Delta Q_{пр.сг}^i, \quad (1)$$

где B_i — расход природного газа;

Q_H^p — низшая теплота сгорания природного газа;

$Q_{г.в}$ — теплота горячего воздуха;

Q_M^i — тепло, потребляемое обжигаемыми изделиями на i -й позиции;

$Q_{ст}^i, Q_{св}^i, Q_{ваг}^i$ — тепло, теряемое через стены, свод и с вагонеткой, которое складывается из тепла, аккумулированного подиной вагонетки, и тепла, теряемого через подину теплопроводностью;

$Q_{дис}^i$ — тепло, теряемое на диссоциацию продуктов сгорания на i -й позиции;

$Q_{пр.сг}^i = v_{пр.сг} (t_i - t_{i+1})$ — тепло, необходимое для нагрева продуктов сгорания, поступающих с предыдущей позиции с температурой t_{i+1} до температуры t_i на i -й позиции (расчет указанных потерь проводится в направлении движения продуктов сгорания, т.е. начиная от позиции, примыкающей к зоне охлаждения).

Следует отметить, что потери тепла по каждой позиции зоны обжига туннельной печи различны. Для обеспечения высоких температур обжига изделий необходимо потери тепла по позициям компенсировать соответствующими расходами природного газа.

Расходы природного газа и воздуха по позициям зоны обжига вычисляются по формуле (1).

Для определения количества горячего воздуха по позициям зоны обжига по методике [2] находится относительный отвод тепла от факела $\Delta \bar{t}_i$ на позициях зоны обжига по зависимости

$$\Delta \bar{t}_i = \frac{\frac{Q_M}{B_i} + \frac{Q_{\text{потерь}}}{B_i}}{t_{\text{обж}} \cdot C_{\text{пр.сг}} \cdot v_{\text{пр.сг}}}, \quad (2)$$

где Q_M — тепло, потребляемое обжигаемыми изделиями на i -й позиции;

$$Q_{\text{потерь}} = Q_{\text{св}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ваг}} + Q_{\text{дис}} \pm \Delta C_{\text{пр.сг}};$$

$Q_{\text{пр.сг}}^i, Q_{\text{пр.сг}}^{i-1}$ — тепло продуктов сгорания, поступающих и уходящих с i -й позиции;

$Q_{\text{дис}}$ — тепло, теряемое на диссоциацию продуктов сгорания на i -й позиции;

$Q_{\text{св}}, Q_{\text{ст}}, Q_{\text{ваг}}$ — тепло, теряемое через свод, стены и подиной вагонетки.

Затем определяется количество горячего воздуха $Q_{\text{г.в}}$ по позициям зоны обжига туннельной печи.

Результаты расчетов по распределению природного газа, воздуха и горячего воздуха, идущего из зоны охлаждения, на позиции зоны обжига промышленной печи показаны на рис. 2.

Выполним анализ полученных нами теоретических расчетов, позволяющих интенсифицировать тепловую работу туннельной печи. Расчетами установлено, что важное условие в обеспечении качественного обжига — достижение минимальных перепадов температур между поверхностью изделий и его центром в период нагрева и перед поступлением огнеупорного сырья в зону обжига. Максимальное количество топлива необходимо подавать на позиции туннельной печи, находящиеся в ее центральной части.

Это является основным отличием от существующего распределения топлива в крупногабаритных туннельных печах (подача максимального количества топлива осуществляется на последнюю позицию). Однако в производственных условиях это трудно осуществимо. Эффективнее, как показывает производственная практика, уменьшение неравномерности нагрева изделий в объеме достигается за счет рециркуляции продуктов сгорания и создания аэродинамических завес в канале туннельной печи.

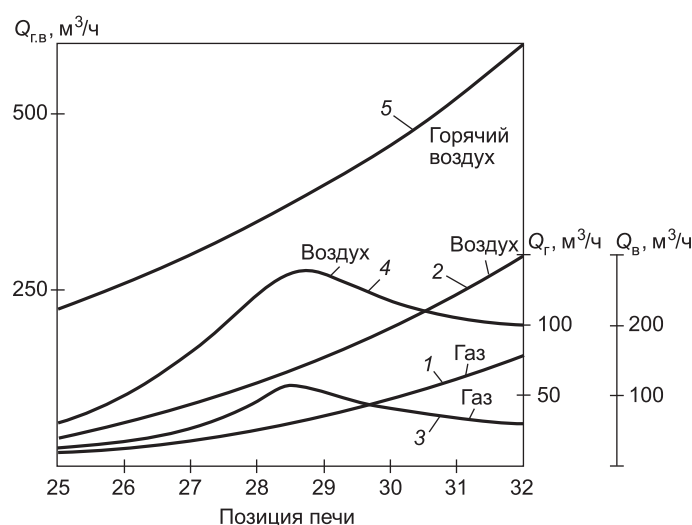


Рис. 2. Распределение природного газа и воздуха (1, 2 — существующие; 3, 4 — расчетные) и горячего воздуха (5) по позициям зоны обжига

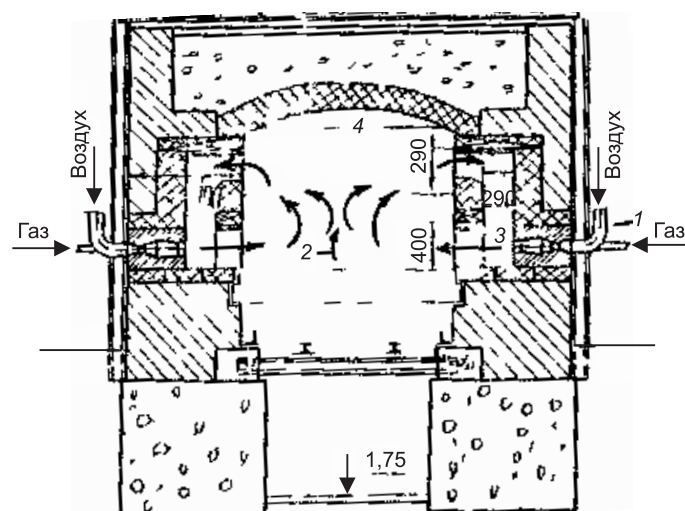


Рис. 3. Схема туннельной печи с рециркуляцией продуктов сгорания

1 — горелка; 2 — продукты сгорания; 3 — рециркуляционный канал;
4 — рабочее пространство

Один из эффективных методов обеспечения равномерности температур нагрева изделий — рециркуляция продуктов сгорания в рабочем пространстве теплового агрегата. Для решения этой проблемы в данной статье предложена усовершенствованная система туннельной печи.

С учетом особенности тепловой работы крупногабаритных туннельных печей предлагаются две схемы рециркуляции продуктов сгорания с использованием двухпроводных горелок при скорости выхода газовой смеси 25–30 м/с: первая — с рециркуляционными каналами в боковых стенах печи; вторая — при отсутствии рециркуляционных каналов.

Поясним предлагаемые схемы. В первом случае (рис. 3) в боковых стенах печи выполняется система рециркуляционных каналов и окон, связанных с ее рабочим пространством. Часть дымовых газов из рабочего пространства через вертикальный канал эжектируется к корню струи продуктов сгорания. Смесь продуктов горения через нижнее окно поступает в рабочее пространство печи. Процесс рециркуляции продуктов сгорания создает условия для обеспечения равномерных температур при тепловой обработке изделий. Здесь следует отметить и другую важную сторону: интенсивные круговые потоки движения продуктов сгорания создают аэродинамические кольцевые завесы и сравнительно равномерное температурное поле в поперечном сечении канала.

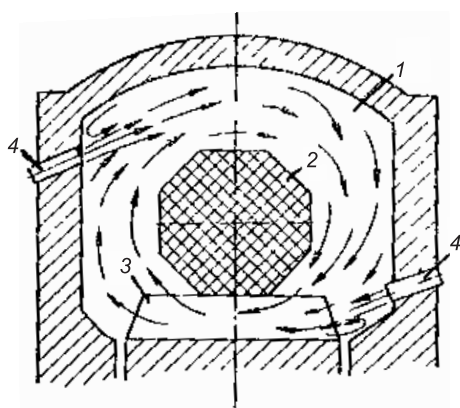


Рис. 4. Схема движения продуктов сгорания при рециркуляции, создаваемой газовыми факелами в рабочем пространстве туннельной печи

1 — рабочее пространство; 2 — изделие; 3 — подина вагонетки (место укладки изделий); 4 — горелочное устройство

Во втором случае роль рециркуляционных каналов играют зазоры между изделиями и стенами печи, изделиями и сводом, а также горизонтальные поперечные каналы в нижней части изделий (рис. 4).

Расчетные параметры горелок

№ п/п	Геометрические и газодинамические параметры	Значения величин
1	Диаметр газового сопла, мм	20
2	Диаметр газозвдушного сопла, мм	40
3	Отношение площадей для прохода газа и воздуха, $V_{\text{г}}/V_{\text{г.в.с}}$	0,043
4	Отношение количеств движения газового и воздушного потоков, $M_{\text{г}}/M_{\text{в}}$	0,16
5	Расстояние сопла горелки от сечения газозвдушного сопла, мм	40
6	Общее количество продуктов сгорания, м ³	800
7	Кратность рециркуляции	4
8	Размер рециркуляционного канала, мм: высота входного канала ширина канала высота выходного канала	290 290 400

В таблице приведены результаты расчета параметров дутьевых горелок, обеспечивающих достижение требуемых температур согласно технологии обжига огнеупорных изделий.

Выводы. 1. Выполнен расчет нагрева изделий как в зоне подогрева, так и в зоне обжига на основе решения задачи теплопроводности при граничных условиях I рода. Составлен тепловой баланс крупногабаритной туннельной печи и определен общий расход природного газа.

2. Выполнен расчет распределения природного газа, воздуха по газовым горелкам и горячего воздуха, поступающего из зоны охлаждения. Показано существенное отличие в распределении газового топлива и окислителя.

3. Установлено, что рециркуляция продуктов сгорания в рабочем пространстве происходит за счет двухпроводной горелки института «Стальпроект». Горелки целесообразно размещать под сводом и на уровне пода вагонеток (на стыках вагонеток).

4. Рассчитаны параметры газогорелочных устройств для рециркуляции продуктов сгорания, обеспечивающих интенсификацию теплового режима высокотемпературной крупногабаритной туннельной печи.

5. Внедрение усовершенствованной системы газоснабжения на туннельной печи позволило уменьшить удельный расход топлива на 15–20 %, снизить брак обжига с 10,0 до 5,0 %, повысить производительность теплового агрегата до 10–12 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст]/А. В. Лыков.— М.: Высш. шк., 1997.— 211 с.
2. Сеницын, Е. А. Оптимизация тепловой работы туннельной печи с эжекционной системой отопления [Текст]/Е. А. Сеницын, А. А. Ионин, Б. А. Унаспеков// Транспорт, хранение и использование газа в народном хозяйстве.— М.: ВНИИЭгаз-пром, 1983.— Вып. 9.— С. 4.

УНАСПЕКОВ Б. А., д-р техн. наук, проф.

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, г. Алматы

АЛИМОВА К. К., ст. препод.

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, г. Алматы

Получено 07.05.09

Unaspekov B. A., doctor of technical sciences, professor, Kazakh National Technical University

Alimova K. K., senior lecturer, Kazakh National Technical University

INTENSIFICATION OF THERMAL WORK AND PERFECTION OF SYSTEM OF GAS SUPPLY OF THE HIGH-TEMPERATURE TUNNEL FURNACE

Results of researches of the high-temperature tunnel furnace on production of refractories are resulted. It is established that considerable difference of temperatures on section of burnt products leads to decrease in quality of production. Calculations of heating of products are executed, optimum parameters of heating of products are established. With reference to working conditions of a zone of roasting of the tunnel furnace calculations of distribution of natural gas and air on gas-burner to devices are executed. The action directed on perfection of system of gas supply of the thermal unit are developed...

tunnel furnace, gas supply, thermal mode.

REFERENCES

1. Lykov, A. V. The heat conductivity theory [Text]/A. V. Lykov.— M.: High school, 1997.— 211 p.
2. Sinitsyn, E. A. Optimization of thermal work of the tunnel furnace with ejection heating system [Text]/E. A. Sinitsyn, A. A. Ionin, B. A. Unaspekov//Transport, storage and use gas in a national economy.— M.: VNIIEgazprom, 1983.— Release 9. — P. 4.

УДК 697.432.8(24)

В. М. КРОТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рассматривается расчет вертикальных грунтовых теплообменников на основе моделирования тепловых процессов в массиве грунта. Приводятся описание экспериментальной установки и результаты экспериментальных исследований...

вертикальные грунтовые теплообменники, тепловые насосы, математическая модель, экспериментальная установка.

В настоящее время основная доля тепловой энергии вырабатывается за счет сжигания органического топлива, запасы которого ограничены, в связи с чем необходима разработка альтернативных способов получения тепловой энергии. Одним из таких способов является использование низкопотенциальной теплоты земли с помощью тепловых насосов.

В отличие от геотермальных вод теплота верхних слоев земли широко доступна. Для отбора низкопотенциальной теплоты от грунта применяются горизонтальные или вертикальные теплообменники. Колебания температуры грунта на глубине ниже 10 м не превышают 1–2 °С, что подтверждается независимыми исследованиями, проводимыми в Канаде, США, Бельгии и Германии, поэтому в странах с холодным климатом целесообразнее применять вертикальные теплообменники коаксиального или петлевого типа.

Вопрос расчета вертикальных грунтовых теплообменников (ВГТ) изучен недостаточно, прежде всего, это связано со сложностью моделирования процессов теплообмена в массиве грунта, что осложняет проектирование геотермальных теплонасосных установок.

Для решения задачи теплопереноса в массиве грунта используется уравнение

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \left(\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right) - \frac{q_v}{c\rho}, \quad (1)$$

где t — искомая температура грунтового массива, °С;

$c\rho$ — объемная теплоемкость, Дж/(°С·м³);

λ — коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°С);

τ — время, с;

q_v — количество выделяемой (поглощаемой) теплоты в единице объема грунта в единицу времени, Вт/м³.

Граничные условия на поверхности грунтового массива заданы в виде температуры окружающей среды $t_{\text{окр.ср}} = f(\tau)$, коэффициента теплопередачи $k = f(\tau, v, h_{\text{снега}})$ и нестационарного теплового потока от солнечной радиации $q_{\text{с.р}} = f(I_{\text{с.р}}, \tau)$, значение которых определяется на основании анализа климатологических данных. На нижней границе задан радиогенный тепловой поток.

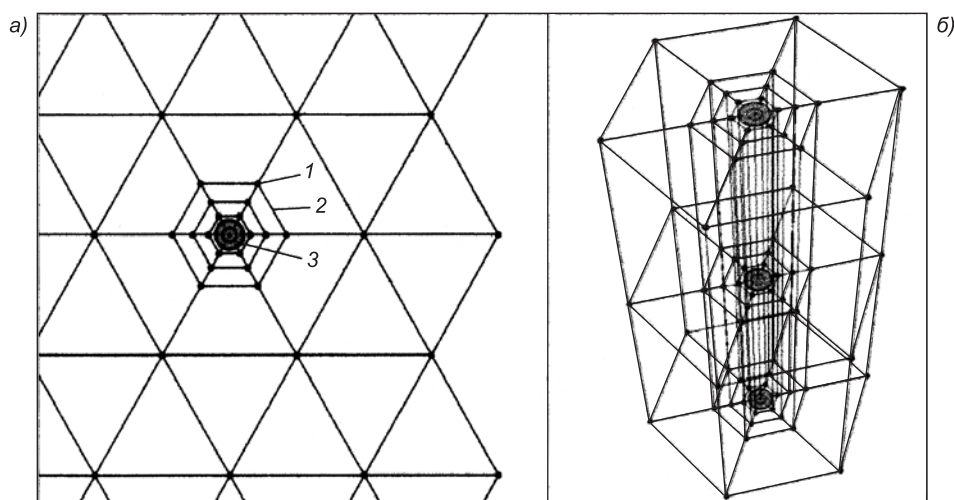


Рис. 1. Схема расчетной сетки в проекции на горизонтальную поверхность (а) и фрагмент расчетной схемы в пространстве (б)

1 — центральная узловая точка элемента сетки; 2 — условный теплопроводящий стержень; 3 — вертикальный теплообменник

Для описания нестационарного процесса теплообмена предлагается численное решение уравнения (1) методом конечных разностей. Рассматриваемый объем заменяется трехмерной сеткой, которая сгущается в области расположения ВГТ. Схема сетки, приведенная на рис. 1, позволяет реализовать расчет нескольких теплообменников с учетом их взаимного влияния.

Изменение температуры теплоносителя за один временной шаг в одном элементе ВГТ определялось по уравнению (2) для теплоносителя во внешнем межтрубном пространстве (t_{wn}) и по уравнению (3) для теплоносителя во внутренней трубе (t_{wv}):

$$t'_{wn} = \frac{Q_g + Q_w}{c_w \cdot m_{wn}} + t_{wn}, \quad (2)$$

где Q_g — количество теплоты, получаемой теплоносителем от грунта, Дж; Q_w — количество теплоты, получаемой теплоносителем от противоположно движущегося теплоносителя, Дж;

$$t'_{wv} = \frac{-Q_w}{c_w \cdot m_{wv}} + t_{wv}. \quad (3)$$

Реализация метода производится в программе, разработанной автором на языке программирования «Borland Delphi 7».

Проверка адекватности математической модели осуществлялась путем проведения исследований на специально разработанной экспериментальной теплонасосной установке.

Теплонасосная установка включает тепловой насос WP-036 типа «жидкость-жидкость», а также первичный и вторичный гидравлические контуры. В первичном контуре происходит отбор теплоты от грунта, во вторичном — передача теплоты в помещение.

Первичный контур состоит из испарителя теплового насоса, вертикального коаксиального теплообменника типа «труба в трубе» длиной 20 м и циркуляционного насоса, соединенных между собой полимерными трубами. Измерение температур теплоносителя в первичном контуре производилось разработанным измерительным комплексом на основе

многоканального регистратора температуры «ЭКОГРАФ-Т» с комплектом термодатчиков, устанавливаемых на подающем и обратном трубопроводе. Для определения расхода использовался измерительный канал теплосчетчика Т-21 «КОМБИК» фирмы «SAYANY».

Для контроля температуры грунта по глубине массива в отдельно пробуренную скважину глубиной 20 м без обсадной трубы через каждый метр установлены термодатчики, связанные с вторичным многоканальным регистратором РТМ 59 фирмы «ЭЛЕМЕР».

Исследование теплофизических свойств грунтового массива проводилось на образцах грунта, извлеченных при бурении скважины для вертикального теплообменника. Для определения удельной теплоемкости образцов на основе существующих аналогов был изготовлен термостат и разработана методика расчета теплоемкости. Измерение теплопроводности грунта производилось измерителем теплопроводности ИТП-МГ4 «100» производства Челябинского завода «ТЕПЛОПРИБОР».

Результаты исследований показали существенное изменение теплоемкости и теплопроводности грунта по глубине в зависимости от его вида, состава и влагосодержания. Значения теплоемкости и теплопроводности колебались в пределах от 0,68 до 1,64 кДж/(кг·К) и от 0,37 до 1,43 Вт/(м·К) соответственно.

Исследования на экспериментальной установке проводились с декабря 2008 г. Отклонение экспериментальных значений линейного теплового потока от результатов моделирования составило около 10 %. Разность температур грунта на расстоянии 1 м от оси теплообменника на различной глубине между экспериментальными и моделируемыми значениями не превышала 1 °С.

Разработанная математическая модель учитывает взаимное влияние теплообменников, климатические условия, влияние подвижных стоков грунтовых вод, позволяет производить моделирование динамики изменения температурных полей в массиве грунта и определять период выхода теплообменников на стационарный режим работы.

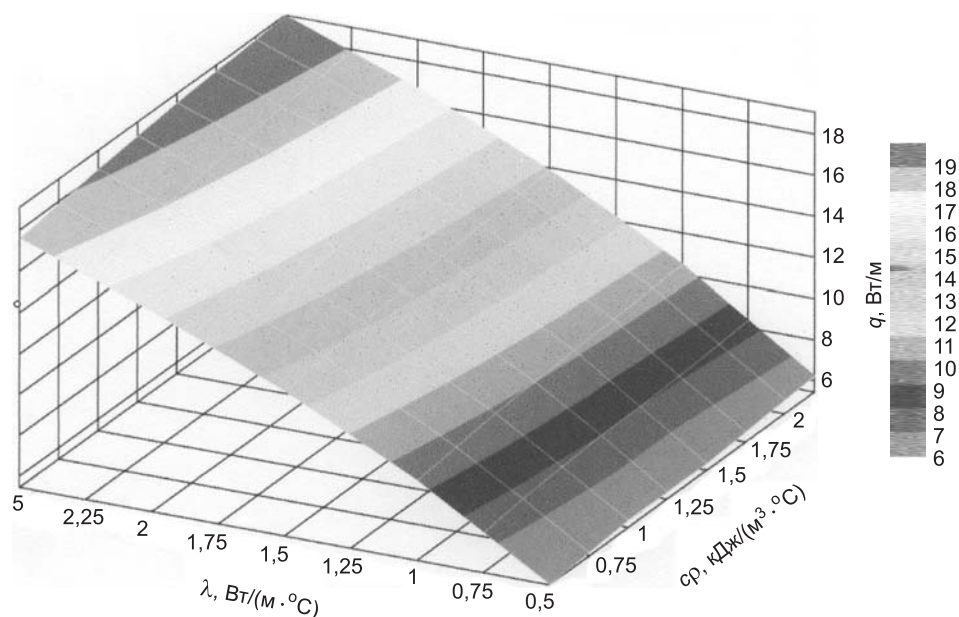


Рис. 2. Зависимость линейного теплового потока с одного метра длины вертикального теплообменника от теплоемкости и теплопроводности грунта

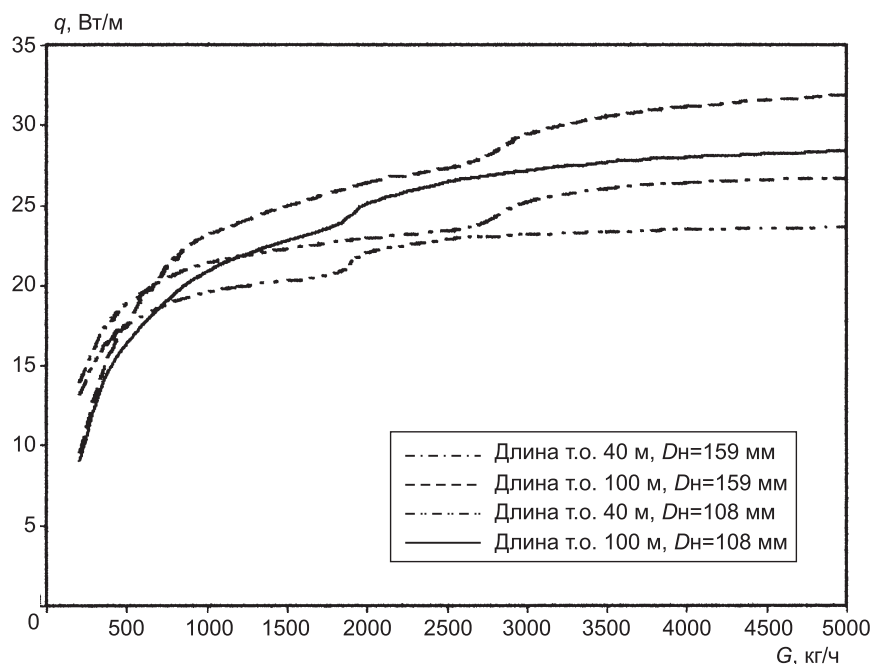


Рис. 3. Влияние расхода теплоносителя на значения линейного теплового потока при различных диаметрах и длинах вертикальных грунтовых теплообменников

На основе полученной математической модели было проведено численное исследование и получены результаты:

- зависимости линейного теплового потока ВГТ от удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности грунта. Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что величина линейного теплового потока в основном зависит от теплопроводности;

- зависимости линейного теплового потока от расхода теплоносителя для различных длин и диаметров ВГТ (рис. 3);

- по взаимному влиянию теплообменников при их групповой установке, которые показали существенное снижение их эффективности (до 50 %) при установке теплообменников на расстояние ближе 3–5 м друг от друга по сравнению с одиночной установкой;

- по восстановлению температуры грунта за счет солнечной радиации и радиогенного потока земли после окончания отопительного периода и прекращения работы ВГТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст]/В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел.— М.: Энергоиздат, 1981.— 416 с.
2. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел [Текст]/А. И. Пехович, В. М. Жидких.— Л.: Энергия, 1976.— 352 с.
3. Рыбачь, Л. Системы геотермальных тепловых насосов [Текст]/Л. Рыбачь, Б. Саннер//Европейский опыт: период. изд. ГХС.— 2000 (март).

КРОТОВ В. М., ассист.; E-mail: vovakr10@gmail.com
Пермский государственный технический университет

Получено 08.06.09

Krotov V. M., assistant; E-mail: vovakr10@gmail.com, Perm State Technical University, Russia

THERMAL CHARACTERISTIC OF VERTICAL GROUND HEAT EXCHANGERS OF HEAT SUPPLY SYSTEM ANALYSIS

Calculation of vertical ground heat exchangers based on modeling of heat processes in ground is described. Description of experimental installation and result of researches are considered...

vertical ground heat exchangers, heat pumps, mathematical model, experimental installation.

REFERENCES

1. Isachenko, V. P. Heat transfer [Text]/V. P. Isachenko, V. A. Osipova, A. S. Sukomel.— M.: Energoizdat, 1981.— 416 p.
2. Pehovich, A. I. Heat Regime Calculations of Solids [Text]/A. I. Pehovich, V. M. Zhidkikh.— L.: Energija, 1976.— 352 p.
3. Rybach, L. Ground-source heat pump systems [Text]/L. Rybach, B. Sanner// European experience: GHC Bulletin.— 2000 (march).

УДК 628.34:621.892.6

Т. И. ХАЛТУРИНА, О. В. ЧУРБАКОВА

РЕГЕНЕРАЦИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Представлены данные экспериментальных исследований процесса регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей...

очистка, сточные воды, смазочно-охлаждающая жидкость, утилизация.

Предприятия черной, цветной металлургии и машиностроения входят в первую пятерку среди загрязнителей гидросферы. Из общего стока этих предприятий лишь половина проходит через очистные сооружения, которые, как правило, не соответствуют современным экологическим требованиям, причем до 40–60 % общезаводского стока относятся к категории маслосодержащих (отработанные СОЖ, утечки смазочных систем и маслохозяйств и др.).

В условиях автоматизированных производств система смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) рассматривается как неотъемлемая часть технологического комплекса, состоящая из ряда отдельных внутренних подсистем: технологической подготовки СОЖ; системы циркуляции; очистки и регенерации СОЖ; удаления отходов и обезвреживания отработанных составов и др., действующих как единое целое. Как элемент общей технологической системы система СОЖ, в том числе ее подсистемы, должны отвечать нормативным требованиям: совместимости, гибкости, надежности, наблюдаемости и управляемости.

В процессе эксплуатации СОЖ истощаются и теряют свои технологические свойства в результате: накопления металлических частиц, пыли и продуктов термического разложения масел; окисления масел с образованием смол; обеднения эмульсий; попадания в СОЖ масел, смазок и специфических от технологических процессов; накопления солей жесткости; микробиологического поражения (загнивания), существенно влияющих на срок службы СОЖ.

