

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 3 (627)
Март 2011 г.

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

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 07.04.11. Формат 70×108 1/16.
Усл. печ. л. 11,2+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 200.

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Мищенко А.В., Немировский Ю.В. Несущая способность слоистых стержней и рам при многоPARAMETRICHESKOM dinamicheskem воздействии (Сообщение 1) 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Логинова Е.В., Селиванов В.М. Теплоизоляционная керамика на основе малоэнергоемкого процесса вспенивания масс 12

Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций 20

Юндин А.Н., Кучуев Е.В. О взаимодействии некоторых пенообразователей с насыщенным раствором гидроксида кальция 24

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Толочная Е.Б. Обоснование физической и разработка математической моделью динамики температурного

и прочностного полей в бетоне при зимнем бетонировании конструктивных элементов сборно-монолитных каркасов зданий	29
Калугин Ю.Б. Прогнозирование сроков реализации проекта с помощью модели квазипараллельных работ	45
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Бомкин С.В., Сухно А.М. Классификация механизмов развития нештатных ситуаций на грунтовых гидротехнических сооружениях в криолитозоне	52
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Осесимметрическая турбулентная струя в тупике	64
Бодров М.В. Системы круглогодичной естественной вентиляции неотапливаемых животноводческих помещений	71
Уляшева В.М. Приближенное и численное моделирование тепловоздушных процессов в помещениях с источниками тепловыделения	76
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Сонг Ен Ун, Карапулов А.М. Расчет безопасного режима возведения дорожной насыпи на консолидирующемся основании	82
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Важенин С.В., Зверева А.С., Чичканов Р.В. Физико-математическая модель пневмоударного механизма с управлением впуском воздуха в камеры рабочего и холостого хода	88
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Кетова Е.В. Основные принципы, механизмы и закономерности эволюции исторических городов Сибири (конец XVI — начало XX столетия)	98
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Кользееев А.А. Сравнительная оценка коэффициентов продольного изгиба сжатых стальных стержней из труб	105
Алешков Д.А., Кривошеин А.Д. Оценка звукоизоляции светопрозрачных конструкций с учетом приточных вентиляционных устройств	111
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Украинченко Д.А., Жаданов В.И. Особенности напряженно-деформированного состояния изгибаемых панелей с kleedoштатой обшивкой	116
ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО	
Косач А.Ф., Берёзкина Ю.В., Гутарева Н.А., Ванькова М.Н. Технологические особенности применения интенсивной раздельной технологии керамзитобетона на комбинате строительных конструкций	124

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.943

А.В. МИЩЕНКО, Ю.В. НЕМИРОВСКИЙ

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СЛОИСТЫХ СТЕРЖНЕЙ И РАМ ПРИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ*

Сообщение 1**

Для слоистых линейно-деформируемых плоских рам рассмотрены постановки обратных задач, связанных с нахождением предельных амплитуд нагрузок при многовариантном воздействии. Решения выполнены на основе ограничений по прочности и жесткости.

Ключевые слова: слоистая рама, динамические нагрузки, многопараметрическое нагружение, предельная нагрузка.

Обратные задачи динамики инженерных сооружений характеризуются значительной трудоемкостью. Одной из главных причин, усложняющих их решение, является зависимость параметров напряженно-деформированного состояния от времени и, как следствие, необходимость при выявлении предельных состояний, наряду с установлением опасных точек по пространству конструкции, находить критические моменты времени. Само понятие предельного состояния конструкции при динамическом воздействии требует уточнения и развития, так как в научной литературе по данному направлению пока не выработаны однозначные ясные подходы и постановки. Указанные аспекты относятся и к однородным конструкциям при однопараметрическом нагружении и в еще большей мере — к неоднородным в случае многопараметрического нагружения.

В первом сообщении данной статьи для линейно-деформируемых слоисто-неоднородных плоских рам при многопараметрическом нагружении рассматриваются постановки обратных задач, связанных с установлением предельных амплитуд нагрузок по критериям прочности и жесткости; обсуждаются особенности предельных поверхностей в пространстве параметров нагрузок, во втором — численное исследование предельных по прочности и жесткости состояний слоистого стержня.

В местной системе координат xuz , связанной с s -слойным стержневым элементом плоской системы рамного типа, ось x совмещена с продольной геометрической осью стержня, а y расположена в плоскости изгиба, являющейся одновременно и плоскостью симметрии стержня. Однородный материал k -го слоя ($k = 1, \dots, s$) характеризуется объемной плотностью ρ_k , модулем упругости E_k , коэффициентом вязкости η_k .

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

** Сообщение 2 будет опубликовано в № 4, 2011 г.

В нормальном к оси x сечении слои имеют переменные поперечные размеры: ширину $b_k(x, y)$ и высоту $h_k(x)$.

Основные соотношения построим на основе гипотез Бернулли — Эйлера и закона вязкоупругого деформирования. В момент времени t для перемещений точек оси u, v , углов поворота θ , деформаций $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ и сдвигов γ_{yx} запишем

$$\begin{aligned}\varepsilon_x(x, y, t) &= \varepsilon_0(x, t) - \kappa(x, t) \cdot y, \quad \varepsilon_y(x, y, t) = 0, \quad \gamma_{yx}(x, y, t) = 0, \\ \varepsilon_0(x, t) &= u'(x, t), \quad \kappa(x, t) = \theta'(x, t), \quad \theta(x, t) = v'(x, t);\end{aligned}\quad (1)$$

$$\sigma_x^{(k)}(x, y, t) = E_k \varepsilon_x(x, y, t) + \eta_k E_k \varepsilon_x(x, y, t), \quad (2)$$

где ε_0, κ — деформация и кривизна оси стержня; штрихом обозначено дифференцирование по координате x , а точкой — по времени.

Уравнения движения стержня при воздействии динамических нагрузок $q_x(x, t), q_y(x, t), m_z(x, t)$ с учетом гипотез (1) принимают вид

$$\begin{cases} N' + q_x = m_A \ddot{u} - m_S \dot{\theta}, \\ Q' - q_y = -m_A \ddot{v}, \\ M' - Q - m_z = m_I \ddot{\theta} - m_S \ddot{u}, \end{cases} \quad (3)$$

а физические соотношения, записанные на основе (2),

$$\begin{cases} D_A \varepsilon_0 - D_S \kappa + V_A \dot{\varepsilon}_0 - V_S \dot{\kappa} = N, \\ -D_S \varepsilon_0 + D_I \kappa - V_S \dot{\varepsilon}_0 + V_I \dot{\kappa} = M. \end{cases} \quad (4)$$

В (3), (4) применены обобщенные массовые $m_\Omega(x)$, жесткостные $D_\Omega(x)$ и вязкостные $V_\Omega(x)$ характеристики слоистого стержня:

$$\begin{aligned}[m_\Omega, D_\Omega, V_\Omega](x) &= \sum_{k=1}^s [\rho_k, E_k, \eta_k E_k] \Omega_k(x), \quad \Omega \in [A, S, I], \\ [A_k, S_k, I_k](x) &= \int_{y_k(x)}^{y_{k+1}(x)} [1, y, y^2] b_k(x, y) dy.\end{aligned}\quad (5)$$

Объединив (3), (4), получим систему двух дифференциальных уравнений относительно искомых перемещений [1]:

$$\begin{cases} (D_A u' - D_S v'' + V_A \dot{u}' - V_S \dot{v}'')' - m_A \ddot{u} + m_S \ddot{v}' = -q_x(x, t), \\ (D_I v'' - D_S u' + V_I \dot{v}'' - V_S \dot{u}'')'' + m_A \ddot{v} - (m_I \ddot{v}' - m_S \ddot{u}'')' = m_z(x, t) + q_y(x, t) \end{cases} \quad (6)$$

при удовлетворении соответствующих начальных и граничных условий.

Разрешающее матричное уравнение для плоской рамной системы, составленной из слоистых стержней, имеет вид [2]

$$\mathbf{M}_W \ddot{\mathbf{W}}(t) + \mathbf{R}_V \dot{\mathbf{W}}(t) + \mathbf{R}_W \mathbf{W}(t) = \mathbf{F}(t), \quad (7)$$

где \mathbf{W}, \mathbf{F} — векторы обобщенных узловых перемещений и динамических нагрузок;

$\mathbf{M}_W, \mathbf{R}_V, \mathbf{R}_W$ — матрицы обобщенных масс, демпфирования и жесткости рамной системы с компонентами, интегрально зависящими от характеристик $m_\Omega(x), V_\Omega(x), D_\Omega(x)$ ($\Omega \in [A, S, I]$) (5) соответственно [2].

Пусть рама испытывает воздействие n_F вариантов систем динамических нагрузок $\mathbf{F}_j(t)$ ($j = 1, \dots, n_F$). Введя в каждом из них управляющий параметр p_j , имеющий размерность силы, представим вектор суммарного воздействия в форме

$$\mathbf{F}(t) = \sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\mathbf{F}}_j(t). \quad (8)$$

Пространство параметров нагрузок обозначим через $P = [p_1, \dots, p_{n_F}]$. Сформулируем следующую задачу. Для заданной рамы с многослойными стержнями переменного сечения, испытывающей воздействие многопараметрической системы динамических нагрузок (8), требуется с использованием заданных критериев (прочности или жесткости) получить ограничения на параметры P в области положительных и отрицательных значений.

В силу линейности разрешающих соотношений (7) вектор узловых перемещений в раме аналогично (8) представим в виде

$$\mathbf{W}(t) = \sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\mathbf{W}}_j(t), \quad (9)$$

где $\bar{\mathbf{W}}_j(t)$ — вектор узловых перемещений от воздействия j -го варианта нагрузок при $p_j = 1$, получаемый из (7) подстановкой в правую часть вектора $\bar{\mathbf{F}}_j(t)$.

Построение решения $\bar{\mathbf{W}}_j(t)$ может быть выполнено каким-либо подходящим способом. Универсальным и пригодным во многих случаях является способ, основанный на разложении динамических нагрузок и искоемых перемещений в тригонометрические ряды [1, 2].

В формулах (8), (9) и далее величины с верхним начерком обозначают *формы* соответствующих векторов и функций, полученных при амплитуде нагрузки $p_j = 1$.

После нахождения векторов формы обобщенных перемещений $\bar{\mathbf{W}}_j(t)$ выполняется переход к локальным базисам стержней с выявлением для них функций формы перемещений, деформаций, соответствующих скоростей и напряжений:

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{W}}_j(t) &\rightarrow \begin{bmatrix} \bar{u}_j(x, t) \\ \bar{v}_j(x, t) \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \dot{\bar{u}}_j(x, t) \\ \dot{\bar{v}}_j(x, t) \end{bmatrix} \rightarrow \bar{\varepsilon}_j(x, y, t) \rightarrow \\ &\rightarrow \dot{\bar{\varepsilon}}_j(x, y, t) \rightarrow \bar{\sigma}_j(x, y, t). \end{aligned} \quad (10)$$

В результате для функций напряженно-деформированного состояния имеем разложения

$$\delta = \sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\delta}_j, \quad \delta \in [u, v, \dot{u}, \dot{v}](x, t) \cup [\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \sigma](x, y, t). \quad (11)$$

В случае расчета отдельного стержня функции формы перемещений \bar{u} , \bar{v} получаются решением системы (6).

Рассмотрим решение задачи на основе условия прочности слоистого динамически нагруженного стержня

$$|\sigma^{(k)}(x, y, t)| \leq \mu_k R_k^\pm, \quad (12)$$

$$k = 1, \dots, s, \quad x \in [0, l], \quad y \in [y_1(x), y_{s+1}(x)], \quad t \in [0, T],$$

где R_k^\pm — расчетное сопротивление материала k -го слоя при растяжении и сжатии;

$0 < \mu_k(\sigma, \tau) \leq 1$ — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние на прочность касательных напряжений.

В случае длинных стержней, как это принято далее, с достаточной степенью точности может быть принято $\mu_k = 1$. В противном случае решение выполняется при поэтапном уточнении правой части (12).

Критерий прочности рамы, содержащей n_L слоистых стержней, формируется из n_L ограничений (12), записанных для каждого стержня. С учетом функций формы напряжений $\bar{\sigma}_{ij}(x, y, t)$ (10) (где i — номер стержня, а j — варианта нагрузок) данный критерий принимает вид

$$\left| \sigma_i^{(k)} \right| = \left| \sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\sigma}_{ij}^{(k)}(x_i, y_i, t) \right| \leq R_k^{\pm}, \quad (13)$$

$$i = 1, \dots, n_L, \quad k = 1, \dots, s_i, \quad x_i \in [0, l_i], \quad y_i \in [y_{i1}(x_i), y_{is_i+1}(x_i)], \quad t \in [0, T].$$

В соответствии с условием (13) введем понятие предельного по прочности динамического состояния рамы.

Определение 1. В раме, находящейся в предельном по прочности состоянии, значения параметров нагрузок $P_* = [p_1^*, \dots, p_{n_F}^*]$ таковы, что в критический момент времени $t_*(P)$ в некоторой наиболее опасной точке рамы $x_*(P), y_*(P)$, расположенной на границе внутренних или наружных слоев в наиболее нагруженном стержне $i_*(P)$, условие (13) обращается в строгое равенство.

В предельном состоянии переменные x_*, y_*, t_* при определенном сочетании параметров p_1, \dots, p_{n_F} доставляют функции относительных напряжений наибольшее абсолютное значение

$$\left| s^{(k)}(x_*, y_*, t_*, p_1, \dots, p_{n_F}) \right| = \max_{i, x_i, y_i, t} \left| \sigma_i^{(k)}(x_i, y_i, t, p_1, \dots, p_{n_F}) / R_k^{\pm} \right|. \quad (14)$$

Условие максимума (14) может быть реализовано как внутри области изменения переменных x, y, t , так и выходить на границы. Для всех иных точек пространства слоистой рамы $x \neq x_*, y \neq y_*$ в момент времени t_* и для всех точек в иные моменты времени $t \neq t_*$ условие (13) выполняется со знаком строгого неравенства.

Множество значений параметров P_* в пространстве P образует предельную поверхность, ограничивающую область допустимых по прочности состояний рамы. В силу неоднородности напряженного состояния рамы в каждой точке этой поверхности критерий (13) выполняется в форме одноточечного равенства. В частных случаях схем нагружения при наличии симметрии структуры стержней критерий (13) может становиться многоточечным равенством.

В слоисто-неоднородных конструкциях анализ прочности удобнее выполнять через деформации. С этой целью, учитывая (2), (13), представим условие предельного состояния в виде

$$\left| \varepsilon_i \right| = \left| \sum_{j=1}^{n_F} p_j^* [\tilde{\varepsilon}_{0,ij}^{(k)}(x_*, t_*) - \tilde{\kappa}_{ij}^{(k)}(x_*, t_*) y_*] \right| = \varepsilon_{k,adm}^{\pm}; \quad (15)$$

$$\tilde{\varepsilon}_{0,ij}^{(k)}(x, t) = \bar{\varepsilon}_{0,ij}(x, t) + \eta_k \dot{\bar{\varepsilon}}_{0,ij}(x, t), \quad \tilde{\kappa}_{ij}^{(k)}(x, t) = \bar{\kappa}_{ij}(x, t) + \eta_k \dot{\bar{\kappa}}_{ij}(x, t), \quad (16)$$

где $\varepsilon_{k,adm}^{\pm} = R_k^{\pm} / E_k$ — предельные механические деформации материала k -го слоя при растяжении и сжатии, в котором расположена опасная точка; $\tilde{\varepsilon}_0^{(k)}, \tilde{\kappa}^{(k)}$ — эквивалентные формы деформации и кривизны, обеспечивающие в заданной точке k -го слоя при упругом деформировании такие же формы напряжения, как и при вязкоупругом.

При расчете рамы без учета вязкости материалов эквивалентные величины (16) становятся равными соответствующим функциям формы деформации $\bar{\varepsilon}_0$ и кривизны $\bar{\kappa}$.

Представим предельную поверхность (15) в пространстве P в квазилинейной форме

$$\Psi(P_*) = c_0 + \sum_{j=1}^{n_F} p_j^* c_j = 0 \quad (17)$$

с переменными коэффициентами $c_j(x_*, y_*, t_*)$ — формами деформаций $\bar{\varepsilon}$, которые через координаты $x_*(P)$, $y_*(P)$ и время $t_*(P)$ зависят от отношений параметров нагрузок. Отметим следующие особенности поверхности (17).

1. При решении задачи в статической постановке коэффициенты $c_j(x_*, y_*)$ стационарны и определяются лишь координатами опасной точки в раме. В случае дискретного их изменения поверхность (17) принимает форму гипермногогранника (с плоскими гранями и прямыми ребрами), что характерно при загружении рамы сосредоточенными нагрузками. Для отдельной грани поверхность (17) в этом случае может быть представлена в виде

$$\sum_{j=1}^{n_F} \frac{p_j^*}{p_{j,u}^{(\xi)}} = 1. \quad (18)$$

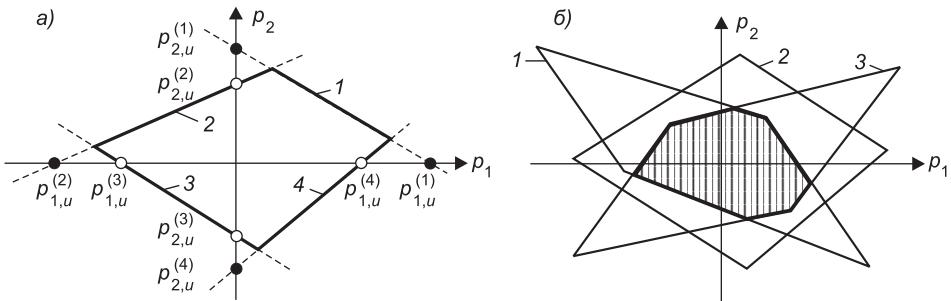
Здесь все частные предельные значения параметров $p_{j,u}^{(\xi)}$ (со знаком) рассчитываются для однопараметрических нагружений при задании координат опасной точки x_ξ , y_ξ , реализуемой на данной грани:

$$p_{j,u}^{(\xi)} = \frac{\pm \varepsilon_{k,adm}^\pm}{\tilde{\varepsilon}_{0,i=j}^{(k)}(x_\xi) - \tilde{\kappa}_{i=j}^{(k)}(x_\xi) y_\xi}, \quad j=1, \dots, n_F. \quad (19)$$

Смена точки происходит на прямых ребрах многогранника.

Число граней и угловых точек предельной линии зависит от параметров слоистой структуры многослойного стержня. Так, в однородном стержне при двухпараметрическом нагружении получим четырехугольник (см. рисунок *a*). Предельные значения $p_{j,u}^{(\xi)}$ ($j=1, 2; \xi=1, 2, 3, 4$) при его построении определены по формуле (19). В стержне, составленном из s слоев, допустимая область получается в результате пересечения s таких четырехугольников (на рисунке *b* показана схема для трехслойного стержня).

При непрерывном изменении координаты x_* (возможно в случае приложения распределенных нагрузок) грани представляют собой выпуклые поверхности, а ребра — пространственные кривые линии.



Предельные линии для двухпараметрического статического нагружения при дискретном смещении опасной точки в однородном (*a*) и трехслойном (*b*) стержне

У произвольно загруженной рамы часть граней предельной поверхности может быть плоскими, а другая — криволинейными и соответственно ребра — прямыми и кривыми линиями.

В статике допустимая область состояний рамы может быть получена как пересечение допустимых областей, построенных для каждого слоистого стержня рамы с выявленными для него опасными сечениями: неподвижными либо дискретно или непрерывно смещающимся при изменении отношений параметров p_1, \dots, p_{n_F} .

2. Существенное усложнение задач динамики обусловлено наличием в функции $\bar{\sigma}(x, y, t)$ трех переменных, зависящих от параметров p_1, \dots, p_{n_F} , что в общем случае предопределяет криволинейность предельной поверхности (17). Выражение (18) в этом случае (при добавлении функциональности отрезков (19) от времени t_*) представляет собой уравнение касательной плоскости к предельной поверхности в точке p_1, \dots, p_{n_F} . Если в некоторой области изменения параметров p_1, \dots, p_{n_F} отрезки $p_{j,u}^*(\varepsilon_{k,adm}^\pm, x_*, y_*, t_*)$ (19) постоянны, то получим плоскую грань предельной поверхности, а при непрерывном их изменении — поверхность произвольной формы. Ребру предельной поверхности соответствует разрыв в значениях отрезков (19). Это происходит при дискретном смещении опасной точки в направлении оси y (разрыв функции y_*) либо изменении предельной деформации $\pm\varepsilon_{k,adm}^\pm$ (переход точки в другой слой или изменение знака деформации). В силу непрерывности функций $\tilde{\varepsilon}_{0,ij}^{(k)}(x, t), \tilde{\kappa}_{ij}^{(k)}(x, t)$ при установлении критического момента времени по условию максимума (14), записанного для деформации, разрыва в значениях отрезков (19) при дискретном изменении x_* и t_* не происходит.

Аналитическое решение поставленной задачи об исследовании предельных динамических состояний при многопараметрическом нагружении может быть получено лишь для очень узкого класса простых стержней. В связи с этим рассмотрим численный *метод расчета предельных амплитуд нагрузок по заданному направлению* в многопараметрическом пространстве P .

Представим для этого параметры нагрузок как

$$p_j = p\chi_j, \quad j=1, \dots, n_F, \quad (20)$$

через безразмерные коэффициенты $\chi_j \in [-1, 1]$ сочетаний вариантов нагрузок, образующих в пространстве P единичный вектор направления

$$\lambda = [\chi_1, \dots, \chi_{n_F}]^T, \quad (21)$$

на искомую — опорную точку P_* предельной поверхности.

Подставив (20) в (15), получим условие для нахождения предельной амплитуды нагрузок p^* в направлении вектора (21):

$$p^*(\lambda) = \frac{\pm\varepsilon_{k,adm}^\pm}{\sum_{j=1}^{n_F} \chi_j [\tilde{\varepsilon}_{0,ij}^{(k)}(x_*, t_*) - \tilde{\kappa}_{ij}^{(k)}(x_*, t_*) y_*]}. \quad (22)$$

Множество опорных точек с координатами $p^*\lambda$ образует искомую предельную поверхность, ограничивающую в пространстве P область допустимых по условию прочности состояний слоистой рамы.

Входящие в (22): номер наиболее нагруженного стержня i_* , координаты опасной точки x_*, y_* , критическое время t_* — должны определяться

из условия максимума (14), которое для деформаций при учете (20) представим в виде

$$|e(x_*, y_*, t_*)| = \max_{i, x_i, y_i, t} \left| \sum_{j=1}^{n_F} \chi_j [\tilde{\varepsilon}_{0,ij}^{(k)}(x_i, t) - \tilde{\kappa}_{ij}^{(k)}(x_i, t)y_i] / \varepsilon_{k,adm}^\pm \right|. \quad (23)$$

Фиксация направления (21) приводит к исключению параметров нагрузок из числа варьируемых в (23), в отличие от общего требования (14).

При определении координат опасных точек x_{i*}, y_{i*} ($i = 1, \dots, n_L$) в стержнях используется априорная информация о характере деформирования рамы, основанная на выполненных тестовых расчетах. Геометрической интерпретацией процедуры назначения координаты y_{i*} в многослойном стержне может являться вписывание линии эквивалентных деформаций $\tilde{\varepsilon}_x(x_*, y, t_*)$ в полигон предельных деформаций материалов $\pm \varepsilon_{k,adm}^\pm(y)$ ($k = 1, \dots, s$) с внутренним касанием в одной точке или (в частных случаях) большем числе точек.

После предварительного назначения координат x_*, y_* при заданном направлении (21) критическое время t_* устанавливается с использованием (23) и выявленных форм функций эквивалентных деформаций и кривизн (16) для стержней рамы по вариантам воздействий. Условие (23) отражает как наличие экстремума внутри интервала $t_* \in (0, T)$, так и выход максимума на границы $t_* = 0, T$. При любых значениях $t \neq t_*$ из интервала $(0, T)$ рама должна находиться в допредельном состоянии, т.е. давать строгое неравенство в (13).