Надежность (ГОСТ 27.202–83) СОЖ определяется как комплексное свойство сохранять во времени в установленных пределах показатели технологических свойств при хранении и транспортировании, техническом обслуживании и эксплуатации. Надежность СОЖ при эксплуатации оценивается следующими показателями: средняя наработка на отказ (τ_{cp}); вероятность безотказной работы $P(\tau)$; вероятность отказа, т.е. превышение установленных пределов показателей свойств в процессе эксплуатации по j -му свойству $Q_j(\tau)$; интенсивность отказов по j -му свойству (λ_j); срок службы СОЖ (τ_{cl}), характеризующий ее сохраняемость; среднее время восстановления работоспособного состояния или свойств (τ_b), характеризующее эффективность технологии регенерации и очистки СОЖ. Обобщенным показателем фактической надежности СОЖ можно считать вероятность безотказной работы

$$P_{\phi}(\tau) = \prod_{j=1}^n [1 - Q_j(\tau)] = \prod_{j=1}^n \exp(-\lambda_j \cdot \tau_j).$$

Комплекс мер, осуществляемых при эксплуатации СОЖ (очистка, регенерация, биоцидная обработка и др.), позволяет существенно продлить срок ее службы и соответственно повысить надежность [1–3].

Для разработки установки регенерации охлаждающей синтетической эмульсии прокатно-волочильного производства металлургического завода, работающего на базе цветных металлов и сплавов, были проведены экспериментальные исследования с помощью ИК-спектроскопии на приборе JR-75 в CCl_4 , в области валентных и деформационных колебаний по изучению свойств исходных и обработанных эмульсий путем центрифугирования и фильтрации.

Компоненты в синтетической эмульсии (№ 1) представлены в виде синтанокса, масла индустриального, нитрата натрия, триэтаноламина.

В состав эмульсии № 2 входят: синтанокс, триэтаноламин, NaHSO_3 .

Для отработанных эмульсий (№ 1 и 2) дополнительно к указанным составам характерно наличие меди в свободном и ионном состоянии.

В эксперименте пробы отработанных эмульсий и обработанных центрифугированием и фильтрацией экстрагировались CCl_4 и их вытяжки исследовались на спектрометре.

На рис. 1, *а–в* представлены спектры различных образцов. На рис. 1, *а* полосы поглощения $2860, 2930, 2965 \text{ см}^{-1}$ относятся к валентным колебаниям алифатических CH -групп. Полосы поглощения 1740 см^{-1} характерны колебаниям $\text{C}=\text{O}$ группы в сложноэфирных группировках. Полосы поглощения $1110\text{--}1150 \text{ см}^{-1}$ относятся к колебаниям C-O в простых эфирах, которые имеются в синтаноксе.

Установлено, что для эмульсии № 1 при обработке наблюдаются незначительные изменения в области колебаний C-O , относящиеся к простым эфирам ($1110\text{--}1150$), следовательно, данная эмульсия № 1 может быть использована для технологических нужд.

Как видно из представленных на рис. 1, *а–в* ИК-спектров, полосы поглощения $2860, 2930, 2965 \text{ см}^{-1}$ относятся к валентным колебаниям алифатических групп CH , полосы поглощения $1110\text{--}1115 \text{ см}^{-1}$ C-O характерны для простых эфиров, имеющих в синтаноксе. При сопоставлении спектров для эмульсии № 2 наблюдается появление новых полос поглощения 1740 см^{-1} , увеличение интенсивности полосы поглощения при 1150 см^{-1} , что указывает на изменение свойств эмульсии № 2 в ходе регенерации.

Данные по изучению состава и свойств отработанных исходной и обработанной эмульсий № 1 представлены в табл. 1, из которой видно, что центрифугирование позволяет удалять медь на 81 %, а центрифугирование и фильтрация — до 91 %.

Результаты микроскопического дисперсионного анализа исходной и обработанной эмульсий (№ 1) представлены в табл. 2. В исходной отработанной эмульсии № 1 в большом количестве содержатся частицы размером 1–3; 5–10; 10–15; 15–20 мкм.

Исследования в лабораторных условиях фильтрации отработанной эмульсии осуществлялись на фильтрационной колонке, загруженной гранулами пенополистирола. Установлено, что фильтрация позволяет незначительно снижать количество мелкодиспергированных частиц, а центрифугирование при $\eta = 8000 \text{ об/мин}$, $t = 2 \text{ мин}$ и факторе разделения $F_p = 4900$ способствует выделению частиц от 5–20 мкм, содержание которых преобладает в эмульсии № 1.

Результаты исследований микроскопического анализа отработанной и обработанной эмульсий № 2 указаны в табл. 3. В исходной отработанной эмульсии в большом количестве содержатся частицы размером 1–3; 10–15; 20–40; 5–10 мкм и видно, что осаждение в центробежном поле позволяет задержать и тонкодиспергированные частицы.

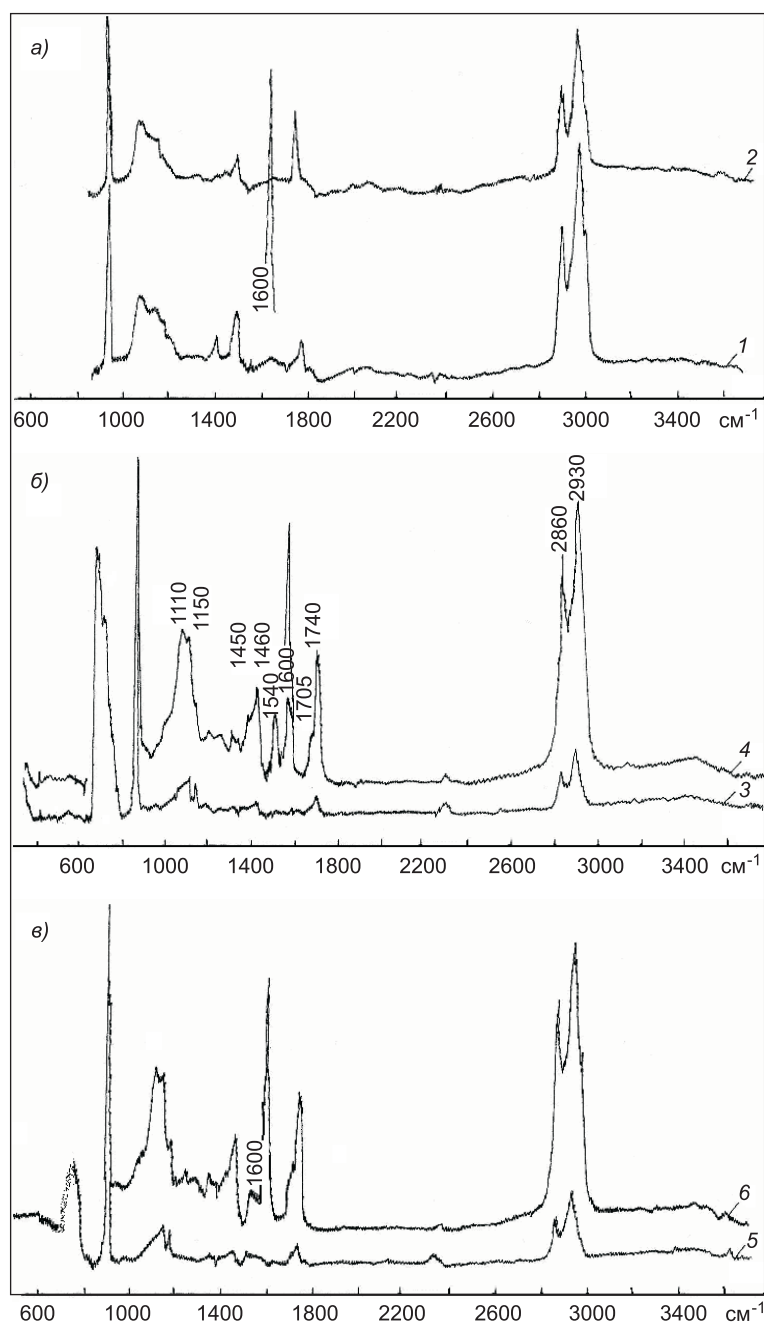


Рис. 1. ИК-спектры различных образцов эмульсии

а) 1 — исходная эмульсия № 1, 2 — исходная эмульсия № 2; б) 3 — эмульсия № 1 после центрифугирования, 4 — эмульсия № 2 после центрифугирования; в) 5 — эмульсия № 1 после фильтрации, 6 — эмульсия № 2 после фильтрации

Результаты изучения состава и свойств исходной и обработанной эмульсий № 2 показаны в табл. 4.

Данные табл. 4 указывают на снижение концентрации Cu^{2+} и Fe^{2+} при обработке. Однако, как показали спектральные исследования, при обработке эмульсии № 2 происходят необратимые изменения свойств, поэтому регенерация эмульсии № 2 и ее повторное использование в качестве СОЖ невозможны. Отработавшая эмульсия должна быть направлена на обезвреживание путем коагуляции.

Таблица 1

№ эмульсии	Си, г/дм ³	Fe ³⁺ , мг/дм ³	Влажность, %	Органическая часть при 450 °С, %	Органическая часть при 700 °С, %
Исходная эмульсия № 1	3,15	0,093	96,33	82,2	82,41
После центрифугирования	0,62	0,36	96,76	91,27	93,81
После фильтрования	0,29	0,123	96,94	93,59	93,67

Таблица 2

Пределы размеров частиц, мкм	Относительное число частиц в заданном интервале		
	Исходная эмульсия	После фильтрации	После центри- фугиро- вания
1–3	125	6,7	—
3–5	—	7,5	18
5–10	20,5	—	48
10–15	29	—	10
15–20	1	9	13
20–40	26	3	7
40–60	9	1,5	0,5
60–80	—	—	—
80–100	—	11	3
100–120	2	1	—

Таблица 3

Пределы размеров частиц, мкм	Относительное число частиц в заданном интервале		
	Исходная отрабо- танная эмульсия	После фильтрации	Осадок, выделенный центрифуги- рованием
1–3	23,1	22	—
3–5	5,5	4	—
5–10	25	24	52
10–15	17	23	26,5
15–20	5	22	10,5
20–40	7,5	3,65	6,6
40–60	2	1,35	4,2
60–80	—	—	—
80–100	—	—	—
100–120	5	—	—

Учитывая результаты проведенных исследований, была разработана технологическая схема регенерации СОЖ, прокатно-волочильного производства (см. рис. 2).

Основные технические данные: объем рабочей эмульсии в системе — 36 м³; рабочий расход эмульсии — 15 ÷ 20 м³/ч; производительность установки — 8 м³/ч (по полной схеме), 18 м³/ч (по неполной схеме).

Установка включает:

— резервуар для сбора эмульсии объемом 18 м³ цилиндрический $D = 3,6$ м с коническим днищем ($\alpha = 45^\circ$) и коническим перекрытием ($\alpha = 10^\circ$) и цилиндрической горловиной, оборудованный трубопроводами: подающим, отвода осветленной СОЖ, отвода плавающих масел, принудительного смыва и взмучивания осадка, перелива избыточной эмульсии;

— расходный резервуар для хранения очищенной и оборотной эмульсии объемом 18 м³, состоящий из двух отделений по 9 м³ каждое с пирамидальным дном для сбора шлама;

— бак для сбора плавающих веществ прямоугольной формы с пирамидальным дном из двух отделений общим объемом 1 м³;

— резервуар для сбора шлама прямоугольный с пирамидальным дном объемом 1,5 м³, оборудованный сетчатым контейнером для задержания из осадка, регенерации и утилизации металлической стружки;

Таблица 4

Наименование образца	Си, г/дм ³	Fe ³⁺ , мг/дм ³	Органика, %	
			при $t = 450^\circ\text{C}$	при $t = 700^\circ\text{C}$
Исходная эмульсия № 3	2,3	0,275	88,58	89,12
После центрифугирования	0,88	0,125	92,56	93,0
После фильтрования	0,82	0,194	86,94	92,76

Рис. 2. Технологическая схема регенерации смазочно-охлаждающей жидкости

1 — резервуар для сбора плавающих веществ; 2 — бак для сбора плавающих веществ; 3 — расходный резервуар эмульсии; 4 — резервуар для сбора шлама; 5 — гидроциклон; 6 — фильтр с плавающей загрузкой; 7 — насос центробежный консольный; 8-10 — насосы вихревые самовсасывающие; 11 — мотор-редуктор мешалки фильтра; 12 — запасной резервуар для сбора пленочных масел

- два напорных гидроциклона $D = 125$ мм с производительностью каждого $8 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- напорный фильтр с плавающей пенополистирольной загрузкой $D = 1,5$ м, производительностью $25\text{--}30 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- комплект насосного оборудования для перекачки эмульсии, задержанных масел и шламов;
- таль грузоподъемностью $0,5$ т для работ с сетчатым контейнером.

По экспериментальным данным за один цикл регенерации по полной схеме содержание металлов (Cu и Fe) в эмульсии снижалось с $2,5$ до $0,8 \text{ г}/\text{дм}^3$, количество минеральных частиц с размером более 20 и 60 мкм в очищенной эмульсии не превышало 5 и 1% соответственно.

Предлагаемая технология регенерации, основанная на использовании гравитационных, центробежных полей и фильтрации, позволяет не менее чем в 3 раза продлить срок службы и повысить надежность СОЖ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пчелкин, А. Г. Технология и установка для регенерации СОЖ [Текст]/А. Г. Пчелкин, Т. И. Халтурина // Материалы науч.-практ. конф. «Проблемы отходов производства и потребления, пути их решения в Красноярске», 21–22 окт. 1999 г.— С. 32–34.
2. Энтелис, С. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием [Текст]: справочник/С. Г. Энтелис, Э. М. Берлинер.— 2-е изд. перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1995.— 496 с.
3. Гамидов, Т. Ю. Проблемы экологии нефтепереработки и нефтехимии [Текст]/Т. Ю. Гамидов, А. К. Каневский, А. К. Нарвузов // Сб. тез. докл. Междунар. симп., г. Уфа, 14–15 декабря 1995 г.— С. 91.

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

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

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

Политехнический институт, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено после доработки 28.05.09

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

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

REGENERATION OF LUBRICANT-COOLING LIQUIDS

The data of experimental studies of the regeneration lubricating cooling liquid to design the installation...

cleaning, waste water, lubricating-cooling liquids, recycling.

REFERENCES

1. Pchelkin, A. G. Technology and plant for regeneration lubricating-cooling fluid [Text]/A. G. Pchelkin, T. I. Khalturina // Proceedings of m-p. conf. «The problems of waste production and consumption, ways to address them in Krasnoyarsk», 21–22 October 1999.— P. 32–34.
2. Entelis, S. G. Cutting-cooling technological means for processing less thallium machining [Text]: Directory/S. G. Entelis, E. M. Berliner.— 2nd ed. revised and add.— M.: Mashinostroenie, 1995.— 496 p.
3. Gamidov, T. Yu. Ecology refining and petrochemicals [Text]/T. Yu. Gamidov, A. K. Kanevsky, A. K. Narvuzov // Sat. Tez. Abstr. International simp., Ufa, 14–15 December 1995.— P. 91.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.855:625.06:691.51/.55

Д. А. СТРОЕВ, С. Я. ГАРКАВЕНКО

ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОНОВ ОТ ВИДА ПРИМЕНЯЕМЫХ ВЯЖУЩИХ И СКОРОСТЕЙ НАГРУЖЕНИЯ

Исследования по изучению зависимостей деформативных свойств асфальтогранулобетонных от вида применяемых вяжущих и скоростей нагружения позволяют отметить эффективность использования комплексного вяжущего (битумная эмульсия + минеральное вяжущее). Структуре получаемого материала соответствует коагуляционная связь, образуемая битумными слоями, и кристаллизационная — гидратацией цемента, обеспечивая получаемому материалу улучшение таких свойств, как предел прочности на растяжение при изгибе, модуль деформации, предельная относительная деформация, а также ползучесть материала при изгибе и др....

ресайклинг, холодная регенерация, трещиностойкость, деформативность, асфальтогранулобетон, растяжение при изгибе, коагуляционный тип связи, цемент, эмульсия.

В настоящее время во всем мире, в том числе и в России, автомобильные дороги подвержены все увеличивающимся нагрузкам из-за резкого повышения скорости и интенсивности движения, а также числа большегрузных транспортных средств, что не может не отражаться на техническом состоянии покрытий: снижается общая прочность (несущая способность), ухудшается ровность, нарушается сплошность (монолитность) покрытия, наблюдается трещиновато-блочное состояние связанных слоев дорожной одежды. Для поддержания дорожной сети в нормативном состоянии в таких случаях требуются большие средства.

В связи с этим все шире применяется технология холодного ресайклинга, позволяющая в ряде случаев значительно снизить затраты на производство ремонтных работ, технологические операции которых проводятся преимущественно на дороге. Метод состоит в измельчении асфальтобетонных слоев покрытий с захватом в большинстве случаев части несвязного слоя основания, введении в образовавшийся рыхлый материал вяжущего и, если необходимо, нового скелетного материала и модифицирующих добавок. Затем осуществляется перемешивание всех компонентов, распределение полученной смеси в виде слоя и его уплотнение. Проведение восстановительных работ методом холодного ресайклинга, без разогрева старого асфальтобетона наносит минимальный ущерб окружающей среде и резко снижает энергозатраты. По ресурсосбережению метод ресайклинга не имеет себе равных. Он позволяет более эффективно использовать материалы старой дорожной одежды. Устранение при этом трещин в битумосвязных слоях старой дорожной одежды исключает появление отраженных трещин в вышеукладываемых слоях покрытия

© Строев Д. А., Гаркавенко С. Я., 2009

[1–3]. При традиционном способе перекрытия верхнего слоя дорожной конструкции проявление отраженных трещин неизбежно.

Рассмотрение вопроса повышения трещиностойкости покрытий, устроенных по технологии холодного ресайклинга, представляет значительный интерес. Способы холодной регенерации отличаются друг от друга, главным образом, видом применяемого вяжущего. Основываясь на мировом опыте использования технологии холодной регенерации, можно отметить применение трех видов вяжущего: органического характера (вспененный битум, катионная битумная эмульсия), неорганического (цементы), комплексного, например, эмульсия + цемент. Одним из важных показателей укрепленных материалов является их трещиностойкость. Трещиностойкость укрепленных слоев зависит как от условий эксплуатации, так и от прочностных, реологических и деформативных свойств самого материала. Особый интерес в научных и практических целях представляет проведение сравнительного анализа деформативных свойств асфальтогранулобетонов, изготовленных по данной технологии в зависимости от скоростей нагружения и вида вяжущих, формирующих в композиционных материалах различные типы пространственных структур, предопределяющих в основном свойства образующихся композитов, в том числе и деформативность. В настоящей работе изучено влияние основных типов вяжущих материалов на изменение деформативных свойств асфальтогранулобетона в зависимости от скоростных режимов нагружения, что позволило экспериментально доказать преимущество структуры комплексно укрепленного асфальтогранулобетона по критериям оптимальности деформативных свойств.

Все исследования проводились на стандартных образцах-призмах размером $4 \times 4 \times 16$ см. Зерновой состав смеси подбирался в соответствии с требованиями ГОСТ 9128–97 для пористых и высокопористых смесей. Минеральный состав смеси содержал 30 % гранитного щебня (фракции 5–10 мм), соответствующего требованиям ГОСТ 8267, и 70 % сфрезерованного асфальтобетонного лома (фракции 0–10 мм). В таблице приведены зерновые составы исходных материалов и подобранной смеси.

Приготовленные образцы балок термостатировались в течение часа при температуре $+10^\circ\text{C}$ и испытывались на приборе Маршалла по трехточечной схеме при различных скоростных режимах нагружения. В качестве вяжущего неорганического характера применялся портландцемент марки 400, соответствующий требованиям ГОСТ 10178, выбранное количество которого составило 4 %, органического — катионная битумная

Исходные материалы	Содержание материала, %	Размер зерен мельче, мм									
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,075
ФАЛ	100	100	93,6	74,5	55,6	40,3	34,2	27,7	21,1	14,6	9,5
Щебень фракции 5–10	100	100	100	99,5	30	0,7	0	0	0	0	0
Состав смеси											
ФАЛ	70	70	65,5	52,2	38,9	28,2	23,9	19,4	14,8	10,2	6,7
Щебень фракции 5–10	30	30	30	29,9	9	0,2	0	0	0	0	0
Готовая смесь	100	100	95,5	82,1	47,9	28,4	23,9	19,4	14,8	10,2	6,7
Требования ГОСТ 9128 к пористому асфальтобетону											
	100	75–100	64–100	52–88	40–60	28–60	16–60	10–60	8–37	5–20	2–8

эмульсия класса ЭБК-2, отвечающая требованиям ГОСТ 18659, соответственно в количестве 5 % и комплексного вяжущего, содержащего 2 % цемента марки 400 + 4 % эмульсии класса ЭБК-2. Эмульсия приготавливалась с использованием эмульгатора КАДЭМ-ВТ «Катионный реагент КАДЭМ-ВТ», выпускаемого в соответствии с ТУ 2482-009-04706205-03. По требованиям классификации «Методических рекомендаций по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации» (Росавтодор от 27.06.2002 г.) полученные материалы относятся к асфальтогранулобетонным смесям типов «М», «Э», «К» соответственно. Для обеспечения процессов гидратации портландцемента, а также наилучшего уплотнения образцов в состав полученных смесей вводилась вода. При изготовлении смесей асфальтогранулят имел начальную влажность, близкую к 1,5–2 %. Для АГБ-смесей типа «М» сначала подавался портландцемент и лишь после его равномерного распределения в структуре смеси вода в количестве 3 %. Для смесей типа «К» на асфальтогранулят подавалась вода в количестве 2 %, затем 4 % битумной эмульсии, а после достижения однородности смеси, при перемешивании, распределялось минеральное вяжущее. Для улучшения обволакиваемости смеси типа «Э» эмульгированным битумом перед его введением также добавлялась вода в количестве 1 %.

Результаты проведенных исследований по изучению предела прочности на растяжение при изгибе при различных скоростях нагружения представлены на рис. 1.

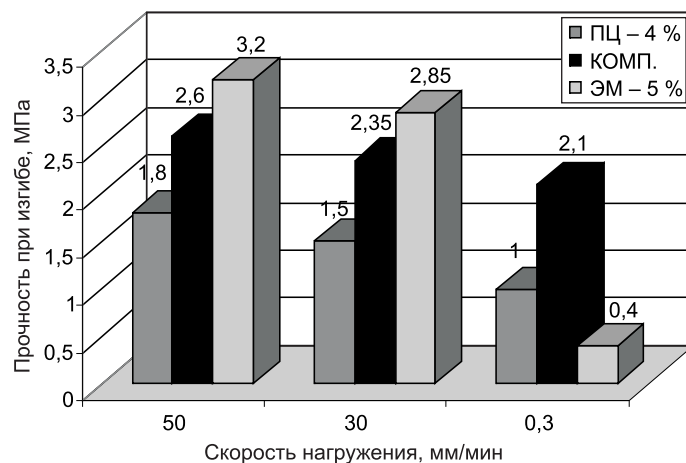


Рис. 1. Изменение предела прочности на растяжение при изгибе

Из приведенных данных следует, что оптимальные значения предела прочности на растяжение при изгибе получены для материалов, приготовленных с использованием комплексного вяжущего (портландцемент + эмульсия), у которых этот показатель при скоростях нагружения 0,3–50 мм/мин имеет относительно стабильные значения в пределах 2,1–2,6 МПа. Смесей, приготовленных с использованием портландцемента, показали несколько более низкие результаты (1,8–1,0), а с эмульсией при скорости нагружения 0,3 мм/мин они оказались наименьшими — 0,4 МПа. Стабильные, повышенные значения прочности при динамическом изгибе асфальтогранулобетона, регенерированного с добавлением комплексного вяжущего, по сравнению с цементными составами свидетельствуют об ограниченной роли кристаллизационных связей в структуре, обусловленной гидратацией цемента при невысоком его содержании (в данном случае в количестве 4 %).

Значения предела прочности при изгибе хорошо согласуются с характером изменения модуля деформации полученных материалов (рис. 2).

Так, в заданном диапазоне скоростей нагружения образцов от 0,3 до 50 мм/мин наиболее значительное снижение показателей модуля деформации выявлено у асфальтогранулобетона, приготовленного с использованием битумной эмульсии, и составило 65 МПа, у образцов, полученных с использованием портландцемента, — 60 МПа. Наименьшее изменение модуля деформации зафиксировано у образцов комплексно укрепленного материала и составило 45 МПа. Довольно наглядно процессы разрушения материала отражает характер изменения предельной относительной деформации образцов (рис. 3).

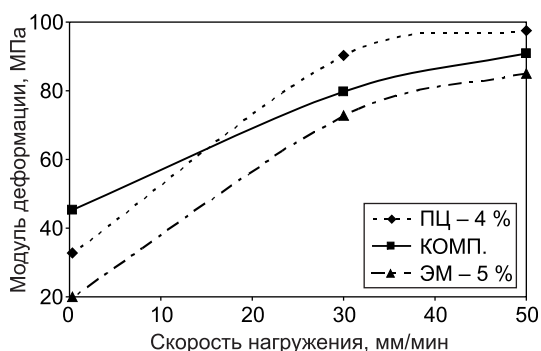


Рис. 2. Изменение модуля деформации

Наиболее высокие значения данного показателя наблюдаются в условиях повышенных скоростей нагружения, у органически укрепленного асфальтогранулобетона, незначительно снижаясь при понижении скоростей деформирования. Более низкие результаты получены для материала, укрепленного комплексным вяжущим, хотя и оставались довольно стабильными в условиях изменения скоростных режимов. Достаточно высокие показатели предельной относительной деформации при низких скоростях выявлены у асфальтогранулята, приготовленного с использованием портландцемента. Однако с увеличением скорости воздействия нагрузки в связи с проявлением в значительной степени хрупких свойств гидравлического вяжущего, обусловленных его низкой способностью распределять нагрузки, стало наблюдаться резкое снижение этого показателя.

Наряду с отмеченными выше исследованиями проводились испытания образцов на ползучесть при изгибе под действием постоянной нагрузки, результаты которых свидетельствуют о значительно большем сопротивлении асфальтогранулята, приготовленного с использованием комплексного вяжущего, воздействию разрушающей нагрузки в отличие от материала, укрепленного битумной эмульсией, а также показали более высокие значения предельной относительной деформации по сравнению с материалом, приготовленным на неорганическом вяжущем (рис. 4).

Судя по результатам проведенных исследований, наиболее высоким сопротивлением к трещинообразованию будут обладать конструктивные слои, устроенные с использованием комплексного укрепления асфальто-

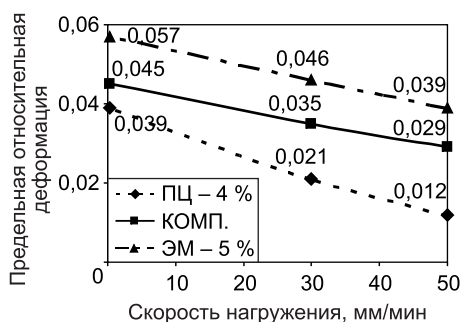


Рис. 3. Изменение предельной относительной деформации

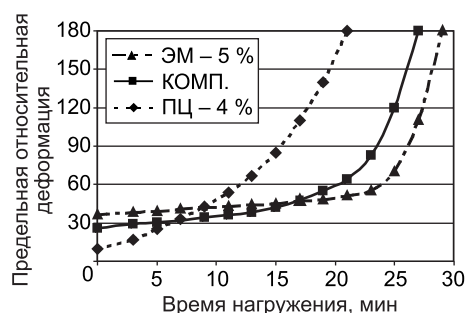


Рис. 4. Ползучесть асфальтогранулобетона

гранулобетона. Подтверждением этому служит характер образующихся при этом структур [2–4].

При использовании в качестве вяжущего для укрепления асфальтогранулята цемента прослойки цементного раствора раздвигают гранулы, препятствуя их прямому контакту. Матрицей в этом случае можно считать цементный раствор, а гранулы — ослабляющими элементами. Существенный вклад в прочность асфальтобетона и в его деформативные показатели вносят в данном случае кристаллизационные связи, образуемые цементным камнем с оголенными зернами асфальтогранулята. В нашем случае при малом содержании цемента (4 %) раздвижка гранул может быть незначительной (или отсутствовать вовсе), увеличивая долю коагуляционных межгранульных контактов. Низкая релаксационная способность кристаллизационных структур цементного камня в значительной степени способствует снижению прочности материала при изгибе (см. рис. 1). Однако отмечается стабильность предельных растягивающих напряжений от изменения скорости деформирования.

При формировании структур с использованием эмульсий, в отличие от классических смесей, в асфальтогранулобетоне часть гранул уже покрыта битумом. Причем поверхность зерен минерального материала, не покрытых вяжущим, обладает преимущественно отрицательным зарядом, битумные капельки катионной эмульсии обладают положительным зарядом. Поэтому при смешении асфальтогранулята с эмульсией частицы эмульгированного битума осаждаются в первую очередь на поверхности необработанных зерен, обеспечивая протекание процессов структурообразования асфальтогранулобетона, которые продолжаются и после его уплотнения. В результате получается материал с коагуляционным типом связей на контактах его частиц через тончайшие пленки органического вяжущего. Этот тип связей обеспечивает асфальтогранулобетону повышенные значения предела прочности при изгибе при высоких скоростях нагружения (30–50 мм/мин) и значительное его снижение при низких (см. рис. 1). Асфальтогранулобетон обладает более низкими значениями модуля деформации, особенно при пониженных скоростях нагружения, и высокой предельной деформацией (при ползучести), чем при использовании в качестве вяжущего цемента (см. рис. 4).

Структура асфальтогранулобетона, полученного с использованием комплексного вяжущего, характеризуется двумя видами связей, возникающими между его элементами. Катионная битумная эмульсия взаимодействует и с цементом, поскольку поверхность зерен цемента носит основной характер, и с каменным материалом. Структуре получаемого материала соответствует коагуляционная связь, образуемая битумными слоями, и кристаллизационная, обусловленная гидратацией цемента [4]. Ограниченная роль кристаллизационных связей в структуре комплексно укрепленного асфальтогранулобетона по сравнению с другими составами подтверждается в настоящей работе повышенными значениями прочности при динамическом изгибе и изменениями относительной деформации, а также наименее значительным снижением показателя модуля деформации. Однако присутствие в составе регенерируемой смеси минерального вяжущего оказывает влияние на улучшение реологических свойств материала, в частности ведет к снижению его ползучести и повышению сопротивляемости разрушению.

Исследования по изучению зависимостей деформативных свойств асфальтогранулобетонов от вида применяемых вяжущих и скоростей нагружения позволили дополнить картину работы регенерированного холодным способом асфальтогранулобетона и подчеркнуть эффективность использования в этом случае комплексного вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахрах, Г. С. Ремонт дорожных одежд методом холодной регенерации (достижения и проблемы) [Текст]/Г. С. Бахрах//Автомоб. дороги: информ. сб./ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 1.— М., 2005.— 50 с.
2. Бахрах, Г. С. Свойства асфальтогранулобетона (АГБ) — продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием [Текст]/Г. С. Бахрах//Автомоб. дороги: информ. сб./ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 12.— М., 1999.— С. 1–28.
3. Зарубежный опыт холодного ресайклинга [Текст]/Новости в дорожном деле: науч.-техн. информ. сб./ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 3.— М., 2008.— 52 с.
4. Петрович, П. П. Современное состояние и перспективы применения технологии укатываемого бетона [Текст]/П. П. Петрович//Обзорная информация/ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 6.— 2004.— 89 с.

СТРОЕВ Д. А., асп., мл. науч. сотр.; E-mail: www.mr.stroev@rambler.ru

«ДорТрансНИИ РГСУ», г. Ростов-на-Дону

ГАРКАВЕНКО С. Я., инж.; E-mail: www.dortransnii@mail.ru

«ДорТрансНИИ РГСУ», г. Ростов-на-Дону

Получено после доработки 28.05.09

Stroev D. A., post-graduate student, junior scientist; E-mail: www.mr.stroev@rambler.ru, Institute of problems of road complex «DorTransNII RGSU», Rostov-on-Don, Russia

Garkavenko S. Ya., engineer; E-mail: www.dortransnii@mail.ru, Institute of problems of road complex «DorTransNII RGSU», Rostov-on-Don, Russia

DEPENDENCE OF DEFORMATIVE PROPERTIES OF MILLED ASPHALT CONCRETE FROM A KIND APPLIED KNITTING AND SPEEDS LOADING

Researches on studying of dependences deformative properties milled asphalt concrete from a kind applied knitting and loading allow to cancel speeds efficiency of use complex knitting (bitumen emulsion + mineral knitting).

To structure of a received material corresponds coagulatory communication, under formation bitumen layers and cement crystallization hudration, providing a received material improvement of such properties as strength on a stretching at a bend, the deformation module, limiting relative deformation and also creep of a material at a bend, ect. ...

recuculing, cold regeneration, stability to formation of cracks, deformability, milled asphalt concrete, stretchings at a bend, coagulatory communication type, cement, emulsion.

REFERENCES

1. Bakhrakh, G. S. Repair of pavement by a method of cold regeneration (achievement and a problem) [Text]/G. S. Bakhrakh//Highways: the scientific and technical information collection/Informavtodor.— 2005.— N 1.— 50 p.
2. Bakhrakh, G. S. Properties asfaltogranulobeton — a product of cold regeneration of pavements with asphaltic concret covering [Text]/G. S. Bakhrakh//Highways: Information collection/Informavtodor.— 1999.— N 12.— P. 1–28.
3. Foreign experiens of cold recuculing [Text]/ /News in a road management: The scientific and technical information collection/Informavtodor.— 2008.— N 3.— 52 p.
4. Petrovich, P. P. Current state and prospects of application of technology roller concrete [Text]/P. P. Petrovich/Informavtodor.— 2004.— N 6.— 89 p.

УДК 625.033.38

В. В. ЗАМОРИН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
ОДНОМЕРНОЙ И ДВУМЕРНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫХ
МОДЕЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ
И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ЕГО ДИАГНОСТИКЕ
МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

Выполнен анализ данных математического моделирования нестационарного электромагнитного поля над моделью земляного полотна при его диагностике методом электромагнитного сканирования. На основе результатов моделирования выведены уравнения регрессии времен начала и окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна. Предложены номограммы для их графического определения. Делается вывод о возможности обоснованного использования одномерной и двумерной интерпретационных моделей земляного полотна...

электромагнитное сканирование, интерпретационная модель, земляное полотно, размерность, уравнение регрессии.

Известно, что для решения задач диагностики земляного полотна железных и автомобильных дорог целесообразно применение метода электромагнитного сканирования [1]. Об этом свидетельствуют материалы работ, опубликованных ранее [2, 3]. Для повышения эффективности использования метода электромагнитного сканирования требуется исследование областей применения одномерной и двумерной интерпретационных моделей земляного полотна. Решение задачи может быть осуществлено с привлечением математического моделирования нестационарного электромагнитного поля над одномерной и двумерной моделями земляного полотна и последующим анализом значений времени начала и окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик. Это позволит ускорить процесс обработки и интерпретации результатов измерений, сохраняя достоверность получаемых из эксперимента данных.

Метод исследования. Метод электромагнитного сканирования относится к категории импульсных индуктивных методов электроразведки. Он основан на изучении объемного распределения вторичных токов в исследуемом грунтовом массиве при возбуждении электромагнитного поля специально синтезированным токовым импульсом. Для выявления структурных неоднородностей земляного полотна системой приемопередающих антенн возбуждается высокочастотное нестационарное электромагнитное поле. В момент возникновения вихревых токов максимум плотности тока диффундирует в глубину с одновременным перемещением по латерали, захватывая вмещающую среду и находящиеся в ней неоднородности. Поисковые объекты (структурные неоднородности, обводненные зоны и т.д.), попадающие в область циркуляции вихревых токов, создают вторичные электромагнитные поля. По характеру аномалий вторичного электромагнитного поля, регистрируемого приемной антенной, производится оценка физических параметров исследуемой среды. Амплитуда и

скорость затухания токов в обследуемых объектах зависят от их морфологических особенностей и электрофизических параметров. Чем выше проводимость фрагмента среды, тем дольше продолжается циркуляция вторичных токов. Регистрируя временную производную магнитного поля вихревых токов, можно послойно исследовать электропроводимость среды. Для обнаружения небольших мелкозалегающих объектов используют высокую частоту излучаемого электромагнитного поля. С увеличением глубины обследования частоту поля понижают. Это вызвано явлением ослабления и рассеивания электромагнитной энергии в проводящей среде. Эффективная глубина проникновения токов в грунт h_z пропорциональна электрическому сопротивлению грунта ρ и времени начала диффузии t

$$h_z \sim \sqrt{\rho \cdot t}. \quad (1)$$

В частотной области то же самое выражается зависимостью $h_z \sim 1/\omega$, где ω — главная частота спектра излучателя.

Таким образом, изучая параметры поля на разных частотах или временах становления поля, можно получать информацию об исследуемом грунтовом массиве на различных глубинах.

Методикой проведения работ по технологии электромагнитного сканирования предусматривается регистрация вторичного электромагнитного поля в движении, что обеспечивает высокую производительность и пространственно-временную плотность экспериментальных данных.

Моделирование нестационарного электромагнитного отклика земляного полотна. Постановка задачи. Нестационарные электромагнитные поля, в которых влияние токов смещения пренебрежимо мало по сравнению с влиянием токов проводимости, описываются следующими уравнениями из системы уравнений Максвелла:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} + \sigma \vec{E} \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \vec{B} &= 0 \\ \vec{B} &= \mu \vec{H} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где \vec{H} — напряженность магнитного поля;

\vec{J} — вектор плотностей сторонних токов (возбуждающих электромагнитное поле);

σ — проводимость среды;

\vec{E} — напряженность электрического поля;

\vec{B} — индукция магнитного поля;

t — время;

μ — коэффициент магнитной проницаемости.

В данной работе рассматривается задача, где магнитная проницаемость среды μ совпадает со значением магнитной проницаемости в вакууме μ_0 .

Введение вектора-потенциала \vec{A} с помощью соотношений

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}, \quad (3)$$

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (4)$$

позволяет преобразовать систему уравнений (2) в выражение (5) в цилиндрических координатах, наиболее удобное для конечноэлементного

моделирования нестационарного электромагнитного поля, вызванного круговой генераторной петлей с током, расположенной на поверхности земляного полотна ($z = \text{const}$).

$$-\frac{1}{\mu_0} \Delta A_\Phi + \frac{1}{\mu_0 r^2} A_\Phi + \sigma \frac{\partial A_\Phi}{\partial t} = J_\Phi, \quad A_\Phi|_\Gamma = 0 \quad \text{в } \Omega, \quad (5)$$

где Δ — оператор Лапласа в координатах (r, z) ;

σ — электрическая проводимость;

J_Φ — ток в генераторной петле;

Γ — граница расчетной области Ω .

В основе используемой методики конечноэлементного моделирования лежит идея разделения полей на нормальную (поле от вмещающей среды) и аномальную (поле от объекта) составляющие [4]. В этом случае потенциал $\bar{A}_\Phi(r, \varphi)$ можно представить в следующем виде:

$$\bar{A}_\Phi = \bar{A}_\Phi^n + \bar{A}_\Phi^a, \quad (6)$$

где \bar{A}_Φ^n описывает поле в горизонтально-слоистой среде и удовлетворяет уравнению

$$-\frac{1}{\mu_0} \Delta A_\Phi^n + \frac{1}{\mu_0 r^2} A_\Phi^n + \sigma_0 \frac{\partial A_\Phi^n}{\partial t} = J_\Phi, \quad A_\Phi^n|_\Gamma = 0 \quad \text{в } \Omega \quad (7)$$

(σ_0 — электрическая проводимость горизонтально-слоистой части среды, т.е. $\sigma_0 \neq \sigma$ в тех частях области, где присутствуют осесимметричные объекты).

Потенциал \bar{A}_Φ^a описывает аномальное поле от осесимметричных объектов и может быть найден из уравнения (8), которое получено вычитанием уравнения (7) из (5):

$$-\frac{1}{\mu_0} \Delta A_\Phi^a + \frac{1}{\mu_0 r^2} A_\Phi^a + \sigma \frac{\partial A_\Phi^a}{\partial t} = (\sigma_0 - \sigma) \frac{\partial A_\Phi^n}{\partial t}, \quad A_\Phi^a|_\Gamma = 0 \quad \text{в } \Omega. \quad (8)$$

Методика разделения полей на нормальную и аномальную составляющие позволяет значительно сократить количество требуемых вычислительных ресурсов по сравнению со стандартным конечноэлементным решением системы уравнений (2) при сохранении необходимой точности решения.

Электромагнитная диагностика железнодорожного пути основана на дифференциации слагающих его материалов по удельному электрическому сопротивлению. Железнодорожный путь в вертикальном сечении может быть представлен высокоомной балластной призмой, выполненной из твердых горных пород, обладающих при естественной влажности высоким электрическим сопротивлением. Электрическое сопротивление насыпи, сложенной из неконсолидированных горных пород, изменяется в пределах $\rho \approx 5 \div 50$ Ом·м. Основание земляного полотна может быть представлено коренными породами и имеет более высокое сопротивление $\rho \approx 5 \div 500$ Ом·м. Пониженное сопротивление, как правило, имеют разрывные нарушения, ослабленные разуплотненные зоны, зоны обводнения, а также зоны оттайки вечной мерзлоты¹.

¹ Круглов В. М., Пусков В. И., Тригубович Г. М., Бокарев С. А., Крицкий М. Я., Щербаков В. В. Опыт создания и использования комплексной системы технологии мониторинга текущего состояния железнодорожного пути и инженерных сооружений // Современные технологии строительства, ремонта и эксплуатации путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги. Новосибирск, 2001. С. 74–112.

Отметим, что железнодорожный путь представляет собой линейно-вытянутый объект с незначительным изменением вдоль оси пути электрофизических и геометрических параметров земляного полотна, влияющих на значение потенциала A_ϕ . Это обстоятельство позволяет рассматривать земляное полотно как двумерный объект с постоянными геометрическими и электрофизическими параметрами. Геометрические параметры земляного полотна значительно превышают размер петлевого источника электромагнитного поля (диаметр петлевого источника 1,13 м, ширина земляного полотна железных и автомобильных дорог в соответствии со СНиП 32-01-95, СТН-Ц-01-95, СНиП 2-05-02-85 может быть в интервале от 6,2 ÷ 43,5 м). В дальнейшем будем считать, что на поверхности земляного полотна электромагнитное поле возбуждается предельно точечным источником — магнитным диполем. Природа распространения вихревых токов от такого источника имеет характер, близкий к осесимметричному. Тогда очевидно, что влияние горизонтально-неоднородной среды на поле вектора-потенциала A_ϕ возникнет в момент становления поля, когда область циркуляции вихревых токов достигнет бровки основной площадки земляного полотна. До этого момента форма земляного полотна не оказывает влияния на характер сигнала, регистрируемого приемной антенной.

Однако следует отметить, что на поздней стадии становления поля влияние формы земляного полотна также становится незначительным по причине более раннего затухания вихревых токов в верхней части земляного полотна относительно нижней его части.

Это обстоятельство позволяет аппроксимировать электрофизическую модель земляного полотна набором дисков различного радиуса (R), толщины (H) с удельным электрическим сопротивлением ρ_1 , расположенных на ровном бесконечно длинном основании с удельным электрическим сопротивлением ρ_2 . Радиус диска (R) определяется шириной земляного полотна и принимается равным половине ее значения. Толщина диска (H) принимается равной высоте насыпи. Значения удельного электрического сопротивления насыпи ρ_1 и ее основания ρ_2 принимаются в зависимости от степени влажности слагающих их грунтов. Тогда вектор-потенциал \vec{A}_ϕ^a в уравнении (6) будет описывать нестационарное электромагнитное поле над двумерной моделью земляного полотна, представленной набором дисков на ровном бесконечно длинном основании. Вектор-потенциал \vec{A}_ϕ^n будет описывать поле от одномерной двухслойной горизонтально-слоистой среды, где мощность первого слоя будет равна высоте насыпи (H), а удельное электрическое сопротивление слоев будет соответствовать удельному электрическому сопротивлению насыпи и ее основания.

Рассмотрим характер зависимости распределения во времени нормальной и аномальной составляющих нестационарного электромагнитного отклика модели земляного полотна. Пусть железнодорожная насыпь выполнена из однородного глинистого грунта с удельным электрическим сопротивлением $\rho_1 = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Основание насыпи сложено из коренных пород проводимостью $\rho_2 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Высота насыпи $H = 5 \text{ м}$. Ширину основной площадки примем 11,7 м ($R = 5,85 \text{ м}$), что соответствует двухпутному прямому участку пути I категории железнодорожных линий согласно СНиП 32-01-95, СТН-Ц-01-95. Зависимости нормальной и аномальной составляющих ЭДС от времени, а также их отличие в процентах для данной железнодорожной насыпи представлены на рис. 1. Расчет зависимостей нормальной и аномальной составляющих ЭДС от времени был выполнен по методике разделения полей [4].

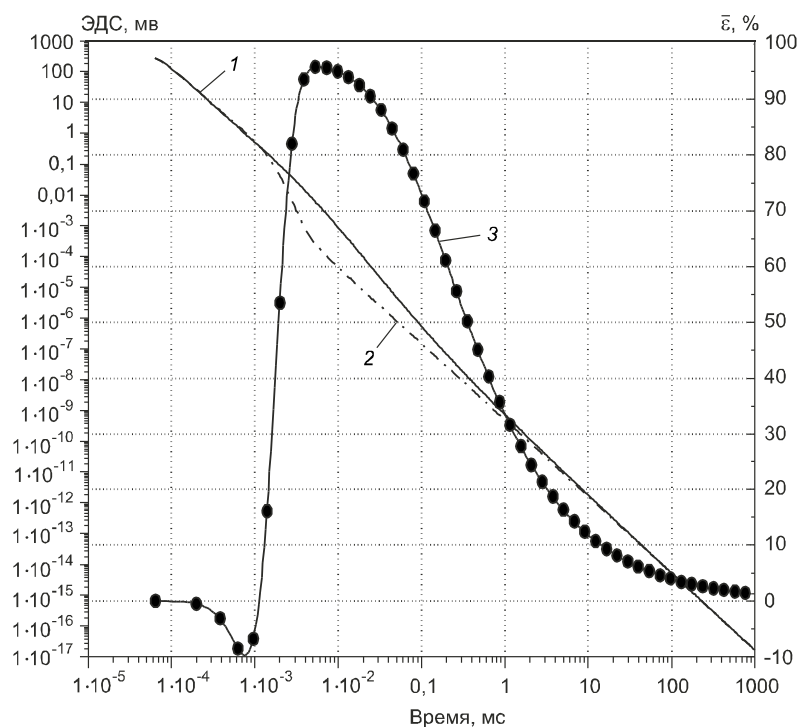


Рис. 1. Зависимости нормальной и аномальной составляющих ЭДС нестационарного электромагнитного отклика от железнодорожной насыпи

1 — нормальная составляющая ЭДС (ϵ_0) нестационарного электромагнитного поля; 2 — аномальная составляющая ЭДС (ϵ) нестационарного электромагнитного поля; 3 — ($\bar{\epsilon}$) относительная разность значений ЭДС нормальной и аномальной составляющих электромагнитного поля $\frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon_0} \times 100, \%$

Из рис. 1 видно, что на ранней стадии становления электромагнитного поля до 0,0013 мс и на более позднем интервале от 14,2 до 1000 мс значения нормальной и аномальной составляющих электромагнитного поля совпадают. Отличия составляют не более 10 %. На интервале времени от 0,0013 до 14,2 мс значения ЭДС (ϵ) нормальной составляющей превышают значения аномальной составляющей не более чем на 95,8 %. Это обусловлено влиянием горизонтально-неоднородной среды на электромагнитное поле.

Анализ зависимостей нормальной и аномальной составляющих электромагнитного поля (см. рис. 1) показал, что при интерпретации данных электромагнитного сканирования железнодорожной насыпи с указанными выше геометрическими и электрофизическими параметрами допускается использование одномерной интерпретационной модели земляного полотна на интервалах времени становления электромагнитного поля от момента начала регистрации электромагнитного отклика до 0,0013 мс и от 14,2 до 1000 мс. На интервале становления поля от 0,0013 до 14,2 мс следует использовать двумерную модель интерпретации электромагнитного отклика земляного полотна. Для исследования областей возможного применения одномерной и двумерной интерпретационной моделей земляного полотна с другими геометрическими и электрофизическими параметрами необходимо выполнить расчеты нормальной и аномальной составляющих по методике разделения полей.

Анализ результатов математического моделирования нестационарного электромагнитного поля над моделью железнодорожной насыпи. На основе вышеизложенной методики разделения полей на нормальную и аномальную составляющие были выполнены расчеты

нестационарного электромагнитного поля над моделью железнодорожной насыпи. В качестве исходных данных были приняты следующие значения: радиус диска (R) в диапазоне от 3 до 20 м, что соответствует ширине земляного полотна железных и автомобильных дорог (СНиП 32-01-95, СТН-Ц-01-95, СНиП 2-05-02-85); высота насыпи (H) в диапазоне от 1 до 6 м; удельное электрическое сопротивление диска ρ_1 в диапазоне от 5 до 50 Ом·м; удельное электрическое сопротивление основания земляного полотна ρ_2 — в наиболее характерном диапазоне от 100 до 500 Ом·м. Уровень расхождения значений ЭДС электромагнитного отклика от электрофизической модели земляного полотна и горизонтально-слоистой модели оценивался на уровне 10 %.

Из анализа результатов расчета электромагнитного отклика земляного полотна следует, что с увеличением удельного электрического сопротивления диска ρ_1 и его основания ρ_2 время начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды наступает раньше. При увеличении радиуса диска R и его высоты H время начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды возрастает. Для моделей земляного полотна с радиусом диска $R \leq 3$ м, высотой $H \leq 2$ м и удельным

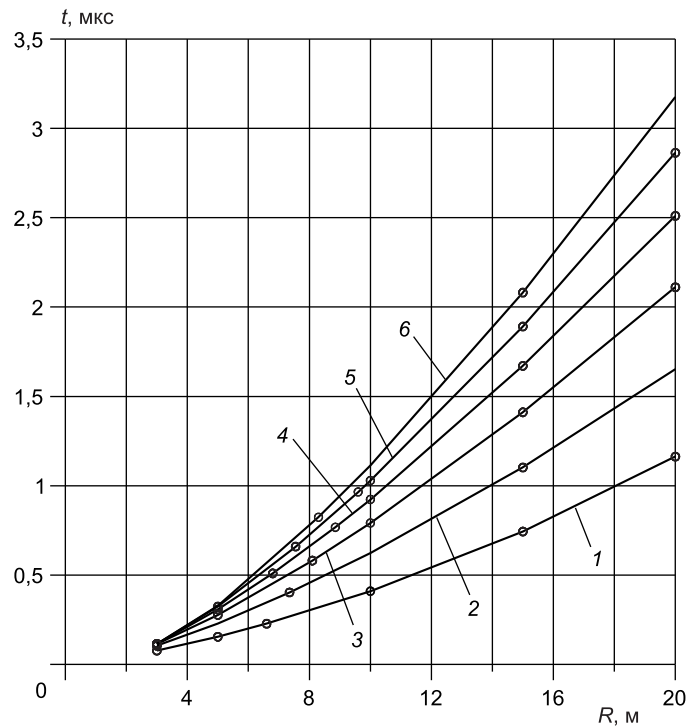


Рис. 2. Графики времени начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды в зависимости от радиуса диска (R), оцененные по 10%-му уровню расхождения сигнала от модели земляного полотна и сигнала от горизонтально-слоистой модели 1–6 — значения высоты диска (H , м). Ранняя стадия становления электромагнитного поля

сопротивлением $\rho_1 \geq 30$ Ом·м, а также при $R \leq 5$ м, $H \leq 1$ м и удельном сопротивлении $\rho_1 = 50$ Ом·м значения времени начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды не превышают 100 нс, где существенно влияние токов смещения на электромагнитный отклик земляного полотна.

На рис. 2 приведены графики времени начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды в зависимости от радиуса диска

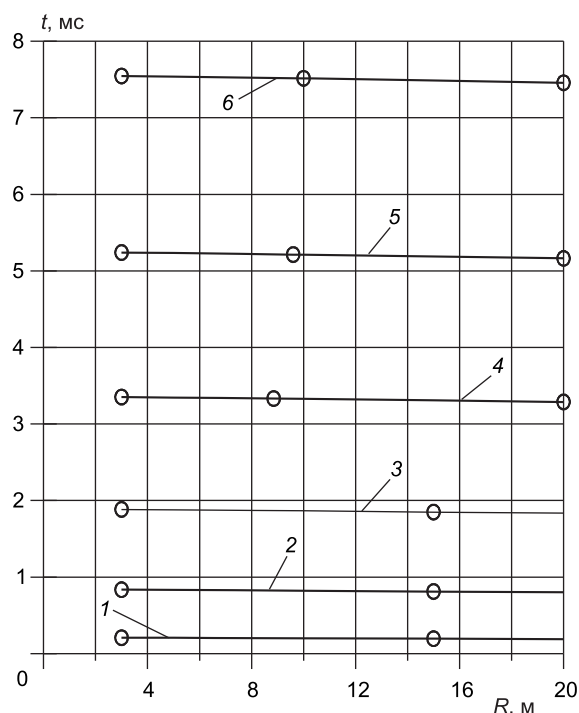


Рис. 3. Графики времени окончания влияния края диска в зависимости от его радиуса (R), оцененные по 10%-му уровню расхождения сигнала от модели земляного полотна и сигнала от горизонтально-слоистой модели

1–6 — значения высоты диска (H , м). Поздняя стадия становления электромагнитного поля

(R) для модели земляного полотна с удельным электрическим сопротивлением диска $\rho_1 = 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и удельным электрическим сопротивлением основания земляного полотна $\rho_2 = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

В поздней стадии становления поля время окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды возрастает с увеличением высоты диска (H) и практически не зависит от его радиуса (R). Очевидно это обусловлено тем, что в поздней стадии становления поля область циркуляции вихревых токов значительно превышает геометрические параметры диска $R_{\text{оц}} \ll R$.

На рис. 3 представлены графики времени окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды в зависимости от радиуса диска (R) для модели земляного

полотна с удельным электрическим сопротивлением диска $\rho_1 = 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и удельным электрическим сопротивлением основания земляного полотна $\rho_2 = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Приведение функциональных зависимостей времен начала и окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды к безразмерному виду. Анализ приведенных зависимостей от безразмерных параметров с целью их аппроксимации и получения упрощенных расчетных формул и номограмм. Время начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна (t) является функцией независимых между собой размерных величин: μ_0 , H , R , ρ_1 , ρ_2

$$t = f(\mu_0, H, R, \rho_1, \rho_2). \quad (9)$$

Для поиска функциональной связи между величинами, входящими в уравнение (9), выполним анализ их размерностей. Формулы размерностей величин, входящих в выражение (9), имеют вид²:

$$[t] = T, \quad (10)$$

$$[\mu_0] = LMT^{-2}I^{-2}, \quad (11)$$

$$[H] = [R] = L, \quad (12)$$

$$[\rho_1] = [\rho_2] = L^3MT^{-3}I^{-2}, \quad (13)$$

где T , L , M , I — соответственно размерности времени, длины, массы и силы тока.

² Сена Л. А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1988. 432 с.