Рассмотрим применение условий жесткости, сформулированных в следующих формах:

$$|\delta(x, t)| \leq \delta_{adm}; \quad (24)$$

$$|\Delta_i(t)| \leq \Delta_{adm}; \quad (25)$$

$$\Lambda_{i1}(t) = \left| \int_0^l \delta_i(x, t) dx \right| \leq \Lambda_{adm}, \quad \Lambda_{i2}(t) = \int_0^l |\delta_i(x, t)| dx \leq \Lambda_{adm}, \quad (26)$$

где $\delta_{adm}, \Delta_{adm}, \Lambda_{adm}$ — заданные предельные значения контролируемых величин: $\delta(x, t) \in [u, v, \theta]$ — обобщенных перемещений в стержнях; $\Delta_i(t)$ — i -го компонента в векторе узловых перемещений $\mathbf{W}(t)$; $\Lambda(t)$ — интегральных оценок, зависящих от δ_i — функции перемещения в i -м стержне (либо во всех стержнях рамы).

При записи выражения предельной поверхности в пространстве P для состояний (24) выполняется поиск максимального перемещения как функции двух переменных — x и t , а для условий (25), (26) — функции одной переменной t . Учитывая (11), аналогично (15) получаем соответствующие условия предельных состояний

$$\sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\delta}(x_*, t_*) = \pm \delta_{adm}; \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\Delta}_{ij}(t_*) = \pm \Delta_{adm}; \quad (28)$$

$$\sum_{j=1}^{n_F} p_j \int_0^l \bar{\delta}_i(x, t_*) dx = \pm \Lambda_{adm}, \quad \sum_{j=1}^{n_F} p_j \int_0^l |\bar{\delta}_i(x, t_*)| dx = \pm \Lambda_{adm}. \quad (29)$$

Определение 2. В раме, находящейся в предельном состоянии в соответствии с условием (24), предельные параметры нагрузок $P_* = [p_1^*, \dots, p_{n_F}^*]$ таковы, что в критический момент времени $t_*(P)$ в некотором наиболее опасном по жесткости сечении $x_*(P)$ $i_*(P)$ -го стержня рамы выполняется условие — равенство (27). В предельном состоянии переменные x_* , t_* при определенном сочетании параметров p_1, \dots, p_{n_F} доставляют функции перемещений наибольшее абсолютное значение

$$|\delta(x_*, t_*, p_1, \dots, p_{n_F})| = \max_{t, x_i, t} \left| \sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\delta}_i(x_i, t) \right|. \quad (30)$$

Для всех иных точек пространства слоистой рамы $x \neq x_*$ в момент времени t_* и для всех точек в иные моменты времени $t \neq t_*$ условие (24) выполняется со знаком строгого неравенства.

Определение 3. В раме, находящейся в предельном состоянии в соответствии с условиями (25), (26), предельные параметры нагрузок $P_* = [p_1^*, \dots, p_{n_F}^*]$ таковы, что в критический момент времени $t_*(P)$ выполняются условия — равенства (28) или (29) для заданного i -го компонента вектора перемещений или i -го стержня рамы. В предельном состоянии время t_* при определенном сочетании параметров p_1, \dots, p_{n_F} доставляет наибольшее абсолютное значение функциям перемещений

$$|\Delta_i(t_*, p_1, \dots, p_{n_F})| = \max_t \left| \sum_{j=1}^{n_F} p_j \bar{\Delta}_{ij}(t_*) \right|; \quad (31)$$

$$\begin{aligned} |\Lambda_{i1}(t_*, p_1, \dots, p_{n_F})| &= \max_t \left| \sum_{j=1}^{n_F} p_j \int_0^l \bar{\delta}_i(x, t_*) dx \right|, \\ |\Lambda_{i2}(t_*, p_1, \dots, p_{n_F})| &= \max_t \left| \sum_{j=1}^{n_F} p_j \int_0^l |\bar{\delta}_i(x, t_*)| dx \right|. \end{aligned} \quad (32)$$

Для всех состояний рамы в иные моменты времени $t \neq t_*$ условия (25), (26) выполняются со знаком строгого неравенства. В частных случаях симметричных рам условия (27)–(29) могут стать многоточечными равенствами.

Значения предельного параметра нагрузок $p^*(\lambda)$ по заданному направлению (21) на опорную точку по условиям (27)–(29) находятся как

$$p^* = \frac{\pm \delta_{adm}}{\sum_{j=1}^{n_F} \chi_j \bar{\delta}_i(x_*, t_*)}, \quad p^* = \frac{\pm \Delta_{adm}}{\sum_{j=1}^{n_F} \chi_j \bar{\Delta}_{ij}(t_*)}, \quad p^* = \frac{\pm \Lambda_{adm}}{\sum_{j=1}^{n_F} \chi_j \int_0^l |\bar{\delta}_i(x, t_*)| dx}. \quad (33)$$

Среди принципиальных особенностей формы предельных поверхностей (27)–(29) отметим следующие. Во-первых, это криволинейность при непрерывном изменении координаты x_* и времени t_* . Во-вторых, наличие ребер при изменении знака контролируемой величины. В-третьих, возможность получения асимптотически бесконечных значений предельных нагрузок в случае, если заданному направлению λ (21) соответствует нулевое значение контролируемой величины обобщенной деформации в знаменателях (33). Иллюстрацией последнего, например, является ситуация использования для стержня условия (24) с контролем прогиба v при

наличии i -й системы нагрузок, не создающих деформаций изгиба. Тогда отрезок, отсекаемый на оси p_j , обращается в бесконечность.

Отмеченные особенности предельных поверхностей и соответствующих им состояний позволяют обоснованно подходить к выбору процедур численного расчета, к различного рода аппроксимациям и упрощениям расчетных моделей при решении динамических задач многовариантного нагружения. Конкретные примеры исследования предельных состояний будут рассмотрены в сообщении 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мищенко, А.В. Динамический расчет сооружений башенного типа на ветровую нагрузку [Текст] / А.В. Мищенко, Ю.В. Немировский // Известия вузов. Строительство. — 2009. — № 8. — С. 3–10.
2. Мищенко, А.В. Динамический расчет конструкций из слоистых стержневых элементов [Текст] / А.В. Мищенко, Ю.В. Немировский // Вест. академии военных наук. — 2010. — № 3 (32). — С. 131–135.

*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.; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 17.01.11

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; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

LAYERED RODS AND FRAMES LOAD CAPACITY ON MULTIPARAMETER DYNAMIC INFLUENCE Report 1

Settings of inverse problems about of ultimate load amplitude in layered frames on multiparameter influence are considered. Solutions are based on strength and rigidity limitations.

Key words: layered frame, dynamical forces, multiparameter loading, ultimate load.

REFERENCES

1. Mishchenko, A.V. Dynamic analysis of tower type structure on wind force [Text] / A.V. Mishchenko, Yu.V. Nemirovsky // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 8. — P. 3–10.
2. Mishchenko, A.V. Dynamic calculation of constructions are made on layered rod elements [Text] / A.V. Mishchenko, Yu.V. Nemirovsky // Herald of Military Sciences Academy. — 2010. — N 3 (32). — P. 131–135.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691:699.86

Ю.В. СЕЛИВАНОВ, А.Д. ШИЛЬЦИНА, Е.В. ЛОГИНОВА,
В.М. СЕЛИВАНОВ

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ МАЛОЭНЕРГОЕМКОГО ПРОЦЕССА ВСПЕНИВАНИЯ МАСС

Исследованы составы масс из смеси глин, кварц-полевошпатового сорского песка, высококальциевых шлака и золы и стеклобоя для получения теплоизоляционных керамических материалов энергосберегающим способом вспенивания. Установлено, что составы масс при отношении RO/R_2O от 1,71 до 8,17 после обжига в течение 5 ч с выдержкой 0,5 ч при температуре 1100...1120 °C обеспечивают получение теплоизоляционных керамических материалов с плотностью 410...530 кг/м³, прочностью при сжатии 2,1...3,1 МПа.

Ключевые слова: теплоизоляционные керамические материалы, малоэнергоемкий процесс вспенивания масс, фазово-минеральный состав, прочность.

Теплоизоляционные керамические материалы, отличающиеся био- и коррозионной стойкостью, негигроскопичностью и несгораемостью, являются наиболее эффективными для теплоизоляции зданий и сооружений. Анализ данных из научно-технической литературы показывает, что пористая структура таких материалов может быть создана энергосберегающим способом вспенивания масс при газовыделении, который позволяет изготавливать материалы в виде блоков, минуя стадию предварительного получения пористых гранул [1–3]. Однако производству и широкому применению теплоизоляционных керамических материалов малоэнергоемким процессом вспенивания препятствует отсутствие составов масс, обеспечивающих прочность керамической матрицы [1–3].

Цель данной работы — разработать составы масс из композиций глинистого и непластичного сырья для получения теплоизоляционных керамических материалов методом малоэнергоемкого процесса вспенивания за счет газовыделения.

В качестве глинистого сырья опробована глина изыхская и аргиллиты черногорские (табл. 1). В качестве непластичного сырья использованы полевошпатсодержащие отходы в виде кварц-полевошпатового сорского песка, высококальциевый шлак жидкого шлакоудаления Абаканской ТЭЦ, высококальциевая зола сухого отбора этой же ТЭЦ и плавень в виде стеклобоя.

Выбор химических составов масс проводили с использованием тройной диаграммы состояния $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ в связи с тем, что в исходных сырьевых материалах оксиды кремния, алюминия и кальция являются доминирующими. В соответствии с правилом Рихтера путем пересчета

© Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Логинова Е.В., Селиванов В.М., 2011

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов и керамических масс на их основе

Сырьевой компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	RO / R ₂ O
Глина изыхская	68,28	18,32	0,35	5,30	5,36	1,57	0,48	0,36	8,26
Аргиллит черногорский	63,67	20,05	0,30	6,44	2,73	2,44	1,58	2,79	1,18
Песок сорский кварц-полевошпатовый	63,58	16,33	0,59	4,30	4,83	2,06	4,38	3,94	0,82
Шлак высококальциевый	51,10	8,16	—	9,01	27,73	3,53	0,27	0,20	66,5
Зола высококальциевая	47,80	6,78	0,87	8,04	30,26	5,46	0,53	0,25	45,79
Стеклобой	67,40	5,81	—	1,76	7,21	3,38	12,73	2,00	0,71

Примечание. RO / R₂O — отношение содержания, мас. %, суммы оксидов CaO и MgO к сумме оксидов Na₂O и K₂O.

оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов на CaO, а оксида железа — на Al₂O₃ многокомпонентные составы масс приводили к трехкомпонентным [4]. Для оценки влияния легкоплавких оксидов натрия и калия на спекание и фазообразование керамики из масс с их содержанием учитывали значение отношения суммы оксидов кальция и магния в процентах к сумме оксидов натрия и калия. Исследовали массы, приведенный химический состав которых на диаграмме состояния находится в области треугольника волластонит — аортит — кварц с эвтектикой при температуре 1165 °C.

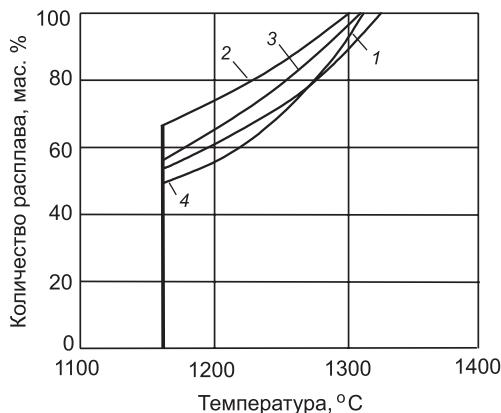


Рис. 1. Плавкость составов 1–4 пористой керамики в системе CaO-Al₂O₃-SiO₂ (кривые 1–4 соответственно)

Таблица 2
Фазовый состав керамических масс до начала кристаллизации тройной эвтектики при температуре 1165 °C на диаграмме состояния CaO-Al₂O₃-SiO₂

Состав масс	Название и количество фаз, мас. %		
	волластонит	аортит	кварц
1	—	77	23
2	42,5	57,5	—
3	57,5	42,5	—
4	64,5	35,5	—

Образование расплава при обжиге, подтверждаемое характером кривых плавкости составов (рис. 1), должно способствовать спеканию керамики из масс этих составов. Формирование в керамике аортита и волластонита (табл. 2), повышающих прочность керамического материала [1], должно способствовать получению прочности межпоровой матрицы пористой керамики¹.

Глина и аргиллиты (число пластичности 19–25 и 13–20 соответственно) в составах масс (табл. 3) способствуют повышению структурной

¹ Павлов В.Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // Строит. материалы. 2003. № 8. С. 28–30.

Таблица 3
Компонентные составы масс для пористой керамики

Компонент	Содержание компонента, мас. %, в составе			
	1	2	3	4
Глина изыхская	20	20	20	20
Аргиллиты	—	—	—	20
Песок сорский кварц-полевошпатовый	45	—	—	—
Шлак высококальциевый	—	30	15	30
Зола высококальциевая	15	30	45	30
Стеклобой	20	20	20	20
Алюминиевая пудра	0,6	0,6	0,6	0,6
В/Т	0,55	0,55	0,6	0,62

ция в свободном состоянии (см. табл. 1), при действии воды обеспечит образование гидроксида кальция, необходимого для вспенивания масс за счет его взаимодействия с алюминиевой пудрой по реакции

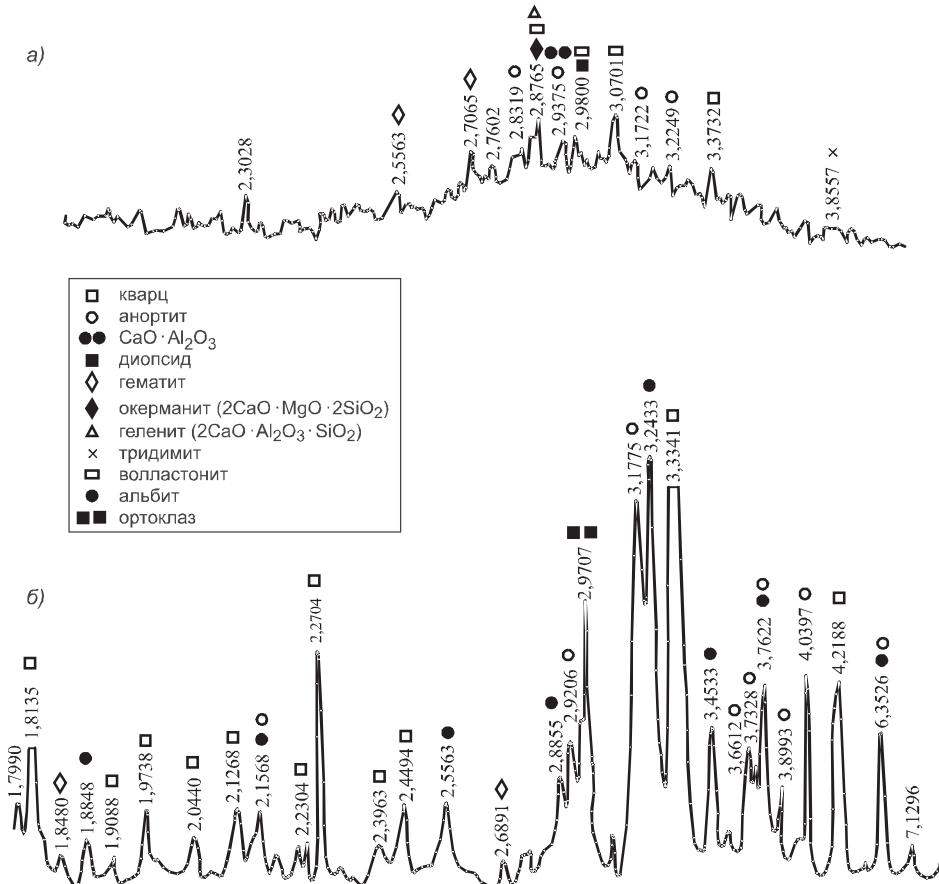


Рис. 2. Рентгенограммы высококальциевого шлака (а) и кварц-полевошпатового сорского песка (б)

прочности вспененных масс. Высококальциевый шлак ферроалюмосиликатного состава, содержащий анортит, диопсид, волластонит и кварц-полевошпатовый сорский песок, содержащий ортоклаз, альбит и анортит в качестве полевошпатовых минералов (рис. 2), обеспечит формирование прочной межпоровой матрицы пористой керамики. Высококальциевая зола, содержащая оксид кальция в свободном состоянии (см. табл. 1), при действии воды обеспечит образование гидроксида кальция, необходимого для вспенивания масс за счет его взаимодействия с алюминиевой пудрой по реакции



Влияние содержания сырьевых компонентов в массах на спекание образцов из смеси глинистого компонента, одного вида непластичного компонента и стеклобоя исследовали на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 25 мм, изготовленных полусухим прессованием под давлением 25 МПа, в количестве не менее десяти для каждого состава. Сырьевые компоненты применялись с той дисперсностью, с которой в последующем они использовались в массах для теплоизоляционных материалов. Так, высококальциевая зола из бункеров 3-го поля электрофильтров, отбираемая селективно в системе газоочистки Абаканской ТЭЦ и содержащая около 90 % частиц размером менее 0,08 мм, использовалась как готовый компонент. Глина и аргиллиты измельчались до прохода через сито с ячейкой менее 0,16 мм, непластичные компоненты — до остатка не более 5 % на сите с ячейкой 0,063 мм.

При содержании стеклобоя 20 % в массах и изменении количества кварц-полевошпатового сорского песка (или высококальциевого шлака) в них от 15 до 45 % достигается хорошая спекаемость керамики. Водопоглощение образцов после обжига при температуре 1100 °С (выдержка 0,5 ч) и продолжительности сушки 5 ч составило 2,3–8,1 %, прочность при сжатии 220...290 МПа (табл. 4). Керамика из смеси глины с высококальциевой золой при таком же содержании стеклобоя и изменении ее количества от 15 до 45 % спекается менее активно, водопоглощение — 12,8–18,6 %. Вместе с тем прочность при сжатии образцов из масс с золой составляет 84...118 МПа.

Таблица 4
Свойства плотноспеченных образцов керамики

Показатель	Массовое содержание, %, непластичных компонентов в составах					
	кварц-полевошпатовый песок / стеклобой		шлак / стеклобой		зола / стеклобой	
	15/20	45/20	15/20	45/20	15/20	45/20
Температура обжига, °С	1100	1100	1100	1100	1100	1100
Усадка, %	2,1	6,1	1,1	0,7	0,4	0,1
Водопоглощение, %	3,1	2,3	6,3	8,1	12,8	18,6
Прочность при сжатии, МПа	220	280	290	270	118	84
Морозостойкость, циклы	>50	>50	>50	>50	31	24
Наличие известковых включений	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Содержание глинистого компонента в массах в количестве 20 % оптимально и для поризации масс при изготовлении пористой керамики. Установлено, что при увеличении содержания глины до 25–30 % и соответствующем снижении содержания высококальциевой золы увеличивается их способность к коагуляции. В результате уже поризованная смесь с течением времени (2–3 ч) оседает, пористость ее снижается, а плотность после сушки и особенно после обжига резко увеличивается.

При изготовлении пористой керамики из разработанных масс алюминиевую пудру в количестве 0,6 %, установленном экспериментально как оптимальное, смешивали с высококальциевой золой и непластичным компонентом. В эту массу вводили воду, подогретую до 50...60 °С (температура определена экспериментально как наиболее эффективная для протекания реакции газообразования). После перемешивания начинаяющую всучиваться массу вливали в разъемные металлические формочки размерами 70,7×70,7×70,7 мм. Основная продолжительность газообразова-

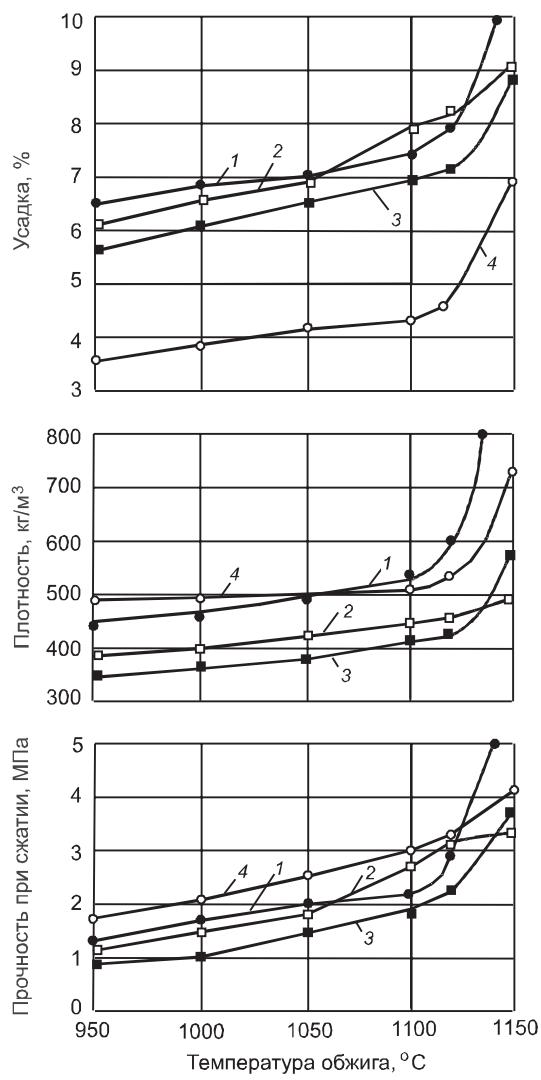


Рис. 3. Изменение усадки, плотности и прочности пористой керамики из масс составов 1–4 в зависимости от температуры обжига

ортоклаз) или шлаком (кварц, диопсид, геленит, окерманит), и фазы, образующиеся (муллитоподобная фаза) или интенсивно кристаллизующиеся при обжиге. В керамике из масс с кварц-полевошпатовым сорским песком, как следует из результатов расчета (см. табл. 2), усиливается кристаллизация анортита. На это указывает увеличение относительных интенсивностей отражений анортита ($d = 4,0397$ и $3,1775 \text{ \AA}$) на рентгенограмме керамики по сравнению с рентгенограммой кварц-полевошпатового сорского песка (рис. 2 и 4). В керамике из масс со шлаком усиливается кристаллизация волластонита. Это подтверждается увеличением относительных интенсивностей отражения волластонита ($d = 3,0711$ и $2,9800 \text{ \AA}$) и появлением его дополнительных линий ($d = 2,9404$ и $2,4646 \text{ \AA}$)² на рентгено-

ния составляла 7...10 мин, общая — 17...20 мин. Распалубку образцов проводили через сутки. После предварительной сушки при температуре 105 °C в течение 5–7 ч образцы обжигали при температурах 950...1150 °C в течение 5 ч с выдержкой 0,5 ч при конечной температуре. Наиболее низкая температура, после обжига при которой достигалась наименьшая плотность керамики при максимальной прочности и минимальной усадке (рис. 3), принималась за оптимальную. При ускоренном режиме обжига для керамики из масс составов 1 и 4, характеризующихся более низкими отношениями $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$ (1,71 и 5,54), оптимальная температура 1100 °C. Для керамики из масс составов 2 и 3 с отношениями $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$, равными 8,17 и 8,04, оптимальная температура выше 1120 °C.

В результате рентгенофазового анализа, выполненного на установке ДРОН-3, в межпоровой матрице пористой керамики, обожженной при оптимальных температурах, обнаружены фазы, вносимые с кварц-полевошпатовым сорским песком (кварц, альбит,

² Горшков В.С., Тимашев В.В. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высш. шк., 1963. 285 с.