Введем в выражения (11) и (13) размерность — Ом

$$[\text{Ом}] = ML^2T^{-3}I^{-2}. \quad (14)$$

Тогда размерности величин μ_0 , ρ_1 , ρ_2 примут вид:

$$[\mu_0] = \text{Ом}L^{-1}T, \quad (15)$$

$$[\rho_1] = [\rho_2] = \text{Ом}L. \quad (16)$$

Примем в качестве базовых следующие три независимые размерности: T , L , Ом.

В соответствии с **П**-теоремой², из шести входящих в выражение (9) величин можно составить три безразмерные комбинации Π , Π_1 , Π_2 :

$$\Pi = \frac{t}{\mu_0 \frac{H}{\rho_1} R}, \quad (17)$$

$$\Pi_1 = R / H, \quad (18)$$

$$\Pi_2 = \rho_1 / \rho_2. \quad (19)$$

Зависимость (9) может быть представлена в виде соотношения между безразмерными комбинациями Π , Π_1 , Π_2

$$\Pi = f(\Pi_1, \Pi_2). \quad (20)$$

Используя метод наименьших квадратов, были получены регрессионные зависимости между параметрами Π и Π_1 при условии, что Π_2 является постоянной величиной. Так, например, при $\Pi_2 = \rho_1 / \rho_2 = 0,15$, где $\rho_1 = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\rho_2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, зависимость величины Π от Π_1 была аппроксимирована логарифмическим, степенным и экспоненциальным уравнениями регрессии. При этом в качестве критерия выбора наиболее оптимального уравнения регрессии использовался коэффициент детерминации R^2 . Результаты аппроксимации зависимости параметра Π от параметра Π_1 при $\Pi_2 = 0,15$ сведены в таблицу.

Уравнения регрессии	Коэффициент детерминации, R^2
$\Pi = 0,298\Pi_1^{0,614}$	0,98
$\Pi = 0,351e^{0,109\Pi_1}$	0,68
$\Pi = 0,374 + 0,27Ln(\Pi_1)$	0,93

Из таблицы следует, что уравнение регрессии степенного вида наиболее адекватно описывает зависимость параметра Π от параметра Π_1 при $\Pi_2 = 0,15$.

Анализ полученных уравнений регрессии позволяет сделать вывод, что на всем интервале значений параметра Π_2 ($0,01 \div 0,5$) зависимость Π от Π_1 с приемлемой точностью ($R^2 > 0,9$) описывается уравнением регрессии степенного вида

$$\Pi = a\Pi_1^b, \quad (21)$$

где a , b — числовые коэффициенты.

Зависимости коэффициентов a , b от параметра Π_2 (рис. 4) были аппроксимированы уравнениями регрессии линейного типа (22, 23):

$$\hat{a} = 0,32 - 0,09 \Pi_2, \quad (22)$$

$$\hat{b} = 1,22 \Pi_2 + 0,41, \quad (23)$$

значения коэффициентов детерминации R^2 составили соответственно 0,38 и 0,97.

После подстановки выражений (22) и (23) в уравнение (21) и дальнейших преобразований получим

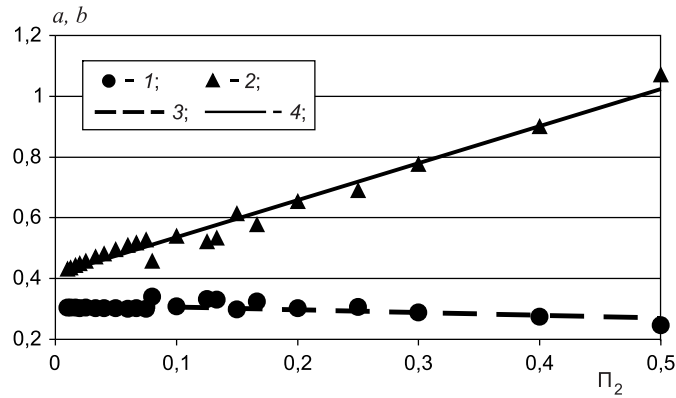


Рис. 4. Зависимости коэффициентов a и b от параметра Π_2
 1 — значения коэффициента a ; 2 — значения коэффициента b ; 3 — аппроксимация коэффициента a ; 4 — аппроксимация коэффициента b

$$\hat{t} = \left(\left(0,32 - 0,09 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \right) \left(\frac{R}{H} \right)^{1,22 \frac{\rho_1}{\rho_2} + 0,41} \right) \mu_0 \frac{H}{\rho_1} R. \quad (24)$$

Средняя относительная ошибка аппроксимации исходных данных уравнением (24) составила 8,5 %:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{t_i - \hat{t}_i}{t_i} \right| \times 100, \quad (25)$$

где n — объем выборки (833);

t_i — время начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна, рассчитанное по методике разделения полей;

\hat{t}_i — время начала существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна, рассчитанное по уравнению (24).

Аналогично было выведено уравнение регрессии для времени окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна:

$$\hat{t} = \left(507 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{-1} \left(\frac{R}{H} \right)^{-0,32 \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1} \right) \mu_0 \frac{H}{\rho_1} R. \quad (26)$$

Средняя относительная ошибка аппроксимации исходных данных уравнением (26) составила 2 %.

Определение времени начала и окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна возможно с помощью номограмм, построенных на основании результатов расчета соответствующих значений времен по методике разделения полей (рис. 5).

Выводы. Выведенные уравнения регрессии (24) и (26), отражающие зависимость времени соответственно начала и окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна, позволяют с приемлемой точностью определить область возможного использования одномерной и двумерной интерпретационных моделей земляного полотна. Это значительно упрощает процесс обработки и интерпретации материалов электромагнитного сканирования земляного полотна.

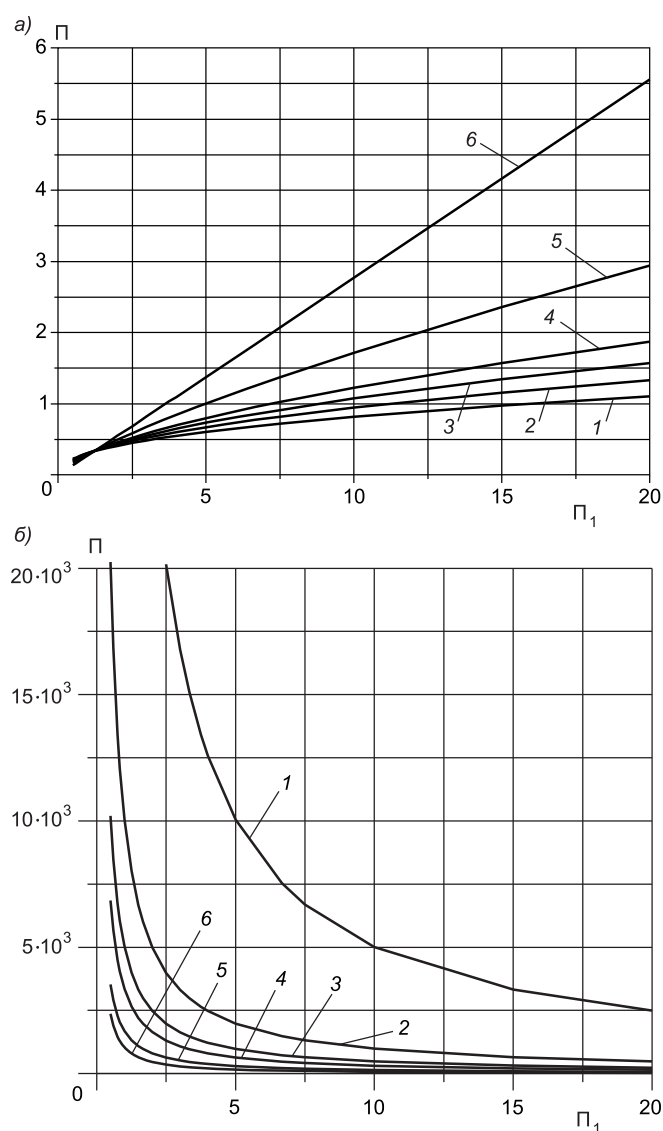


Рис. 5. Номограммы для определения времени начала (а) и окончания (б) существенного влияния горизонтально-неоднородной среды на электромагнитный отклик земляного полотна
 1 — $\Pi_2 = 0,01$; 2 — $\Pi_2 = 0,05$; 3 — $\Pi_2 = 0,1$; 4 — $\Pi_2 = 0,15$;
 5 — $\Pi_2 = 0,3$; 6 — $\Pi_2 = 0,5$

Представленные на рис. 5 номограммы для определения значений времени начала и окончания существенного влияния горизонтально-неоднородной среды дают возможность обоснованного использования одномерной и двумерной интерпретационных моделей земляного полотна в полевых условиях для предварительной обработки материалов измерений.

В дальнейших исследованиях автор предполагает, в дополнение к изложенным в настоящей статье материалам, исследовать влияние на электромагнитный отклик земляного полотна элементов верхнего строения пути железных дорог и конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тригубович, Г. М. Технология электромагнитного сканирования приповерхностного слоя для решения инженерно-геологических задач [Текст]/Г. М. Тригубович,

- М. И. Эпов, В. В. Воевода, В. П. Гаврилов, О. В. Борисов, Д. Е. Корсунов // Тез. докл. Междунар. геофиз. конф. и выставки EAGE. 15–18 сентября 1997. — М., 1997.
2. З а м о р и н, В. В. Применение метода электромагнитного сканирования для выявления переувлажненных зон земляного полотна [Текст] / В. В. Заморин // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Георадары, дороги — 2002». — Архангельск, 2002. — С. 89–92.
 3. З а м о р и н, В. В. Исследование возможности и целесообразности применения метода электромагнитного сканирования для обследования железнодорожного земляного полотна [Текст] / В. В. Заморин // Железные и автомобильные дороги в условиях Сибири: сб. науч. тр. СГУПС. — Новосибирск, 2005. — С. 124–126.
 4. П е р с о в а, М. Г. Моделирование нестационарных электромагнитных полей на нерегулярных прямоугольных сетках [Текст] / М. Г. Персова // Сб. науч. тр. НГТУ. — 2002. — № 3 (29). — С. 33–38.

ЗАМОРИН В. В., инж.; E-mail: VALZAM@inbox.ru

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено после доработки 02.07.09

Zamorin V. V., engineer; E-mail: VALZAM@inbox.ru, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

RESEARCH OF APPLICATION OF SINGLE-DIMENSION AND TWO-DIMENSION INTERPRETATION MODELS OF RAIL — AND MOTORWAY SUBGRADES DURING ITS DIAGNOSTICS BY ELECTROMAGNETIC SCANNING METHOD

To improve the technique of interpreting electromagnetic scanning results of rail — and motorway subgrades the analysis of nonstationary electromagnetic field above the subgrade has been performed. On the basis of modeling, equations of regression of the beginning and the end of essential influence of horizontally nonuniform medium on electromagnetic rail — and motorway subgrade response during its diagnostics by electromagnetic scanning method have been deduced. Nomograms for their graphic determination with the aim to reveal the influence of horizontally nonuniform medium on the subgrade response have been suggested. It is concluded that there is possibility of substantiated use of single-dimension and two-dimension interpretation models of the subgrade...

electromagnetic scanning, interpretation model, subgrade, dimension, equation of regression.

REFERENCES

1. Trigubovich, G. M. Electromagnetic scanning technique of near-surface layer to solve geology engineering tasks [Text] / G. M. Trigubovich, M. I. Eпов, V. V. Voevoda et al. // Thesis of papers on internat. geophys. conf. and EAGE exhibitions. 15–18 September 1997. — М., 1997.
2. Zamorin, V. V. The application of electromagnetic scanning method for determining water-learning zones of the subgrade [Text] / V. V. Zamorin // Materials of international scientific-practical conference «Georadars, roads 2002». — Arkhangelsk, 2002. — P. 89–92.
3. Zamorin, V. V. Research of possibility and expediency of the application of electromagnetic scanning method for examination of railway subgrade [Text] / V. V. Zamorin // Railways and motorways under Siberia conditions: collection of research works of Siberian Transport University (STU). — Novosibirsk, 2005. — P. 124–126.
4. Persova, M. G. Modeling of nonstationary electromagnetic field on nonregular rectangular grids [Text] / M. G. Persova // Collection of research works, Novosibirsk State Technical University (NSTU). — 2002. — N 3 (29). — P. 33–38.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

Д. Э. АБРАМЕНКОВ, Э. А. АБРАМЕНКОВ, Г. В. ГЛАДЫШЕВ,
А. А. КУТУМОВ

УПРАВЛЯЕМЫЕ КАМЕРЫ С ПРИСОЕДИНЕННЫМ ОБЪЕМОМ В ДРОССЕЛЬНОМ ПНЕВМОУДАРНОМ МЕХАНИЗМЕ

Рассматривается конструктивное исполнение управляемых камер присоединенного объема со стороны камеры наддува рабочего хода и рабочий процесс пневматического механизма молотка, синтезированного на основании классификации [1] и известных технических решений [2, 3]...

пневматический молоток, ударник, камера присоединенного объема, предкамера, сжатый воздух, дроссель впуска.

Пневматический молоток с дроссельным воздухораспределением с наддувом и управляемым присоединенным объемом со стороны камеры рабочего хода изображен на рис. 1 (разрез), а на рис. 2, а–з представлены фрагменты исполнения камер присоединенных объемов, сообщенных с предкамерой со стороны камеры рабочего хода ударника.

Рассмотрим рабочий процесс пневматического молотка в соответствии с рис. 1, 2, а–з.

При нажатии на корпус 1 (или рукоятку 2) до упора инструментом 3 в обрабатываемую среду трубка 4 выталкивается хвостовиком 5 в предкамеру 6. Уплотнительное седло буртика 7 трубки отходит от уплотнительного седла крышки 8 и при включении пускового устройства рукоятки сжатый воздух по каналу 9 в стакане 10 поступает в предкамеру 6 и далее в камеру 11 рабочего хода по кольцевому впускному дроссельному каналу 12. Одновременно воздух поступает в управляемую камеру 13 через дроссельный калиброванный радиальный канал 14 в буртике 15 (см. рис. 1). Одновременно из камеры 13 воздух поступает в камеру 11 через фигурный перепускной канал 16 (см. рис. 2, а–з), если он не перекрыт ударником 17. Также из предкамеры 6 сетевой воздух поступает в камеру 18 холостого хода по впускному дроссельному каналу 19 в трубку 4.

Давление воздуха в камерах 11 и 13 будет оставаться практически равным атмосферному, так как выпускные каналы 20 и 21, а также ра-

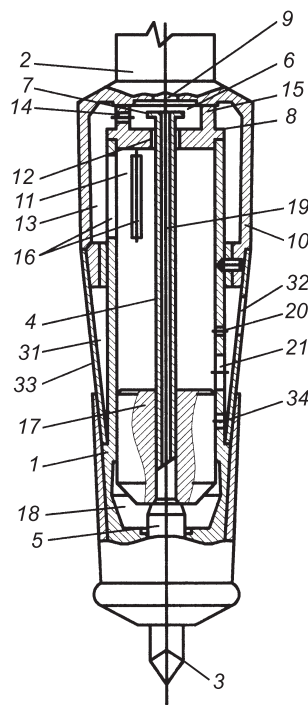


Рис. 1

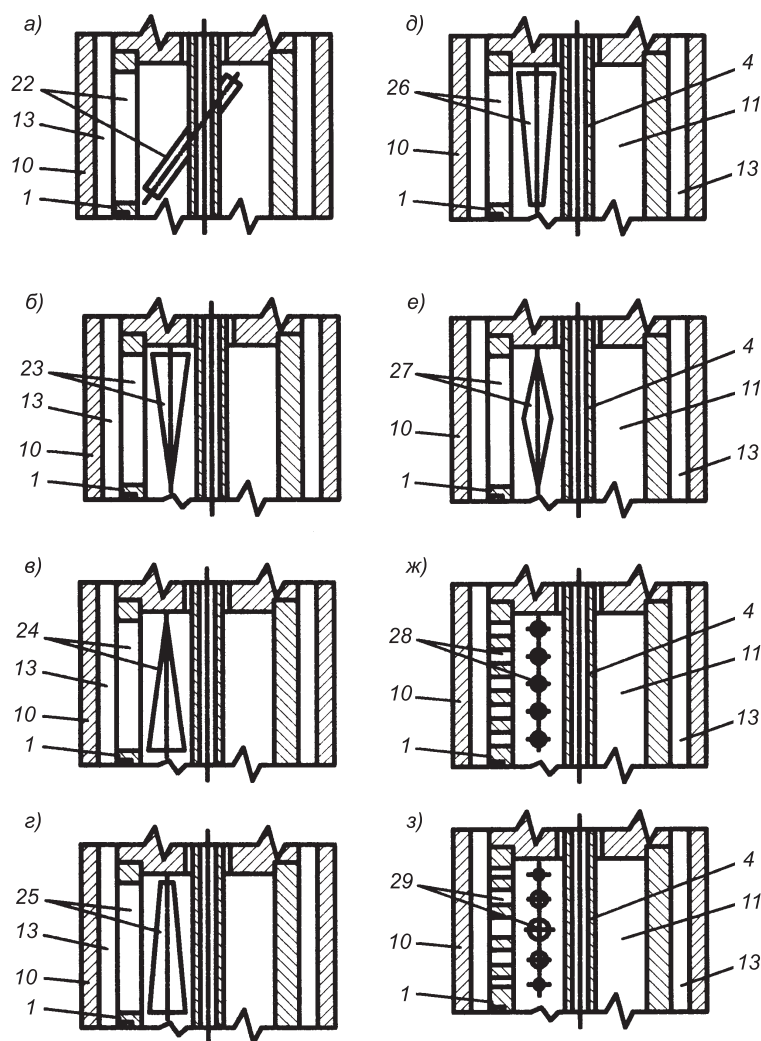


Рис. 2

диальный фигурный перепускной канал 16 (см. рис. 1), либо канал 22 (см. рис. 2, а), либо канал 23 (рис. 2, б), либо канал 24 (рис. 2, в), либо канал 25 (рис. 2, г), либо канал 26 (рис. 2, д), либо канал 27 (рис. 2, е), либо канал 28 (рис. 2, ж), либо канал 29 (рис. 2, з), имеют площади проходного сечения, превышающие площади кольцевого впускного дроссельного канала 12 и дроссельного калиброванного радиального канала 14. Камеры 11 и 13 посредством каналов 20 и 21 сообщены с выпускной камерой 31 и посредством щелевого канала 32 в воздухоотбойном кольце 33 с атмосферой.

В камере 18 холостого хода, поскольку она разобщена с атмосферой, давление воздуха увеличивается, и ударник 17 начинает перемещаться по трубке 4 от хвостовика 5, инструмента 3, установленного в колпаке, совершая холостой ход.

При последующем перемещении ударник 17 перекроет своей боковой поверхностью последовательно выпускные каналы 21 и 20, в результате чего начнется повышение давления воздуха, отсеченного в камерах 11 и 13, а также воздуха, вновь натекаемого в эти камеры через кольцевой впускной дроссельный канал 12 и через дроссельный калиброванный радиальный канал 14. Одновременно с перекрытием выпускного канала 20 начнется открытие выпускного канала 34 и давление в камере 18 холо-

стого хода будет снижаться до значения атмосферного давления, несмотря на поступление сетевого воздуха через впускной дроссельный канал 19 в трубке 4 из камеры 18, так как проходное сечение выпускного канала 34 существенно больше проходного сечения впускного дроссельного канала 19. Такому снижению давления воздуха способствуют и открывающиеся последовательно выпускные каналы 21 и 20. Таким образом, отработавший воздух из камеры 18 выпускается в выпускную камеру 31 и через щелевой канал 32 в воздухоотбойном кольце 33 в атмосферу.

По мере совершенствования ударником холостого хода давление воздуха в камере 11 и сообщенной с ней посредством фигурного перепускного канала 16 камере 13 будет увеличиваться. При последующем перекрытии ударником 17 фигурного канала 16 давление воздуха в камере 13 будет интенсивно повышаться до уровня сетевого, благодаря его непрерывному поступлению в камеру через дроссельный калиброванный радиальный канал 14 из предкамеры 6.

Повышение давления воздуха в камере 13 существенно не сказывается на повышении противодействия в камере 11, поскольку проходное сечение фигурных каналов уменьшается. Под действием разницы импульсов давлений воздуха со стороны предкамеры 6 ударник остановится и начнет ускоренное перемещение по трубке 4 в сторону хвостовика 5, совершая рабочий ход.

По мере перемещения ударника 17 давление воздуха в камере 11 рабочего хода будет уменьшаться. Это вызвано тем, что быстро увеличивается объем камеры 11 при рабочем ходе, не успевает заполниться сетевым воздухом, поступающим из камеры 6 через кольцевой впускной дроссельный канал 12.

При дальнейшем перемещении ударника 17 его боковая поверхность откроет радиальный фигурный перепускной канал 16 и накопленный в камере 13 воздух будет наполнять объем камеры 11 и повысит в ней давление, что существенно увеличит импульс давления воздуха рабочего хода и скорость перемещения ударника. Поскольку ударник 17 является подвижным, то на площадку крышки 8 приходится меньшая сила давления воздуха, нежели это было бы при неподвижном ударнике или его возвратном перемещении при сжатии воздуха в объеме камеры 11.

При дальнейшем перемещении ударника 17 его боковая поверхность откроет выпускной канал 20 и сразу же перекроет выпускной канал 34.

Так как скорость ударника велика, а проходное сечение канала 20 не так велико, то резкого снижения давления воздуха в камерах 11 и 13 не произойдет, и давление в них будет поддерживаться расчетным. Одновременно в камере 18 холостого хода начнется процесс сжатия воздуха, отсеченного в ней, и воздуха сетевого, вновь поступающего из предкамеры 6 посредством дроссельного канала 19 в трубке 4.

После открытия боковой поверхностью ударника 17 выпускного канала 21 давление воздуха в камере 11 рабочего хода и сообщенной с ней камере 13 присоединенного объема резко упадет до величины атмосферного, так как они посредством каналов 20 и 21 сообщаются с выпускной камерой 31 и через щель 32 в воздухоотбойном кольце 33 с атмосферой.

Преодолевая импульс противодействия воздуха со стороны камеры 18 холостого хода под действием разницы импульсов давления воздуха со стороны камер 11, 13 и 18 ударник 17 наносит удар по хвостовику 5 инструмента 3 и описанный рабочий процесс будет повторяться с той лишь разницей, что последующий холостой ход ударника будет формироваться также при участии импульса отскока ударника от хвостовика инструмента.

Устойчивость рабочего цикла с камерой присоединенного объема со стороны камеры 11 обеспечивается соблюдением герметичности посадок

между камерами 11 и 13 при сохранении проходного сечения дроссельного калиброванного радиального канала 14.

Выполнение дополнительных дроссельных каналов калиброванными позволяет обеспечивать расчетное давление воздуха в камере 13 при перекрытом фигурном канале 16 ударником 17, а при сообщении камеры 11 с атмосферой посредством каналов 20 и 21 расход воздуха калиброванным каналом не будет превышать расчетного с учетом расхода воздуха кольцевым каналом 12. Указанное позволяет без увеличения общего расхода воздуха со стороны камеры 11, повысить импульс давления воздуха и предупредительную скорость ударника 17 по хвостовику 5 инструмента 3. Предложенные варианты исполнения фигурных перепускных каналов 16 (см. рис. 1, а), либо 22 (см. рис. 2, а), либо 23 (рис. 2, б), либо 24 (рис. 2, в), либо 25 (рис. 2, г), либо 26 (рис. 2, д), либо 27 (рис. 2, е), либо 28 (рис. 2, ж), либо 29 (рис. 2, з) в стенке цилиндра на участке длиной, равной посадочной не менее длины ударника 17, ограниченной его торцевыми кромками по образующей цилиндра, позволяют управлять противодавлением в камере 11 за счет уменьшения проходного сечения кольцевого канала 12, переадресовав уменьшенную часть воздуха камере 13 посредством дроссельного калиброванного канала 14. Снижение или увеличение противодавления в камере 11 позволяет также изменять величину хода ударника 17 при том же расчетном импульсе давления воздуха со стороны камеры 18 холостого хода, при холостом ходе ударника изменять длину участка его разгона без увеличения времени цикла, поскольку время рабочего хода ударника увеличивается за счет изменяемого импульса со стороны камеры присоединенного объема, что будет способствовать увеличению ударной мощности и снижению удельного расхода воздуха молотком.

Отметим, что выполнение фигурных каналов перепуска (см. рис. 2, а–з) может дать различные эффекты в формировании силового импульса воздуха со стороны камеры рабочего хода:

- в виде прямоугольника 16 со сторонами, параллельными образующей цилиндра (см. рис. 1), предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение канала перепуска в виде наклонного сквозного паза 22 под углом винтовой линии (см. рис. 2, а) предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от величины угла винтовой линии, ширины паза, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение канала перепуска в виде треугольника 23 с меньшим основанием со стороны крышки (рис. 2, б) предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от величины углов при основании, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение канала перепуска в виде треугольника 24 с острым углом в вершине со стороны крышки (рис. 2, в) предопределяет изменение проходного сечения канала в зависимости от угла между сторонами треугольника при вершине, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение канала перепуска в виде трапеции 25 с одинаковыми либо разными углами при большем основании со стороны крышки (рис. 2, г) предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от углов при основании, скорости и координаты положения ударника;

- выполнение канала перепуска в виде трапеции 26 с одинаковыми или разными углами при большем основании со стороны выпускных каналов (рис. 2, д) предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от углов при основании, скорости и координаты положения ударника;

— выполнение канала перепуска в виде ромба 27 с большей диагональю, параллельной образующей цилиндра (рис. 2, е), 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 канала перепуска в виде круглых отверстий (перфораций) 28 одинакового либо разного сечения, вписанных в прямоугольник (рис. 2, ж), либо треугольник, либо трапецию, либо ромб 29 с большей диагональю вдоль образующей цилиндра (рис. 2, з), либо расположенных по винтовой линии, предопределяет последовательное изменение проходного сечения канала в зависимости от площадей сечения перфораций, скорости и координаты положения ударника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменков, Э. А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные [Текст]: справ. пособие / Э. А. Абраменков, Д. Э. Абраменков. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. — 430 с.
2. Пат. № 2062692. РФ. МКИ В25 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 В25 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. 05.08.2004; опубл. 20.07.2005, Бюл. № 20. — Приоритет от 05.08.2005.

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ГЛАДЫШЕВ Г. В., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КУТУМОВ А. А., канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 28.05.09

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

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

Gladyshev G. V., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Kutumov A. A., candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

OPERATED CHAMBERS WITH THE ATTACHED VOLUME IN THE THROTTLE PNEUMOSHOCK MECHANISM

The design of operated chambers of the attached volume from chambers of pressurisation of a working course and working process of the pneumatic mechanism of the hammer, synthesised on the basis of classification [1] and known technical decisions [2, 3] is examined...

pneumatic hammer, drummer, attached volume of the chamber, prechamber, compressed air, intake throttle.

REFERENCES

1. Abramnikov, E. A. Pneumatic mechanisms of machines of shock action: throttle, jet, without plunger, without valvate [Text]: handbook / E. A. Abramnikov, D. E. Abramnikov. — Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk university, 1993. — 430 p.
 2. A stalemate N 2062692. Russian Federations. МКИ B25 D9/04. A pneumatic hammer with throttle air distribution [Text] / D. E. Abramnikov, E. A. Abramnikov, 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. Abramnikov, E. A. Abramnikov, Ju. N. Borovsky, A. A. Kutumov, Ju. E. Malysheva, V. S. Matjuhin. — It is submitted 05.08.2004; it is published 20.07.2005, Bull. N 20. — The Priority from 05.08.2005.
-

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4–112

А. Д. ПОТАПОВ, И. М. СЕНЮЩЕНКОВА

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Проведены исследования по вопросу их возможного использования. Проанализированы «утилизационные» и «деструктивные» подходы к освоению городских оврагов и балок. Дана экологическая оценка засыпки оврагов, использования их в качестве основания полигона по захоронению отходов, а также рассмотрены варианты рекреационного использования, их озеленения и застройки. Овраги и балки в городе могут играть положительную роль, но решение по их использованию должно быть подкреплено научно обоснованными разработками с целью минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду...

овражные территории, градостроительное планирование, охрана окружающей среды.

Городские ландшафты являются вторичными по отношению к первичным природным. Состояние динамического равновесия урбоэкосистемы и, как следствие, урболандшафта может быть достигнуто благодаря основополагающим факторам, представленным на рис. 1.

Вместе с тем при нарушении баланса система переходит в третье, неустойчивое состояние, внутри ее нарушаются связи и урболандшафт перестает быть системной целостностью. Все экосистемы — открытые образования, но города сверхоткрытые, так как они полностью зависят от окружения и человека [2].

Антропогенные факторы воздействуют на все компоненты окружающей среды, преобразуя и изменяя их коренным образом. Максимальное воздействие испытывают геологическая среда и рельеф. При вертикальной планировке утрачиваются мелкие элементы, при этом создаются искусственные формы (насыпи, выемки, дамбы, полигоны ТБО). Зачастую происходит изменение структуры поверхностного и подземного стока, трансформируются естественные геоморфологические процессы. Однако природный каркас города, в том числе морфолитосистемы современных урболандшафтов остаются константами и несут основную нагрузку.

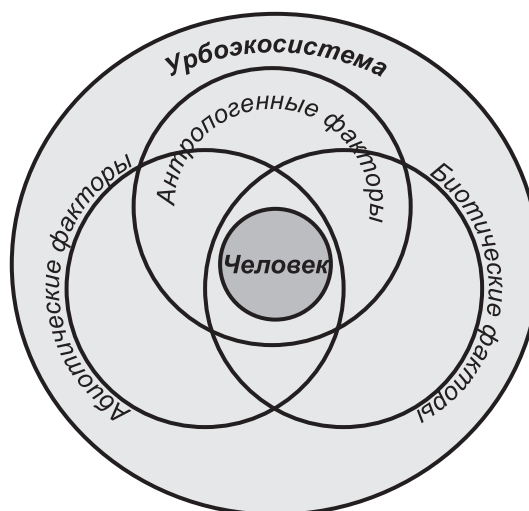


Рис. 1. Схема равновесного состояния урбоэкосистемы

Для многих крупных российских городов (Смоленск, Нижний Новгород, Брянск, Орел, Волгоград и др.) овражно-балочный рельеф является одним из системообразующих факторов градостроительного развития. Но в настоящее время недостаточно целостных научно обоснованных концепций по вопросу роли и использования городских овражно-балочных территорий. С одной стороны, они усложняют размещение транспортных магистралей и планировочную структуру [1], с другой — могут служить территориальным резервом [4].

Возможное использование городских территориальных овражно-балочных образований показано на рис. 2.

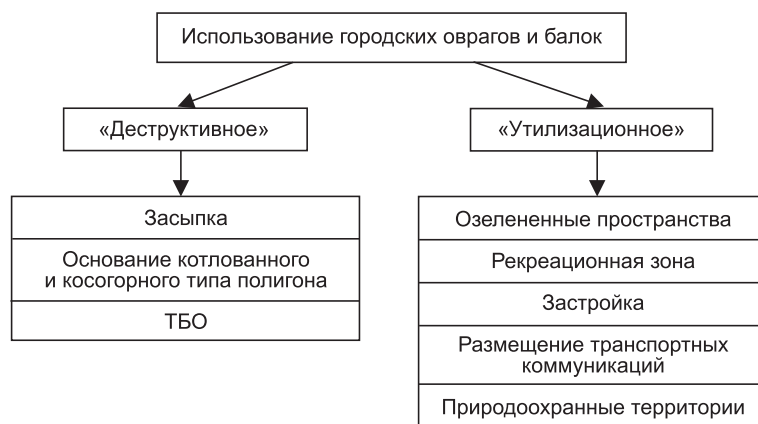


Рис. 2. Варианты использования городских овражно-балочных территорий

«Утилизационные» подходы позволяют максимально полезно использовать неудобные территории, а «деструктивные» полностью уничтожают овражно-балочную урбоэкосистему.

Сложный рельеф придает неповторимость и самобытность городу, становясь иногда его визитными карточками (например, Смоленск, Нижний Новгород, Брянск и др.). При достаточном озеленении и отсутствии источников загрязнения среды на этих территориях создается благоприятный для человека микроклимат и они становятся «легкими» города. Также они могут служить рекреационной зоной с возможностью разбивки трасс и маршрутов активного и тихого отдыха. В центральных частях города бывает трудно найти места для размещения тренировочных баз, а балки хорошо для этого подходят.

Влияние овражно-балочного рельефа на застройку и вообще ее возможность должно учитываться еще при разработке проектов планировки [1]. Необходимо произвести тщательный выбор участка, отводимого под застройку. Оценка рельефа имеет определяющее значение. Как правило, анализ участка проводят по геоморфологическому строению, по ориентации и уклону. По крутизне поверхности подразделяются на шесть категорий [4], III–VI категории позволяют при необходимости осваивать эти территории. На основе результатов анализа экспозиции принимается решение об исключении определенных участков. Кроме этого причинами могут быть большая глубина оврага, высокий потенциал эрозионного роста, неустойчивость склонов и другие факторы. В каждом конкретном случае они оцениваются различно, в зависимости от статуса территории и от дефицита площадей для застройки. Непригодные для застройки территории целесообразно использовать по другому функциональному назначению, например, как часть системы озеленения общего пользования. При анализе рельефа участка овражно-балочной территории определяют от-

носительные перепады высот в его пределах и соответствие уклонов улиц рекомендуемым значениям. Следует обеспечить размещение жилой зоны на наиболее благоприятных по ориентации и доступности по уклонам участках с максимальной приближенностью к магистральным улицам.

Городские овраги и балки могут существенно разгружать транспортные магистрали города. Для многих городов со сложившейся исторической застройкой практически отсутствуют возможности расширения улиц и строительства многоуровневых транспортных развязок. Решение о прокладывании автомагистралей в оврагах и балках определяется геоморфологическими, микроклиматическими и экологическими условиями. К геоморфологическим факторам относятся устойчивость склонов и дна оврага, его эрозионная активность, решение отвода поверхностных и грунтовых вод, уклон.

Так как при функционировании транспортных магистралей будет происходить загрязнение окружающей среды, то на стадии проектирования оцениваются микроклиматические (температура, относительная влажность атмосферного воздуха, направление и скорость ветра, инверсии) и экологические параметры (загрязнение атмосферного воздуха, шумовое воздействие, загрязнение почв антигололедными реагентами и тяжелыми металлами).

Проведенные исследования [3] показали, что в оврагах создается микроклимат, отличающийся от равнинного участка.

По данным исследований можно судить об ослаблении скорости ветра, а следовательно, и турбулентного обмена в овраге. Наибольшее ослабление воздушного потока в овраге имеет место в точках, расположенных на дне оврага при безразличном состоянии атмосферы (в переходные периоды суток и при облачной и ветреной погоде).

Влажность воздуха в пониженных формах рельефа в городе значительно превышает этот показатель на равнинном рельефе за городом. Суточный ход влажности воздуха имеет общие тенденции для каждого участка — плавное убывание до 15 ч с последующим возрастанием, что связано с характерным ходом суточной температуры на любом участке.

На исследуемой территории оврага суточный ход влажности имеет «выположенный» характер, т.е. разница значений влажности в течение суток не превышает 10 % (на метеостанции 30 %). Высокие показатели влажности могут быть связаны с овражно-балочной формой рельефа, наличием густой растительности, а также выходом родниковых вод на поверхность. Зависимость относительной влажности от расстояния до водотока в овраге представлена на рис. 3.

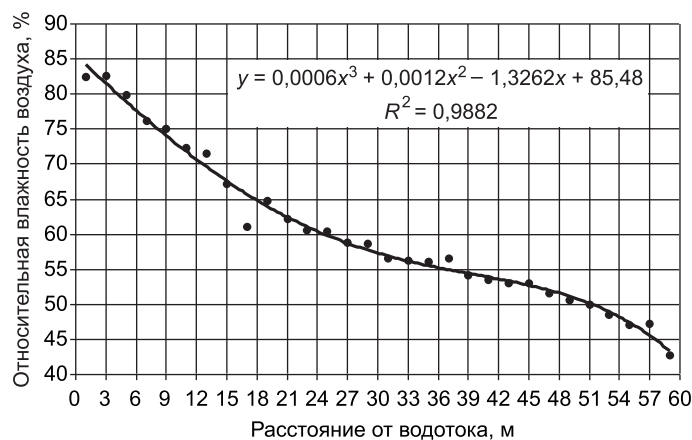


Рис. 3. Зависимость относительной влажности воздуха от расстояния до водотока в овраге

Для многих крупных городов овраг остается большим зеленым островом, который дает возможность обитания редких видов растений и животных. В связи с этим возможно придание таким территориям особого охранного статуса (например, овраги и балки в Волгограде и Брянске).

«Деструктивные» подходы к оврагам и балкам на сегодняшний день применяются довольно редко, и в градостроительной практике приходится решать вопросы по стабилизации этих территорий.

В результате засыпки оврагов изменяется гидрологический режим и при неэффективном дренировании происходит повышение уровня грунтовых вод. Овражно-балочные территории, отданные под размещение полигонов ТБО в процессе эксплуатации и особенно после закрытия, становятся зоной экологического бедствия, что наблюдается, например, в г. Волгограде.

Благоприятными земельными участками с точки зрения размещения полигонов считаются участки:

- с залеганием грунтовых вод при наибольшем подъеме их уровня не менее 1 м от нижнего уровня складированных отходов;

- с преобладанием в геологическом разрезе четвертичных отложений, экранирующих пород (в том числе маренных суглинков), характеризующихся коэффициентом фильтрации 10^{-7} см/с и менее;

- с развитым региональным водоупорным горизонтом (юрские глины), характеризующимся отсутствием «гидрогеологических окон» и значительных по площади трещиноватых зон;

- с отсутствием опасных геологических процессов (оползневых, карстово-суффозионных, овражно-эрозионных и т.д.).

Критерии по оценке гидрогеологических условий носят в основном рекомендательный характер и их несоблюдение может быть компенсировано использованием технологических решений, получивших положительное заключение государственной экологической экспертизы. Перечисленные факторы сложно применимы к оврагам.

Защита горных пород зоны аэрации, подземных и поверхностных вод от загрязнения в период эксплуатации полигона достигается благодаря наличию естественного геохимического барьера или искусственно создаваемому защитному экрану, устраиваемому в основании полигона с дренажной системой сбора и удаления фильтрата, а также системы выполнения послойной изоляции ТБО связным грунтом. После окончания эксплуатации полигона и его закрытия охрану горных пород зоны аэрации, грунтовых и поверхностных вод, атмосферного воздуха осуществляют устройством верхнего перекрытия (защитного экрана поверхности полигона) в сочетании с защитным экраном и системой сбора и удаления фильтрата в основании полигона.

Срок службы защитных экранов определяется как периодом эксплуатации полигона (заполнение полигона до проектной вместимости полигона), это 15–30 лет, так и пассивным периодом, когда полигон закрыт и не принимает отходы. Однако в теле полигона после его закрытия и рекультивации активно протекают аэробные и анаэробные процессы разложения органического вещества, сопровождающиеся образованием биогаза и фильтрата, и, следовательно, веществ, представляющих угрозу окружающей среде. Длительность этого периода определяется морфологическим составом отходов, климатическими условиями и другими факторами, и по оценкам разных авторов, составляет от 30 до 100 лет. Таким образом, срок службы защитных экранов полигонов ТБО должен быть от 45 до 100 лет, а в условиях овражно-балочного рельефа к нему предъявляются повышенные меры безопасности.

В процессе захоронения ТБО на полигонах в атмосферный воздух выделяются загрязняющие вещества, являющиеся продуктом разложения органической составляющей отходов (пищевые и древесно-растительные отходы, макулатура и текстиль).

Установлено, что характер процессов разложения отходов в толще свалочного тела полигона (скорость их протекания, количество образующегося биогаза, его свойства, интенсивность и продолжительность выделения на разных стадиях эксплуатации полигона) зависит от множества факторов. Главными факторами являются: климатические и геологические условия; морфологический и химический составы отходов; площадь, объем и глубина (высота) свалочного тела полигона; влажность, плотность, реакция среды pH, температура отходов в теле полигона и др. Кроме того, с целью исключения поступления на территорию полигона поверхностного стока со стороны водосбора на равнинном рельефе устраивают нагорные каналы, но в условиях овражно-балочного рельефа это практически неосуществимо, так как может спровоцировать эрозионные процессы.

Таким образом, овраги и балки в городе могут играть положительную роль, но решение по их использованию должно быть подкреплено научно обоснованными разработками с целью минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочаров, Ю. П. Проблемы планировки городов в условиях сложного рельефа [Текст]/Ю. П. Бочаров, В. Р. Крогиус//Архитектура СССР.— 1976.— № 7.— С. 29–34.
2. Владимиров, В. В. Город и ландшафт [Текст]/В. В. Владимиров.— М.: Мысль, 1986.— 238 с.
3. Микрин, В. И. Ландшафтно-экологические исследования и проблемы экореконструкции исторического города (на примере г. Брянска) [Текст]/В. И. Микрин, А. В. Городков, И. М. Сенюшенкова//Проект и реализация — гаранты безопасности жизнедеятельности: тр. общего собрания РААСН 2006.— СПб.: СПб. гос. архит.-строит. ун-т, 2006.— Т. 1.— С. 93–98.
4. Расторгуев, О. С. Инженерная подготовка и благоустройство населенных мест [Текст]/О. С. Расторгуев.— М.: МАРХИ, 1981.— 116 с.

ПОТАПОВ А. Д., акад. РАЕН, д-р техн. наук, проф.

Московский государственный строительный университет

СЕНЮШЕНКОВА И. М., канд. техн. наук, доц.

Московский государственный строительный университет

Получено 08.06.09

Potapov A. D., acad. RANS, doctor of technical sciences, professor, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Senyushenkova I. M., candidate of technical sciences, assistant professor, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

URBAN PLANNING POTENTIAL TERRITORIES OF THE RAVINE

Research has been conducted on their possible use. Analyzed «creative» and «negative» approach to the city of ravines. An environmental assessment of filling ravines, use them as a reason for the waste range, as well as consider options for recreational use, the landscaping and buildings. Ravines in the city can play a positive role, but a decision on their use should be supported by science reasonable development for minimize the technogenic load on the environment...

territories of the ravine, urban planning, environmental protection.

REFERENCES

1. Botcharov, Yu. P. The problems of town planning in a complex terrain [Text]/ Yu. P. Botcharov, V. R. Krogius//Architecture of the USSR.— 1976.— N 7.— P. 29–34.
 2. Vladimirov, V. V. The city and the landscape [Text]/V. V. Vladimirov.— M.: Mysl, 1986.— 238 p.
 3. Mikrin, V. I. Landscape and environmental research and problem reconstruction historical city (for example, Bryansk) [Text]/V. I. Mikrin, A. V. Gorodcov, I. M. Senyuschenkova//Design and Implementation — the guarantors of security of life: tr. general meeting RAASN 2006. — SPb.: St. Petersburg Gos. arhit.-building. University, 2006.— Vol. 1.— P. 93–98.
 4. Rastorguev, O. S. Engineering training and improvement of populated areas [Text]/ O. S. Rastorguev.— M.: MARCHI, 1981.— 116 p.
-

УДК 711.4

Л. Г. ТАРАСОВА

СОЦИАЛЬНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ ГОРОДСКОГО СООБЩЕСТВА КАК ПРЕДПОСЫЛКА РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

Рассматриваются вопросы привлечения населения к деятельности по преобразованию и поддержанию городской среды, в частности, вопрос формирования локальных территориальных сообществ в российских и зарубежных городах. Анализируются мнения различных авторов о перспективности таких образований, возможные подходы к их формированию, принципы выделения их территориальных границ. Подчеркивается, что городские власти, проводя градостроительную политику, должны быть заинтересованы в структуризации городского сообщества, с которым они, в соответствии с Градостроительным кодексом РФ, обязаны иметь дело...

локальные территориальные сообщества, политика соучастия, общность условий проживания, самоуправление.

Современные методы управления социальными системами предполагают отказ от жесткой модели и переход к моделям регулирования, основанным на «самоуправлении», что эффективно и для градостроительных систем, в частности, крупнейших городов. Принципиальные черты нового направления, названного, например, «эволюционный менеджмент», заключаются в следующем:

— переход от жесткого иерархического управления к сетевому, при котором в системе может быть несколько (множество) субъектов управления, что придает ей гибкость, устойчивость и усиливает «живучесть» в быстро меняющемся мире. Это возможно в связи с тем, что доступность информации как важного атрибута власти перестает быть уделом избранных;

— цикличность процесса управления, при котором результат достигается методом постепенного приближения к желаемому результату. Каждый цикл управления включает восприятие реальности, действий на основе этого восприятия (не всегда верного и всегда неполного), влияние этих действий на реальность и вновь восприятие на новом цикле.

Конкретизируя эти положения для крупного города, можно сформулировать их как

- 1) распределение власти и ответственности между уровнями местного самоуправления на основе доступности и открытости информации;
- 2) управление на основе постоянного мониторинга поведения системы и ее реакций на наши управляющие воздействия.

Обе эти задачи невозможно решить в отсутствие нормально функционирующего нижнего уровня самоуправления — *локальных территориальных сообществ*, которые являются промежуточным звеном между индивидом и муниципалитетом.

Профессор А. В. Кияненко, исследуя закономерности формирования современного рынка жилья на Западе, отмечает, что в последнее время там наряду с семьей и домохозяйством появляется новый клиент — тер-

риториальное сообщество проживающих поблизости людей или соседство [1]. Проблематика «соседств» имеет глубокие корни в теории и практике градостроительства развитых стран. Оценка роли соседств в жизнедеятельности городского сообщества колеблется от преувеличенно восторженного до крайне скептического. Очевидно, что интенсивность соседских контактов в целом обратно пропорциональна величине города, однако на определенных уровнях организации (непосредственное окружение), в определенных ситуациях (неудовлетворенность качеством окружения) соседства проявляют себя вне зависимости от его величины.

За рубежом проблема привлечения населения к формированию своего окружения приобретала все большую актуальность по мере того, как европейские города переходили от практики активного нового строительства к модернизации и реконструкции сложившейся среды. И сейчас вопросы эффективного управления жилищем рассматриваются как важнейшие, оттеснив на второй план проблематику нового строительства. Перманентная реконструкция сложившихся, имеющих своих хозяев (пользователей) районов коренным образом отличается от единовременного акта создания новых жилых образований, поэтому «тема привлечения жителей к управлению жилищной сферой, появившаяся в 60-е годы, через тридцать лет стала одной из центральных. Сегодня она осознается как часть более крупной проблемы, волнующей современное общество: проблемы участия гражданского общества в формировании среды своего обитания и управления ей» [1, с. 127].

Современная стратегия развития городской среды нацелена на разработку и внедрение механизмов *соучастия*. В основе соучаствующего подхода лежат не только идеи демократического и гуманного развития, но и сугубо практические соображения. Город и жилище, создаваемые с участием населения, больше соответствуют их нуждам, лучше функционируют, а люди бережнее относятся к продуктам собственного труда. Формы соучастия могут быть самые разнообразные, в зависимости от конкретных условий той или иной страны, от решаемых задач и далеко не сводятся к активности территориальных сообществ. Это могут быть различные общественные организации, отстаивающие права определенных групп населения на комфортные и экономически приемлемые условия проживания. В любом случае практика привлечения населения активизируется во всех европейских странах, инициативы жителей стимулируются и поддерживаются властью всех уровней, так как предполагается, что реализация программ самоуправления *повышает социальную устойчивость города*.

В современной России верхний уровень местного самоуправления образуют муниципальные органы власти (районов, городских округов), достаточно далекие от населения. Нижние же звенья системы — территориальные органы самоуправления, хотя и обозначены в Федеральном законе от 06.10.2003 г. № 131 «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации», не имеют определенного юридического статуса, что является серьезной широко обсуждаемой, но до сих пор не решенной проблемой. В частности, в статье 27 этого закона говорится о *территориях общественных самоуправлений*, т.е. территориях, *подконтрольных локальным территориальным сообществам*, и территориальных органах самоуправления (ТОС). Основные функции ТОС — согласование различных решений местных властей, затрагивающих интересы жителей; выявление нарушителей правопорядка и обращение в соответствующие органы; взаимодействие с предпринимателями, работающими на территории действия органа ТОС; общественный контроль за деятельностью жилищно-коммунальных служб по эксплуатации

и ремонту жилого фонда, благоустройству дворовых территорий. В целом управленческая деятельность органов ТОС ориентирована на урегулирование отношений: а) внутри локального сообщества между разностатусными социальными группами; б) между локальным сообществом и органами местного самоуправления.

В городах современной России органы ТОС получили широкое распространение. Из 200 исследованных в 2004 г. городов страны¹ органы территориального общественного самоуправления функционировали в 60 % городов. В наименьшей степени они распространены в малых городах (в 53 % от их числа) и практически повсеместно (в 96 %) имеются в больших городах — центрах субъектов Федерации. Несмотря на неплохие количественные показатели, в реальной жизни все обстоит не совсем так. Наличие в крупном городе 2–3 органов ТОС позволяет отчитаться о их наличии, но не влияет на активность населения города в реальности.

Вопросам организации местного самоуправления в России, и в частности деятельности ТОС, посвящено достаточно большое количество исследований. Их авторы высказывают различную степень оптимизма по поводу перспектив внедрения территориального общественного самоуправления, акцентируют внимание на целом ряде проблем. Прежде всего, это отсутствие традиций и опыта самоуправления в России, низкая активность населения², ориентация на выживание по одиночке (социальная аномия), недостаточная проработанность многих правовых вопросов, связанных с порядком организации ТОС, их местом в системе местного самоуправления, источниками финансирования и т.д. Для запуска механизмов самоорганизации, для сознательного соучастия необходимо определенное качество населения. Известно, что опора любого общества — средний класс, класс энергичных, образованных, состоятельных людей, которым есть что терять. В развитых странах он составляет 70–80 % населения, в России по разным исследованиям он составлял на 2007 г. от 7 до 20 %. По-видимому, будет происходить встречное движение двух процессов: формирование среднего класса и запуск механизма самоорганизации городских сообществ, которые, попадая в резонанс, могут активизировать друг друга.

Немаловажный вопрос — финансирование ТОС. В половине городов, участвовавших в исследовании, их деятельность финансировалась из местных бюджетов. В 40 % городов она спонсировалась (полностью или частично) внебюджетными источниками. Примерно в 10 % всех городов (в основном это малые города) ТОС действовали целиком на общественных началах, без какой-либо финансовой поддержки. Наиболее распространенная форма бюджетного финансирования — социальный заказ.

Не вызывает сомнения значение органов ТОС для формирования гражданского общества в России, поскольку именно в них реально происходит процесс размывания традиционного для России отчуждения общества от управленческой деятельности. Особенно в крупных муниципальных образованиях ТОС играет роль некоего механизма приближения власти к населению. Главным здесь является, как это не парадоксально, *необязательность* таких организаций. Значит, можно предположить, что большинство из них начнут возникать не по велению сверху, а действительно, лишь в случае необходимости, когда жители сами осознают свои нужды и интересы и объединятся для их реализации и защиты. Общественное самоуправление обеспечивает, говоря словами А. И. Солженицына, раз-

¹ Городское управление в современной России // Аналитический доклад по результатам социологического обследования фонда «Институт экономики города», 2004.

² Хотя социологические исследования в различных российских регионах фиксируют до 10 % активного населения и 1 % лидеров, что даже несколько выше данных зарубежных исследований.

витие демократии «малых пространств» и способно создать органическое сочетание власти и свободы, внешнего (вертикального) управления и самоорганизации населения [2].

Остановимся на вопросах, имеющих прямое отношение к структурированию городской территории: 1) кто должен быть инициатором возникновения ТОС, нужны ли ТОС местной власти и как она может способствовать их развитию, 2) какой орган и по какому принципу должен устанавливать границы ТОС.

1. С одной стороны, импульсом к появлению единиц территориально-общественного самоуправления является потребность жителей в объединении с целью улучшить (или защитить от ухудшения) условия своего непосредственного обитания. С другой стороны, и местная власть заинтересована в этом не меньше, так как взаимодействие властей с организованным населением гораздо эффективнее и осуществляется четче, оперативнее. Многие авторы признают опасность подмены реального самоуправления искусственными структурами, насаждаемыми сверху. Обязательное условие для начала этого процесса — «рождение общности, способной к саморегулированию», для чего необходимо сознательное и целенаправленное выращивание «гена самоуправления».

Рассчитывать на развитие территориально-общественных организаций только снизу — утопично из-за низкой активности населения, незнания им правовых основ общественного самоуправления, тогда как лобовое навязывание социальной организации сверху, при современном уровне недоверия к власти, будет населением отторгаться.

Единственно возможный путь — налаживание деликатного, но регулярного диалога между властью и потенциальными социально-территориальными сообществами. Подготовительной процедурой должно стать установление приблизительных границ будущих ТОС и описание социально-демографического и имущественного портрета локального территориального сообщества как субъекта, с которым будет вестись диалог. Так, Е. Ещина [3] предлагает, например, составление гипотетической социальной карты города, позволяющей выявить наличие каких-либо устойчивых общностей населения, оправдывающих выделение соответствующих им территориально-пространственных элементов.

2. В соответствии с законодательством РФ субъектам Федерации и муниципалитетам предоставлена значительная свобода в определении границ и размеров ТОС. Границы ТОС не могут быть формальными, должны основываться на вычленении сложившихся элементов планировочной структуры и результатах анализа реальных социально-пространственных связей населения. Процедура эта очень не простая как с методологической, так и с фактологической позиций. Здесь можно отметить два конкурирующих и дополняющих друг друга подхода.

Первый базируется на опросах населения и исследует его субъективные представления о границах «своей» территории, а также выявляет пространственные поля локализации деятельности тех или иных социально-демографических групп изучаемого жилого образования. То есть вопрос определения границ рассматривается с позиций населения, для которого важны не планировочные, а поведенческие границы.

В основе второго подхода лежит дифференциация селитебных территорий по комплексу объективно-присущих им характеристик материально-пространственной среды (этажность, плотность населения, качество жилого фонда, плотность объектов обслуживания, транспортных сетей и т.д.). Набор определенных характеристик района предопределяет и комплекс присущих ему проблем.

Первый подход занимается выявлением границ «места», которое нередко обладает именем собственным. Границы «места» фиксируются че-

рез ощущения и поведение наполняющих его людей и всегда расплывчаты. В оценке преобладают качественные субъективные характеристики: уютность, обжитость, выразительность.

С помощью второго подхода определяются границы «района». Район выделяется субъектом, находящимся вне его. Понятие «район» имеет проектную направленность и четкие границы. В зависимости от целей и методов районирования могут быть получены разные типы районов (одно- и многофакторные). Районы можно сравнить друг с другом по объективным, в том числе количественным показателям (этажность, плотность, количество объектов обслуживания и т.д.).

При установлении границ территорий общественного самоуправления важно опираться на оба представления. А. Высоковский, исследуя этот вопрос, отмечает, что «в процессе самоопределения жителей в организационную группу, совмещение понятий “места” и “района” неизбежно... Жители из средового субъекта превращаются в деятельностный субъект, который сразу должен определить границы своей юрисдикции» [4].