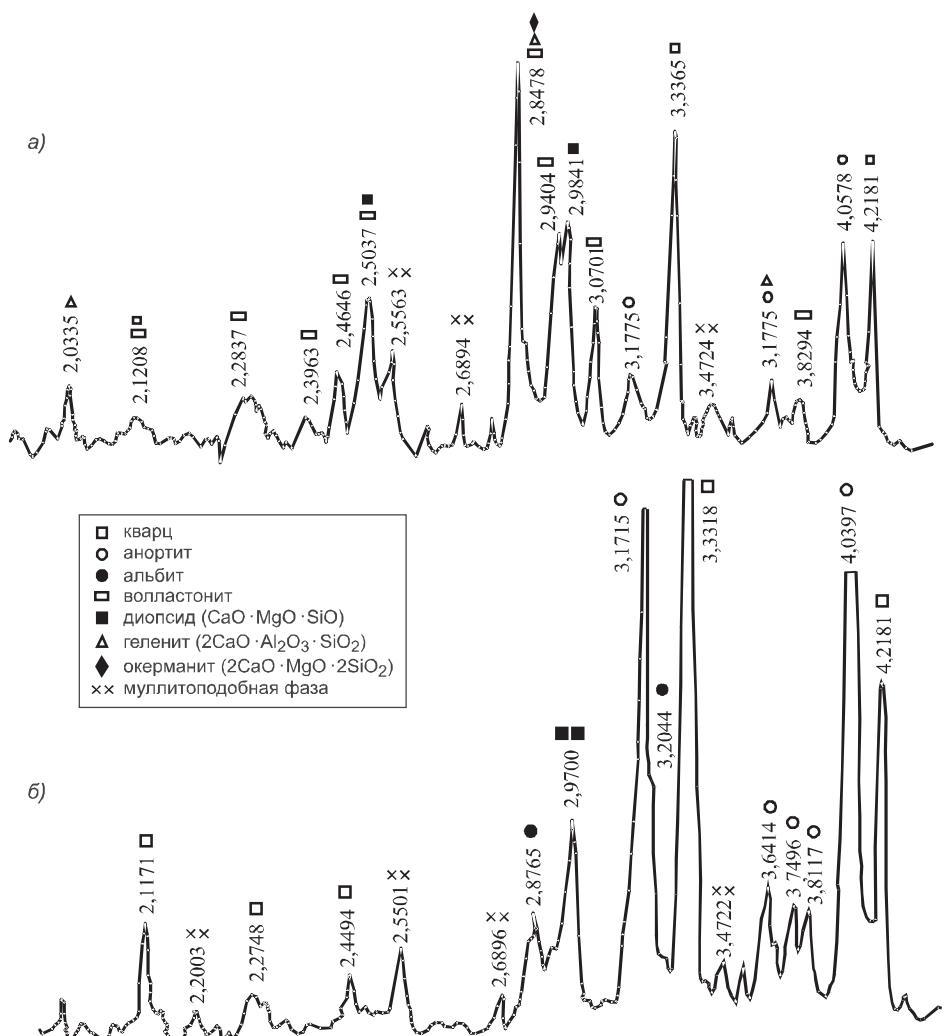


Рис. 4. Рентгенограммы образцов пористой керамики из масс со шлаком (а) и кварц-полевошпатовым сорским песком (б)

Состав масс: а — глина изыхская 20 %, высококальциевый шлак 30 %, высококальциевая зола 30 %; стеклобой 20 %; б — глина изыхская 20 %; кварц-полевошпатовый сорский песок 45 %, высококальциевая зола 15 %; стеклобой 20 %

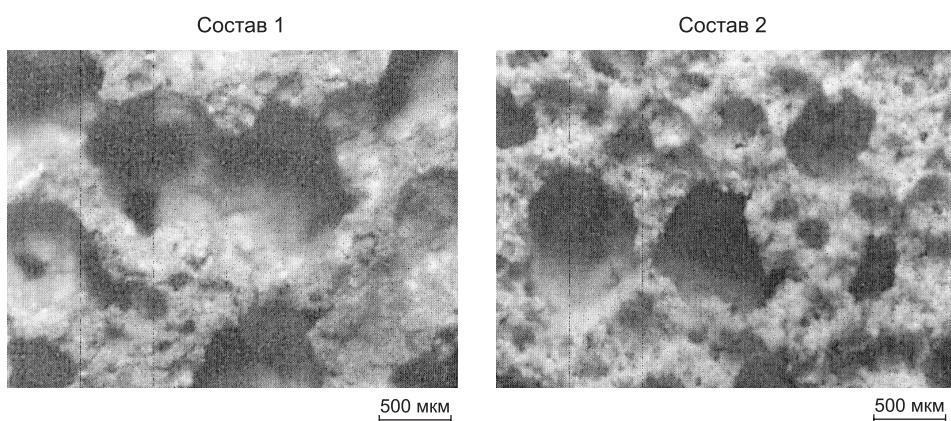


Рис. 5. Микрофотография структуры пористой строительной керамики
Увеличение ×30

Таблица 5

Свойства пористой керамики после обжига

Показатель	Состав			
	1	2	3	4
Температура обжига, °C	1100	1120	1120	1100
Усадка линейная, %	7,2	8,1	7,3	4,3
Плотность, кг / м ³	530	430	410	520
Водопоглощение, %	36,7	38,6	39,8	37,4
Пористость, %	71	74	76	72
Прочность при сжатии, МПа	2,1	3,1	2,4	2,9
Коэффициент теплопроводности, Вт / м · °C	0,164	0,119	0,116	0,153
Удельная эффективность*, Бк / кг	170	—	200	—

*Удельная эффективность для лицевых изделий по ГОСТ 7484–80 должна быть ≤ 370 Бк / кг.

нограмме керамики из шлакосодержащей массы по сравнению с рентгенограммой исходного шлака (рис. 2 и 4).

После обжига при оптимальных для каждого состава температурах получена керамика с мелкими изолированными порами (рис. 5) и низким коэффициентом теплопроводности (табл. 5). Коэффициент теплопроводности материалов, определенный экспериментально с помощью электронного измерителя ИТП-МГ4, составляет 0,116...0,164 Вт / м · °C. Прочность керамики при сжатии составляет 2,1...3,1 МПа, плотность — 410...530 кг / м³, пористость — 71...76 % при водопоглощении 36,7...39,8 мас. %. Выпускаемый в настоящее время для промышленного и гражданского строительства пенодиатомитовый кирпич³ имеет прочность при сжатии 0,8...1,2 МПа при плотности 350...500 кг / м³. В соответствии с требованиями ГОСТ 25485–89 автоклавные пенобетоны с прочностью при сжатии от 1,24 до 4,49 МПа при плотности 500...600 кг / м³, которые широко применяются в строительстве, относятся к группе конструкционно-теплоизоляционных. Поэтому разработанные материалы могут быть пригодны в качестве элементов жесткой теплоизоляции зданий и сооружений.

Таким образом, массы, приведенный химический состав которых на диаграмме состояния $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ находится в поле кристаллизации волластонита, аортита и кварца при отношении $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$ от 1,71 до 8,04, после обжига в течение 5 ч с выдержкой 0,5 ч при температуре 1100...1120 °C обеспечивают получение теплоизоляционных керамических материалов с плотностью 410...530 кг / м³ и прочностью при сжатии 2,1...3,1 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Химическая технология керамики и оgneупоров [Текст] : учебник / П.П. Будников, В.Л. Балкевич, А.С. Бережной и др. — М. : Стройиздат, 1972. — 552 с.
- Завадский, В.Ф. Поризованная строительная керамика [Текст] / В.Ф. Завадский, М.Б. Путро, Ю.С. Максимова // Строит. материалы. — 2004. — № 2. — С. 50–51.
- Клофт, Т. Поризованная керамика на русском рынке и энергосберегающий потенциал при ее производстве [Текст] / Т. Клофт, В.К. Белоусов // Строит. материалы. — 2009. — № 4. — С. 54–57.

³Ананьев А.И., Можаев В.П., Никифоров Е.А., Елагин В.П. Теплотехнические свойства и морозостойкость теплоизоляционного пенодиатомитового кирпича в наружных стенах зданий // Строит. материалы. 2003. № 7. С. 14–16.

4. Эйттель, В. Физическая химия силикатов [Текст] / В. Эйттель — М. : Иностр. лит., 1962. — 1055 с.

СЕЛИВАНОВ Ю.В., канд. техн. наук, доц.; E-mail: yuriyselivanov@yandex.ru
Хакасский технический институт — филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан

ШИЛЬЦИНА А.Д., д-р техн. наук, проф.; E-mail: adshilsina@ya.ru
Хакасский технический институт — филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан

ЛОГИНОВА Е.В., ст. препод.; E-mail: lenok.log@yandex.ru
Хакасский государственный университет, г. Абакан

СЕЛИВАНОВ В.М., д-р техн. наук, проф.; E-mail: vmselivanov@ya.ru
Хакасский технический институт — филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан

Получено 16.02.11

Selivanov Yu.V., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: yuriyselivanov@yandex.ru, Khakas Technical Institute — branch of Siberian Federal University, Abakan, Russia

Shiltsina A.D., doctor of technical sciences, professor; E-mail: adshilsina@ya.ru, Khakas Technical Institute — branch of Siberian Federal University, Abakan, Russia

Loginova E.V., senior lecturer; E-mail: lenok.log@yandex.ru, Khakas State University, Abakan, Russia

Selivanov V.M., doctor of technical sciences, professor; E-mail: vmselivanov@ya.ru, Khakas Technical Institute — branch of Siberian Federal University, Abakan, Russia

MODULAR THERMAL INSULATION CERAMIC MATERIALS OF LOW TEMPERATURE FOAMING FROM THE COMPOSITION OF CLAY AND NONPLASTIC RAW MATERIAL

The mass compositions are investigated to product modular thermal insulation ceramic materials from the clay mixtures of Sorsk sand quartz fieldspar, high calcium slag and broken glass. It is stated that mass compositions, figurative points of which are centered in the elementary triangle wollastonite — anortite — quartz of the diagram state $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ under relation $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$ from 1,7 to 8,1 providing the production of thermal insulation ceramic materials with annealing temperature 1100...1120 °C. Modular tightness is 320...530 kg/m³ compressive strength is 1,3...3,1 MPa.

Key words: modular thermal insulation ceramic materials , mass low temperature foaming, phase-mineral composition, tightness.

REFERENCES

1. Chemical technology of ceramics and refractories: a textbook [Text] / P.P. Budnikov, V.L. Balkevich, A.S. Berezhnaya et. al. — M. : Stroyizdat, 1972. — 552 p.
2. Zawadzki, V.F. Stroitel'naya porous keramics [Text] / V.F. Zawadzki, M.B. Putro, Yu.S. Maximova // Building materials. — 2004. — N 2. — P. 50–51.
3. Kloft, T. Porous ceramics in the Russian market and the potential energy in its production [Text] / T. Kloft, V.K. Belousov // Building materials. — 2009. — N 4. — P. 54–57.
4. Eitel, W. Phisical chemistry of silicates [Text] / W. Eitel // M. : Foreign Literature. — 1962. — 1055 p.

УДК 691.55 : 666.914.5

В.И. ЛОГАНИНА, О.А. ДАВЫДОВА, Е.Е. СИМОНОВ

ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ДИАТОМИТА НА СВОЙСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ*

Приведены сведения о свойствах известковых композиций на основе активированного диатомита. Исследован вещественный состав активированного диатомита и известковых композиций на его основе. Показано, что в активированном диатомите дополнительно содержатся щелочные силикаты, способствующие упрочнению известковых композиций.

Ключевые слова: известковые композиции, диатомит, теплопоглощатель, смачивание.

Диатомит является ценным сырьем для производства теплоизоляционных строительных материалов, наполнителей для сухих строительных смесей, адсорбентов, фильтров и т.д. Он представляет собой пористую кремнистую породу, содержащую до 82 % кремнезема SiO_2 , при этом около 33–36 % находится в аморфном виде. Эти свойства диатомитов широко используют при производстве товарного бетона, строительных растворов и сухих строительных смесей различного назначения. Известно, что его способность связывать гидроксид кальция в присутствии воды при взаимодействии с минеральным вяжущим (цемент, известь) при обычных температурах обусловлена содержанием в диатомитах веществ в химически активной форме, поэтому характер и интенсивность взаимодействия с известью различны в зависимости от количества аморфного SiO_2 . Увеличения активности диатомита можно достичь, производя специальную его активацию, заключающуюся в увеличении содержания аморфного кремнезема.

В данной работе представлены результаты исследований оценки возможности активации диатомита путем добавления к нему веществ, содержащих аморфный кремнезем, а также изменения его активности за счет образования в диатомите новых соединений, способствующих дополнительному взаимодействию с минеральными вяжущими.

В работе применяли диатомит Инзенского месторождения. Исследование гранулометрического состава диатомита, проведенное с помощью автоматического лазерного анализатора Analysette 22 в Научно-техническом центре НТЦ ООО «Диатомовый комбинат», показало, что при удельной поверхности $S_{уд} = 10\,982,58 \text{ см}^2/\text{г}$ распределение размеров частиц является двухмодальным, средний диаметр частиц составляет 14,63 мкм, преобладает размер частиц в диапазоне 5...10 мкм (25,16 %) и 10...20 мкм (28,12 %), при этом более 99 % составляют частицы с размером 66,64 мкм и менее. Содержание частиц в диапазоне 0,05...1 мкм составляет 2,13 %, а в диапазоне 50...100 мкм — 4,79 %.

В качестве добавки, увеличивающей содержание аморфного кремнезема в диатомите, применяли золь кремниевой кислоты [1]. Для получе-

* Работа выполнена в рамках Госконтракта с Министерством образования и науки РФ № 13. G25.31.0092.

ния золя кремниевой кислоты применялся способ, основанный на ионообменной хроматографии. Жидкое стекло плотностью 1056 кг/м³ пропускали через ионообменную колонку с катионитом и получали золь кремниевой кислоты с pH 4,5...5,0 и плотностью 1013...1030 кг/м³. Методом турбидиметрии выявлено, что радиус частиц золя плотностью 1027 кг/м³ до 5 сут составляет 17...25 нм, а 7...19 сут — 57...140 нм [2].

Расчет среднеквадратического сдвига Δ частицы золя в соответствии с уравнением Эйнштейна — Смолуховского показал, что за 10 с среднеквадратический сдвиг частицы с радиусом 17 нм составил $1,89 \times 10^{-5}$ м, что обуславливает высокую активность кремнезоля.

Технология введения золя предусматривала смешение молотого диатомита с удельной поверхностью $S_{уд} = 10\ 982,58\ \text{см}^2/\text{г}$ с золем кремниевой кислоты в соотношении 1 : 1,1...1,8. Полученная суспензия выдерживалась в течение 1 ч, после чего высушивалась до постоянной массы и измельчалась до той же величины удельной поверхности. Установлено, что содержание SiO₂ в модифицированном диатомите увеличилось и составило до 89,29 %.

Кроме того, проводили щелочную активацию диатомита путем совместного помола в шаровых мельницах с известью, гидроксидом натрия в различных соотношениях.

Эффективность активации оценивали по показателям прочности известково-диатомовых композитов. Предварительными исследованиями установлено, что оптимальным соотношением извести и диатомита является 1 : 4. В работе применяли известь 3-го сорта с активностью 72 %. Образцы формовались с водоизвестковым отношением, равным 2,8, и твердели 28 сут в воздушно-сухих условиях при относительной влажности воздуха 60–70 % и температуре 18...20 °C. Для характеристики гидрофильности поверхности диатомита была оценена теплота смачивания диатомита водой. Измерение температуры проводили при помощи электронного прибора «Тен-5». Теплоту смачивания вычисляли по формуле

$$Q = cm\Delta t, \quad (1)$$

где c — удельная теплоемкость смеси;

m — масса навески;

Δt — изменение температуры.

Удельную теплоемкость смеси c (диатомит и вода) определяли в соответствии с принципом аддитивности по формуле

$$c = \frac{c_1 P_1 + c_2 P_2}{P_1 + P_2}, \quad (2)$$

где c_1 и c_2 — удельные теплоемкости соответственно диатомита и воды;

P_1 и P_2 — массовые части соответственно диатомита и воды.

Полученные результаты представлены в табл. 1 и 2. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что активация диатомита способствует гидрофилизации поверхности. Так, теплота смачивания активированного гидроксидом натрия диатомита при соотношении 1:0,2 равна $Q = 0,118$ кДж, в то время как при контролльном методе она составляет 0,012669 кДж. Обработка поверхности диатомита золью кремниевой кислоты также способствует гидрофилизации его поверхности, причем у предварительно обожженного диатомита с последующей обработкой золью теплота смачивания выше и составляет $Q = 0,042$ кДж.

Согласно результатам исследований, наибольшей прочностью обладают составы, полученные на активированном гидроксидом натрия

Таблица 1

Теплота смачивания диатомита при различных методах активации

Метод активации	Теплота смачивания, кДж
Контрольный (без активации)	0,012669
Обработка диатомита золью кремниевой кислоты плотностью $\rho = 1,027 \text{ г}/\text{см}^3$ в соотношении:	
1 : 1,1	0,029
1 : 1,125	0,032
1 : 1,5	0,038
1 : 1,7	0,038
Обработка обожженного диатомита золью кремниевой кислоты плотностью $\rho = 1,027 \text{ г}/\text{см}^3$ в соотношении 1 : 1,5	0,042
Совместный помол с гидроксидом натрия в соотношении:	
1 : 0,6	0,087
1 : 0,2	0,118
Совместный помол с известью в соотношении 1 : 0,2	0,021

Таблица 2

Влияние вида активации диатомита на свойства известковых композиций

Метод активации	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
	7	14	28
Контрольный (без активации)	1,23	1,35	1,6
Обработка диатомита золью кремниевой кислоты плотностью $\rho = 1,027 \text{ г}/\text{см}^3$ в соотношении 1 : 1,125	2,28	2,76	3,12
Совместный помол с гидроксидом натрия в соотношении:			
1 : 0,6	1,30	1,98	4,26
1 : 0,2	1,57	2,64	6,24
Совместный помол с известью в соотношении 1 : 0,6	0,93	—	1,08

диатомите. Так, прочность при сжатии в возрасте 28 сут при использовании гидроксида натрия в соотношении диатомит : гидроксид натрия, равном 1 : 0,2, составляет $R_{сж} = 6,24 \text{ МПа}$, в то время как при контрольном методе — 1,6 МПа (табл. 2). Составы на основе обработанного золью кремниевой кислоты в соотношении 1:1,125 при сжатии в возрасте 28 сут воздушно-сухого твердения имеют прочность $R_{сж} = 3,12 \text{ МПа}$. В соответствии с DIN 18550 такие составы являются трещиностойкими.

На наш взгляд, увеличение прочности известковых композиций при применении химически активированного наполнителя обусловлено наличием дополнительных соединений, способствующих повышению прочности. Так, при рентгенофазовом анализе установлено наличие в диатомите монтмориллонитовых минералов и кремнезема. Кремнеземистая составляющая диатомита представлена аморфной фазой с присутствием кристаллической фазы в виде β -кварца. В активированном гидроксидом натрия диатомите установлено дополнительно наличие щелочных силикатов и алюмосиликатов.

На рентгенограмме образцов, полученных в возрасте 28 сут воздушно-сухого твердения известковых композиций с применением активированного гидроксидом натрия диатомита, идентифицируются карбонат на-

трия, гидросиликат кальция-натрия, гидросиликаты кальция, карбонат кальция, кремнезем.

Таким образом, применение в качестве наполнителя в известковых сухих строительных смесях термохимически активированного диатомита способствует повышению стойкости покрытий на основе сухих строительных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы, модифицированные комплексной добавкой на основе золя кремниевой кислоты [Текст] / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова. — Пенза : ПГУАС, 2010. — 96 с.
2. Байвель, Л.П. Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами [Текст] / Л.П. Байвель, А.С. Лагунов. — М. : Энергия, 1977. — 88 с.

*ЛОГАНИНА В.И., д-р техн. наук, проф.; E-mail: loganin@mail.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ДАВЫДОВА О.А., ст. препод.; E-mail: _oda@mail.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
СИМОНОВ Е.Е., асп.; E-mail: simonov888@list.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Получено 01.03.11

Loganina V.I., doctor of technical sciences, professor; E-mail: loganin@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Davydova O.A., senior lecturer; E-mail: _oda@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Simonov E.E., post-graduate student; E-mail: simonov888@list.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

EFFECT OF ACTIVATION ON THE PROPERTIES OF LIME DIATOMITE COMPOSITIONS

Provides information about the properties of lime compositions based on activated diatomite. We investigate the material composition of the activated diatomite and lime based compounds. It is shown that the activated diatomite additionally contain alkali silicates, promoting hardening of lime compositions.

Key words: calcareous composition, diatomaceous earth, heat of wetting.

REFERENCES

1. Loganina, V.I. Lime finishing compositions, modified the complex additive based on a sol of silicic acid. [Text] / V.I. Loganina, N.A. Proshina, O.A. Davydova. — Penza : PgUaS, 2010. — 96 p.
2. Bajvel, L.P. Measurement and control of dispersion of particles by a method of light scattering under small corners [Text] / L.P. Bajvel, A.S. Lagunov. — M. : Energy, 1977. — 88 p.

УДК 666.972.162

А.Н. ЮНДИН, Е.В. КУЧУЕВ

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НЕКОТОРЫХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ С НАСЫЩЕННЫМ РАСТВОРОМ ГИДРОКСИДА КАЛЬЦИЯ

Проанализирована степень химического взаимодействия пенообразователей различной природы с насыщенным раствором гидроксида кальция. Установлено, что все исследуемые пенообразователи в той или иной степени связывают ион кальция и образуют труднорастворимые соединения, что может негативно сказаться на их пенообразующей способности.

Ключевые слова: пенообразователи, уровень pH растворов, химическое взаимодействие пенообразователей с ионами Ca^{2+} .

В настоящее время все большую популярность приобретает одностадийный способ приготовления пенобетонных смесей, который имеет ряд существенных преимуществ перед классической технологией. Так, одностадийная технология, наиболее полно используя свойства современных синтетических пенообразователей, позволяет получать пенобетонную смесь за короткий промежуток времени. К преимуществам данной технологии также можно отнести возможность получения пенобетонов в широком диапазоне плотностей при варьировании вязкостью шлифера, дозировкой компонентов и временем поризации смеси, возможность контроля параметров получаемой смеси на стадии приготовления, а также простоту организации производства и доступность оборудования.

Развитие одностадийной технологии производства пенобетона выявило необходимость в дешевых синтетических пенообразователях, способных образовывать высокократную и стабильную пену за короткий промежуток времени. Как показывает практика, этим требованиям в полной мере соответствуют синтетические пенообразователи, которые обладают целым рядом преимуществ, к которым среди прочих относят высокую пенообразующую способность, постоянство состава и малый расход.

Наиболее эффективными из синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ) являются анионактивные ПАВ, так как они обладают большей пенообразующей способностью по сравнению с неионогенными, что связывают со скоростью образования адсорбционного слоя, которая у анионактивных ПАВ выше. Помимо этого для производства ПАВ данного вида в Российской Федерации существует достаточная ресурсная база.

Пенообразователь как один из компонентов пенобетона может оказывать влияние на твердеющее вяжущее, что может негативно сказаться на свойствах получаемого материала.

Гидроксид кальция, выделяющийся при гидратации C_3S , растворяется в воде затворения до образования насыщенного раствора, в результате чего в межпоровой воде изменяется ионный состав (pH повышается

до 12...13). Следовательно, вспенивание происходит не в водной среде, а в среде насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Таубе и Шпилева в работе [1] исследовали влияние некоторых ПАВ на насыщенный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Исследуемыми ПАВ являлись неионогенные ОН-10, ОН-7, ДБ, проксамины 382 и 385, представляющие собой блок-сополимеры оксида пропилена и оксида этилена на основе этилен-диамина. По результатам исследований делается вывод, что добавка неионогенных ПАВ в насыщенный раствор извести приводит к понижению концентрации ионов Ca^{+2} в растворе по сравнению с исходной. Авторы объясняют это возникновением прочной связи молекул ПАВ с ионами кальция. Наряду с этим был сделан вывод, что для всех использованных ПАВ величины ККМ в насыщенных растворах гидроксида кальция меньше, чем в чистой воде, что теоретически должно привести к повышению пенообразующей способности неионогенных ПАВ в насыщенном растворе гидроксида кальция.

Анионактивные ПАВ, по мнению авторов, изменения концентрации ионов кальция в растворе гидроксида не вызывают. Однако согласно [2, 3] взаимодействие гидроксида кальция и анионактивных пенообразователей приводит к образованию труднорастворимых кальциевых солей, которые формируют пленки на поверхности пузырьков. С одной стороны, это способствует повышению стабильности смеси, с другой, если в труднорастворимые соли связывается значительная часть вводимого пенообразователя, то его не будет хватать для понижения поверхностного натяжения жидкой фазы. Это приведет к уменьшению пенообразующей способности пенообразователя.