Трансформация места в район — процесс, требующий очень деликатного и профессионального подхода. Так как главным критерием выделения единиц ТОС является *общность условий проживания населения*, то размеры их будут существенно различаться. На территориях с мозаичной мелкоячеистой структурой это могут быть небольшие морфотипы застройки (квартал, группа кварталов), на территориях с крупными членениями селитебной зоны в качестве единиц ТОС логично выделять более крупные порции (поселки, жилые районы, микрорайоны). При определении границ района должны учитываться сложившиеся устойчивые представления о месте. Эти представления обычно обусловлены временем и историей их возникновения, зафиксированы в названии мест, поэтому могут быть вскрыты и прочитаны проектантами. Со стороны населения установление границ является попыткой части населения осмыслить себя как целостность, отличную от соседней целостности. Чтобы процесс осмысления стал более объективным, им нужна помощь специалистов.

Следовательно, установление границ ТОС — ответственная процедура, заниматься которой должны *специалисты в области территориального планирования* совместно с социологами, юристами, краеведами, специалистами жилищно-коммунального хозяйства. При этом появляется возможность обеспечить совмещение границ ТОС с границами территориальных зон, устанавливаемых в рамках документов Правового зонирования; рассматривать ТОС *в качестве объектов комплексной реконструкции* на стадии Проекта планировки.

Следующий шаг — выход специалистов «в народ» для контактов с населением, совместного обсуждения проблем жилого образования, путей их решения и, в частности, возможной корректировки границ на практике. В процессе обсуждений формирование органов ТОС рассматривается лишь как способ более эффективного взаимодействия, позволяющий быстрее добиться желаемых результатов, но никак не обязательное условие. Важным шагом на этапе реформирования систем местного самоуправления, реформирования ЖКХ могло бы стать формирование института «посредников» между населением и муниципальной властью, консультантов, вооружающих горожан специальными знаниями для более эффективной борьбы за качество среды обитания. Такой институт должен быть создан государством, заинтересованным в развитии гражданского общества при поддержке общественных организаций. Огромное количество невостребованных выпускников юридических, экономических, социальных специальностей могли бы получить здесь неоценимый

опыт реальной работы, а ТОС обзавелись бы «участковыми» специалистами, помогающими решать сложные вопросы самоуправления.

Е. Анимица и Е. Заборова подчеркивают, каким бы идеальным ни был план, он не будет поддержан населением, пока оно не разберется «что к чему» и не выработает собственного мнения. Еще более сложно заставить людей претворять в жизнь то, в разработке чего они не участвовали, во что не верят или чего не знают [2]. Опыт вовлечения населения в градостроительное сотрудничество подробно изложен на примере поселений разных стран в книге Н. Вейтса, предлагающей большой набор методов по организации такой работы.³ В России некоторые из предложенных методов были апробированы в Тольятти, Ярославле и других городах. Примерами работы с населением являются рейды по малым городам специалистов Академии городской среды В. Л. Глазычева.⁴ Однако следует признать, что по-настоящему эффективные социальные технологии «вовлечения» горожан в плодотворное социальное партнерство с властью пока не найдены.

Выводы. 1. Наличие нижнего звена местного самоуправления позволяет рассредоточить ответственность и полномочия по поддержанию среды обитания между различными уровнями, тем самым реализовать на практике принцип многосубъектного управления.

2. Организованность жителей, осознающих ответственность за состояние своего местообитания, позволяет им активно участвовать как в разработке градостроительных регламентов для «своей территории», так и в контроле их соблюдения. Повышается эффективность мониторинга состояния городской среды, являющегося одной из важнейших составляющих механизма обратной связи в процессе управления градостроительной деятельностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кияненко, А. В. Введение в проблематику современного рыночного жилища [Текст]: учеб. пособие / А. В. Кияненко. — Вологда: ВоГТУ, 2002. — 159 с.
2. А н и м и ц а, Е. Г. Гражданская активность населения: ТОСы в системе местного самоуправления [Текст] / Е. Г. Анимица, Е. Н. Заборова. — Екатеринбург, 2000. — 161 с.
3. Е щ и н а, Е. В. Социально-демократические методы соучастия в градорегулирующей деятельности архитектора (на примере г. Пензы) [Текст]: автореф. дис. ... канд. архит.: 18.00.04. — Н. Новгород, 2004. — 23 с.
4. В ы с о к о в с к и й, А. А. Район и место. К вопросу о пространственности городской среды [Текст] / А. А. Высоковский // Средовой подход в архитектуре и градостроительстве: сб. ст. — М., 1989. — С. 23–30.

*ТАРАСОВА Л. Г., канд. архит., доц.; E-mail: tar-lar@rambler.ru
Саратовский государственный технический университет*

Получено после доработки 23.04.09

Tarasova L. G., candidate of architecture, assistant professor; E-mail: tar-lar@rambler.ru, Saratov State Engineering University, Russia

SOCIAL-TERRITORIAL STRUCTURIZATION OF URBAN COMMUNITY AS A PRECONDITION OF SELF-ORGANIZATION PROCESSES IN THE METROPOLISES DEVELOPMENT

There are questions of population involvement to transformation and maintenance of urban area activity is considered in the article. Particularly, the article is covered a question of

³ Wates N. The Community Planning Handbook. L.: Earth publications Ltd, 2000. 187 p.

⁴ Городская среда. Технология развития: настольная книга. Глазычев В. Л., Егоров М. М. М.: Изд-во «Ладья», 1995. 240 с.

local territorial community in Russian and foreign cities. Different authors' positions about availability of such local territorial communities, possible approaches to their forming and concepts of their territorial borders separation are analyzed in the article. Author emphasizes, that urban authorities should be interested in structurization of urban community, while their town planning practice, because urban authorities are obliged to deal with urban community according the Town planning code of Russian Federation...

local territorial communities, participation policy, community of living conditions, self-government.

REFERENCES

1. Kiyanenko, A. V. Introduction to subject matter of modern marketable housing [Text]: tutorial/A. V. Kiyanenko.— Vologda: VoGTU, 2002.— 159 p.
2. Animitsa, E. G. Civil activity of population [Text]/E. G. Animitsa, E. N. Zaborova.— Ekaterinburg, 2000.— 161 p.
3. Eschina, E. V. Social-democratic methods of participation in architect' town-controlling activity (with Penza city as a example) [Text]: abstract of a thesis... candidate of architecture: 18.00.04.— N. Novgorod, 2004.— 23 p.
4. Visokovsky, A. A. District and place. Problem of spatial zoning of urban environment [Text]/A. A. Visokovsky//Environmental approach in the architecture and town planning: coll. art.— M., 1989.— P. 23–30.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 691.32.002.237

С. Н. ЛЕОНОВИЧ, Д. Ю. СНЕЖКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОБЪЕКТЕ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПЛЕКСНЫМ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ

Рассматриваются аспект практического использования неразрушающих методов контроля для оценки прочности монолитного бетона и возможность повышения точности, достоверности и информативности контроля прочности бетона монолитных конструкций на основе комплекса стандартизированных методов неразрушающего контроля. Представлена методика контроля, приведены данные испытаний...

бетон, прочность, неоднородность, неразрушающий контроль, ультразвук.

Существующие методы неразрушающего контроля бетона не являются равнозначными в оценках его упругих и прочностных характеристик, что обусловлено в первую очередь различием физических основ таких методов. Это обстоятельство позволяет говорить о селективной чувствительности того или иного неразрушающего метода к контролируемым физико-механическим параметрам бетона и открывает возможность повышения точности и достоверности контроля путем использования системы нескольких неразрушающих методов. Особую актуальность эти вопросы приобретают в условиях монолитного строительства, где учет факторов, приводящих к снижению прочности бетона, затруднен по причинам технического и технологического характера и вследствие проявления так называемого «человеческого фактора».

Повышение надежности определения прочности бетона на основе комплексного, взаимодополняющего учета оценок нескольких методов контроля отмечалось рядом исследователей [1, 2], но степень методической проработки данного вопроса, на наш взгляд, пока остается недостаточной для практического использования.

Уникальные возможности для исследования неразрушающих методов контроля бетона в построечных условиях в нашей республике «предоставлены» крупными объектами монолитного строительства, одним из которых является строящийся спортивный комплекс «Минск-Арена». Основа его конструкции — монолитный железобетонный каркас из бетона классов С25/30...С35/45. Так как бетонные работы проводились в различные климатические периоды, то, безусловно, это не могло косвенно не отразиться на показателях качества бетона, что и позволило проверить эффективность различных неразрушающих методов в условиях строительной площадки.

Как показали исследования, выполненные авторами [3, 4] на ряде объектов монолитного строительства в г. Минске, сложившаяся традиционная система контроля прочностных показателей бетона монолитных конструкций, основанная на прессовых испытаниях контрольных бетон-

ных образцов, не обеспечивает необходимой достоверности оценок. Главная причина этого — невозможность практически обеспечить такие же условия укладки и твердения для бетона контрольных образцов, какие имеют место для бетона в конструкциях. Использование в условиях низких температур воздуха технологии электропрогрева бетона в еще большей степени усиливает эти различия. Данные же, получаемые испытанием образцов, твердевших в нормальных условиях, могут рассматриваться лишь в качестве оценки качества используемой бетонной смеси, но не бетона готовой конструкции.

Методика и результаты испытаний. Для определения прочности бетона конструкций авторы использовали методику комплексного контроля, основанную на совместном применении нескольких неразрушающих методов. Физической основой методики является свойство селективной чувствительности используемых методов контроля к характеристикам упругости бетона и его прочности. С этой позиции использованные метод упругого отскока (молоток Шмидта) и ультразвуковой импульсный метод можно рассматривать как взаимодополняющие, поскольку, как показывают исследования [1], их чувствительность к изменению модуля упругости бетона имеет разный знак.

Кроме указанных были использованы метод ударного импульса — прибор ИПС-МГ4 и метод отрыва со скалыванием — прибор ПОС-30МГ4 «Скол», который применялся в качестве «экспертного» средства контроля.

На рис. 1 приведены диаграммы оценок прочности бетона групп колонн, имеющего приблизительно одинаковые сроки набора прочности.

Данные метода ударного импульса (ИПС-МГ4) хорошо коррелируют с данными других методов и, в частности, метода отрыва со скалыванием, но показали большую подверженность влиянию технологических факторов. Систематическая составляющая погрешности измерения прочности составила для рассмотренных колонн — 5...9 МПа (см. рис. 1).

Параметры используемых характеристик пересчета «косвенный параметр — прочность бетона» для ультразвуковых приборов, молотка Шмидта и ИПС-МГ4 определялись по стандартной методике путем совместных (рис. 2) с прессовыми испытаниями образцов-кубов $100 \times 100 \times 100$ мм, с последующей коррекцией по данным испытаний бетона конструкций «экспертным» методом. Оценка прочности комплексом «молоток Шмидта — ультразвук» получалась усреднением результатов двух использованных методов.

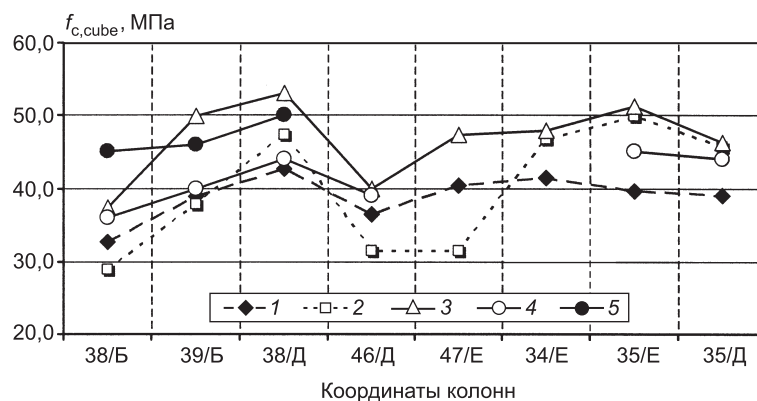


Рис. 1. Оценки прочности бетона монолитных колонн сечением 500×500 мм неразрушающими методами; срок твердения бетона — 140 сут, дата укладки бетона — ноябрь 2006 г.

1 — ОМШ-1; 2 — УК1401; 3 — ИПС-МГ4; 4 — «Скол» — метод отрыва со скалыванием; 5 — данные прессовых испытаний образцов-кубов, изготовленных на бетонорастворном узле, твердевших в нормальных условиях

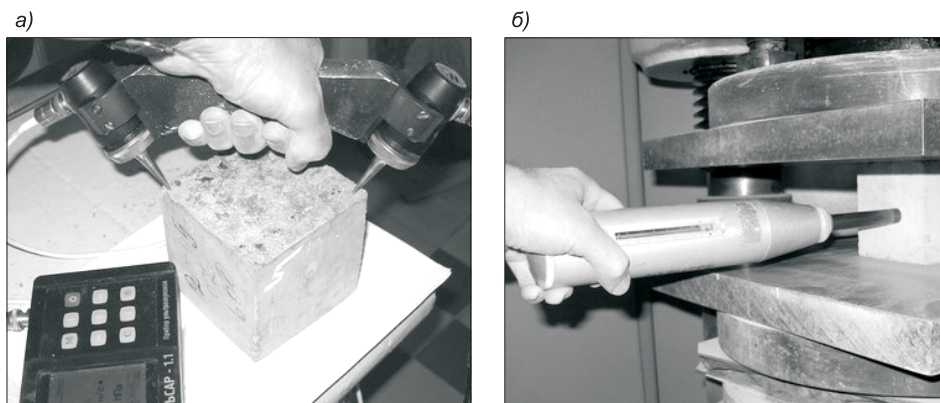


Рис. 2. Градуировочные испытания бетонных образцов-кубов
 а — ультразвуковые измерения; б — испытания молотком Шмидта

Характерные моменты для диаграммы рис. 1: значительное отличие (до 35 %) прочности бетона в изделиях от прочности бетона образцов, твердевших в нормальных условиях, и выраженная корреляция оценок прочности для всех использованных методов.

Наибольшей чувствительностью к факторам, влияющим на снижение прочности бетона, обладают ультразвуковой и метод ударного импульса; показатель влияния S , рассчитываемый по формуле

$$S = \Delta f_i / \Delta f_{\text{Skol}}, \quad (1)$$

где Δf — разница оценок прочности двух разных изделий, находится в диапазоне 1,2...2,5.

Для молотка Шмидта этот показатель составлял приблизительно 1,0.

Сравнение показателей точности контроля неразрушающих методов. В табл. 1 приведены показатели статистического разброса оценок прочности бетона для каждого из неразрушающих методов и для комплекса «молоток Шмидта — ультразвук». Остаточная дисперсия σ^2 для оценок прочности бетона групп испытанных колонн неразрушающими методами рассчитывалась по формуле

$$\sigma^2 = \sum_i \Delta^2 / N - 1, \quad (2)$$

где $\Delta = (f_{\text{Skol}} - f_i)$; f_{Skol} — оценка прочности методом отрыва со скалыванием;

f_i — оценка прочности неразрушающего метода;

N — количество измерений.

Таблица 1

Тип прибора	Показатель МПа*МПа	Колонны					
		38/Б	39/Б	38/Д	46/Д	35/Е	35/Д
ОМШ-1	Δ^2	11,3	1,4	1,7	6,6	29,3	24,8
	σ^2	15,0					
УК1401	Δ^2	50,9	4,8	11,1	57,1	23,3	3,0
	σ^2	30,0					
Комплекс ОМШ+УК	Δ^2	27,5	2,9	1,0	25,6	0,1	2,6
	σ^2	12,0					
ИПС-МГ4	Δ^2	2,0	97,8	81,0	1,0	38,4	4,9
	σ^2	45,0					

Как видно из табл. 1, наименьший разброс оценок обеспечивается при совместном использовании методов ударного импульса и ультразвукового импульсного.

Приведенные выше результаты получены испытанием поверхности изделий, что во многих случаях не может гарантировать достоверность оценки прочности бетона. При зимнем бетонировании различие температурного режима прогрева внутренних и периферийных слоев бетонного массива, особенно при использовании металлической опалубки с недостаточной теплоизоляцией, приводит к появлению неравнопрочных участков. Аналогичный эффект может вызвать раннее снятие опалубки без принятия должных мер по удержанию в бетоне влаги и тепла.

В табл. 2 приведены результаты испытаний двух колонн, изготовленных в летний период, но не обеспечивших, по данным неразрушающих испытаний поверхностного слоя бетона, необходимых показателей прочности. Испытания бетона методом отрыва со скалыванием в целом подтвердили оценки неразрушающих методов, обнаружив также и большой разброс отдельных результатов. Для уточнения картины было выполнено несколько серий ультразвуковых испытаний, которые позволили выявить различия упругопрочностных характеристик бетона наружного слоя и внутренних областей одной из колонн. На рис. 3 показаны схемы выполнения ультразвуковых измерений путем сканирования внутренних областей колонны.

Таблица 2

Координаты колонн	36/П-Р	36/Р
Срок твердения, сут	24,0	24,0
$f_{c, cube}$ (ОМШ-1), МПа	17,4	18,9
$f_{c, cube}$ (ультразвук), МПа	17,2	16,3
$f_{c, cube}$ (ИПС-МГ4), МПа	22,5	23,2
$f_{c, cube}^*$ (среднее значение по всем методам), МПа	19,0	19,5
$f_{c, cube}$ («Скол»), МПа	24	28,0
	22	18
	16	20

Оценка неравнопрочности массива бетона монолитных колонн. Использование ультразвуковых приборов контроля бетона с сухим точечным акустическим контактом электроакустических преобразователей (ЭАП) заметно повышает точность и оперативность контроля, снижает его трудоемкость. Но указанные их достоинства реализуются, как правило, на малых базах измерения. Выполнение ультразвуковых измерений на больших и переменных базах по схемам рис. 3 требует дополнитель-

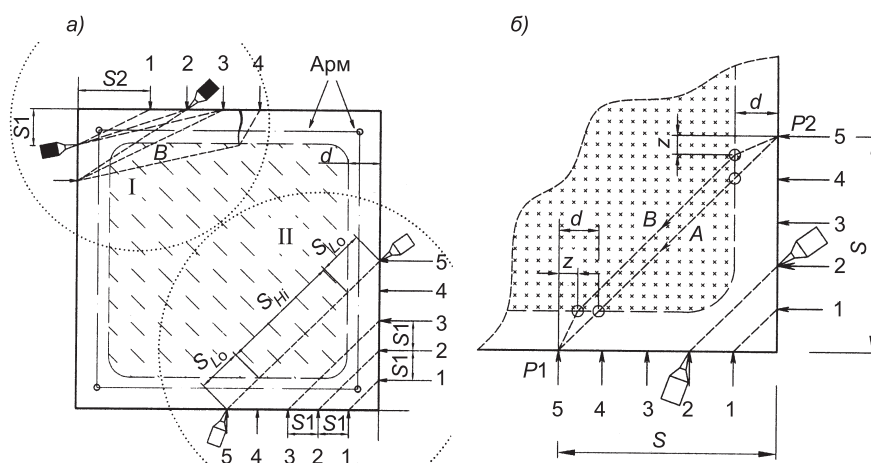


Рис. 3. Схема ультразвукового сканирования

а — упрощенная расчетная схема зон ультразвукового контроля изделий прямоугольного сечения; б — уточненная схема зоны II

ных мер для обеспечения принципа аддитивности при измерениях времени распространения акустического импульса. Точечный акустический контакт практически устраняет влияние нестабильности пятна контакта. Но такой тип контакта значительно уменьшает механическую связь испытуемой среды — бетона с активным элементом преобразователя, что приводит в итоге к большей степени влияния физико-механических параметров среды на амплитуду и фазу колебаний контактной части преобразователя, а значит, и большему влиянию на результат измерения времени распространения акустического импульса. Кроме того, значительное и нестабильное затухание акустического импульса в тракте излучатель — приемник, вследствие изменения базы измерения, силы контактного взаимодействия и ориентации преобразователей по отношению к поверхности бетона, приводит к появлению дополнительной систематической погрешности. Влияние только указанных выше факторов ведет к тому, что оценки скорости распространения ультразвукового импульса, полученные на различных базах измерения, будут заметно отличаться, причем степень различия будет зависеть от физико-механических характеристик бетона. Несколько снизить эту погрешность удастся использованием методики профилирования, применяя в качестве оценки скорости отношение приращения базы к приращению времени распространения импульса.

Кроме того, профилирование поверхности бетонных изделий, например, колонн в плоскости их поперечного сечения позволяет достаточно простыми средствами выявить и оценить степень неравнопрочности бетона по сечению, распространение акустического импульса по внутренним, как правило, более прочным областям сечения происходит с большей скоростью. Физической основой метода выявления неравнопрочности слоев бетона является зависимость средней скорости распространения импульса V от базы измерения B , когда часть пути акустический импульс проходит по участкам S_{Lo} наружного слоя бетона с пониженной скоростью, часть пути S_{Hi} — с большей скоростью.

Рассматривая в качестве модели неравнопрочного бетона массив (см. рис. 3, а), имеющий периферийную область пониженной прочности толщиной d , можно в первом приближении записать для позиции I:

$$V(B) = 1 / [d \cdot (1/S_1 + 1/\sqrt{B^2 - S_1^2}) \cdot (1/V_{Lo} - 1/V_{Hi}) + 1/V_{Hi}]; \quad (3)$$

для позиции II:

$$V(S) = V_{Lo} / [2d(1 - K) / S + K], \quad (4)$$

где $K = V_{Lo} / V_{Hi}$;

$V(B)$, $V(S)$ — средние скорости;

d — толщина наружного слоя бетона;

S_1 — расстояние от ребра колонны до точки установки неподвижного преобразователя;

S — расстояние от ребра колонны до точек контакта ЭАП с бетоном (позиция II);

B — база измерения скорости ультразвукового импульса;

V_{Hi} — скорость ультразвука в области бетона с нормальной прочностью;

V_{Lo} — скорость ультразвука в области бетона с пониженной прочностью.

Признаком неравнопрочности массива бетона (см. рис. 3, а, поз. II) является рост скорости распространения ультразвукового импульса при $S > 2d$. На рис. 3, б показана уточненная геометрическая модель распространения ультразвукового импульса. Траектория, обеспечивающая минимальное время распространения между точками $P1$ и $P2$ (брахистохро-

на), представляет собой ломаную B , смещенную по отношению к прямой A в направлении расположения участка бетона с большей прочностью.

Из условия достижения минимума времени прохождения ультразвукового импульса по траектории B можно записать:

$$Z(d) = d \cdot V_{Lo} / \sqrt{2V_{Hi}^2 - V_{Lo}^2} \quad \text{и} \quad \sin(\alpha) = V_{Lo} / V_{Hi} \sqrt{2}. \quad (5)$$

Полученные выражения являют собой частный случай закона Снеллиуса:

$$\sin \alpha / \sin \beta = V_{Lo} / V_{Hi} = K, \quad (6)$$

где α, β — соответственно углы падения и преломления акустической волны на границе раздела областей бетона ($\beta = 45^\circ$).

Выражение (6) указывает на независимость характера преломления акустической волны на границе раздела слоев бетона от толщины наружного слоя.

Выражение для средней скорости распространения ультразвукового импульса между точками $P1$ и $P2$ принимает вид

$$V(S) = V_{Lo} \cdot 1 / [(2d_S / \sqrt{2 - K^2}) + K(1 - d_S - d_S \cdot K / \sqrt{2 - K^2})], \quad (7)$$

где $d_S = d / S$.

Разница расчетных значений толщины d периферийной области бетона для $V_{Lo} = 3300$ м/с и $V_{Hi} = 3600$ м/с по приближенной (4) и уточненной (7) формулам, при условии равенства средних скоростей распространения ультразвукового импульса, не превышает 1 см. Это позволяет в практике контроля не принимать во внимание фактор преломления ультразвука и пользоваться простыми схемами измерений и приближенными зависимостями (3) и (4).

На рис. 4 приведены примеры расчетных зависимостей (3) для различных значений толщины наружного слоя бетона d и позиции одного из преобразователей $S1$ (см. рис. 3, поз. 1).

Характеристическим элементом зависимостей является позиция точки пересечения графиков кривых, построенных для двух значений $S1$. Изменение толщины наружного слоя приводит к смещению указанной точки вдоль вертикальной оси координат.

На рис. 5, а показаны экспериментальные зависимости $V(B)$, построенные по данным испытания колонны 36/Р. Характер зависимостей подтвердил предположения о неравнопрочности бетона испытанной колонны. Для сравнения на рис. 5, б приведены графики зависимости $V(B)$ для трех колонн (38/Б, 38/Д, 39/Б) поперечным сечением 900×600 мм, проектная прочность бетона которых была подтверждена испытаниями поверхностного слоя. Отклонение скорости распространения акустического импульса для испытанной группы колонн не превышает 4,8 %, проявляя в статистике некоторую тенденцию (2...4 %) к снижению по мере

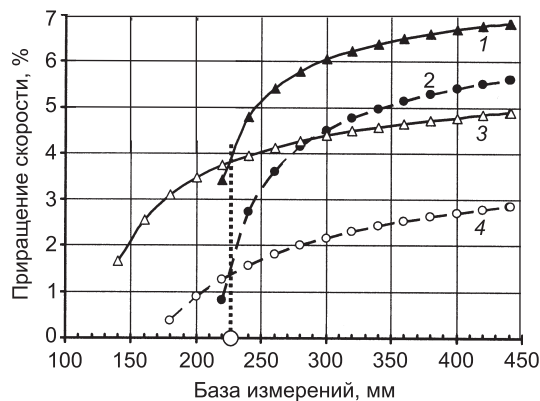


Рис. 4. Расчетные зависимости приращения скорости ультразвукового импульса от базы измерения ($V_{Lo} = 3300$ м/с; $V_{Hi} = 3600$ м/с)
1 — $S1 = 200$, $d = 50$; 2 — $S1 = 200$, $d = 70$;
3 — $S1 = 100$, $d = 50$; 4 — $S1 = 100$, $d = 70$

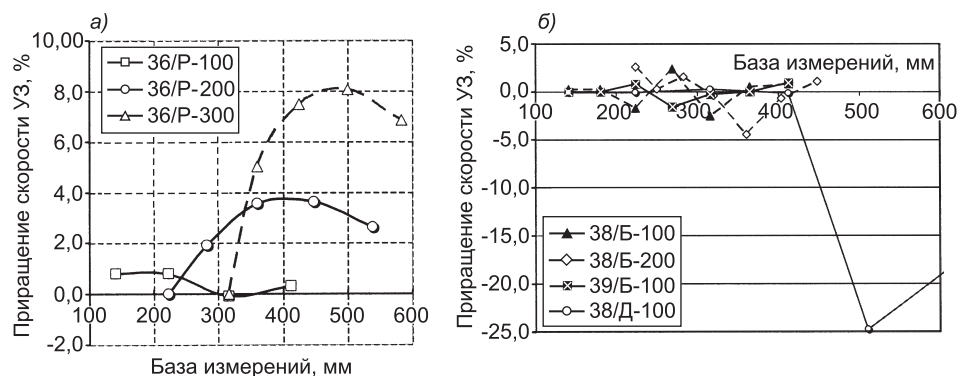


Рис. 5. Экспериментальные зависимости приращения скорости ультразвукового импульса в бетоне монолитных колонн от базы измерений

а — колонна с признаками неравнопрочности бетона по сечению; *б* — колонны без явных признаков неравнопрочности бетона

увеличения базы измерений. Резкое снижение скорости акустического импульса для колонны 38/Д обусловлено влиянием усадочной трещины, проходящей вдоль оси большой грани колонны. Значение в точке экстремума, соответствующее базе 510 мм, получено при установке акустического преобразователя непосредственно за трещиной на расстоянии 1...2 см от нее. При смещении преобразователя в сторону дальнейшего увеличения базы измерений экранирующее влияние трещины на уровень сигнала уменьшается, что проявилось в увеличении средней скорости распространения импульса.

Выводы. 1. Контроль монолитных изделий выявил значительное (до 35 %) отличие показателей прочности бетона в изделиях от прочности бетона образцов, твердевших в нормальных условиях. В значительной степени это обусловлено неравнопрочностью массива бетона, в частности, снижением прочности его наружного слоя.

2. Объединение оценок прочности, полученных методом упругого отскока и ультразвуковым импульсным методом, позволяет снизить остаточную дисперсию объединенного результата в 2...3 раза по сравнению с результатами измерений каждого из методов в отдельности.

3. Подтверждена эффективность ультразвукового импульсного метода для оценки степени неравнопрочности бетона наружных и внутренних областей монолитных колонн. Описанная методика профилирования сечения колонн прямоугольного сечения позволила выявить различия прочности бетона центральной и периферийной областей их поперечных сечений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джонс, Р. Неразрушающие методы испытаний бетонов [Текст]/Р. Джонс, И. Фэкзоару.— М.: Стройиздат, 1974.— 295 с.
2. RILEM draft recommendation, TC-43-CND. Combined non-destructive testing of concrete. Draft recommendation for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods. Materials and Structures, 1993.— С. 43–49.
3. Снежков, Д. Ю. Неразрушающий контроль бетона в монолитном строительстве: совершенствование средств и методов [Текст]/Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович.— Минск: БНТУ, 2006.— 218 с.
4. Leonovich, S. N. Complex method of strength estimation of the monolithic reinforced concrete structures [Текст]/S. N. Leonovich, D. Yu. Snezhkov//Concrete structures stimulators of development: proceedings of international FIB conference.— Dubrovnik, 2007.— С. 947–954.

ЛЕОНОВИЧ С. Н., д-р техн. наук, проф.; E-mail: SLeonovich@bntu.by, SLeonovich@mail.ru

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

СНЕЖКОВ Д. Ю., канд. техн. наук, доц.; E-mail: snezhkov-d-u@yandex.ru

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Получено после доработки 28.05.09

Leonovich S. N., doctor of technical sciences, professor; E-mail: SLeonovich@bntu.by, SLeonovich@mail.ru, Belarus National Technical University, Minsk

Snezhkov D. Yu., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: snezhkov-d-u@yandex.ru, Belarus National Technical University, Minsk

RESEARCH OF CONCRETE STRENGTH INHOMOGENEITY ON OBJECT OF MONOLITHIC CONSTRUCTION BY A COMPLEX NON DESTRUCTIVE TESTING METHOD

In paper the aspect of practical use non-destructive testing devices for an strength estimate of a job-placed concrete and the opportunity of pinch for accuracy, reliability and volume of the strength testing information for concrete of cast-in-place constructions with the complex of the standardized methods for non-destructive testing is considered. The procedure of the testing is presented, data of trials are cited...

concrete, strength, strength in homogeneity, a non-destructive testing, ultrasound.

REFERENCES

1. Jones, R. Non-destructive test methods of concrete [Text]/R. Jones, I. Facaoaru.— M.: Stroyizdat, 1974.— 295 p.
2. RILEM draft recommendation, TC-43-CND. Combined non-destructive testing of concrete. Draft recommendation for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods. Materials and Structures, 1993.— P. 43–49.
3. Snezhkov, D. Yu. Non-destructive testing of beton in the monolithic construction: evolution of resorts and methods [Text]/D. Yu. Snezhkov, S. N. Leonovich.— Minsk: BNTU, 2006.— 218 p.
4. Leonovich, S. N. Complex method of strength estimation of the monolithic reinforced concrete structures [Text]/S. N. Leonovich, D. Yu. Snezhkov//Concrete structures stimulators of development: proceedings of international FIB conference.— Dubrovnik, 2007.— P. 947–954.

УДК 624.072.014.2

А. И. ПРИТЫКИН

**ПОВЫШЕНИЕ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК ЗА СЧЕТ СМЕЩЕНИЯ
ОСИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ**

Рассмотрены вопросы местной устойчивости перфорированных балок-стенок и двутавровых балок при вертикальном смещении оси расположения отверстий. Выполненные методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса ANSYS расчеты показали, что смещение отверстий в сторону сжатых волокон может повысить критическую нагрузку балки по сравнению с центральным расположением отверстий...

балки, шестиугольные отверстия, двутавр, конечные элементы, устойчивость, смещение отверстий.

Как известно, слабым местом перфорированных балок является устойчивость их стенок. В последние годы устойчивости перфорированных балок посвящен ряд работ отечественных авторов В. М. Добрачева, В. Г. Себешева, Е. В. Литвинова [1–3], М. М. Копытова, С. Г. Яшина¹ [4], в которых описываются балки с одним рядом отверстий. При этом центры отверстий располагаются на горизонтальной оси симметрии балки, т.е. на нейтральной линии.

В данной работе рассматривается один из возможных способов повышения местной устойчивости перфорированных балок путем смещения оси расположения отверстий по высоте балки. Расчеты МКЭ выполнены наряду с двутавровыми балками и для балок-стенок с одним рядом шестиугольных отверстий. Выбор в качестве расчетной модели балки-стенки был продиктован стремлением изучить влияние поясов на местную устойчивость двутавровой балки. В предельном случае, когда площадь пояса равна нулю, получаем балку-стенку. К тому же, как показали расчеты МКЭ, характер местной потери устойчивости балки-стенки и двутавровой балки качественно очень близок, а количественное различие обусловлено деформацией поясов.

Одна из основных трудностей расчетов МКЭ сложных конструкций, каковыми являются перфорированные балки, — ввод исходных данных. Поэтому была составлена специальная подпрограмма, обеспечивающая не только ввод исходной информации, но и последующую удобную корректировку ее, например, при изменении формы и расположения отверстий или их размеров.

Вначале был проведен расчет устойчивости сплошной балки-стенки, служивший базой для последующей оценки влияния отверстий на снижение ее устойчивости. Одновременно такой расчет являлся контрольным для проверки правильности задания граничных условий, поскольку он мог быть сопоставлен с теоретическим решением². Во всех случаях расчета контур балки-стенки имел шарнирное опирание, предотвращающее

¹ Копытов М. М., Яшин С. Г. Особенности работы перфорированных балок с повышенной степенью развития сечения // Изв. вузов. Строительство. 2003. № 3. С. 4–8.

² Прочность, устойчивость, колебания: справочник: в 3-х т.; под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. М., 1968. Т. 3. 831 с.

возможность потери ею плоской формы изгиба, т.е. рассматривалась только местная устойчивость.

Сопоставление результатов расчета устойчивости МКЭ сплошной балки-стенки размерами $L = 6,4$ м, $H = 0,64$ м, нагруженной распределенной нагрузкой q , при шарнирном ее опирании с теоретическим значением $\sigma_{кр}$, подсчитанным как для прямоугольной пластины с соотношением сторон $a/b = 1,5$, нагруженной переменными по высоте изгибными напряжениями, изменяющимися по закону

$$\sigma_x = \sigma_0(1 - 2y/b), \quad (1)$$

показало почти полное их совпадение (расхождение не более 3 %).

После этого была проведена серия расчетов устойчивости балки-стенки с одним рядом шестиугольных отверстий высотой $0,5H$, причем характер нагружения и размеры балки оставались неизменными, менялось лишь расположение ряда отверстий по высоте. Расчеты МКЭ показали, что центральное расположение шестиугольных отверстий приводит к снижению устойчивости балки почти на 29 %, а их смещение в сторону сжатых волокон на величину $\Delta = H/8$ повышает критическую нагрузку почти до уровня $P_{кр}$ балки со сплошной стенкой.

Технология получения смещенного ряда отверстий очень простая и заключается в смещении зигзагообразного реза, по которому распускается исходная балка, на соответствующую величину Δ .

Аналогичные вычисления были проведены для балок-стенок с отверстиями высотой $0,6H$ и $0,7H$ при тех же условиях закрепления и нагрузки. Результаты показали, что и в этих случаях достигается эффект повышения устойчивости стенки.

Как видно из рис. 1, для шарнирно опертой балки-стенки смещение шестиугольных отверстий высотой $h/H = 0,5$ может увеличить нагрузку $P_{кр}$ на 55 %, для отверстий с $h/H = 0,6$ — на 19 %, а перемещение отверстий высотой $h/H = 0,7$ практически не увеличивает величины критической нагрузки центрально перфорированной балки. Почти во всех вариантах потеря устойчивости происходит посредине пролета. Лишь в отдельных случаях выпучивание имеет место у опорного сечения. При этом рост $P_{кр}$ происходит лишь при смещении отверстий в сторону расположения сжатых волокон.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности смещения линии отверстий для повышения устойчивости балки на 15–30 % (при высоте отверстий $0,5H$) без дополнительных затрат на ее изготовление.

У жестко заделанной балки (в отличие от шарнирно опертой) сжатые волокна с максимальными напряжениями изгиба расположены вблизи опор

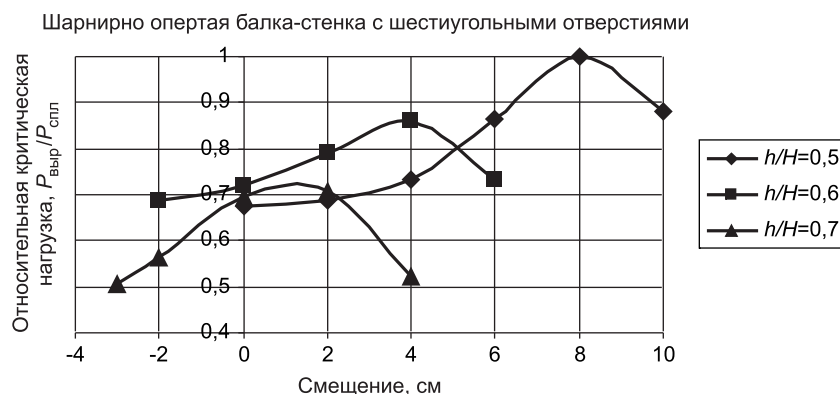


Рис. 1. Устойчивость шарнирно опертой балки-стенки со смещенным рядом шестиугольных отверстий

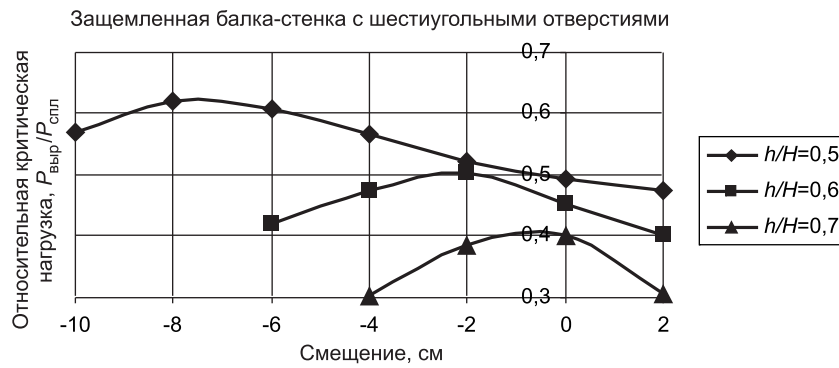


Рис. 2. Устойчивость жестко заделанной балки-стенки со смещенным рядом шестиугольных отверстий

внизу. Поэтому у этих балок эффект повышения критической нагрузки $P_{кр}$ достигается смещением оси расположения отверстий не вверх, а вниз.

Из сопоставления рис. 2, на котором представлены результаты расчетов при жестких заделках концов, и рис. 1 видно, что величина смещения отверстий высотой $0,5H$ одинакова при любом опирании, только меняется направление смещения, а для отверстий высотой $0,6H$ наибольший эффект достигается при смещении ряда отверстий на $H/32$, а не на $H/16$, как в случае шарнирного опирания.

Наряду с расчетами балок-стенок с шестиугольными отверстиями правильной формы были рассмотрены и балки с отверстиями вытянутой формы, технология получения которых была разработана автором. Такие отверстия, длина которых не связана с шириной перемычки, существенно расширяют диапазон варьирования жесткостью перфорированных балок.

Расчет устойчивости балки-стенки с 8-ю отверстиями высотой $0,5H$, длиной $3a$ и шириной перемычки a при тех же габаритных размерах балки, что и в предыдущих вариантах, показал, что при изгибе устойчивость теряет фрагмент стенки, расположенный в зоне максимальных сжимающих напряжений над отверстием. Величина критической нагрузки составляет $P_{кр}^{выр} = 0,626P_{кр}^{спл}$ балки со сплошной стенкой, в то время как с отверстиями правильной формы той же высоты $P_{кр}^{выр} = 0,713P_{кр}^{спл}$. Понятно, что $P_{кр}^{выр}$ снижается, так как существенно возрастает площадь удлиненных отверстий.

При смещении отверстий по высоте изменяется зона и характер потери устойчивости — выпучивание происходит вблизи опоры от сдвига. Смещение удлиненных отверстий может повысить устойчивость шарнирно опертой балки с отверстиями высотой $0,5H$ на 19 %.

Приведенные выше результаты расчетов различных видов перфорированных балок-стенок показали, что во всех случаях смещение отверстий в сторону сжатых волокон приводит к повышению местной устойчивости балок.

Объясняется это тем, что потеря устойчивости перфорированной балки носит локальный характер, т.е. выпучивается фрагмент балки, расположенный непосредственно над отверстием (рис. 3). В первом (качественном) приближении этот фрагмент можно представить как прямоугольную пластину, шарнирно опертую по трем кромкам со свободной четвертой. Критические напряжения такой пластины определяются по зависимости²

$$\sigma_{кр} = K \frac{\pi^2 D}{b^2 t}, \quad (2)$$

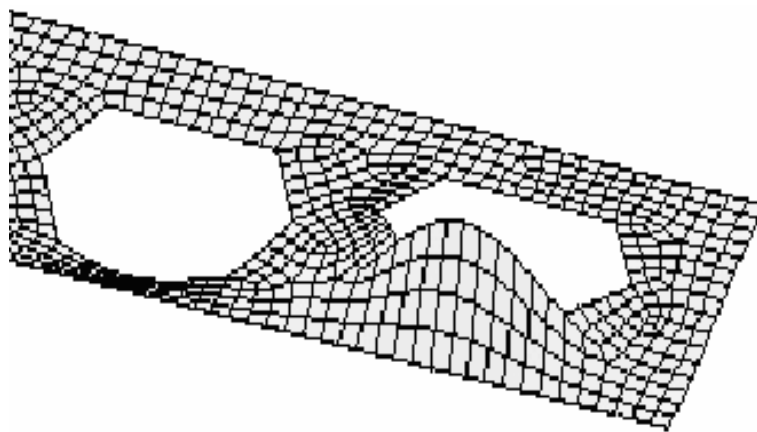


Рис. 3. Форма потери устойчивости балки-стенки над отверстием

в которой коэффициент K изменяется по гиперболическому закону, убывая с возрастанием отношения сторон пластины a/b .

Анализ напряженного состояния балки-стенки в районе шестиугольного отверстия показывает, что при отсутствии смещения распределение напряжений в шарнирно опертой балке-стенке по высоте практически кососимметричное. Максимальный уровень составляет 71,1 МПа.

Смещение отверстий по высоте в сторону сжатых волокон на $0,125H$ приводит к повышению уровня напряжений в зоне сжатия почти в 1,8 раза.

С позиций возможной потери устойчивости смещение отверстий вверх ведет к двум факторам: с одной стороны, к росту напряжений сжатия $\sigma_{сж}$, а с другой — к изменению соотношения сторон расчетного фрагмента балки a/b . При этом длинная сторона фрагмента a остается неизменной, а короткая b — существенно уменьшается. Следствием изменения соотношения сторон опорного контура является снижение в (2) как величины K , так и стороны b . Поскольку K и b^2 изменяются нелинейно, то смещение отверстий может привести как к росту, так и к снижению $\sigma_{кр}$, определяемых зависимостью (2). Чаще всего это ведет к росту $\sigma_{кр}$, и если он превышает увеличение $\sigma_{сж}$, то общая критическая нагрузка балки возрастает, в противном случае величина $P_{кр}$ падает.

В приведенном выше конкретном случае смещение отверстий на $0,125H$ вверх увеличивает $\gamma = a/b$ с $\gamma = 1$ до $\gamma = 2$. При этом коэффициент K в формуле (2) снижается с 1,44 до $0,7^2$. Таким образом, критические напряжения в районе фрагмента балки над вырезом возрастают почти в 2 раза, но поскольку при этом и уровень изгибных напряжений вырос в 1,8 раза, а также произошло их перераспределение по высоте фрагмента, то в итоге величина $P_{кр}$ балки возрастает на 55 %.

Хотя балки-стенки удобны для анализа, основным объектом исследования являются двутавровые перфорированные балки. Сложность их изучения, в основном, заключается в многообразии вариантов, хотя, конечно, возрастает и трудоемкость расчета.

Ниже рассматривается вариант перфорированной балки с правильными шестиугольными отверстиями высотой $0,5H$, полученной из двутавра № 50.

Характер граничных условий при расчете шарнирно опертой балки показан на рис. 4, из которого видно, что вертикальные кромки балки при $x = 0$, $x = l$ и продольные кромки при $z = 0$ и $z = H$ шарнирно закреплены, т.е. не имеют возможности горизонтального смещения в плоскости xOy .

Результаты расчета двутавровых балок под действием распределенной нагрузки показывают, что смещение отверстий по высоте в сторону

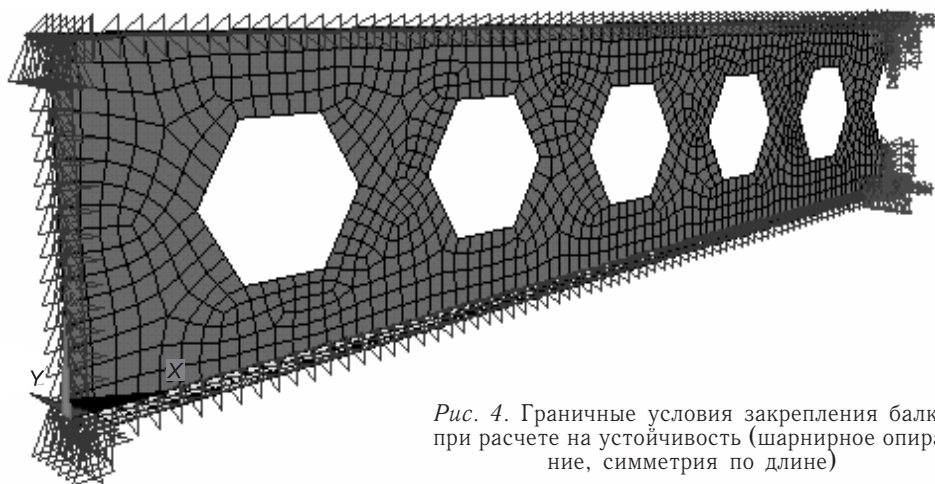


Рис. 4. Граничные условия закрепления балки при расчете на устойчивость (шарнирное опирание, симметрия по длине)

сжатых волокон приводит к эффекту повышения критической нагрузки, а смещение вырезов в сторону растянутых волокон снижает $P_{кр}$.

Наличие отверстий высотой $0,5H$ ведет к снижению устойчивости двутавровой балки почти на 48 %, а смещение их по высоте в сторону сжатых волокон всего на $H/16$ может повысить $P_{кр}$ на 15 %. Тогда устойчивость перфорированного двутавра со смещенными отверстиями составит $0,6 P_{кр}$ двутавра со сплошной стенкой. У двутавровых балок при действии распределенной нагрузки потеря устойчивости стенки происходит не посередине длины, как у балок-стенок, а вблизи опор, т.е. не от изгибных напряжений, а от усилий сдвига.

Из рис. 5 видно, что для шарнирно опертой двутавровой балки с шестиугольными отверстиями величина смещения, приводящая к росту критической нагрузки, будет различной для разных размеров отверстий. Причем если для отверстий высотой $h/H = 0,5$ увеличение критической нагрузки $P_{кр}$ возможно на 15 %, для отверстий с $h/H = 0,6$ — на 8 %, а с $h/H = 0,7$ — на 9 %, то для отверстий с $h/H = 0,8$ смещение по высоте не приводит к повышению устойчивости балки. Следует отметить, что к росту $P_{кр}$ приводит лишь смещение отверстий в сторону расположения сжатых волокон.

Характерно, что с увеличением размеров отверстий величина смещения снижается с $H/16$ ($h/H = 0,5$) до $H/64$ ($h/H = 0,7$). Данные приведены для балок с отношением $L/H = 10$.

В отличие от шарнирно опертых двутавровые балки с жесткой заделкой, также теряющие устойчивость вблизи опор, практически не реагиру-

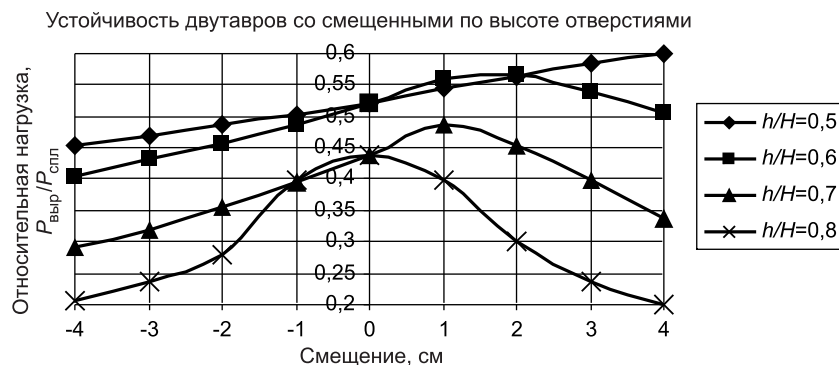


Рис. 5. Критические нагрузки двутавровых балок со смещенными шестиугольными отверстиями (шарнирное опирание, распределенная нагрузка)

ют на смещение отверстий по вертикали. Лишь балки с отверстиями $0,5H$ повышают устойчивость на 4 % при смещении отверстий вниз (в сторону сжатых волокон) на величину $H/16$. Такое увеличение устойчивости практически соответствует погрешности инженерных расчетов и поэтому его вряд ли можно считать значимым.

Выводы. На основании выполненных расчетов двутавровых балок с шестиугольными отверстиями установлено, что смещение оси расположения отверстий в сторону сжатых волокон в ряде случаев повышает критическую нагрузку балки на 8–15 %. Причем с уменьшением площади поясов эффект повышения $P_{кр}$ возрастает.

Таким образом, иногда повысить местную устойчивость балки можно всего лишь за счет конструктивного изменения расположения отверстий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добрачев, В. М. Местная устойчивость стенки-перемычки перфорированной балки с дополнительными прямоугольными вставками [Текст]/В. М. Добрачев, В. Г. Себешев, Е. В. Литвинов//Изв. вузов. Строительство.— 2004.— № 5.— С. 119–122.
2. Добрачев, В. М. Прочность и местная устойчивость стенки-перемычки перфорированной балки [Текст]/В. М. Добрачев, В. Г. Себешев, Е. В. Литвинов//Изв. вузов. Строительство.— 2004.— № 2.— С. 10–16.
3. Литвинов, Е. В. Прочность и устойчивость стенки в линейно перфорированных элементах стальных конструкций с регулярными отверстиями [Текст]: Автореф. ... канд. дис.— Новосибирск: НГАСУ, 2006.— 23 с.
4. Копытов, М. М. Местная устойчивость стенки перфорированного двутавра [Текст]/М. М. Копытов, С. Г. Яшин//Вестник ТГАСУ.— Томск, 2000.— № 1 (2).— С. 152–158.

*ПРИТЫКИН А. И., канд. техн. наук, доц.; E-mail: prit_alex@mail.ru
Калининградский государственный технический университет*

Получено после доработки 09.06.09

Pritykin A. I., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: prit_alex@mail.ru, Kaliningrad State Technical University, Russia

INCREASE OF LOCAL BUCKLING OF PERFORATED BEAMS DUE TO DISPLACEMENT OF AXIS OF HOLES LOCATION

It is considered problems of local stability of perforated beam-walls and I-form beams due to vertical displacement of axis of location of holes. Calculations performed with the finite element method using the program ANSYS showed that displacement of holes to the compressive fibers side can increase critical buckling load compare to it for the central location of holes...

beams, hexagonal holes, I-form beams, finite elements, buckling, displacement of holes.

REFERENCES

1. Dobrachev, V. M. Local buckling of intercostals of perforated beam with additional rectangular insertions [Text]/V. M. Dobrachev, V. G. Sebeshev, E. V. Litvinov//News of Higher Educational Institutions. Construction.— 2004.— N 5.— P. 119–122.
2. Dobrachev, V. M. Resistance and local buckling of intercostals wall of perforated beam [Text]/V. M. Dobrachev, V. G. Sebeshev, E. V. Litvinov//News of Higher Educational Institutions. Construction.— 2004.— N 2.— P. 10–16.
3. Litvinov, E. V. Resistance and buckling of wall in lineally perforated elements of steel structures with regular holes [Text]: Author paper of candidate thesis.— Novosibirsk: NGASU, 2006.— 23 p.
4. Kopytov, M. M. Local buckling of wall of perforated I-form beam [Text]/M. M. Kopytov, S. G. Yaschin//Herald of TGASU.— Tomsk, 2000.— N 1 (2).— P. 152–158.

УДК 539.2.6. + 622.33 + 624.1

В. Я. РУДЯК, А. В. СЕРЯКОВ

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД
ВБЛИЗИ НАКЛОННОЙ ТРАНШЕИ ИЛИ ВЫРАБОТКИ**

Выполнено двумерное моделирование статического напряженного состояния массива в окрестности узкой наклонной выемки, проходящей через сухие и обводненные породы. В зависимости от давления на верхнюю границу, угла наклона траншеи и упругих свойств среды определены область влияния разреза, размеры зон возможных нарушений в массиве, давление жидкости в обводненном слое. Показано, что размер области влияния значительно больше длины выреза, а конфигурация области возмущения не зависит от нагрузки на дневную поверхность. Установлено, что наклонная выработка в пористой водонасыщенной породе создает область высокого порового давления в налегающем пласте и область разрежения в противоположной его части...

поле напряжений, плоское деформированное состояние, наклонный вырез, область влияния, метод конечных элементов, линейная теория пороупругости.

В современном строительстве при заложении фундаментов возникают проблемы, связанные с необходимостью изучения устойчивости бортов узких вертикальных разрезов. Нередко при этом приходится иметь дело с обводненными грунтами, когда выемка породы под фундамент влечет за собой дренирование жидкости из обводненного пласта в каверну и вызывает разрушение стенок траншеи. Имеющее место в последнее время изменение гидрологических режимов в городах, сопровождающееся подъемом грунтовых вод, существенно усиливает актуальность изучения указанной проблемы.

С подобной задачей сталкиваются и при использовании тех или иных технологий добычи полезных ископаемых (например, угля при выработке пласта небольшой мощности). Проходка новых выработок на месторождении приводит к перераспределению напряжений в формации и возникновению крупных трещин между различными породными блоками. В частности, могут образовываться узкие наклонные вертикальные трещины-разрезы. При этом чрезвычайно важно знать область неустойчивости массива в окрестности трещины, поскольку она критична для близко расположенных горных выработок.

Во всех подобных ситуациях сталкиваемся с типичной задачей изучения устойчивости стенок наклонного выреза или траншеи, пересекающей разнородные породы. Целостность подобного слоистого массива с наклонным разрезом напрямую будет зависеть от напряженного состояния формации и распределения давления жидкости в водонасыщенном слое. Изучению возникающих при этом напряжений вокруг образовавшегося разреза и посвящена данная работа. Поскольку разрез, как уже отмечалось, может пересекать водонесущий пласт, то необходимо также определить величину давления жидкости в порах.