Цель данной работы — изучение влияния добавок анионактивных пенообразователей на концентрацию ионов Ca^{+2} в насыщенном растворе. Контроль концентрации ионов Ca^{+2} осуществлялся кислотно-основным титрованием в присутствии индикатора фенолфталеина. В качестве объектов исследования применяли отечественные пенообразователи:

— ПБ-2000 — является смесью натриевой соли алкилсульфатов смеси спиртов $\text{C}_4\text{H}_9\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$, бутанола, синтанола АЛМ-2, стабилизаторов и воды [4];

— ПО-6НП — на основе натриевых солей вторичных алкилсульфатов $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{CH}(\text{CH}_3)\text{OSO}_3\text{Na}$;

— «Пеностром» — представляет собой смесь нескольких ПАВ с разными функциональными группами — карбоксилатной и сульфогруппой. Сульфогруппа представлена алкилбензосульфонатом натрия ($\text{C}_n\text{H}_{2n}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_3\text{Na}$), а карбоксилатная группа — гидролизатами белков.

Наряду с синтетическими для сравнения в эксперименте применялся биологический пенообразователь Addiment SB3 производства итальянской компании Sika, который относится к группе гидролизатов белков с общей формулой $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$.

На рис. 1 приведены данные о влиянии вида и концентрации пенообразователя на кинетику поглощения гидроксида кальция, которые показывают, что все используемые пенообразователи понижают концентрацию ионов кальция в растворе. Это подтверждает высказанное предположение о химическом взаимодействии пенообразователей с гидроксидом кальция.

Установлено также, что кинетика и количественные параметры этих взаимодействий связаны с химической природой основного вещества пенообразователя. Пенообразователь Addiment SB3 сильнее всех связыва-

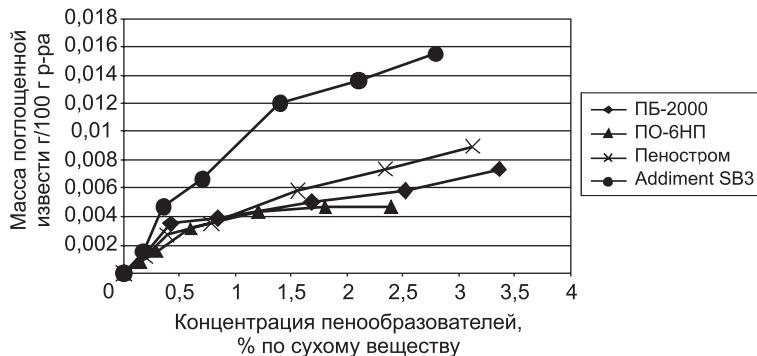
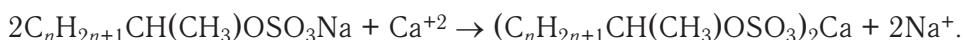


Рис. 1. Зависимость количества поглощенного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от концентрации пенообразователя

ет гидроксид кальция, что наблюдается уже при малых концентрациях пенообразователя (0–0,5 %). Реакция обмена при этом может протекать по следующей схеме:



Концентрация ионов кальция в присутствии синтетических пенообразователей также понижается, однако в меньшей степени. При концентрациях пенообразователей до 1 % кинетика связывания ионов кальция практически одинакова для всех применяемых пенообразователей. При превышении 1 % концентрации максимальную активность проявляет «Пеностром», а ПО-6НП и ПБ-2000 связывают меньшее количество ионов кальция. Химическая основа у ПО-6НП и ПБ-2000 практически одинаковая — вторичные алкилсульфаты натрия, т.е. взаимодействие с ионами кальция может происходить следующим образом:



Отметим, что основным назначением пенообразователя ПО-6НП является тушение пожаров, что должно оказывать влияние на его состав. Пожарные пенообразователи имеют в своем составе стабилизаторы (природные коллагены и антифризы), что может негативно сказываться на свойствах получаемых пен.

В большей степени связывает ионы кальция «Пеностром»:



Химические реакции, происходящие в насыщенных растворах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при введении ПАВ, также должны приводить к изменению их pH. Для проверки этого предположения наряду с титрованием рабочих растворов при помощи pH-метра производства компании «Аквилон» производилось определение их водородного показателя. Результаты измерений приведены на рис. 2.

Обращает на себя внимание понижение pH растворов в присутствии пенообразователей «Пеностром» и Addiment SB3. Сильнощелочной раствор при их высоких концентрациях становится слабощелочным. При химических реакциях между пенообразователем Addiment SB3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ион Ca^{2+} замещается на ион H^+ , что может служить причиной резкого по-

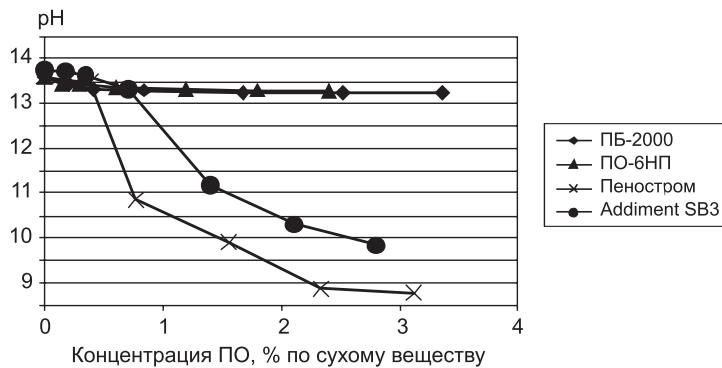


Рис. 2. Зависимость показателя pH насыщенных растворов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от концентрации пенообразователя

нижения уровня pH. Пенообразователи ПБ-2000 и ПО-6НП вследствие химического взаимодействия замещают ион Ca^{2+} на ион Na^+ , что может объяснить незначительное понижение показателя pH.

Из приведенных результатов можно сделать вывод, что все исследуемые пенообразователи вступают в химическое взаимодействие с ионами Ca^{2+} в насыщенном растворе гидроксида кальция. Результатом этого взаимодействия может быть образование кальциевых мыл, которые плохо растворимы в воде. Это в свою очередь может привести к понижению полезной концентрации пенообразователя в растворе и повышению его поверхностного натяжения. Следовательно, свойства пенообразователей в насыщенном растворе гидроксида кальция должны существенно отличаться от их свойств в воде, что необходимо учитывать при оценке пенообразователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Шпилева, И.И. Влияние ПАВ на насыщенные растворы гидрата окиси кальция. Физико-химические основы применения поверхностно-активных веществ [Текст] / И.И. Шпилева, П.Р. Таубе // Науч. тр. — Саратов : Приволж. кн. изд-во, 1970. — Ч. 1. — С. 53–59.
- Рамачандран, В.С. Добавки в бетон : справ. пособие [Текст] / В.С. Рамачандран / под ред. А.С. Болдырева, В.Б. Ратинова. — М. : Стройиздат, 1988. — 236 с.
- Юндин, А.Н. Ячеистые композиты с карбонатсодержащим компонентом при одностадийном приготовлении пенобетонной смеси [Текст] / А.Н. Юндин, Г.А. Ткаченко, Е.В. Измалкова // Изв. вузов. Строительство. — 2000. — № 12. — С. 40–45.
- Хитров, А.В. Технология и свойства пенобетона с учетом природы вводимой пены [Текст] / А.В. Хитров : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 2007. — 50 с.

ЮНДИН А.Н., канд. техн. наук, проф.

Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону

КУЧУЕВ Е.В., асп.

Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону

Получено 25.02.11

Yundin A.N., candidate of technical sciences, professor, Rostov State Building University, Rostov-on-Don, Russia

Kuchuev E.V., post-graduate student, Rostov State Building University, Rostov-on-Don, Russia

ABOUT THE INTERACTION OF SOME FOAMING AGENTS WITH A SATURATED CALCIUM HYDROXIDE

Analyzed the degree of foam chemical interaction of different nature with a saturated solution of calcium hydroxide. Established that all the studied foaming agents in varying degrees, bind calcium ions and form sparingly soluble compounds that may affect their foaming ability.

Key words: blowing agents, the level of pH, chemical reaction foaming-ers with the ions Ca^{2+} .



REFERENCES

1. Shpileva, I.I. Influence of surfactants on the saturated solutions of calcium hydroxide physico-chemical basis for the use of surfactants [Text] / I.I. Shpileva, P.R. Tau-be // Research works. — Saratov : Privilzhskoye book publisher, 1970. — Pt 1. — P. 53–59.
2. Ramachandran, V.S. Concrete admixtures : handbook [Text] / V.S. Ramachandran / Eds A.S. Boldirev, V.B. Ratinov. — M. : Stroyizdat, 1988. — 236 p.
3. Yundin, A.N. Foamed composites with carbonate containing component in one-step preparation of aerated concrete mixes [Text] / A.N. Yundin, G.A. Tkachenko, E.V. Izmalkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2000. — N 12. — P. 40–45.
4. Hitrov, A.V. Technology and properties of aerated concrete, taking into account the nature of injected foam [Text] / A.V. Hitrov : Abstract of thesis... doctor of technical sciences. — S.-Petersburg, 2007. — 50 p.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 693.547

Е.Б. ТОЛОЧНАЯ

ОБОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ПРОЧНОСТНОГО ПОЛЕЙ В БЕТОНЕ ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Научно обоснованы и практически реализованы управляемые температурные режимы разогрева, прогрева в оптимальном температурном диапазоне и остывания бетона. Рассмотрены три альтернативных метода прогрева бетона монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия и бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны. Разработана укрупненная блок-схема численной реализации математической модели и вспомогательная блок-схема численной реализации управляемых температурных режимов.

Ключевые слова: зимнее бетонирование монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия, зимнее бетонирование стыков конструктивных элементов сборных колонн, управляемые температурные режимы, электродный прогрев, прогрев электрическими нагревательными проводами.

Физическая постановка задачи. К особенностям зимнего бетонирования монолитной части сборно-монолитных каркасов зданий, существенно затрудняющих производство работ, относятся сравнительно большое (более 50 кг/м³) содержание арматуры в стыках конструктивных элементов сборных колонн и весьма стесненные условия бетонирования этих стыков. По указанным причинам при выборе метода зимнего бетонирования в этом случае необходимо не только аргументированно обосновать способ прогрева монолитного бетона сборно-монолитных каркасов зданий с подбором всех технологических операций в хронологической последовательности их выполнения, но и подобрать современные химические добавки в бетонную смесь. Используют пластифицирующие или даже суперпластифицирующие добавки, увеличивающие подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси, а также добавки, обеспечивающие высокую коррозионную стойкость арматуры; водоредуцирующие добавки, позволяющие получить бетонную смесь с требуемой удобоукладываемостью при пониженном расходе воды, что, в свою очередь, существенно сокращает время набора бетоном критической прочности и др.

Необходимо также проанализировать и рассмотреть возможность адаптации к рассматриваемым стыкам сборно-монолитных каркасов зданий ранее разработанных в [1, 2 и др.] технологий зимнего бетонирова-

ния стыков сборных строительных конструкций. При этом расчетная схема поставленной задачи должна включать целый расчетный фрагмент сборно-монолитного каркаса зданий: сборные ригели, сборную и монолитную части сборно-монолитной плиты перекрытия, стыкуемые конструктивные элементы сборной колонны и собственно тело стыка (рис. 1).

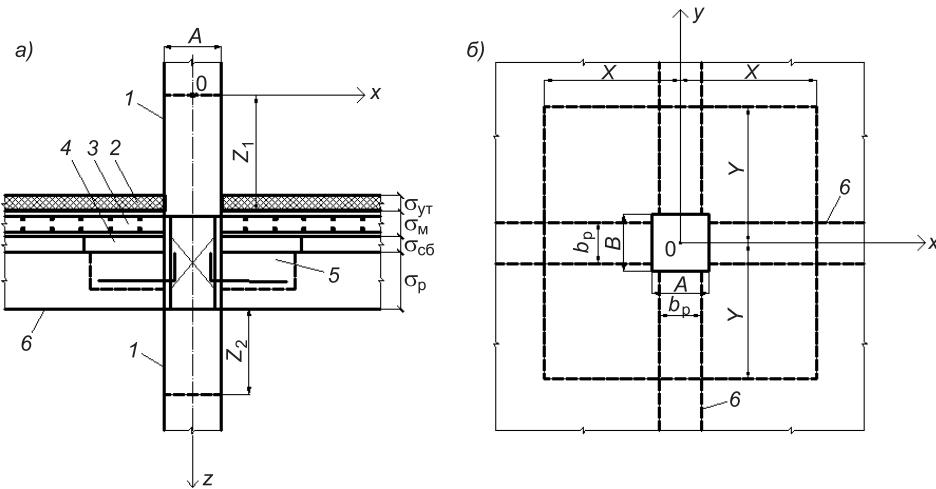


Рис. 1. Расчетная схема стыка конструктивных элементов сборно-монолитных каркасов зданий

а — вертикальный разрез; б — вид сверху: 1 — сборные колонны; 2 — утеплитель на монолитной части плиты перекрытия; 3 и 4 — сборные плиты перекрытия; 5 — пазы сборных ригелей 6

Предварительно (до подтверждения целесообразности практической реализации) рассмотрим следующие варианты прогрева монолитного бетона сборно-монолитной плиты перекрытия и бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны.

Вариант 1. Метод «термоса» предполагает укрытие брезентом ранее возведенного и нижерасположенного этажа здания с обогревом нижней поверхности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, сборных ригелей и вертикальных граней нижнего конструктивного элемента сборной колонны калориферами в сочетании:

- с синхронным прогревом монолитной части сборно-монолитной плиты перекрытия сверху электрическими нагревательными проводами (ЭНП) или с электродным прогревом (ЭП) полосовыми электродами на инвентарных накладных щитах;

- предварительным (до начала укладки бетонной смеси в полость стыка элементов сборной колонны) прогревом верхнего стыкуемого элемента сборной колонны с помощью гибкого термоактивного покрытия (например, гибкого термоэлектромата ООО «Строительные технологии будущего (СТБ)») и последующим прогревом бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны с помощью ЭНП.

Укрытие брезентом нижерасположенного этажа здания (что и принято называть методом «термоса») обеспечивает, во-первых, уменьшение в два раза конвективной составляющей тепловых потерь сборным и монолитным бетоном стыка, во-вторых, полностью исключает тепловые потери излучением. Поэтому вместо регламентируемых действующими нормативными документами величин конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи в окружающий воздух $\alpha_{конв} = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ и коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{изл} = 2,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ примем соответственно $\alpha_{конв} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ и $\alpha_{изл} = 0$. Расчетная темпера-

тура воздуха («термосная» температура) на нижерасположенном этаже здания θ_t должна составлять $\theta_t = 20...25$ °C, а на вышерасположенном этаже здания принимается равной среднесуточной температуре воздуха на рассматриваемый момент времени.

В случае использования полосовых электродов в соответствии с [3] интенсивность теплового потока от электродов в бетон монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия рассчитывается по формуле

$$P^* = \frac{0,785U^2}{\rho(\tau) \cdot b \cdot \ln\left(2,54 \cdot \frac{b}{a}\right)} \quad [\text{Вт} / \text{м}^2], \quad (1)$$

где U — напряжение тока от понижающего трансформатора, В;
 $\rho(\tau)$ — изменяющееся во времени удельное электрическое сопротивление бетона (в данном случае на Чернореченском (Новосибирская область) портландцементе), Ом · м;
 $a = 0,02...0,05$ м — ширина полосовых электродов из листовой стали толщиной до 4 мм;
 $b = 0,1...0,4$ м — расстояние между осями смежных полос полосовых электродов.

По данным экспериментальных исследований С.Н. Андриевского, удельное электрическое сопротивление бетона описывается уравнениями регрессии вида

$$\left. \begin{array}{l} \text{для обычного бетона} \\ \left\{ \begin{array}{l} \rho(\tau) = A_1 \cdot \tau^3 + B_1 \cdot \tau^2 + C_1 \cdot \tau + D_1 \text{ при } \tau \leq 4,6 \text{ ч,} \\ \rho(\tau) = A_2 \cdot \tau^3 + B_2 \cdot \tau^2 + C_2 \cdot \tau + D_2 \text{ при } \tau > 4,6 \text{ ч;} \end{array} \right. \\ \text{для бетона с противоморозной добавкой нитрита натрия в расчете на } -5 \text{ }^\circ\text{C} \\ \left\{ \begin{array}{l} \rho(\tau) = A_3 \cdot \tau^3 + B_3 \cdot \tau^2 + C_3 \cdot \tau + D_3 \text{ при } \tau \leq 5,7 \text{ ч,} \\ \rho(\tau) = A_4 \cdot \tau^3 + B_4 \cdot \tau^2 + C_4 \cdot \tau + D_4 \text{ при } \tau > 5,7 \text{ ч,} \end{array} \right. \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{где } A_1 = -0,1081; B_1 = 1,051; C_1 = -2,5088; D_1 = 7,0835, \\ A_2 = 0,000013; B_2 = -0,0037; C_2 = 0,5811; D_2 = 4,5057, \\ A_3 = -0,0047; B_3 = 0,0797; C_3 = -0,207; D_3 = 1,0955, \\ A_4 = 0,000001; B_4 = -0,0014; C_4 = 0,3319; D_4 = -2,2292. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Вариант 2. Метод «термоса», но с заменой калориферов на ранее возведенном этаже здания на гибкие термоэлектроматы СТБ, прижатые к нижней поверхности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, а также к горизонтальным граням сборных ригелей и к вертикальным граням нижнего и верхнего конструктивных элементов сборной колонны с целью предварительного (до начала укладки бетонной смеси в монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия и в полость стыка элементов сборной колонны) обогрева бетона указанных сборных конструкций.

Прогрев бетона монолитной части сборно-монолитной плиты перекрытия сверху, а также бетона заделки стыка элементов сборной колонны может быть реализован на практике оперативно и достаточно просто:

а) прогрев бетона монолитной части сборно-монолитной плиты перекрытия сверху: — с помощью ЭНП, уложенных и закрепленных на арматурном каркасе, или с помощью полосовых электродов на инвентарных накладных щитах, а также (альтернативный вариант) с помощью термоэлектроматов СТБ, закрепленных на инвентарных накладных щитах, пригруженных сверху с массой пригрузки 50...60 Н;

б) прогрев бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны с помощью ЭНП, уложенных и закрепленных на арматурных стержнях арматуры стыка.

В соответствии с [4] интенсивность линейного источника тепла от ЭНП следует принимать равной $q_l = 30...35 \text{ Вт}/\text{м}$, а длину одного нагревателя l в соответствии с допустимой величиной падения напряжения тока — рассчитывать по формуле

$$l = \sqrt{\frac{U^2}{ql \cdot R_t}}, \quad (4)$$

где U — напряжение электрического тока, В;

R_t — электрическое сопротивление стальной токонесущей жилы, Ом.

Рассмотрим координатную привязку расчетного фрагмента, представленного на рис. 1, при следующей очередности прямых (\rightarrow) и обратных (\leftarrow) прогонок по координатным осям: $i(\Delta Z) \rightarrow j(\Delta x) \rightarrow k(\Delta y)$.

Ось Z. Верхний конструктивный элемент сборной колонны: $i \in M_1$, где $M_1 = \text{ROUND}(Z_1/\Delta Z)$. Монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия: $i \in (M_1, M_2)$, где $M_2 = \text{ROUND}[(Z_1 + \delta_m)/\Delta Z]$.

Сборные элементы плиты перекрытия: $i \in (M_2, M_3)$, где $M_3 = \text{ROUND}[(Z_1 + s1)/\Delta Z] \wedge s1 = \delta_m + \delta_{cb}$.

Сборные ригели плиты перекрытия: $i \in (M_3, M_4)$, где $M_4 = \text{ROUND}[(Z_1 + s2)/\Delta Z] \wedge s2 = \delta_m + \delta_{cb} + \delta_p$.

Стык конструктивных элементов сборной колонны: $i \in (M_1, M_4)$.

Нижний конструктивный элемент сборной колонны: $i \in (M_4, M_5)$, где $M_5 = \text{ROUND}[(Z_1 + s2 + Z_2)/\Delta Z]$.

Ось X. Верхний конструктивный элемент сборной колонны [$i \in M_1$]: $j \in N_1$, где $N_1 = \text{ROUND}[(A/2)/\Delta x]$.

Монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия [$i \in (M_1, M_2)$]: $\{j \in (N_1, N_2) \wedge k \in U_2\} \vee \{j \in N_2 \wedge k \in (U_1, U_2)\}$.

Сборные элементы плиты перекрытия [$i \in (M_2, M_3)$]: $\{j \in (N_1, N_2) \wedge k \in U_2\} \vee \{j \in N_2 \wedge k \in (U_1, U_2)\}$.

Сборные ригели плиты перекрытия [$i \in (M_3, M_4)$]: $\{j \in (N_1, N_2) \wedge k \in U_3\} \vee \{j \in N_3 \wedge k \in (U_1, U_2)\}$, где $N_3 = \text{ROUND}[(b_p/2)/\Delta x] \wedge U_3 = \text{ROUND}[(b_p/2)/\Delta y]$.

Нижний конструктивный элемент сборной колонны [$i \in (M_4, M_5)$]: $j \in N_1$.

Ось Y. Верхний конструктивный элемент сборной колонны [$i \in M_1$]: $k \in U_1$, где $U_1 = \text{ROUND}[(B/2)/\Delta y]$.

Монолитный слой сборно-монолитной плиты перекрытия [$i \in (M_1, M_2)$]: $\{k \in (U_1, U_2) \wedge j \in N_2\} \vee \{k \in U_2 \wedge j \in (N_1, N_2)\}$.

Сборные элементы плиты перекрытия [$i \in (M_2, M_3)$]: $\{k \in (U_1, U_2) \wedge j \in N_2\} \vee \{k \in U_2 \wedge j \in (N_1, N_2)\}$.

Сборные ригели плиты перекрытия [$i \in (M_3, M_4)$]: $\{k \in U_3 \wedge j \in (N_1, N_2)\} \vee \{k \in (U_1, U_2) \wedge j \in N_3\}$.

Нижний конструктивный элемент сборной колонны [$i \in (M_4, M_5)$]: $k \in U_1$.

Все перечисленные задачи можно решить только нетрадиционным методом, основанным на синтезировании таких областей знаний, как технология строительных процессов, строительная теплофизика и математическое моделирование сложных физических, природных и организационно-технологических процессов.

С учетом физической постановки задачи и координатной привязки математической модели динамики температурного и прочностного полей в бетоне сборных конструктивных элементов сборно-монолитных каркасов зданий в бетоне монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия и в бетоне замоноличивания стыка конструктивных элементов сборной колонны математическая модель имеет следующий вид.

ВЕРХНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

$$\left. \begin{array}{l}
 1. \frac{\partial t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^{\text{пол}}}{c_2^{\text{пол}}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
 \left. + \frac{\partial^2 t_2^{\text{пол}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], \quad z \in Z_1, \quad x \in A / 2, \quad y \in B / 2, \quad \tau \in T. \\
 2. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[(z = 0 \vee z = \Delta z), x, y, \tau]}{\partial z} = 0, \quad x \in A / 2, \quad y \in B / 2, \quad \tau \in T. \\
 3. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x = A / 2, y \in B / 2, \tau]}{\partial x} = \\
 = \mathbf{a} \cdot \{t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x = A / 2, y \in B / 2, \tau] - \theta\}. \\
 4. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A / 2, y = B / 2, \tau]}{\partial y} = \\
 = \mathbf{a} \cdot \{t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A / 2, y = B / 2, \tau] - \theta\}. \\
 5. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x = 0, y \in B / 2, \tau]}{\partial x} = 0. \\
 6. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A / 2, y = 0, \tau]}{\partial y} = 0. \\
 7. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z = Z_1, x \in A / 2, y \in B / 2, \tau]}{\partial z} + \\
 + \lambda_1^{\text{ст}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ст}}[z = Z_1, x \in A / 2, y \in B / 2, \tau]}{\partial z} = 0. \\
 8. t_2^{\text{кол}}[z \in Z_1, x \in A / 2, y \in B / 2, \tau = 0] = \theta.
 \end{array} \right\} \quad (5)$$

СБОРНО-МОНОЛИТНАЯ ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ *Монолитная часть плиты перекрытия*

$$\left. \begin{array}{l}
 9. \frac{\partial t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1^{\text{пл}}}{c_1^{\text{пл}}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
 \left. + \frac{\partial^2 t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right] + \frac{W_{\text{экз}}^{\text{пл}}}{c_1^{\text{пл}}} + \frac{W_{\text{иск}}^{\text{пл}}}{c_1^{\text{пл}}}, \quad z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \\
 \{x \in [(A / 2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B / 2), Y]\}, \quad \tau \in T. \\
 10. -\lambda_1^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{пл}}[z = Z_1, x, y, \tau]}{\partial z} = K_{\text{пп}} \cdot [t_1^{\text{пл}}(z = Z_1, x, y, \tau) - (\theta_t \vee \theta)], \\
 \{x \in [(A / 2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B / 2), Y]\}, \quad \tau \in T.
 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l}
11. \frac{\partial t_1^{\text{пл}}\{[z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m)], x \geq X, y, \tau\}}{\partial x} = 0, \\
\quad \{y \in [(B/2), Y] \vee y \in Y\}, \tau \in T. \\
12. \frac{\partial t_1^{\text{пл}}\{[z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m)], x, y \geq Y, \tau\}}{\partial y} = 0, \\
\quad \{x \in [(A/2), X] \vee x \in X\}, \tau \in T. \\
13. -\lambda_2^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{пл}}(z = Z_1 + \delta_m, x, y, \tau)}{\partial z} + \lambda_1^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{пл}}(z = Z_1 + \delta_m, x, y, \tau)}{\partial z} = 0, \\
\quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
14. t_1^{\text{пл}}(z, x, y, \tau = 0) = t_{6c}^{\text{пл}}, z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \\
\quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}. \\
15. R(z, x, y, \tau = 0) = 0, z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \\
\quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}. \\
16. R^{\tau+\Delta\tau}(z, x, y) = R^\tau(z, x, y) + \Delta R^{(\tau, \tau+\Delta\tau)}(z, x, y), \\
\quad z \in (Z_1, Z_1 + \delta_m), \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \\
\quad \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}. \\
17. \begin{cases} N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{нв}}), \\ N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{нв}}), (T_p + T_{\text{нв}} + T_{\text{окт}})]. \end{cases} \\
\quad \left\{ \begin{array}{l} N = M^{\text{пл}}, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max}, \\ N = \Delta M^{\text{пл}}, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max}; \end{array} \right. \\
18. \begin{cases} N = M^{\text{пл}}, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ып}}) \wedge p = 2 \cdot k, k = 1, 2, \dots, s, \\ N = 0, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ып}}) \wedge p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, s; \end{cases} \\
\quad \left\{ \begin{array}{l} N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{ып}}), (T_p + T_{\text{ып}} + T_{\text{окт}})] \wedge \text{abs}\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max}, \\ N = \Delta M_2, \tau \in [(T_p + T_{\text{ып}}), (T_p + T_{\text{ып}} + T_{\text{окт}})] \wedge \text{abs}\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right)_{\max}. \end{array} \right. \end{array} \right\} (5)$$

Сборная часть сборно-монолитной плиты перекрытия

$$\left. \begin{array}{l}
19. \frac{\partial t_2^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^{\text{пл}}}{c_2^{\text{пл}}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_2^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
\quad \left. + \frac{\partial^2 t_2^{\text{пл}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], z \in [(Z_1 + \delta_m), Z_1 + s1], \\
\quad \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in X \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T. \\
20. \frac{\partial t_2^{\text{пл}}(z, x = 0, y, \tau)}{\partial x} = 0, y \in Y. \\
21. \frac{\partial t_2^{\text{пл}}(z, x, y = 0, \tau)}{\partial y} = 0, x \in X. \end{array} \right\}$$

$$22. \frac{\partial t_2^{\text{ПЛ}}(z, x \geq X, y, \tau)}{\partial x} = 0, \{y \in [(B/2), Y] \vee y \in Y\}, \tau \in T.$$

$$23. \frac{\partial t_2^{\text{ПЛ}}(z, x, y \geq Y, \tau)}{\partial y} = 0, \{x \in [(A/2), X] \vee x \in X\}, \tau \in T.$$

$$24. -\lambda_2^{\text{ПЛ}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{ПЛ}} \{z = Z_1 + s\mathbf{1}, [x \in (A/2, X) \wedge y \in b_p/2] \vee [x \in b_p/2 \wedge y \in (B/2, Y), \tau]\}}{\partial z} + \\ + \lambda_2^p \cdot \frac{\partial t_2^p \{z = Z_1 + s\mathbf{1}, [x \in (A/2, X) \wedge y \in b_p/2] \vee [x \in b_p/2 \wedge y \in (B/2, Y), \tau]\}}{\partial z} = 0.$$

$$25. -\lambda_2^{\text{ПЛ}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{ПЛ}} [z = Z_1 + s\mathbf{1}, x, y, \tau]}{\partial z} = \alpha \cdot [t_2^{\text{ПЛ}}(z = Z_1 + s\mathbf{1}, x, y, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)],$$

$$\{x \in [(A/2), X] \wedge y \in Y\} \vee \{x \in [b_p/2], X] \wedge y \in Y\}, \tau \in T.$$

$$26. t_2^{\text{ПЛ}}(z, x, y, \tau = \mathbf{0}) = (\theta_\tau \vee \theta).$$

СБОРНЫЕ РИГЕЛИ

$$27. \frac{\partial t_2^p(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^p}{c_2^p} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_2^p(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^p(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 t_2^p(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_2 + s\mathbf{2})],$$

$$\{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \{x \in b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T.$$

$$28. -\lambda_2^p \cdot \frac{\partial t_2^p \{z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], x, y, \tau\}}{\partial x} =$$

$$= \alpha \cdot [t_2^p \{z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], x, y, \tau\} - (\theta_\tau \vee \theta)],$$

$$\{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \{x = b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T.$$

$$29. -\lambda_2^p \cdot \frac{\partial t_2^p \{z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], x, y, \tau\}}{\partial y} =$$

$$= \alpha \cdot [t_2^p \{z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], x, y, \tau\} - (\theta_\tau \vee \theta)],$$

$$\{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \{x = b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T.$$

$$30. \frac{\partial t_2^p \{z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], x = \mathbf{0}, y, \tau\}}{\partial x} = 0,$$

$$y \in [(B/2), Y], \tau \in T.$$

$$31. \frac{\partial t_2^p \{z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], x, y = \mathbf{0}, \tau\}}{\partial y} = 0,$$

$$x \in [(A/2), X], \tau \in T.$$

$$32. -\lambda_2^p \cdot \frac{\partial t_2^p \{z = Z_1 + s\mathbf{2}, x, y, \tau\}}{\partial z} =$$

$$= \alpha \cdot [t_2^p(z = Z_1 + s\mathbf{2}, x, y, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)],$$

$$\{x \in b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\} \vee \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\}, \tau \in T.$$

$$33. t_2^p(z, x, y, \tau = \mathbf{0}) = (\theta_\tau \vee \theta),$$

$$z \in [(Z_1 + s\mathbf{1}), (Z_1 + s\mathbf{2})], \{x \in [(A/2), X] \wedge y \in b_p/2\} \vee \\ \vee \{x \in b_p/2 \wedge y \in [(B/2), Y]\}, \tau \in T.$$

СТЫК КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
СБОРНОЙ КОЛОННЫ

$$34. \frac{\partial t_1^{\text{ct}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1^{\text{ct}}}{c_1^{\text{ct}}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_1^{\text{ct}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_1^{\text{ct}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 t_1^{\text{ct}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right] + \frac{W_{\text{экз}}^{\text{ct}}}{c_1^{\text{ct}}} + \frac{W_{\text{иск}}^{\text{ct}}}{c_1^{\text{ct}}}, z \in [Z_1, (Z_1 + s2)],$$

$x \in A / 2, y \in B / 2, \tau \in T.$

$$35. -\lambda_1^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{пл}} \{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)]\}, x, y, \tau}{\partial x} + \\ + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)]\}, x, y, \tau}{\partial x} = 0,$$

$x = A / 2, y \in B / 2, \tau \in T.$

$$36. -\lambda_1^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{пл}} \{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)]\}, x, y, \tau}{\partial y} + \\ + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)]\}, x, y, \tau}{\partial y} = 0,$$

$x \in A / 2, y = B / 2, \tau \in T.$

$$37. -\lambda_2^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{пл}} \{z \in [(Z_1, Z_1 + \delta_m)]\}, x, y, \tau}{\partial x} + \\ + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in [(Z_1 + \delta_m), (Z_1 + s1)]\}, x, y, \tau}{\partial x} = 0,$$

$x = A / 2, y \in B / 2, \tau \in T.$

$$38. -\lambda_2^{\text{пл}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{пл}} \{z \in [(Z_1 + \delta_m)(Z_1 + s1)]\}, x, y, \tau}{\partial y} + \\ + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in [(Z_1 + \delta_m)(Z_1 + s1)]\}, x, y, \tau}{\partial y} = 0,$$

$x \in A / 2, y = B / 2, \tau \in T.$

$$39. -\lambda_2^{\text{кол}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{кол}} \{z = Z_1 + s2, x, y, \tau\}}{\partial z} + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z = Z_1 + s2, x, y, \tau\}}{\partial z} = 0,$$

$x \in A / 2, y \in B / 2, \tau \in T.$

$$40. -\lambda_2^{\text{п}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{п}} \{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)]\}, x, y, \tau}{\partial x} + \\ + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)]\}, x, y, \tau}{\partial x} = 0,$$

$\{x = A / 2 \wedge y \in b_p / 2\}, \tau \in T.$

$$41. -\lambda_2^{\text{п}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{п}} \{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)]\}, x, y, \tau}{\partial y} + \\ + \lambda_1^{\text{ct}} \cdot \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in [(Z_1 + s1), (Z_1 + s2)]\}, x, y, \tau}{\partial y} = 0,$$

$\{x \in b_p / 2 \wedge y = B / 2\}, \tau \in T.$

(5)

$$\left. \begin{array}{l}
42. \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in (Z_1, Z_1 + s2), x = \mathbf{0}, y, \tau\}}{\partial x} = 0, y \in B / 2, \tau \in T. \\
43. \frac{\partial t_1^{\text{ct}} \{z \in (Z_1, Z_1 + s2), x, y = \mathbf{0}, \tau\}}{\partial y} = 0, x \in A / 2, \tau \in T. \\
44. t_1^{\text{ct}}(z, x, y, \tau = \mathbf{0}) = t_{6c}^{\text{ct}}, z \in (Z_1, Z_1 + s2), x \in A / 2, y \in B / 2. \\
45. R(z, x, y, \tau = \mathbf{0}) = 0, z \in (Z_1, Z_1 + s2), x \in A / 2, y \in B / 2. \\
46. R^{\tau + \Delta\tau}(z, x, y) = R^\tau(z, x, y) + \Delta R^{(\tau, \tau + \Delta\tau)}(z, x, y), \\
z \in (Z_1, Z_1 + s2), x \in A / 2, y \in B / 2. \\
47. \begin{cases} N = M^{\text{ct}}, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{HB}}), \\ N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{HB}}), (T_p + T_{\text{HB}} + T_{\text{oct}})]. \end{cases} \\
48. \begin{cases} N = \Delta M_1^{\text{ct}}, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{\max}, \\ N = \Delta M, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t}{\partial \tau} \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{\max}, \\ N = M_{\text{ct}}, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{yp}}) \wedge p = 2 \cdot k, k = 1, 2, \dots, s, \\ N = 0, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{yp}}) \wedge p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, s, \\ N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{yp}}), (T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{oct}})] \wedge \text{abs}\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) < \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{\max}, \\ N = \Delta M_2^{\text{ct}}, \tau \in [(T_p + T_{\text{yp}}), (T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{oct}})] \wedge \text{abs}\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) \geq \left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)_{\max}. \end{cases} \quad (5) \\
\end{array} \right\}$$

НИЖНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

$$\left. \begin{array}{l}
49. \frac{\partial t_2^{\text{kol}}(z, x, y, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2^{\text{kol}}}{c_2^{\text{kol}}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_2^{\text{kol}}(z, x, y, \tau)}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t_2^{\text{kol}}(z, x, y, \tau)}{\partial x^2} + \right. \\
\left. + \frac{\partial^2 t_2^{\text{kol}}(z, x, y, \tau)}{\partial y^2} \right], z \in [(Z_1 + s2), (Z_1 + s2 + Z_2)], \\
x \in A / 2, y \in B / 2, \tau \in T. \\
50. -\lambda_2^{\text{kol}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{kol}}(z, x = A / 2, y, \tau)}{\partial x} = \\
= \alpha \cdot [t_2^{\text{kol}}(z, x = A / 2, y, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)], \\
y \in B / 2, \tau \in T. \\
51. -\lambda_2^{\text{kol}} \cdot \frac{\partial t_2^{\text{kol}}(z, x, y = B / 2, \tau)}{\partial y} = \\
= \alpha \cdot [t_2^{\text{kol}}(z, x, y = B / 2, \tau) - (\theta_\tau \vee \theta)], x \in A / 2, \tau \in T. \\
\end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 52. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}(z, x = \mathbf{0}, y, \tau)}{\partial x} = 0, \\
 z \in [(Z_1 + s2), (Z_1 + s2 + Z_2)], y \in B / 2, \tau \in T. \\
 \\
 53. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}(z, x, y = \mathbf{0}, \tau)}{\partial y} = 0, \\
 z \in [(Z_1 + s2), (Z_1 + s2 + Z_2)], x \in A / 2, \tau \in T. \\
 \\
 54. \frac{\partial t_2^{\text{кол}}[z \geq (Z_1 + s2 + Z_2), x, y, \tau]}{\partial z} = 0, \\
 x \in A / 2, y \in B / 2, \tau \in T. \\
 \\
 55. t_2^{\text{кол}}\{z \in [(Z_1 + s2), (Z_1 + s2 + Z_2)], x, y, \tau = \mathbf{0}\} = (\theta_{\tau} \vee \theta),
 \end{array} \right\} \quad (5)$$

ВЕРХНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

(5.1) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона верхнего конструктивного элемента сборной колонны при $W_{\text{экз}}(\tau) = 0 \wedge W_{\text{иск}}(\tau) = 0$; (5.2) — ГУ I рода сверху (на границе зоны теплового влияния по координатной оси Z прогреваемого бетона заделки стыка верхнего и нижнего конструктивных элементов сборной колонны); (5.3) и (5.4) — ГУ III рода на неутепленных вертикальных гранях верхнего конструктивного элемента сборной колонны, нормальных к координатным осям соответственно x и y ; (5.5) и (5.6) — условия геометрической симметрии температурного поля свежеуложенного бетона заделки стыка конструктивных элементов сборной колонны соответственно по координатным осям x и y ; (5.7) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения верхнего конструктивного элемента сборной колонны с бетоном замоноличивания стыка верхнего и нижнего конструктивных элементов сборной колонны); (5.8) — начальное условие для верхнего конструктивного элемента сборной колонны, где $\theta(\tau)$ — температура наружного воздуха на момент производства работ.

СБОРНО-МОНОЛИТНАЯ ПЛИТА ПЕРЕКРЫТИЯ *Монолитная часть плиты перекрытия*

(5.9) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности свежеуложенного бетона монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия с двумя объемно-распределительными источниками тепла; (5.10) — ГУ III рода на утепленной поверхности монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.11) и (5.12) — ГУ I рода на границах зон теплового влияния прогреваемого бетона заделки стыка элементов сборной колонны на бетон монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.13) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения по оси Z монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия с бетоном сборной части этой плиты); (5.14) и (5.15) — начальные условия соответственно по температуре и прочности свеже-

уложенного бетона монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.16) — математическая формализация процесса нарастания прочности бетона монолитного слоя во всех узлах объемной координатной сетки; (5.17) — алгоритмический диспетчер, «управляющий» традиционным температурным режимом тепловой обработки бетона с его изотермическим выдерживанием; (5.18) — алгоритмические диспетчеры управляемых температурных режимов разогрева, прогрева в оптимальном температурном диапазоне (с обеспечением энергосбережения (до 30 %) за счет полезного использования тепловой инерции бетона и контроля нормативных температурных ограничений), а также остывания бетона.

Конструктивные элементы сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия

(5.19) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия; (5.20) и (5.21) — ГУ I рода на границах зоны теплового влияния прогреваемого бетона заделки стыка элементов сборной колонны на бетон сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия по координатным осям соответственно x и y ; (5.22) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения по оси Z сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия со сборными ригелями); (5.23) — ГУ III рода на нижней неутепленной поверхности сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, не сопрягающейся со сборными ригелями по оси Z ; (5.24) — начальное условие для бетона сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия, где $\theta_t = 20\ldots25^\circ\text{C}$ — температура воздуха на нижерасположенном этаже здания при реализации метода «термоса» с обогревом возвезденных конструкций калориферами; θ — температура наружного воздуха ($^\circ\text{C}$) на момент производства работ с реализацией второго варианта, указанного в физической постановке задачи.

СБОРНЫЕ РИГЕЛИ

(5.25) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона сборных ригелей; (5.26) и (5.27) — ГУ III рода на неутепленных вертикальных гранях сборных ригелей, нормальных к координатным осям соответственно x и y ; (5.28) и (5.29) — условия симметрии температурного поля в бетоне сборных ригелей соответственно при $x = 0$ и $y = 0$; (5.30) — ГУ III рода на неутепленной нижней горизонтальной грани сборных ригелей; (5.31) — начальное условие для бетона сборных ригелей.

СТЫК КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

(5.32) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности свежеуложенного бетона заделки стыка с двумя объемно-распределенными источниками тепла; (5.33) и (5.34) — ГУ IV рода (условия теплового сопряжения бетона заделки стыка с бетоном монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия по координатным осям соответственно x и y); (5.35) и (5.36) — ГУ IV рода (условия теплового сопряжения бетона заделки стыка с бетоном сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия по координатным осям соответственно x и y);

(5.37) — ГУ IV рода (условие теплового сопряжения по оси Z бетона заделки стыка с бетоном нижнего конструктивного элемента сборной колонны); (5.38) и (5.39) — ГУ IV рода (условия теплового сопряжения бетона заделки стыка с бетоном сборных ригелей по координатным осям соответственно x и y); (5.40) и (5.41) — условия симметрии температурного поля в бетоне заделки стыка элементов сборной колонны на геометрической оси стыка соответственно при $x = 0$ и $y = 0$; (5.42) и (5.43) — начальные условия соответственно по температуре и прочности свежеуложенного бетона заделки стыка; (5.44) — математическая формализация процесса нарастания прочности бетона заделки стыка во всех узлах объемной координатной сетки; (5.45) — алгоритмический диспетчер, «управляющий» традиционным температурным режимом тепловой обработки бетона с его изотермическим выдерживанием; (5.46) — алгоритмические диспетчеры управляемых температурных режимов разогрева, прогрева в оптимальном температурном диапазоне и остывания бетона с автоматическим контролем выполнения нормативных температурных ограничений.

НИЖНИЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СБОРНОЙ КОЛОННЫ

(5.47) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона нижнего конструктивного элемента сборной колонны; (5.48) и (5.49) — ГУ III рода на неутепленных вертикальных гранях нижнего элемента сборной колонны, нормальным к координатным осям соответственно x и y ; (5.50) и (5.51) — условия симметрии температурного поля на геометрической оси нижнего конструктивного элемента сборной колонны соответственно при $x = 0$ и $y = 0$; (5.52) — ГУ I рода на нижней границе зоны теплового влияния по оси Z прогреваемого бетона заделки стыка на бетон нижнего конструктивного элемента сборной колонны; (5.53) — начальное условие для бетона нижнего элемента сборной колонны.

В математической модели (5) индекс «1» — свежеуложенный бетон монолитного слоя сборно-монолитной плиты перекрытия ($\lambda_1^{\text{пл}}$, $C_1^{\text{пл}}$ и $\rho_1^{\text{пл}}$ при $W_{\text{экз}} \neq 0$ и $W_{\text{иск}} \neq 0$) и бетона заделки стыка элементов сборной колонны ($\lambda_1^{\text{ст}}$, $C_1^{\text{ст}}$ и $\rho_1^{\text{ст}}$ при $W_{\text{экз}} \neq 0$ и $W_{\text{иск}} \neq 0$); «2» — бетон конструктивных элементов сборной части сборно-монолитной плиты перекрытия ($\lambda_2^{\text{пл}}$, $C_2^{\text{пл}}$ и $\rho_2^{\text{пл}}$ при $W_{\text{экз}} = 0$ и $W_{\text{иск}} = 0$), сборных ригелей ($\lambda_2^{\text{р}}$, $C_2^{\text{р}}$ и $\rho_2^{\text{р}}$ при $W_{\text{экз}} = 0$ и $W_{\text{иск}} = 0$) и конструктивных элементов сборной колонны ($\lambda_2^{\text{кол}}$, $C_2^{\text{кол}}$ и $\rho_2^{\text{кол}}$ при $W_{\text{экз}} = 0$ и $W_{\text{иск}} = 0$) сборно-монолитного каркаса.

При фиксировании координатной привязки всех элементов математической модели (5) полужирным шрифтом обозначены ключевые элементы этой привязки.

В соответствии с ГОСТ 19.701–90 (НСО 5807–85) численная реализация математической модели (5) должна включать выполнение следующих операций:

- 1) обоснование абсолютно устойчивой и абсолютно сходимой неявной разностной схемы численной аппроксимации трехмерных дифференциальных уравнений теплопроводности бетона — в данном случае в декартовой системе координат неявной разностной схемы дробных шагов Н.Н. Яненко;

2) разработку укрупненной блок-схемы численной реализации математической модели (5), а также вспомогательных блок-схем (блок-схемы численной реализации алгоритмических диспетчеров, «управляющих» разогревом, прогревом и остыванием бетона с автоматическим контролем выполнения нормативных температурных ограничений, блок-схемы компьютерной интерполяции высокодостоверных экспериментальных данных ЦНИИОМТП [3]);

3) разработку и отладку программного продукта на алгоритмическом языке высокого уровня с решением тестовой задачи для конкретного строительного объекта в г. Новосибирске и др.

Автором разработана укрупненная блок-схема численной реализации математической модели (5) в целом, а также адаптирована к решаемой задаче вспомогательная блок-схема.

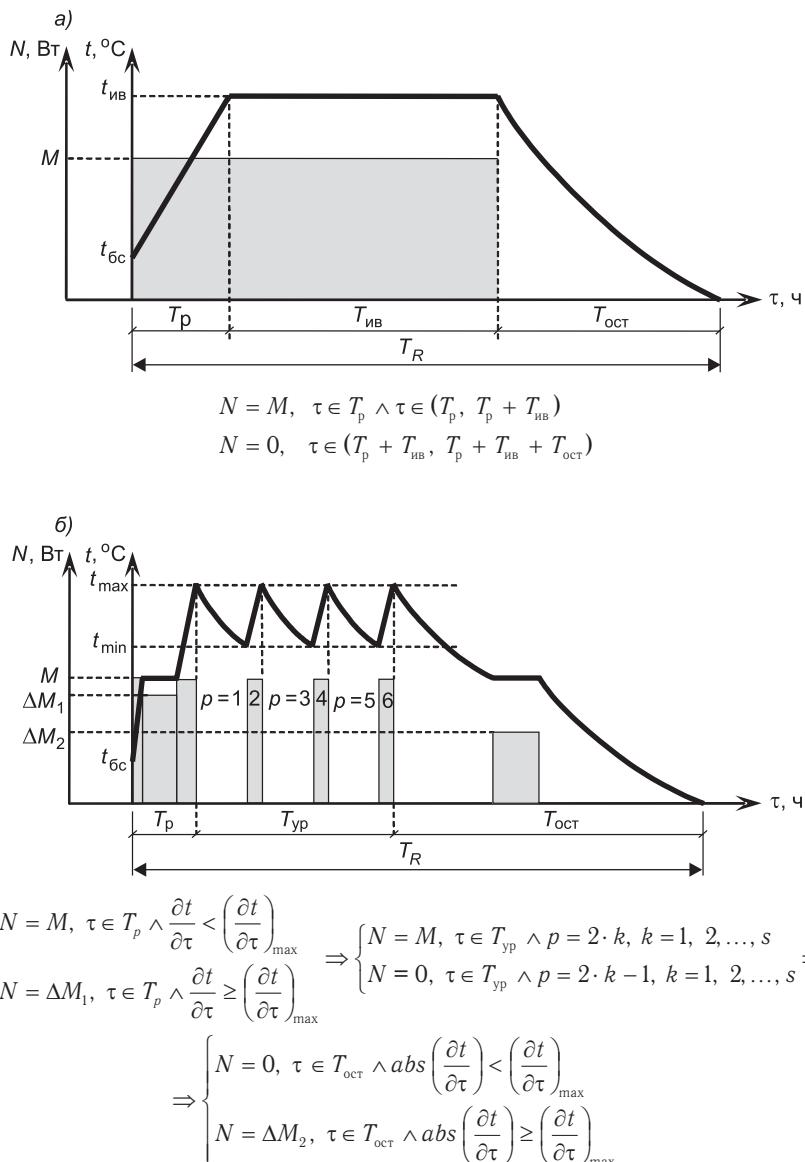
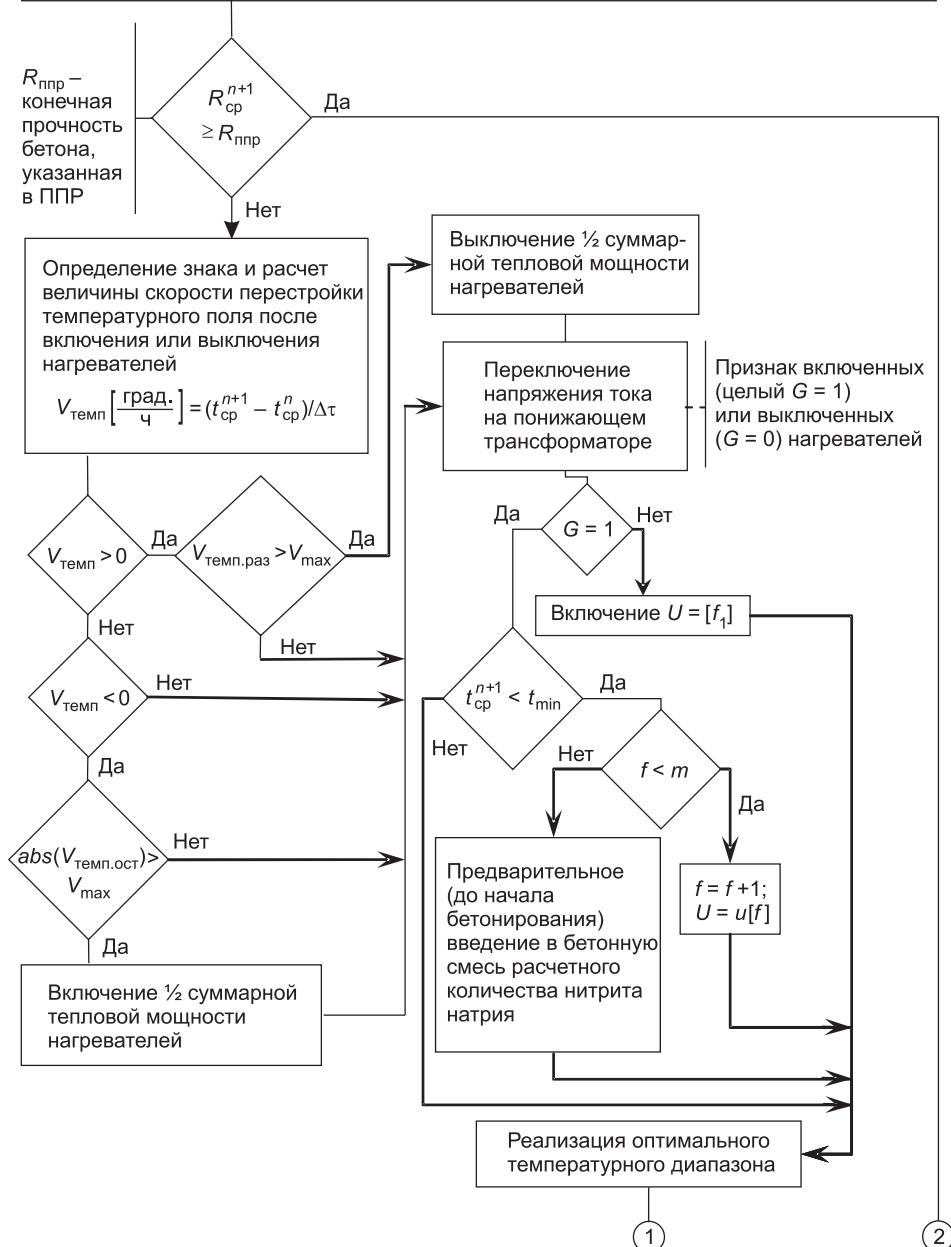


Рис. 2. Неуправляемый (а) и управляемые (б) температурные режимы разогрева, прогрева и остывания бетона

Завершение вложенных циклов $[i(\Delta z) \leq j(\Delta x) \leq k(\Delta y)]$ с прямыми (с расчетом прогоночных коэффициентов) и с обратными (с расчетом температуры и прочности свежеуложенного бетона) прогонками перед переходом на новый шаг внешнего цикла по Δt с заполнением вещественных массивов: а) при $i \leq M_1$ массивов $t_2^{n+1/3}[i, 0:N_1, 0:U_1]$, $t_3^{n+2/3}[i, 0:N_2, 0:U_2]$ и $t_4^{n+1}[i, 0:N_1, 0:U_1]$, а также $R_2^{n+1/3}[i, 0:N_1, 0:U_1]$, $R_3^{n+2/3}[i, 0:N_1, 0:U_1]$ и $R_4^{n+1}[i, 0:N_1, 0:U_1]$; б) при $i \in [M_1+1, M_2]$ массивов $t_2^{n+1/3}[i, 0:N_2, 0:U_2]$, $t_3^{n+2/3}[i, 0:N_2, 0:U_2]$ и $t_4^{n+1}[i, 0:N_1, 0:U_1]$; в) при $i \in [M_2+1, M_3]$ массивов $t_2^{n+1/3}[i, 0:N_1, 0:U_1]$, $t_3^{n+2/3}[i, 0:N_1, 0:U_1]$, $t_4^{n+1}[i, 0:N_1, 0:U_1]$

Расчет среднеобъемной температуры t_{cp}^{n+1} и среднеобъемной прочности бетона R_{cp}^{n+1} бетонируемой колонны на шаге внешнего цикла $n+1$



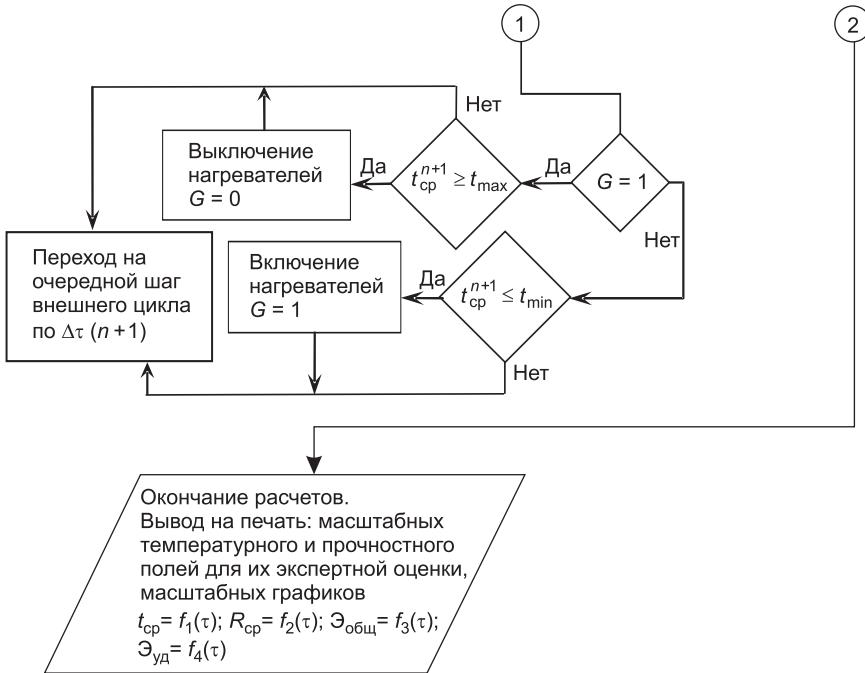


Рис. 3. Блок-схема численной реализации алгоритмических диспетчеров, «управляющих» разогревом, прогревом бетона в оптимальном температурном диапазоне и его остыванием с обеспечением существенного (до 30 %) энергосбережения за счет полезного использования тепловой инерции и с выполнением нормативных температурных ограничений за счет регулирования суммарной тепловой мощности нагревателей

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Лунев, Ю.В. Зимнее бетонирование стыков сборных и сборно-монолитных каркасов [Текст] / Ю.В. Лунев // Сб. докл. 12-й Сиб. (Междунар.) конф. по железобетону : науч. тр. Общества железобетонщиков Урала и Сибири. — Новосибирск : Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2010. — Вып. 10. — С. 97–101.
- Молодин, В.В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях [Текст] / В.В. Молодин, Ю.В. Лунев. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. — 300 с.
- Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях в районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера [Текст] / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М. : Стройиздат, 1982. — 213 с.
- Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами [Текст] / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М. : Изд-во ЦНИИОМТП, 1989. — 67 с.

ТОЛОЧНАЯ Е.Б., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 09.02.11

Tolochnaya E.B., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

RATIONALE FOR THE PHYSICAL MODEL AND DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF TEMPERATURE AND STRENGTH FIELDS IN CONCRETE DURING WINTER CONCRETING OF CONSTRUCTION ELEMENTS OF PRECAST-MONOLITHIC BUILDING FRAMES

Controlled temperature conditions of heating, warming up in the optimal temperature range and the cooling of the concrete are scientifically substantiated and practically realized. Three alternative methods of heating the concrete of monolithic layer of prefabricated-monolithic slabs and the concrete of jointing of structural elements of the precast column are considered. Enlarged block diagram of a numerical realization of the mathematical model and the auxiliary block diagram of a numerical realization of controlled temperature regimes are developed.

Key words: winter concreting of the monolithic layer of precast-monolithic slabs, winter concreting of joints of structural elements of prefabricated columns, controlled temperature regimes, electrode heating, heating with electric heating wires.

REFERENCES

1. Lunev, Yu.V. Winter concreting of joints of prefabricated and precast-monolithic frameworks [Text] / Yu.V. Lunev // Collection of reports of 12th Siberian (international) conf. on reinforced concrete : Collection of scientific papers of the Reinforced Concrete Specialists Society from Ural and Siberia. — Novosibirsk: Publ. House of NSUACE (Sibstrin), 2010. — Issue 10. — P. 97–101.
 2. Molodin, V.V. Concreting of monolithic constructions in winter conditions [Text] / V.V. Molodin, Yu.V. Lunev. — Novosibirsk: NSUACE (Sibstrin), 2006. — 300 p.
 3. Guidelines for concrete works in winter conditions in the Far East, Siberia and the Far North [Text] / TSNIIOMTP of Gosstroj USSR. — M. : Stroyizdat, 1982. — 213 p.
 4. Recommendations for electrical heating of monolithic concrete and reinforced concrete by heating wires [Text] / TSNIIOMTP of Gosstroj USSR. — M. : Publ. House of TSNIIOMTP, 1989. — 67 p.
-

УДК 69.05:658.512.6

Ю.Б. КАЛУГИН

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ КВАЗИПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАБОТ

Предложена модель, обосновывающая увеличение фактических сроков выполнения последовательных процессов с вероятностными временными параметрами с учетом даты планирования и даты начала реализации проекта. Установлен рациональный горизонт оперативного планирования (рациональное число шагов).

Ключевые слова: достоверность планов, вероятностные временные параметры, прогнозирование сроков, горизонт планирования.

Анализ современного состояния теории и практики календарного планирования показывает недостаточную надежность и достоверность этих планов и программ. Так, фактическая стоимость и продолжительность различных инвестиционных строительных проектов существенно превышают соответствующие показатели, определенные на стадии планирования. Причина существенной разницы между плановыми и фактическими параметрами заключается, прежде всего, в воздействии на выполняемые работы многочисленных дестабилизирующих факторов, которые могут быть учтены посредством использования вероятностных оценок продолжительности выполнения работ.

В работах [1–3] для различных исполнителей (строительных бригад, подразделений) в зависимости от уровня их организации (высокий, средний, низкий) установлены законы распределения продолжительности работ, определены зависимости между их числом и сроками выполнения, а также исследованы вероятностная структура строительного потока и ее влияние на сроки реализации работ.

Установлено, что помимо смещения математического ожидания продолжительности выполнения каждой отдельной работы в календарных планах происходит и увеличение сроков окончания параллельных и квазипараллельных (как будто бы параллельных) работ, связанных разнообразными ресурсными и объектными связями, как явными, так и неявными.

Если явные ресурсные и объектные связи отражают технологию и организацию планируемых процессов (переход исполнителей, освобождение фронта работ), то неявные — вероятную занятость исполнителя и фронт работ, не отражаемые на известных календарных графиках (линейных, сетевых и др.). Введение в расчетную модель календарного плана неявных ресурсных и объектных связей позволяет учитывать связь даты планирования с датой начала реализации плана и их влияние на сроки окончания работ.

В качестве упрощенной расчетной модели фрагмента календарного плана рассмотрим последовательную цепочку работ на объекте 5 с соот-

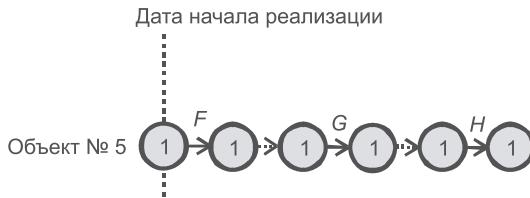


Рис. 1. Модель цепочки работ

значает число связей для соответствующего события. Данный случай будет иметь место лишь в том случае, когда ресурсы (исполнители *G* и *H*) заранее передислоцированы к объекту и ожидают сроков окончания предшествующих работ, что весьма маловероятно. Очевидно, что исполнители *G* и *H* к дате начала реализации могут быть заняты на других объектах (участках работ), что вызывает дополнительные (неявные) ресурсные связи к началу их работ на данном объекте. Это обстоятельство позволяет (при условии сходной технологии и организации работ на других объектах) преобразовать первоначальную модель за счет введения дополнительных неявных ресурсных и объектных связей (рис. 2). В вершинах графа представлено число входящих ресурсных и объектных связей для соответствующего события. В этом случае квазипараллельными работами будут работы исполнителей *H* и *G* на объектах 3 и 4; *G* и *F*, а также *H* и *G* на объектах 4 и 5.

Данную модель правомерно использовать лишь в том случае, когда дата планирования совпадает с датой начала реализации проекта. В противном случае модель цепочки работ преобразуется в представленную на рис. 3. В ней отражены дополнительные (по сравнению с предыдущей моделью) ресурсные связи и часть объектных связей, вызванных возможным использованием ресурсов *F*, *G*, *H* на объектах 1–4 в период от даты планирования до даты начала работ исполнителя *F* на объекте 5.

Очевидно, что с увеличением временного интервала между датой планирования и датой начала реализации число ресурсных и объектных связей для работ *G* и *H* на объекте 5 существенно возрастает, что и увеличивает отклонение математического ожидания окончания данных работ [3]. Это обстоятельство и уменьшает достоверность календарных планов с увеличением временного интервала между датами планирования и начала реализации, а следовательно, с ростом числа неявных ресурсных и объектных связей. Кроме того, в этом случае возникают и дополнительные (неявные) объектные связи (рис. 4), вызванные необходимостью подготовки фронта работ для исполнителя *F* на объекте 5, что в свою очередь вызывает необходимость учета возможных связей предыдущих исполнителей (*E* и *D*) на объектах 4 и 5.

Данная модель (рис. 4) является расчетной моделью цепочки работ с учетом даты планирования и неявных ресурсных и объектных связей.

ветствующими объектными связями (рис. 1). На рисунке отмечена дата начала реализации (дата начала работ исполнителем *F*). Объектная связь представлена пунктирной линией, работа — сплошной. Цифра 1 в кружке обозначает

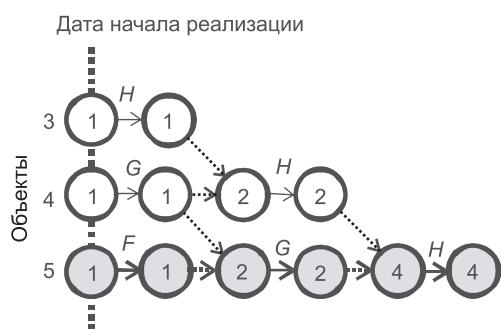


Рис. 2. Модель цепочки работ с учетом даты начала реализации и неявных ресурсных связей

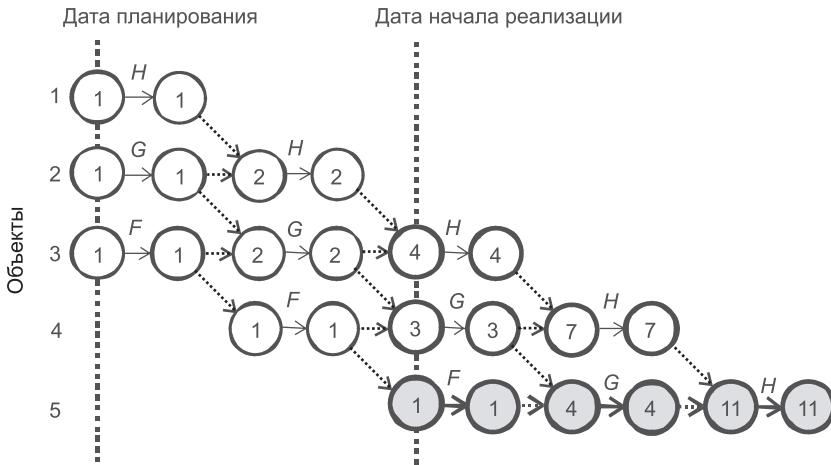


Рис. 3. Модель цепочки работ с учетом даты планирования и неявных ресурсных связей

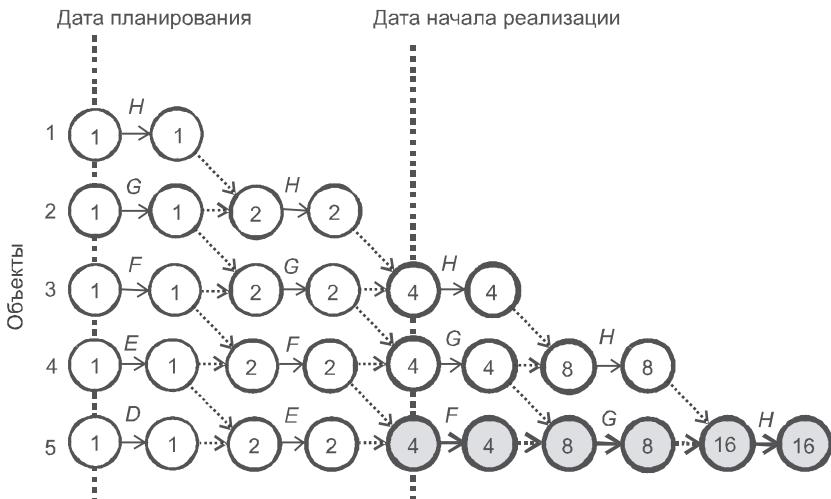


Рис. 4. Модель цепочки работ с учетом даты планирования и неявных ресурсных и объектных связей

Числа в вершинах графа соответствуют числам входящих ресурсных и объектных связей.

Данная модель полностью соответствует вероятностной структуре строительного потока, для которой установлены зависимости между смещением математического ожидания работ и числом ресурсных и объектных связей [3].

На рис. 5 представлен пример последовательного выполнения пяти работ (A, B, C, D, E) и приведена соответствующая ему модель квазипараллельных работ в случае нормального закона распределения продолжительностей работ (при высоком уровне их организации). Дата планирования совпадает с датой начала реализации проекта. Продолжительность выполнения каждой из пяти работ равна четырем месяцам. Такие условия соответствуют хорошо известному установившемуся потоку с равными ритмами. В кружках проставлены исполнители, числа над работами соответствуют числам ресурсных и объектных связей.

Выполненные исследования [1, 2] позволили определить величину смещения математического ожидания двух параллельных (квазипарал-

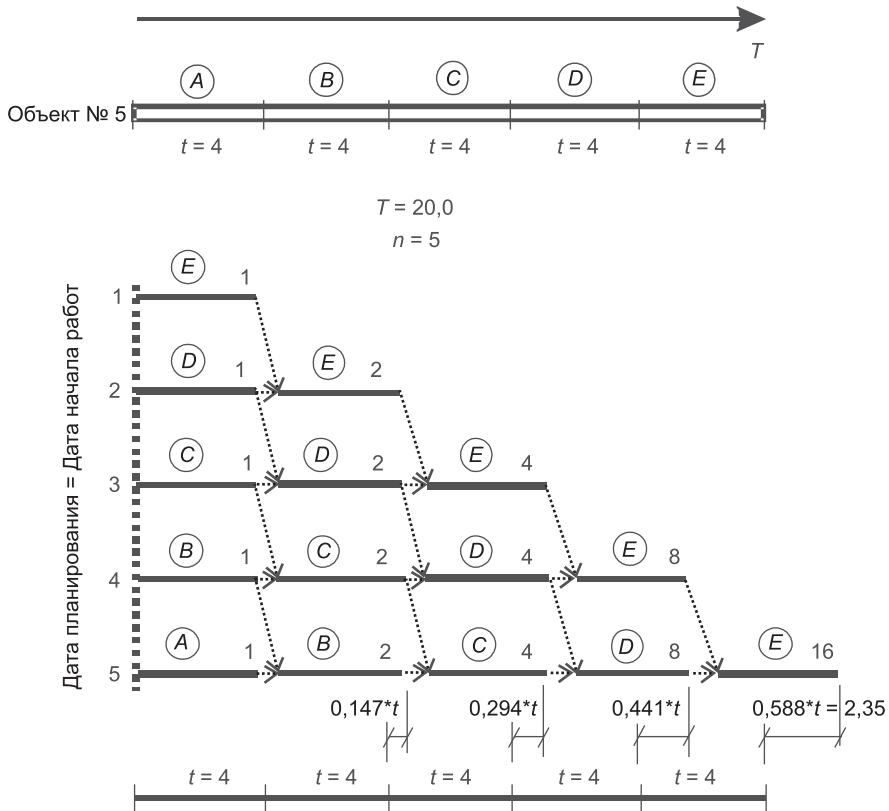


Рис. 5. Модель квазипараллельных работ

льных) работ равной продолжительности (t) для исполнителей с высоким уровнем организации:

$$\Delta_2 = 0,147t. \quad (1)$$

В [3] установлено, что на каждом шаге потока происходит смещение математического ожидания двух работ на величину Δ_2 . Тогда смещение математического ожидания окончания всех работ составит

$$\Delta = \Delta_2(s-1) = 4\Delta_2. \quad (2)$$

Здесь s — число шагов календарного плана (в данном случае $s = 5$).

Относительное смещение расчетных сроков окончания проекта составит

$$\Delta^{\text{общ}} = \Delta_2 \frac{s-1}{s}. \quad (3)$$

В соответствии с зависимостями (1), (2) на рис. 5 представлены рассчитанные отклонения вероятных сроков окончания работ от плановых. Так, расчетная продолжительность работ составит 22,35 мес, или 112 % от запланированной с использованием известных подходов.

В случае больших значений s (отдаленного горизонта, большого числа шагов или этапов планирования)

$$\Delta^{\text{общ}} \approx \Delta_2. \quad (4)$$

Это означает, что в соответствии с расчетной моделью величина смещения математического ожидания последовательных работ будет эквивалентна смещению математического ожидания двух квазипараллельных работ.

С учетом [2] эта величина при нормальном законе распределения продолжительности работ в случае, когда дата планирования совпадает с датой начала реализации проекта, составит

$$\Delta^{\text{общ}} = 0,147T_{\text{пл}} \approx 0,15T_{\text{пл}}. \quad (5)$$

Выражение (5) показывает, что даже при высоком уровне организации работ, соответствующем нормальному закону распределения продолжительности, увеличение плановых сроков ($T_{\text{пл}}$) только за счет учета квазипараллельных работ и соответствующего увеличения неявных ресурсных и объектных связей составит 15 %. Так, если срок реализации проекта, состоящего из ряда последовательных работ, установленный на основании их детерминированных оценок, составляет 10 мес, то наиболее вероятный срок составит 11,5 мес.