1. Постановка задачи. Задача рассматривается в условиях плоского деформированного состояния, при котором вырез имеет бесконечную длину вдоль оси z . Схематически постановка задачи представлена на рис. 1. Здесь P — нагрузка, представляющая собой давление на днев-

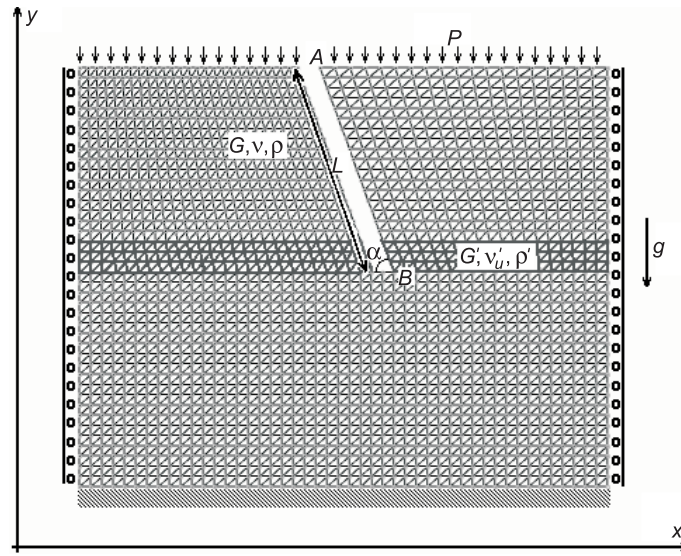


Рис. 1. Конфигурация расчетной области и граничные условия для статической задачи о распределении напряжений и порового давления вокруг наклонного выреза, упирающегося в обводненный пласт

ную поверхность, а именно на поверхность, на которую выходит вырез; L — длина выреза, его ширина равна kL , где k — некоторое число (обычно $k < 1$ или даже $k \ll 1$); границы АВ щели свободны от нагрузок; вырез наклонен под углом α к горизонту, упругие свойства пласта и окружающих пород различны. В данной работе изучается статическое напряженно-деформированное состояние неоднородного массива. Для описания поведения изучаемых горных пород в дальнейшем используется теория упругости, т.е. предполагается, что связь напряжений и деформаций определяется законом Гука. Деформирование водонасыщенных пластов описывается теорией линейной пороупругости [1]. Связь напряжений σ_{ij} и деформаций ϵ_{ij} элемента пористой среды в этом случае устанавливается уравнениями Био

$$\begin{aligned} \epsilon_{xx} &= \frac{1-\nu}{2G} \sigma_{xx} - \frac{\nu}{2G} \sigma_{yy} + \frac{\alpha(1+\nu)}{3K} p, \\ \epsilon_{yy} &= -\frac{\nu}{2G} \sigma_{xx} + \frac{1-\nu}{2G} \sigma_{yy} + \frac{\alpha(1+\nu)}{3K} p, \quad \epsilon_{xy} = \frac{1}{2G} \sigma_{xy}, \end{aligned} \quad (1)$$

где α — коэффициент Био–Уиллиса, K — модуль всестороннего сжатия, p — поровое давление, ν — коэффициент Пуассона.

Отличие уравнений (1) от обычных уравнений линейной теории упругости связано с учетом порового давления, которое существенным образом влияет на характер возникающих в породе деформаций. Связь напряжений в скелете пороупругой среды и порового давления дается уравнением течения жидкости в поровом пространстве [1]

$$\frac{\alpha}{KB} \left[\frac{B}{3} \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial t} \right] - \frac{k}{\mu} \nabla^2 p = 0, \quad (2)$$

где B — коэффициент Скемптона, k — проницаемость среды, μ — коэффициент вязкости жидкости в порах. Поскольку в общем случае могут существовать источники и стоки жидкости, то при изучении статических

деформаций формации уравнения (1), (2) должны решаться совместно с уравнениями равновесия

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = -\rho g, \quad (3)$$

где g — ускорение свободного падения, а ρ — плотность породы.

В статике течение в пористой среде отсутствует, и поровое давление есть функция среднего напряжения [1]

$$p = -\frac{B(1+\nu_u)}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}), \quad (4)$$

где

$$\nu_u = \frac{3\nu + \alpha B(1-2\nu)}{3 - \alpha B(1-2\nu)}$$

так называемый недренированный коэффициент Пуассона для обводненной породы. В этом случае соотношения (1) принимают вид

$$\epsilon_{xx} = \frac{1-\nu_u}{2G}\sigma_{xx} - \frac{\nu_u}{2G}\sigma_{yy}, \quad \epsilon_{yy} = -\frac{\nu_u}{2G}\sigma_{xx} + \frac{1-\nu_u}{2G}\sigma_{yy}, \quad \epsilon_{xy} = \frac{1}{2G}\sigma_{xy}. \quad (5)$$

Таким образом, решение пороупругой задачи в статике сводится к решению задачи теории упругости со специально выбранными параметрами среды. Соответственно, при определении равновесного состояния неоднородного массива можно единым образом вычислять статические напряжения как для сплошных горных пород, так и для водонасыщенных, в предположении отсутствия течения. В результате рассматриваемая статическая задача определения напряженно-деформированного состояния разреза, представленного на рис. 1, в общем случае сводится к решению системы уравнений (3)–(5).

2. Алгоритм метода конечных элементов. В настоящей работе данная плоская статическая задача решалась методом конечных элементов [2]. С этой целью расчетная область разбивалась на треугольные конечные элементы (см. рис. 1), в узлах которых определялись линейные базисные функции

$$\psi_i(x, y) = (a_i + b_i x + c_i y) / 2S,$$

где x, y — координаты точки внутри рассматриваемого элемента,

x_i, y_i — координаты узла i ,

S — площадь треугольного элемента,

$a_i = x_j y_k - x_k y_j$, $b_i = y_j - y_k$, $c_i = x_k - x_j$.

Деформации ϵ_{ij} определяются через перемещения $\mathbf{l} = (l_x, l_y)$ стандартным образом

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial l_i}{\partial x_j} + \frac{\partial l_j}{\partial x_i} \right). \quad (6)$$

Уравнения равновесия в перемещениях получаются после подстановки выражений (5), (6) в уравнения (3) и имеют вид

$$\begin{aligned} \left[\frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_x}{\partial x^2} + \frac{2G\nu}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_y}{\partial x \partial y} \right] + \left[G \frac{\partial^2 l_x}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 l_y}{\partial y \partial x} \right] &= 0, \\ \left[G \frac{\partial^2 l_x}{\partial x \partial y} + G \frac{\partial^2 l_y}{\partial x^2} \right] + \left[\frac{2G\nu}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_x}{\partial y \partial x} + \frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_y}{\partial y^2} \right] &= -\rho g. \end{aligned} \quad (7)$$

Для решения данной системы используется метод взвешенных невязок в интерпретации Галеркина. В силу линейности базисных функций ψ_i решение ищется в виде функционала на них. В результате уравнения (7) сводятся к следующим:

$$\begin{aligned} \iint_D \left[\frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_x}{\partial x^2} + \frac{2G\nu}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_y}{\partial x \partial y} + G \frac{\partial^2 l_x}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 l_y}{\partial y \partial x} \right] \psi_j(x, y) dx dy = 0, \\ \iint_D \left[\frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_y}{\partial y^2} + \frac{2G\nu}{1-2\nu} \frac{\partial^2 l_x}{\partial y \partial x} + G \frac{\partial^2 l_y}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 l_x}{\partial x \partial y} \right] \psi_j(x, y) dx dy = \\ = - \iint_D \rho g \psi_j(x, y) dx dy, \end{aligned}$$

где l_i — искомое решение задачи. Подставляя сюда выражение смещений через базисные функции

$$l_x(x, y) = \sum_{k=1}^N L_{xk} \psi_k(x, y), \quad l_y(x, y) = \sum_{k=1}^N L_{yk} \psi_k(x, y),$$

получаем окончательный вид системы уравнений равновесия. Два j -х уравнения этой системы имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^N L_{xk} \iint_D \left[\frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu} \frac{\partial \psi_k}{\partial x} \frac{\partial \psi_j}{\partial x} + G \frac{\partial \psi_k}{\partial y} \frac{\partial \psi_j}{\partial y} \right] dx dy + \\ + \sum_{k=1}^N L_{yk} \iint_D \left[\frac{2G\nu}{1-2\nu} \frac{\partial \psi_k}{\partial y} \frac{\partial \psi_j}{\partial x} + G \frac{\partial \psi_k}{\partial x} \frac{\partial \psi_j}{\partial y} \right] dx dy = \\ = \oint_{\Gamma} [\sigma_{xx} n_x + \sigma_{xy} n_y] \psi_j d\Gamma; \\ \sum_{k=1}^N L_{xk} \iint_D \left[\frac{2G\nu}{1-2\nu} \frac{\partial \psi_k}{\partial x} \frac{\partial \psi_j}{\partial y} + G \frac{\partial \psi_k}{\partial y} \frac{\partial \psi_j}{\partial x} \right] dx dy + \\ + \sum_{k=1}^N L_{yk} \iint_D \left[\frac{2G(1-\nu)}{1-2\nu} \frac{\partial \psi_k}{\partial y} \frac{\partial \psi_j}{\partial y} + G \frac{\partial \psi_k}{\partial x} \frac{\partial \psi_j}{\partial x} \right] dx dy = \\ = \oint_{\Gamma} [\sigma_{xy} n_x + \sigma_{yy} n_y] \psi_j d\Gamma - \rho g \iint_D \psi_j dx dy. \end{aligned} \quad (8)$$

Полученная система уравнений (8) является системой линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных коэффициентов L_{xk}, L_{yk} . Символически ее можно записать так: $\mathbf{K} \cdot \mathbf{L} = \mathbf{b}$, где \mathbf{L} — вектор указанных неизвестных коэффициентов, а \mathbf{b} — вектор, составленный из правых частей уравнений (8). Входящая сюда матрица жесткости \mathbf{K} имеет ленточную структуру. Можно показать, что матрица \mathbf{K} симметричная и положительно определенная. Поэтому данная система алгебраических уравнений решалась методом сопряженных градиентов.

Стоит отметить, что хотя уравнения (3)–(5) формально записаны для однородной среды, использование для их решения метода конечных элементов позволяет решать задачи изучения напряженно-деформированного состояния и произвольной неоднородной среды. При этом уравнения (3)–(5) решаются отдельно для каждой области, в которой физико-механические свойства среды постоянны, а на общей границе областей ставятся условия жесткого контакта, предполагающие равенство компонентов вектора перемещений.

На основе описанного алгоритма разработан пакет программ для определения напряженного состояния формации с разрезом. Пакет включает в себя генератор сетки в расчетной области и решатель. Он тестировался на решении ряда задач сжатия стержней и задаче о напряженно-деформированном состоянии нагруженного выреза в упругом пространстве, имеющей аналитическое решение [3].

3. Напряженно-деформированное состояние массива вблизи плоского разреза. Для установления закономерностей деформирования массива и определения величин возникающих напряжений вблизи разреза были проведены расчеты напряженного состояния формации, в которых варьировались угол наклона щели и давление на дневную поверхность. Расчеты проводились в безразмерных переменных, за единицу длины выбрана длина разреза $L = 30$ м, его ширина равнялась 0,5 м, единица давления составляла 1 МПа. В качестве обводненной породы рассматривался песчаник с параметрами: $G = 6,0 \cdot 10^9$ Па, $\nu_u = 0,33$, $B = 0,62$, $\rho = 2300$ кг/м³ [1], окружающие породы — сланец: $G = 8,77 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,14$, $\rho = 2600$ кг/м³. Высота слоя песчаника равнялась 5 м.

Важнейший параметр, характеризующий напряженно-деформированное состояние формации с разрезом, — область влияния появляющихся деформаций, которая определялась по отклонению напряжений в формации с выработкой от напряженного состояния сплошного массива. При обработке данных контуры области влияния очерчивались по величинам напряжений σ_{xx} , σ_{xy} , σ_{yy} с условием, что разница с напряженным состоянием сплошного массива не превышает 10 % по формуле

$$\Delta\sigma_{ij} = |\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^0| / |\sigma_{ij}^0|$$

Здесь σ_{ij}^0 — напряжения в формации без выреза, при той же нагрузке на дневную поверхность P .

При наличии разреза, расположенного под некоторым углом к горизонту, область влияния, построенная при заданной нагрузке P по напряжению σ_{xx} , существенно больше соответствующих областей, построенных по σ_{xy} и σ_{yy} (рис. 2). Действительно, основной вклад в возмущение поля напряжений σ_{xx} , σ_{yy} будет давать особенность у подошвы разреза. При этом амплитуда напряжений уменьшается по мере отдаления на расстояние r от подошвы пропорционально $1/\sqrt{2\pi r}$ [4], т.е. область влияния ограничена. С другой стороны, при заданном нагружении P в формации без разреза $\sigma_{xx}^0 = -\nu P / (1 - \nu)$. Для сланца, например, $\sigma_{xx}^0 = 0,16P$. Про-

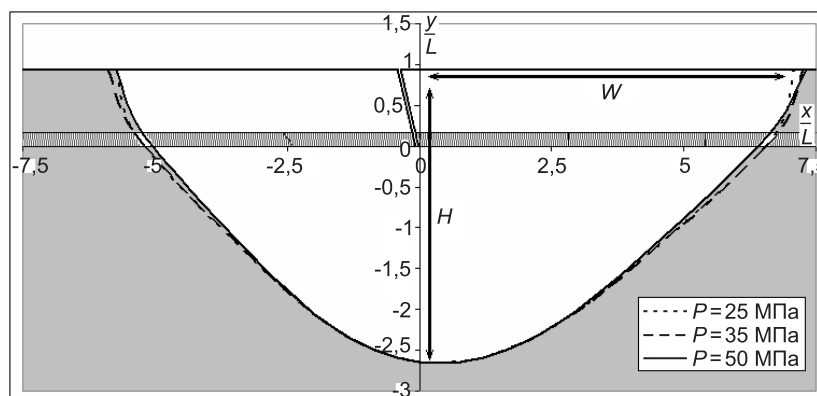


Рис. 2. Контуры области влияния для разреза, наклоненного под углом 70° к горизонту при давлении P на дневную поверхность, равном 25, 35 и 50 МПа.

W , H — максимальная ширина и глубина области влияния

стые оценки показывают, что продольные напряжения в абсолютно твердом массиве с разрезом определяются соотношением $\sigma_{xx} = P \operatorname{ctg} \alpha$. Тогда даже для угла $\alpha = 70^\circ$ ($\sigma_{xx} = 0,36P$) продольные напряжения у верхней границы разреза в два раза больше напряжений нетронутого массива. В то же время σ_{yy} всегда порядка σ_{yy}^0 . Безусловно, поскольку рассматривается упругий массив, то амплитуда напряжений будет меньше, чем в абсолютно твердой среде, однако качественно характер влияния тех и других напряжений останется тем же.

Очевидно, что область влияния будет зависеть от величины нагрузки и от угла наклона выреза. Что касается зависимости от нагрузки, то исходя из приведенных оценок следует, что напряжения σ_{xx} должны линейно зависеть от величины P . Действительно, если фоновые значения напряжения имеют вид $\sigma_{xx}^0 = -\nu P / (1 - \nu)$, то при $\sigma_{xx} = -f_1(x, y)P$ отклонения $\Delta\sigma_{xx}$ в плоскости Oxy будут одинаковы при различных P . Данный вывод подтверждается результатами расчетов, приведенных на рис. 2, — контуры, ограничивающие область возмущения, для трех характерных значений давления на поверхности практически совпадают. Ситуация с напряжениями σ_{xy} и σ_{yy} аналогична, они также линейно зависят от давления на верхнюю границу.

Еще один важный вывод, который можно сделать на основе расчетных данных, — это то, что ширина W и глубина H области влияния порядка нескольких длин L . Таким образом, при проектировании фундаментов зданий следует учитывать, что любая наклонная траншея или цепь наклонных скважин изменяют напряженное состояние в упругом массиве на расстоянии, существенно превышающем длину разреза.

Следующим параметром, от которого будет зависеть область влияния, является угол наклона выработки α . Для того чтобы изучить изменение напряженного состояния массива с наклонной выработкой при уменьшении угла наклона к горизонту, были проведены расчеты с $\alpha = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ и 90° , давление на дневную поверхность при этом оставалось постоянным. В результате установлено, что область влияния симметрична, если выработка вертикальна. Затем, по мере уменьшения угла наклона разреза к горизонту, симметрия нарушается, а размеры области влияния, а именно продольный максимальный размер и глубина воздействия увеличиваются практически линейно при убывании угла наклона. Так, глубина H возрастает от значения $1,7L$ до $4,1L$, ширина W возрастает от $5,3L$ до $7,9L$ при уменьшении угла наклона α с 90 до 30° .

В качестве характерных особенностей напряженного состояния массива с наклонным вырезом следует отметить формирование областей растягивающих продольных напряжений σ_{xx} , показанных на рис. 3, а. Поскольку прочность горной породы на растяжение на порядок меньше, чем прочность на сжатие, в таких областях возможно разрушение массива и вывалы в разрез. Зоны растягивающих напряжений σ_{xx} распространяются и в водонасыщенный пласт, существенно изменяя гидрологический режим.

Для распределения напряжений σ_{yy} также характерно образование области растягивающих напряжений (см. рис. 3, б), которая примыкает к левой границе выреза. Размеры области, ее длина и ширина монотонно увеличиваются с уменьшением угла наклона выреза. Длина выреза $L = 30$ м, толщина пороупругого пласта $h = 5$ м, угол наклона выреза к горизонту $\alpha = 30^\circ$, давление на верхнюю границу $P = 50$ МПа. На рис. 3 обозначены линии уровня растягивающих и сжимающих напряжений, а также области, где напряжения достигают экстремальных значений.

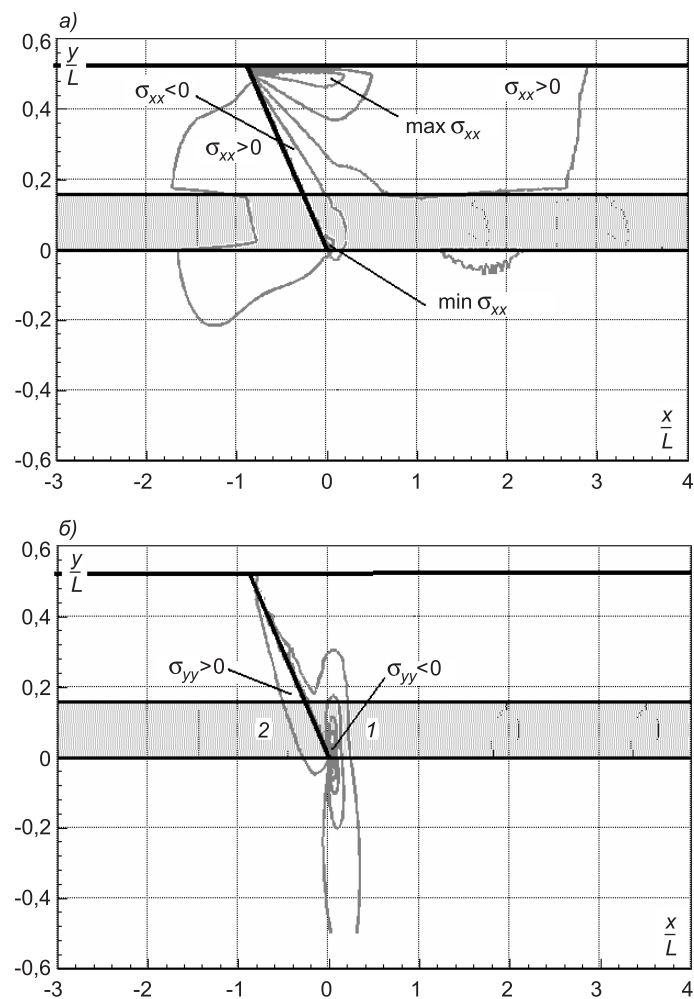


Рис. 3. Изолинии напряжений σ_{xx} (а) и σ_{yy} (б) (МПа) в массиве с наклонным вырезом, упирающимся в обводненный пласт. 1, 2 — части пласта по сторонам разреза («налегающий» и «лежащий»)

Поскольку наряду с упругими породами разрез может пересекать обводненный пороупругий пласт, то часть нагрузки на этот слой берет на себя давление воды в порах p_w . В статике оно является функцией среднего напряжения, и в связи с этим значения p_w в недренированном пласте вблизи разреза будут определяться особенностью в вершине разреза. Здесь справа и слева от разреза образуется большой градиент давления, причем справа от разреза (см. рис. 1) давление повышается, а слева — понижается. При этом уровень увеличения (уменьшения) давления существенно зависит от угла наклона. Так, например, при $\alpha = 30^\circ$ поровое давление увеличивается в шесть раз.

Выводы. 1. На основе метода конечных элементов разработан алгоритм и пакет программ для моделирования напряженно-деформированного состояния массива с двумерным разрезом. Массив предполагается неоднородным и может содержать водонасыщенные пласты.

2. Максимальная устойчивость разреза достигается при его вертикальном положении. При уменьшении угла наклона разреза к горизонту увеличиваются зоны растягивающих напряжений, что создает предпосылки вывалов из стенок выработки. Концентрация сжимающих напряжений в основании выработки вызывает разрушение в нижележащей породе.

3. Наклонная выработка в пористой водонасыщенной породе создает область высокого порового давления в налегающем пласте и область разрежения в противоположной его части.

4. Размеры области влияния наклонной щели в несколько раз превышают длину разреза, при этом наибольшее возмущение получают напряжения, ориентированные параллельно земной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wang, H. F. Theory of linear poroelasticity with application to geomechanics and hydrogeology [Текст].— Princeton: Princeton University Press, 2000.— 287 с.
2. Zienkiewicz, O. C. The Finite Element Method [Текст]/O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor.— Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.— 707 с.
3. Рудяк, В. Я. Напряженное состояние массива с наклонной выработкой [Текст]/В. Я. Рудяк, А. В. Серяков//Материалы Всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы строительной отрасли».— Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008.— С. 85–86.
4. Матвиенко, Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения [Текст]/Ю. Г. Матвиенко.— М.: Физматлит, 2006.— 328 с.

РУДЯК В. Я., д-р физ.-мат. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Российский научный центр Бейкер Хьюз, г. Новосибирск

СЕРЯКОВ А. В., канд. техн. наук, науч. сотр.

Российский научный центр Бейкер Хьюз, г. Новосибирск

Получено 25.05.09

Rudyak V. Ya., doctor of physical and mathematical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), BARSC, Baker Hughes, Novosibirsk, Russia

Seryakov A. V., candidate of technical sciences, research scientist, BARSC, Baker Hughes, Novosibirsk, Russia

STRESSED STATE OF ROCK NEXT TO A TILTED DITCH OR PIT

The present paper contains results of two-dimensional modeling of the static stress state in elastic and poroelastic media next to a tilted ditch or mining pit. The influence zone of the cut, the dimension of possible destruction areas and static pore pressure in undrained layer have been determined depending on upper boundary pressure, slope angle of the slit and media properties. It has been shown that the influence zone size appears to exceed the size of slit by several times and moreover, the configuration of influence area doesn't depend on the upper boundary pressure. It has been determined that the tilted pit cut through water saturated porous formation tends to induce a high pore pressure zone in the hanging undrained layer and a low pore pressure zone in the underlying water-saturated layer...

stress field, plain strain, inclined slit, influence area, finite element method, theory of the linear poroelasticity.

REFERENCES

1. Wang, H. F. Theory of linear poroelasticity with application to geomechanics and hydrogeology [Text].— Princeton: Princeton University Press, 2000.— 287 p.
2. Zienkiewicz, O. C. The Finite Element Method [Text]/O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor.— Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.— 707 p.
3. Rudyak, V. Ya. The stressed state of the rock formation with the inclined mining pit [Text]/V. Ya. Rudyak, A. V. Seryakov//Proceedings of the All-Russia Scientific Conference: Relevant Problems of Civil Engineering.— Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architectural and Civil Engineering Press, 2008.— P. 85–86.

4. Matvienko, Yu. G. Models and criteria of fracture mechanics [Text]/Yu. G. Matvienko.— М.: Fizmatlit, 2006.— 328 p.



ПАМЯТИ УЧЕНОГО И ПЕДАГОГА

29 июня 2009 г. ушел из жизни Геннадий Николаевич Шоршнев — крупный ученый, педагог, общественный деятель, один из основателей современного направления развития отечественной высшей строительной школы, заслуженный деятель науки и техники, советник РААСН, член Петровской академии наук и искусств, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.

сударственного архитектурно-строительного университета.

Вся трудовая деятельность Г. Н. Шоршнева была связана с СПбГАСУ, где он прошел путь от старшего лаборанта до заведующего кафедрой и ректора.

Г. Н. Шоршнев окончил Ленинградский инженерно-строительный институт по специальности «Строительные и дорожные машины и оборудование» (1959), после чего работал в ЦКБ «Оргтехстрой», а уже с 1961 г. на кафедре железобетонных и каменных конструкций ЛИСИ, которую в 1974 г. возглавил после смерти своего наставника и учителя Николая Яковлевича Панарина и руководил ею до последних дней жизни.

В 1966 г. Геннадий Николаевич защитил кандидатскую диссертацию, в 1979 г. — докторскую.

Профессор Г. Н. Шоршнев большую известность получил как специалист в области исследований и разработок конструкций и методов расчета башен-градирен, корпусов высокого давления для ядерных реакторов, аккумуляторов тепла, автоклавов для строительных и специальных технологий. Им разработана и научно обоснована новая концепция создания высоконапорных крупногабаритных емкостей под высокие давления. Радиационные, температурные и другие воздействия, характеризующиеся исключительной надежностью, технологичностью и экономичностью, не имеют аналогов в мире. В основу этих разработок положена новая разновидность железобетона — дисперсно-армированный бетон с высоким содержанием арматуры малых диаметров, получивший название тяжелый армоцемент. Опубликовано более ста научных трудов Г. Н. Шоршнева: монографии, статьи, доклады на крупных научных форумах, в том числе в Англии, Бельгии, Болгарии, Польше, Словакии, Чехии, ФРГ и других

странах. Геннадий Николаевич — автор многих изобретений и патентов. Он написал многократно переиздававшееся учебное пособие «Проектирование одноэтажных промышленных зданий с крановыми нагрузками», по которому учились несколько поколений инженеров-строителей. Был редактором межвузовского тематического сборника трудов «Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций», в котором сотни молодых ученых со всех регионов страны опубликовали свои первые научные статьи. На протяжении многих лет Геннадий Николаевич входил в состав редакционной коллегии нашего журнала.

С 1985 по 1990 г. Г. Н. Шоршнев — ректор университета. Это было очень не простое время для высшей школы. Геннадию Николаевичу удалось не только сохранить научный и педагогический потенциал вуза, но и существенно его преумножить. Многие годы он возглавлял комиссию совета ректоров Санкт-Петербурга, активно работал в совете ректоров строительных вузов страны.

Много сил и энергии Г. Н. Шоршнев, находясь на всех постах, отдавал повышению уровня инженерной и фундаментальной подготовки студентов, аспирантов и докторантов. Под его научным руководством 15 аспирантов защитили кандидатскую диссертацию, а два его сотрудника стали докторами технических наук. Более 20 лет являлся председателем диссертационного совета Д 212.223.03 по специальностям «Строительные конструкции, здания и сооружения» и «Строительная механика».

Заслуженный деятель науки и техники, почетный работник высшего профессионального образования Геннадий Николаевич Шоршнев награжден многими наградами, в том числе орденом «Знак Почета», медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

Память о Геннадии Николаевиче сохранится в сердцах его учеников, последователей, коллег и знакомых.

**Член редакционной коллегии журнала «Известия вузов. Строительство»,
проректор по научной и инновационной работе СПбГАСУ,
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники,
д-р техн. наук, профессор В. И. МОРОЗОВ**