При распределении продолжительности отдельных работ по закону усеченного нормального распределения (средний уровень организации):

$$\Delta^{\text{общ}} = (0,4 + 2,0 \cdot 0,162)T_{\text{пл}} \approx 0,72T_{\text{пл}}. \quad (6)$$

Выражение (6) показывает, что при среднем уровне организации увеличение плановых сроков ($T_{\text{пл}}$) составит уже 72 %. Так, если срок реализации проекта, установленный на основании детерминированных оценок, составляет 10 мес, то наиболее вероятный срок превысит 17 мес.

На увеличение плановых сроков ($T_{\text{пл}}$) в этом случае влияет как смещение математического ожидания продолжительности каждой отдельной работы (40 %), так и учет квазипараллельных работ (32 %).

При равномерном законе распределения продолжительности (низкий уровень организации):

$$\Delta^{\text{общ}} = (1,0 + 3 \cdot 0,167)T_{\text{пл}} \approx 1,5T_{\text{пл}}. \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что при низком уровне организации работ увеличение плановых сроков ($T_{\text{пл}}$) достигает 150 %. Так, если срок реализации проекта, установленный на основании детерминированных оценок, составляет 10 мес, то наиболее вероятный срок составит 25 мес. На увеличение плановых сроков в этом случае влияет как смещение математического ожидания продолжительности каждой отдельной работы (100 %), так и учет квазипараллельных работ (50 %). Выражения (5)–(7) получены на основании [2]. При несовпадении даты планирования и даты начала реализации проекта величина $T_{\text{пл}}$ отсчитывается от даты планирования.

Пусть в соответствии с моделью (см. рис. 4) продолжительность работ F , G , H составляет три месяца каждая. Плановая продолжительность реализации этих работ (по детерминированным оценкам) составит 9 мес. Если дата планирования на шесть месяцев (на два шага D и E) опережает дату начала реализации проекта при плановой продолжительности его реализации 9 мес, то $T_{\text{пл}} = 15$ мес. Тогда для условий (5)

$$\Delta^{\text{общ}} = 0,15 \cdot 15 \approx 2,25 \text{ мес.}$$

Наиболее вероятная продолжительность выполнения работ F , G , H , определенная на этапе планирования, составит 11,25 мес. В том случае, если дата планирования совпадает с датой начала работы F , то $T_{\text{пл}} = 9$ мес. Тогда

$$\Delta^{\text{общ}} = 0,15 \cdot 9 \approx 1,35 \text{ мес.}$$

Наиболее вероятная продолжительность выполнения работ F , G , H в этом случае составит 10,35 мес.

Полученные результаты и реализованная модель квазипараллельных работ позволяют установить и рациональный горизонт оперативного планирования (число шагов планирования). Очевидно, что горизонт эффективного оперативного планирования определяется величиной отклонения фактических сроков работ от плановых на последнем шаге. Представляется, что эта величина не должна превышать половины величины шага, т.е.

$$\Delta_{\text{г.п}} \leq 0,5t_p. \quad (8)$$

Тогда согласно модели (см. рис. 5) и выражениям (2) и (8) число шагов, соответствующих эффективному горизонту планирования, составит:

— для высокого уровня организации работ

$$n_{\text{г.п}} = 1 + \frac{0,5t_p}{0,147t_p} = 4,4; \quad (9)$$

— для среднего уровня организации работ

$$n_{\text{г.п}} = 1 + \frac{0,5t_p}{2,0 \cdot 0,162t_p} = 2,5; \quad (10)$$

— для низкого уровня организации работ

$$n_{\text{г.п}} = 1 + \frac{0,5t_p}{3 \cdot 0,167t_p} = 2,0. \quad (11)$$

Зависимости (10) и (11) получены с учетом смещения математического ожидания продолжительности одной работы по сравнению с детерминированной плановой оценкой на 40 % (усеченное нормальное распределение) и на 100 % (равномерное распределение).

Выводы. 1. Для повышения достоверности и надежности календарных планов целесообразно использование вероятностных оценок продолжительности выполнения работ, а также учет всех явных и неявных ресурсных и объектных связей.

2. Реализованная модель квазипараллельных работ обосновывает увеличение фактических сроков выполнения последовательных процессов по сравнению с плановыми с учетом даты планирования и даты начала реализации проекта. Установлено, что величина смещения математического ожидания последовательных работ будет эквивалентна смещению математического ожидания двух квазипараллельных работ.

3. Так, лишь за счет неявных ресурсных и объектных связей расчетная продолжительность реализации проектов увеличивается от 15 до 50 % в зависимости от уровня организации и управляемости исполнителей.

4. Предложенная модель позволяет установить, что рациональный горизонт оперативного планирования (рациональное число шагов) составит: при низком уровне организации работ 2 шага, при среднем — 3, при высоком — 4–5 шагов.

5. Изложенные выше модели и подходы реализуют лишь один из фрагментов реального календарного плана — цепочку последовательных процессов, связанных объектными связями. Реальные календарные планы включают целый комплекс как параллельных, так и смежных работ, связанных между собой различными ресурсными и объектными связями, что требует учета их влияния на вероятностные временные параметры и общую продолжительность реализации проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калугин, Ю.Б. Совершенствование календарного планирования строительства в условиях неопределенности [Текст] / Ю.Б. Калугин. — СПб. : ВТУ ЖДВ, 2005. — 151 с.
2. Калугин, Ю.Б. Расчет вероятностных параметров параллельных работ [Текст] / Ю.Б. Калугин // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 6. — С. 35–42.
3. Калугин, Ю.Б. Вероятностная структура строительного потока [Текст] / Ю.Б. Калугин // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 7. — С. 36–43.

*КАЛУГИН Ю.Б., д-р техн. наук, проф.; E-mail: Yuri_Kalugin@inbox.ru
Военно-транспортный институт железнодорожных войск и военных сообщений,
г. Санкт-Петербург*

Получено после доработки 16.02.11

Kalugin Yu.B., doctor of technical sciences, professor, E-mail: Yuri_Kalugin@inbox.ru, Military Institute of Rail Transport Troops and Military Communications, Sankt Petersburg, Russia

PREDICTING THE TIMING OF THE PROJECT WITH THE HELP OF A MODEL QUASI-PARALLEL PROCESSES

Implemented a model that justifies the increase in the actual timing of the implementation of sequential processes with probabilistic temporal parameters taking into account the date of the planning and commencement date of the project.

Installed rational horizon of operational planning (rational number of steps).

Key words: reliability plans, probabilistic temporal parameters, predicting the timing, the planning horizon.

REFERENCES

1. Kalugin, Yu.B. Improving the scheduling of construction in the face of uncertainty [Text] / Yu.B. Kalugin. — St. Petersburg: Military Institute of Rail Transport Troops and Military Communications, 2005. — 151 p.
2. Kalugin, Yu.B. Calculation of probabilistic parameters of parallel processes [Text] / Yu.B. Kalugin // News of Higher Educational Institutions. Construction.— 2010.— N 6.— P. 35–42.
3. Kalugin, Yu.B. Probabilistic structure of the flow of works [Text] / Yu.B. Kalugin // News of Higher Educational Institutions. Construction.— 2010.— N 7.— P. 36–43.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.514.2:624.139

С.В. БОМКИН, А.М. СУХНО

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ РАЗВИТИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Излагаются на основе многолетнего опыта эксплуатации грунтовых сооружений в условиях вечной мерзлоты, механизмы зарождения фильтрационных процессов в створе сооружений и приводится «классификатор» предпосылок к развитию фильтрации. Полученные результаты позволяют снизить аварийность грунтовых сооружений, эксплуатирующихся в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов за счет ранней диагностики развития негативных процессов.

Ключевые слова: нештатная ситуация, грунтовые гидротехнические сооружения, криолитозона.

Наиболее перспективный путь снижения аварийности грунтовых гидротехнических сооружений заключается в своевременной (ранней) диагностике начала развития негативных процессов или «подготовки» грунтовых условий к развитию таких процессов и в принятии необходимых превентивных инженерных мер.

Для решения задач построения эффективной системы контроля грунтовых гидротехнических сооружений в свою очередь необходимы знания о механизмах возникновения нештатных ситуаций (вероятных аварийных сценариев, предпосылках к их появлению и признаков), которыми сопровождается их развитие. Необходимо понимание того, что, собственно, мы ищем при интерпретации данных мониторинга.

Проведенный авторами анализ многолетнего опыта эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений на промышленных площадках северо-запада Якутии позволил выявить три основных механизма или, другими словами, предпосылки зарождения фильтрационных процессов в створе сооружения.

1. Кондуктивный — зарождение фильтрации за счет перехода грунтов основания, береговых примыканий и тела плотины в талое состояние и изменение физико-механических характеристик грунтов (плотности, пористости и др.) под воздействием потоков тепла со стороны водоема, в отдельных случаях положительных балансов тепла на гребне, в береговых примыканиях и откосе сооружения со стороны нижнего бьефа.

2. Конвективный — зарождение фильтрации преимущественно за счет заполнения водой трещин и пустот в мерзлых грунтах тела, основания и береговых примыканий плотины.

3. Флювиально-инфилтратионный — зарождение фильтрации при переходе грунтов тела, основания и примыканий плотины в талое состояние за счет влияния временных и постоянных техногенных потоков воды через ее створ (водосбросный канал, строительный проран, нагорные канавы) и возможной инфильтрации в грунты основания таких потоков.

Остановимся более подробно на каждом из этих механизмов.

Кондуктивный механизм зарождения фильтрации наиболее изучен, основы его прогноза хорошо поддаются формализации в расчетные модели, признаки его развития наиболее достоверно определяются при грамотном построении мониторинга. Существо механизма отражено на рис. 1 (вариант А).

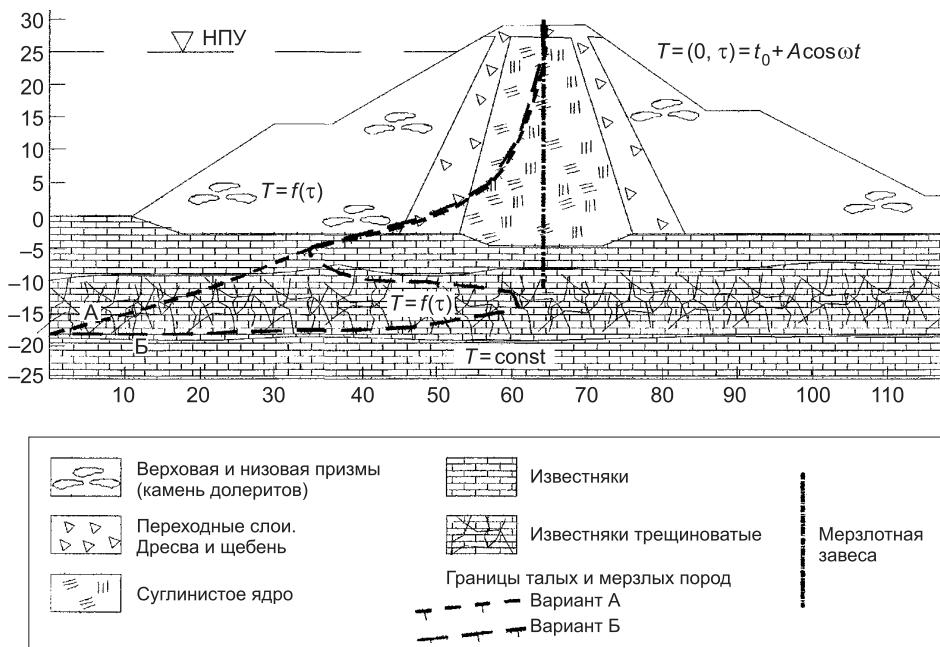


Рис. 1. Схема поперечного разреза грунтовой плотины мерзлого типа

Водоем в верхнем бьефе плотины круглый год имеет положительные температуры. Соответственно через верховой откос сооружения существует постоянный тепловой поток. Гребень, низовой откос, поверхностный слой береговых массивов, служащих примыканиями плотин в северных условиях, в большую часть года имеют отрицательную температуру. Организованные на плотинах сезонно действующие охлаждающие устройства (СОУ) также вносят свой вклад в охлаждение грунтов системы: плотина — основание — береговые примыкания. Пространственное положение фронта оттаивания в теле, основании и примыканиях плотины и его динамика во времени, таким образом, определяются взаимодействием тепла и холода.

Фильтрационный процесс, причиной зарождения которого был кондуктивный теплоперенос, включается после пересечения фронтом оттаивания противофильтрационных элементов плотины и образования сквозных таликов в теле, и/или основании, и/или береговых примыканиях. Подавляющее большинство прогнозов состояния грунтовых гидротехнических сооружений основаны на предположениях о кондуктивном механизме теплопереноса на плотинах мерзлого типа и реализованы в виде решения двух- и трехмерных задач теплопроводности с фазовой границей

в различных вариантах аппроксимации уравнения теплопроводности. Развитие кондуктивного механизма зарождения фильтрации в «чистом» виде, а также достоверность его прогноза на основе теплофизических моделей ограничиваются обязательным выполнением допущения о полной фильтрационной непроницаемости мерзлых грунтов.

Конвективный механизм зарождения фильтрации менее изучен, признаки его появления исследованы в наименьшей степени и характеризуется резким нарастанием негативных событий.

При проектировании северных грунтовых гидротехнических сооружений часто принимается как аксиома то, что многолетнемерзлые грунты являются водонепроницаемыми и при условии сохранения мерзлого состояния грунтов в створе сооружений весь период эксплуатации не требуется специальных дополнительных противофильтрационных мероприятий. Расчет в первую очередь делается на отсутствие водопроницаемости в мерзлом основании сооружения и береговых массивах. Проведенные специальные исследования [1] и выполненный авторами анализ полувекового опыта эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений на северо-западе Якутии показали, что это не всегда и не везде так. Недоучет данного фактора привел к развитию значительного числа нештатных ситуаций на грунтовых гидротехнических сооружениях региона, часть которых потребовала длительных и дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ.

Можно выделить следующие причины формирования фильтрационной проницаемости мерзлых грунтов.

1. Промерзание пород в условиях неполного их водонасыщения. Известно, что в начале голоценового периода (с 10 до 4–5 тыс. лет назад) имел место так называемый голоценовый оптимум, когда происходила деградация мерзлых толщ [2]. На рассматриваемой территории многолетнее протаивание достигло 30–40 м от дневной поверхности. После возвращения относительно холодного климата началось быстрое промерзание пород. В условиях водоразделов и круtyх склонов с учетом сложившейся на тот момент гидрогеологической обстановки промерзала зона аэрации. Все это привело к тому, что в настоящий момент береговые массивы на участках долин с крутизной бортов более 10...15°, сложенные скальными и полускальными образованиями, часто имеют открытую трещиноватость.

2. В береговых массивах крутизной более 15...25°, также сложенных скальными и полускальными породами, наблюдается формирование протяженных трещин отседания открытостью до 30...40 см и ориентированных параллельно склону. Пример подобных трещин в районе левобережного примыкания дамбы хвостохранилища № 14 показан на рис. 2.

3. Строительные ошибки, такие как несоблюдение проектной отметки ядра плотины, отсыпка фрагментов ядра проницаемыми породами, разрушение монолитных мерзлых грунтов основания при взрывных работах в котлованах сооружений и др.

Анализ нештатных ситуаций на гидротехнических сооружениях Западной Якутии показывает, что в большинстве случаев при эксплуатации грунтовых плотин и дамб на участках долин с крутыми береговыми массивами мерзлых скальных и полускальных трещиноватых пород имело место развитие обходной фильтрации. Скорость продвижения талой зоны в береговых массивах вниз по долине в нижнем бьефе достигала десятков, а в отдельных случаях и 100 м в год. Подобные темпы протаивания маловероятны при только кондуктивном механизме теплопередачи.

Проявление конвективного механизма зарождения фильтрации на глухих мерзлых плотинах показано на рис. 1 (вариант Б). Видно, что на-



Рис. 2. Трещины отседания на левом борту в нижнем бьефе ограждающей дамбы хвостохранилища № 14

ряду с продвижением фронта оттаивания за счет кондуктивного теплообмена происходит заполнение водой фрагментов основания (примыканий, тела) плотины, имеющих открытую трещиноватость, карстовые пустоты, повышенную пористость и др. Темпы такого процесса обычно бывают крайне высокими и с большим трудом поддаются прогнозированию.

Флювиально-инфилтратионный механизм зарождения фильтрации на глухих мерзлых плотинах относится к наиболее распространенным. Из опыта эксплуатации известно, что большинство разрушений гидроузлов, построенных на многолетнемерзлых грунтах, связано с несовершенством конструкций водосбросных сооружений [3, 4]. Главной причиной разрушения является нагревающее воздействие потока воды на мерзлые грунты в основании и стенках водосброса и, как следствие, формирование сквозного фильтрующего талика.

Особенно неблагоприятными для устройства водосбросов по типу открытого саморегулирующегося канала следует считать береговые террасы, сложенные скальными сильно трещиноватыми породами или высокольдистыми термопросадочными грунтами. В скальных грунтах в результате свободного тока воды по каналу за период половодья происходит растепление подстилающих пород. Автоматическое поддержание нормального подпертого уровня (НПУ) на порогах водосбросов способствует тому, что в меженный период по каналам проходит самая нагретая верхняя часть воды из водохранилища, ускоряя процесс оттаивания грунтов. Зимой грунт промерзает, при этом образующийся в трещинах лед расширяет их. При последующем пропуске паводка инфильтрующая вода из канала, проникая в прилегающий массив по трещинам, очень быстро нагревает мерзлый грунт. Проникновение этой воды до границы предыдущего оттаивания приводит ежегодно к продвижению нулевой изотермы под дном и в бортах канала на значительную глубину.

Еще одним вариантом развития рассматриваемого механизма зарождения фильтрации может быть влияние сопряженных с плотиной или расположенных в непосредственной близости водоотводных каналов или нагорных канав. Растепляющее влияние строительного прорана также может послужить причиной возникновения фильтрации.

Анализ проявлений всех трех механизмов возникновения фильтрации на грунтовых плотинах региона позволил авторам сформулировать

классификатор предпосылок к развитию каждого из них. Создание такого классификатора необходимо для объективной оценки состояния эксплуатируемых в регионе грунтовых плотин. Предполагается его применение в качестве составляющего элемента при прогнозировании изменения температурных и, как следствие, фильтрационных свойств грунтов в створах грунтовых гидротехнических сооружений.

Предлагаемый классификатор представлен в таблице. (Флювиально-инфилтратационный механизм возникновения фильтрации в данном варианте не приводится.) За его основу приняты следующие положения.

Классификатор предпосылок к развитию механизмов фильтрации в створах грунтовых плотин в криолитозоне

Предпосылки		Механизм кондуктивный (I)
Природные	Геологические (А)	<ol style="list-style-type: none"> Присутствие в разрезе основания и примыканий высокольдистых трещиноватых скальных и полускальных пород, обломочных, грубо- и крупнозернистых рыхлых отложений. Незначительная мощность или отсутствие биогенных, тонко- и мелкодисперсных типов рыхлых отложений, перекрывающих коренные породы (естественных теплоизоляторов) в головной части водохранилища. Наличие пластовых и жильных льдов
	Геоморфологические (Б)	<ol style="list-style-type: none"> В силу особенностей рельефа головной части водохранилища перед створом плотины создаются условия, обеспечивающие непосредственный контакт воды с коренными скальными и полу-скальными породами (крутые борта долин, эрозионные террасы, ледниковые долины и т.д.). Глубокая врезка современного русла (русл) водотока в рыхлые отложения
	Мерзлотно-температурные (В)	<ol style="list-style-type: none"> В пределах створа плотины в достроительный период (на момент проведения оценки) присутствуют участки мерзлых пород, обладающие повышенным температурным фоном на глубине нулевых годовых колебаний (например, более -1°C). В разрезе грунтов основания и примыканий присутствуют породы, характеризующиеся повышенной теплопроводностью
	Изыскательские (Г)	<ol style="list-style-type: none"> Отсутствие достаточной информации о существовании участков повышенной трещиноватости и льдистости, пластовых и жильных льдов в створе плотины. Отсутствие или недостаточность информации о теплофизических свойствах грунтов створа, необходимой для построения прогнозной модели
Техногенные	Конструктивные (проектные) (Д)	<ol style="list-style-type: none"> Отсутствие специальных теплофизических расчетов для оценки темпов оттаивания тела основания и примыканий плотины, возможности и сроков наступления термодинамического равновесия, достаточного для сохранения створа в мерзлом состоянии. Отсутствие при их необходимости специальных мер по сохранению створа плотины в мерзлом состоянии
	Строительные (Е)	<ol style="list-style-type: none"> Повышение температурного фона по сравнению с достроительным или растепление грунтов основания и примыканий при строительстве (например, при затягивании сроков строительства, затоплении строительного котлована, захоронении сезонно-тального слоя и т.д.). Сохранение в основании и примыканиях плотины трещиноватых и крупнообломочных высокольдистых пород, пластовых и жильных льдов
	Эксплуатационные (Ж)	<ol style="list-style-type: none"> Отсутствие надлежащего контроля за температурным состоянием тела основания и примыканий грунтов створа плотины. Отсутствие надлежащего контроля за качеством работы охлаждающих устройств. Непринятие специальных мер по восстановлению требуемого теплового баланса при появлении признаков растепления створа плотины

Окончание таблицы

Предпосылки		Механизм конвективный (II)
Природные	Геологические (А)	<p>1. Береговые примыкания сложены трещиноватыми скальными или полускальными породами и / или имеют тектонические зоны, контактные зоны магматических пород различного генезиса или фаз внедрения, магматических и вмещающих пород.</p> <p>2. В примыканиях сохранены шлейфы обломочных отложений.</p> <p>3. Примыкания плотины образованы речными террасами, сложенными или имеющими в своем составе грубые и крупные фракции аллювия</p>
	Геоморфологические (Б)	<p>1. Крутые борта долины на участке створа (более 10°), приведшие к промерзанию береговых массивов в условиях неполного водонасыщения.</p> <p>2. Развитие трещин отседания, оползневых структур в береговых примыканиях</p>
	Мерзлотно-температурные (В)	<p>1. Присутствие в достроительный период (на момент проведения оценки) в породах основания и примыканий локальных таликов, секущих створы плотины (например, подрусловых, старичных, пойменных и т.д.)</p>
	Изыскательские (Г)	<p>1. Отсутствие достаточной информации о фильтрационной проницаемости мерзлых береговых массивов (степени заполнения льдом трещин).</p> <p>2. Недостаточная изученность конфигурации и проницаемости таликов, секущих створы плотины</p>
Техногенные	Конструктивные (проектные) (Д)	<p>1. Непринятие специальных мер для исключения фильтрационной проницаемости мерзлых массивов (цементации проницаемых участков).</p> <p>2. Непринятие специальных мер для ликвидации таликов, секущих створы плотины (полной выемки талых грунтов или их проморозки)</p>
	Строительные (Е)	<p>1. Возникновение «техногенных» проницаемых зон в мерзлых основаниях и примыканиях плотин в результате взрывных работ.</p> <p>2. Возникновение фильтрационных окон на периодически оттаивающих участках плотин (отсыпка фрагментов ядра проницаемыми грунтами).</p> <p>3. Несоблюдение отметки гребня противофильтрационных элементов плотин</p>
	Эксплуатационные (Ж)	<p>1. Отсутствие надлежащего контроля за состоянием потенциально опасных в плане фильтрационной проницаемости участков створов плотин.</p> <p>2. Непринятие специальных противофильтрационных мер при появлениях первых признаков развития фильтрации или признаков потенциальной опасности развития фильтрации в грунтах тела основания и примыканий плотин.</p> <p>3. Нарушения сплошности ядра плотины в результате деформаций</p>

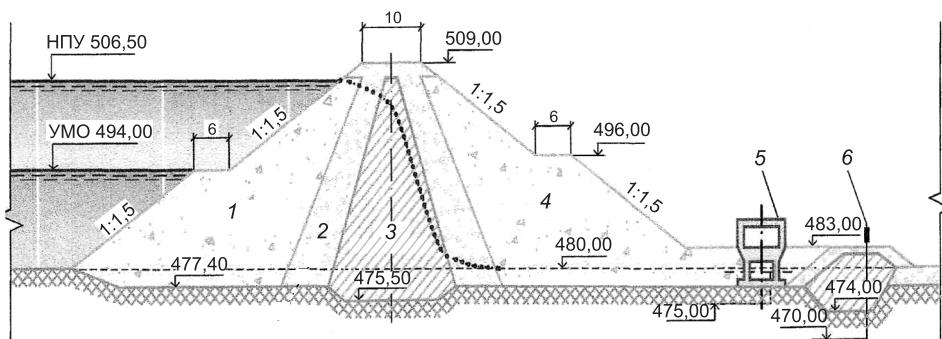


Рис. 3. Конструкция плотины маневровой емкости хвостохранилища № 14

1 — скальная порода (долерит); 2 — песчано-щебенистый грунт; 3 — ядро (суглинок);
4 — скальная порода (долерит); 5 — дренажная насосная станция; 6 — мерзлотная завеса

1. Существуют три основных отличных друг от друга механизма возникновения фильтрации через створы грунтовых плотин: кондуктивный (I), конвективный (II) и флювиально-инфилтратационный. Также возможно существование механизмов смешанного типа, каскадные проявления различных механизмов на одном гидротехническом сооружении.

2. К возникновению каждого из механизмов имеется индивидуальный набор предпосылок. Существуют общие предпосылки для двух или для всех типов.

3. Предпосылки делятся на две группы — природные (условия среды) и техногенные (результаты воздействия на окружающую среду и условия эксплуатации непосредственно самих гидротехнических сооружений).

4. Группа природных предпосылок подразделяется на следующие виды: геологические (А), геоморфологические (Б), мерзлотно-температурные (В).

5. Группа техногенных предпосылок подразделяется на следующие виды: изыскательские (Г), конструктивные (проектные) (Д), строительные (Е), эксплуатационные (Ж).

6. Каждый вид предпосылок может состоять из одной или нескольких более конкретизированных предпосылок.

7. Отдельные фрагменты гидротехнического сооружения могут иметь несколько предпосылок различных типов, групп и видов, при этом особенно опасно сочетание нескольких предпосылок.

Приведем пример кодификации предпосылок в соответствии с таблицей.

Присутствие в разрезе основания и береговых примыканий высокольистых трещиноватых скальных и полускальных пород, обломочных и рыхлых крупнозернистых отложений — (I.A.1).

Как показала многолетняя практика эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений на северо-западе Якутии, для идентификации начала развития фильтрационных процессов диагностика наиболее эффективно производится на основе температурных и геофизических (большей частью электrorазведочных) признаков как взаимодополняющих друг друга. Геофизические признаки основаны в первую очередь на высокой контрастности электрических сопротивлений и дизелектрической проницаемости мерзлых и талых грунтов. При этом удельный вес различных признаков далеко не одинаков при реализации отличающихся механизмов возникновения фильтрации. Так, термометрические данные хорошо фиксируют медленные изменения температур при кондуктивном механизме, но почти бесполезны при конвективном. Например, предельно допустимое значение отрицательной температуры для грунтовой мерзлой плотины региона принято -2°C , а скорость ее изменения в предаварийный период может достигать 5°C и более в месяц, не оставляя времени для принятия технических решений. (При анализе данных многолетних термометрических наблюдений на мерзлых плотинах региона был отмечен случай температурного скачка в $15,2^{\circ}\text{C}$ за два месяца — от -20 до $-4,8^{\circ}\text{C}$.)

Анализ предпосылок к развитию механизмов фильтрации и определение наиболее вероятного механизма для конкретного гидротехнического сооружения или его фрагмента позволяет выбрать наиболее адекватный набор инструментов контроля.

Рассмотрим пример привлечения классификатора предпосылок к анализу состояния гидротехнического сооружения, позволивший сохранить проектный (штатный) режим его эксплуатации. В качестве объекта исследований привлечем плотину маневровой емкости хвостохранилища № 14 (рис. 3).

Плотина каменно-земляная, талого типа с суглинистым ядром и зуrom. Максимальная высота 32,6 м, длина по гребню 856 м. В ниж-

нем бьефе дренажная долеритовая отсыпка оканчивается призмой из суглинистого грунта с отметкой гребня, повторяющей рельеф. По оси призмы установлены жидкостные термосифоны, создающие мерзлотную завесу. Назначение суглинистой призмы с мерзлотной завесой — создание водоупора на пути фильтрационного потока через основную талую плотину после его возникновения.

Первоначальным проектом допускалось протаивание основания плотины в процессе эксплуатации. Однако последующие инженерно-геологические изыскания и выполненные на их основе фильтрационные расчеты показали недопустимость растепления грунтов основания сооружения, и было принято решение об эксплуатации плотины по первому принципу с сохранением грунтов основания в мерзлом состоянии. Для перехвата талых вод на правом склоне долины, на расстоянии 25 м от края плотины, пройдена нагорная канава. По данным геофизических исследований, выполненных в 2008 г., под руслом канавы в створе плотины существует талик мощностью 10...15 м.

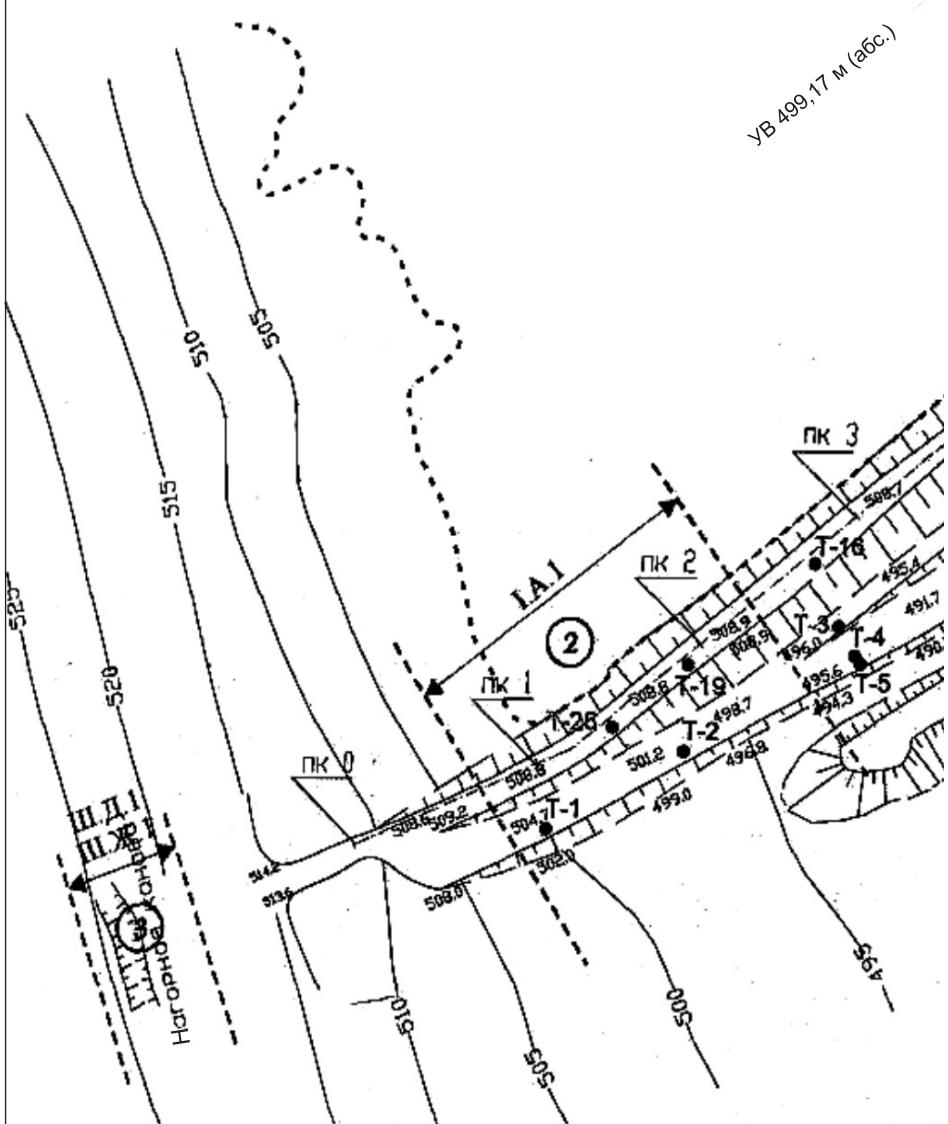
В геологическом строении основания плотины принимают участие глинисто-карбонатные отложения ордовикской системы, перекрытые рыхлыми четвертичными образованиями аллювиального, элювиального и делювиального генезиса. Льдистость коренных пород в береговых частях сооружения достигает 18 %, в центральной части — 10 %. В верхней части разреза породы переработаны процессами выветривания, что привело к формированию значительного по мощности чехла структурного элювия. При производстве изысканий под строительство плотины данный тип грунтов встречен в интервалах глубин от 2,0...6,0 м (*верхняя граница*) до 3,2...8,5 м от дневной поверхности. На правобережном участке структурный элювий представлен разрушенными до щебня и суглинка известняками и мергелями, на левобережном — разрушенными до щебня аргиллитами. В пределах пород скального основания выделяются два типа трещин — литогенетический и экзогенный. При производстве изысканий подавляющее большинство литологических разностей было отнесено к сильнотрещиноватым, меньшая часть — к трещиноватым. До начала эксплуатации породы основания плотины находились в мерзлом состоянии с температурами грунтов ниже слоя нулевых годовых колебаний около -4°C .

Для уточнения строения тела и основания плотины в 2003 г. экспедицией № 13 Ленгидропроекта выполнены бурение скважин и лабораторное опробование керна. Была установлена существенная разница в строении и характеристиках грунтов между нижней и верхней частями суглинистого ядра. Условная зона раздела расположена в интервале глубин 12...13 м от гребня плотины. Раздел нижнего и верхнего фрагментов противофильтрационного элемента выделяется по скачку влажности и понижению плотности грунтов. Для верхней части характерно включение линз грубодисперсных разностей и снижение проектной отметки кровли ядра. В пределах нижней части ядра не обнаружено прослоев и линз проницаемых разностей.

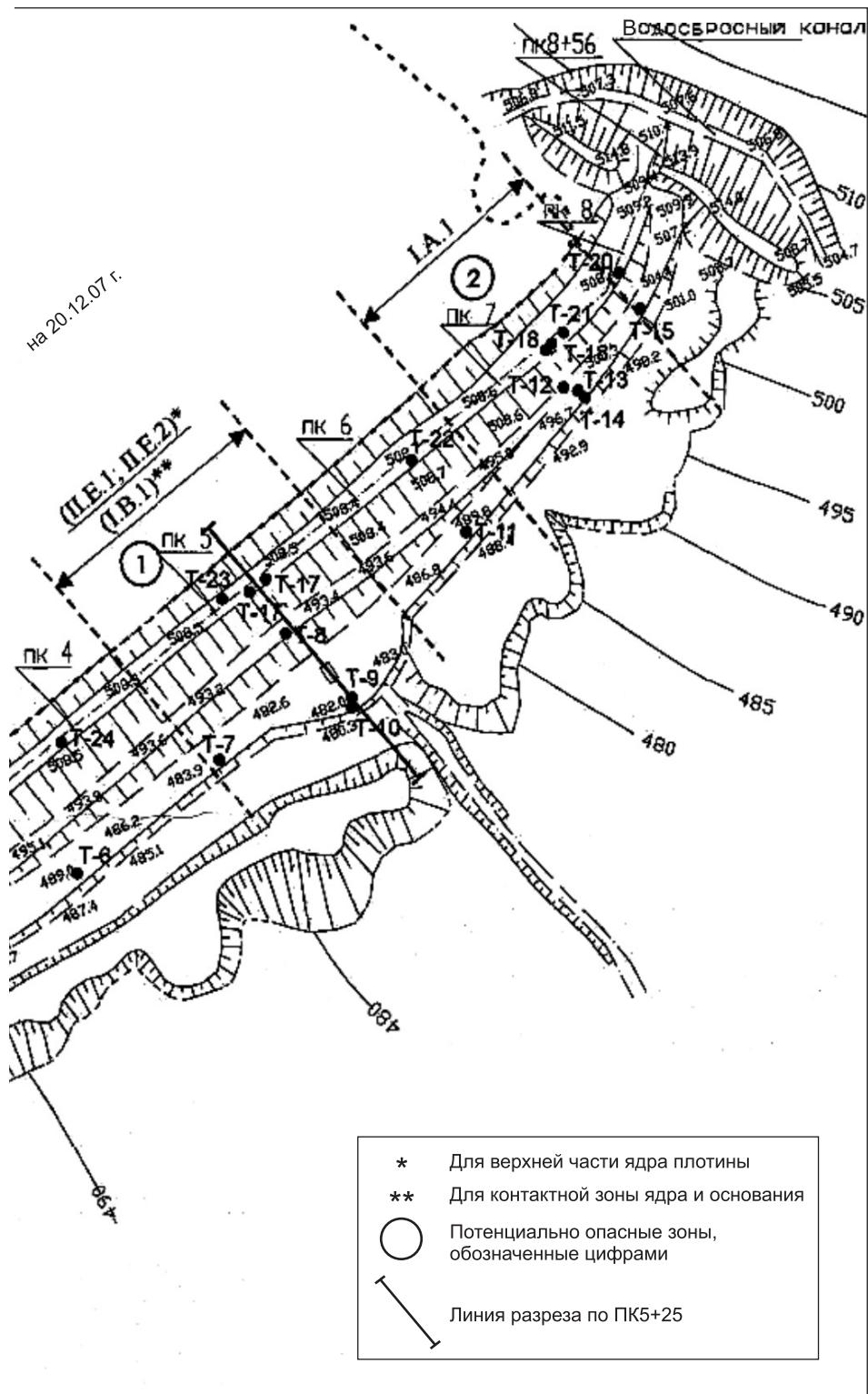
Осенью 2004 г. зафиксирована локальная фильтрация в створе основной плотины, наиболее вероятной причиной которой явилось несоблюдение проектной отметки кровли ядра, а также наличие включений грубодисперсных разностей в противофильтрационный элемент. После понижения уровня воды в прудке-накопителе до отметки на 7 м ниже гребня фильтрация прекратилась.

Имеющиеся данные позволяют определить участки плотины, на которых возможна реализация тех или иных механизмов возникновения фильтрации. Плановое расположение проблемных участков показано на рис. 4. Проблемный участок 1 находится в центральной части

Рис. 4. Ситуационный план плотины маневровой емкости
Схема расположения потенциально опасных зон.
Масштаб 1:5000



плотины. Вероятность кондуктивного механизма возникновения фильтрации здесь может реализоваться в результате произошедшего значительного продвижения нулевой изотермы в сторону нижнего бьефа (*предпосылка I.B.1*). Вероятность реализации конвективного механизма определяется нарушением проектной отметки гребня плотины и



наличием фильтрационных окон в ядре плотины (*предпосылки П.Е.1 и П.Е.2*). После выявления сложившихся обстоятельств данный фрагмент гидротехнического сооружения был взят под особый контроль (термометрический и геофизический), а также приняты специальные меры по снижению уровня воды в прудке-накопителе, в зимнее же вре-

мя производится очистка снега с низового откоса для лучшего промерзания грунтов с поверхности.

Проблемные участки 2 симметрично расположены в правобережном и левобережном примыканиях плотины. На данных участках при производстве инженерно-геологических работ встречены льдистые грунты основания на контакте с телом сооружения (*предпосылка I.A.1*). Симметричное расположение участков определяется отметками выхода мергелей кылахской свиты, видимо, предрасположенных к морозному пучению при промерзании. Участки требуют повышенного внимания при проведении контроля состояния плотины.

Проблемный участок 3 приурочен к развивающемуся талику, расположенному в основании нагорной канавы (*предпосылка флювиально-инфилтратационного механизма*). На данном участке не исключено развитие обходной фильтрации. Он требует повышенного контроля, а в случае обнаружения прогрессирующего развития талика — специальных мер по локализации талой зоны.

Еще одним недостатком являлось то, что при проектной схеме расположения контрольно-измерительной аппаратуры на более 800 м сооружения имеется ограниченное число скважин, расположенных с интервалом 100 м, которые не могут обеспечить достаточную вероятность обнаружения участков растепления грунтов (*предпосылка I.Ж.1*). Для перекрытия «мертвых зон», не охваченных термометрией, были привлечены методы наземной геофизики, а для более тщательного температурного контроля состояния сооружения увеличена сеть термометрических скважин. Кроме того, для оперативного съема показаний с измерительных приборов большая часть термометрических скважин подключена к системе автоматизированного дистанционного контроля.

Таким образом, применение классификатора предпосылок позволяет наиболее точно определить проблемные зоны сооружения, усилить контроль их состояния и при необходимости выполнять своевременные инженерные мероприятия, направленные на недопущение нештатной ситуации.

Приведенные примеры иллюстрируют небольшую часть из приведенных в классификаторе предпосылок к реализации различных механизмов возникновения фильтрации на грунтовых гидротехнических сооружениях. В представленную таблицу предпринята попытка включить все известные авторам из практики работы, а также по фондовым и литературным источникам природные и техногенные факторы, вызывающие развитие фильтрационных нештатных ситуаций на грунтовых гидротехнических сооружениях на северо-западе Якутии. Естественно, что другие районы Крайнего Севера отличаются своими специфическими особенностями.

Анализ предпосылок рассматривается как один из компонентов в создании системы мониторинга безопасности грунтовых гидротехнических сооружений в криолитозоне, нацеленной на предупреждение нештатных ситуаций на ранних стадиях развития, и ориентирован на решение таких задач, как:

- 1) определение вероятных механизмов развития фильтрационных процессов;
- 2) выявление наиболее опасных участков сооружения, требующих повышенного внимания;
- 3) подбор методов и методик ведения мониторинга безопасности, конструирования наиболее эффективной схемы наблюдательной сети;

4) выбор оптимальных методов интерпретации полученных контрольных данных.

Проблемы фильтрации далеко не исчерпывают перечня всех возможных непростых ситуаций, но так как в гидротехнических сооружениях на северо-западе Якутии их процент в общем списке аварий и отказов очень велик, они заслуживают повышенного внимания при построении общей системы мониторинга безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оловин, Б.А. Фильтрационная проницаемость вечномерзлых грунтов [Текст] / Б.А. Оловин. — Новосибирск : ВО «Наука». Сиб. изд. фирма, 1993. — 257 с.
2. Общее мерзлотоведение / Под ред. В.А. Кудрявцева [Текст] — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1978.
3. Белан, В.И. Влияние фильтрации на температурный режим вечномерзлых береговых примыканий плотин из грунтовых материалов [Текст] / В.И. Белан : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1980. — 21 с.
4. Чжан, Р.В. Температурный режим и устойчивость низконапорных гидроузлов и грунтовых каналов в криолитозоне [Текст] / Р.В. Чжан. — Якутск : Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2002. — С. 84–96.

*БОМКИН С.В., гл. геолог ООО «Радионда», г. Москва
СУХНО А.М., зам. гл. инженера
Айхальский ГОК АК «АЛРОСА», Республика Саха (Якутия);
асп., Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 02.03.11

Bomkin S.V., chief geologist SRT «Radionda», Moscow, Russia
Suhno A.M., deputy of chief engineer Aichal MEP CL «ALROSA», Republic of Sakha (Yakutia); post-graduate student; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CLASSIFICATION DEVELOPMENT MECHANISM OF ACCIDENT SITUATIONS EARTHFILL HYDRAULIC STRUCTURES IN CRYOPLANATION ZONE

On foundation of many years operational experience by maintenance ground hydraulic structures on north-west Yakutia. Outlines mechanism of origin percolation process in line hydraulic structures and has been proposed on «classifier» is prerequisite to the development of filtering. Results of investigation give a chance decrease accident rate ground hydraulic structures in cryoplanation zone at the expense diagnostics on first steps of negative process development.

Key words: accident situation, earthfill hydraulic structures, cryoplanation zone.

REFERENCES

1. Olovinn, B.A. Filtration permeability permafrost [Text] / B.A. Olovinn. — Novosibirsk : Nauka. Sib. ed. Company, 1993. — 257 p.
2. Total permafrostology / Ed. V.A. Kudryavtseva [Text]. — M. : Univ. Press, 1978.
3. Belan, V.I. Effect of filtering on the temperature regime of permafrost landfall earth dam [Text] / V.I. Belan : Author. dis. ... cand. techn. science. — L., 1980. — 21 p.
4. Zhang, R.V. Temperature regime and the stability of low-pressure hydro and underground canals in permafrost [Text] / R.V. Zhang. — Yakutsk : Izd. Inst. Permafrost Academy of Sciences, 2002. — P. 84–96.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.921.024

В.Н. ПОСОХИН, Ю.Р. КАРЕЕВА

ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ СТРУЯ В ТУПИКЕ

Численно определены характеристики осесимметричной струи — источника в цилиндрических тупиках разной длины. Проведено сопоставление полученных результатов с известным аналитическим решением И.А. Шепелева, М.Д. Тарнопольского.

Ключевые слова: струя-источник, тупик, численный расчет.

Характеристики стесненной струи в тупике зависят от длины последнего. Этот фактор никак не учитывается в известных теоретических [1, 2] и экспериментальных [3] работах.

В этой статье приведены результаты численного решения для тупиков одного радиуса $R = 0,17$ м, разной длины: «длинный» тупик $l = 2,52$ м ($l/R = 14,8$); «средний» тупик $l = 1,1$ м ($l/R = 6,47$); «короткий» тупик $l = 0,5$ м ($l/R = 2,94$). Условия истечения струи во всех случаях одинаковы: начальная скорость $u_0 = 52,9$ м/с; радиус приточного отверстия $r_0 = 0,0015$ м; начальный расход $L_0 = u_0 \pi r_0^2 = 0,0003$ м³/с. Поскольку $r_0/R = 0,0015/0,17 = 0,0088 \approx 0$, можно считать, что численный эксперимент приближенно моделирует поведение струи-источника в тупике.

При расчете характеристик течения с помощью *CFD*-комплекса Fluent принята стандартная модель турбулентности k – ε (k — кинетическая энергия турбулентных пульсаций; ε — удельная диссиляция турбулентной энергии). Приняты также стандартные граничные условия, предлагаемые программой.

Точность расчетов контролировалась определением расходов в струе и обратном потоке. Эти расходы оказались практически одинаковыми, а следовательно, точность расчетов вполне приемлема.

На рис. 1, *a*, *б*, *в* представлены линии тока течений в тупиках разной длины. Торец, противоположный тупику, открыт. На всех рисунках штриховыми линиями нанесены границы, разделяющие струю и обратный поток. На рис. 1, *а* приведен случай, когда длина тупика намного превосходит дальность струи ($l > x_d$), за пределом которой формируются зоны слабого вихревого движения. Интенсивность циркуляции последовательно расположенных вихрей быстро убывает. На рис. 1, *б* приведена картина течения, где длина тупика примерно равна дальности струи ($l \approx x_d$). В этом случае внешние вихревые зоны отсутствуют. Течение в коротком тупике ($l < x_d$) показано на рис. 1, *в*. Здесь струя расширяется заметно интенсивнее, что обуславливается противодавлением, которое оказывает заглушенный торец, т.е. действует фактор продольного стеснения.

© Полосин В.Н., Кареева Ю.Р., 2011

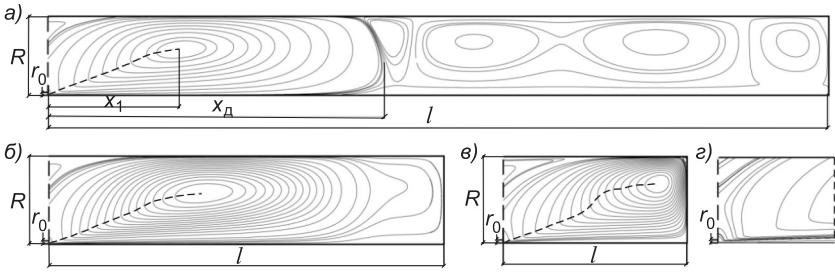


Рис. 1

Во всех случаях отчетливо выделяется собственно струя, границы которой криволинейны на всем протяжении, ширина струи увеличивается до некоторого характерного сечения x_1 . Далее начинается зона разворота, формируется обратный поток, питающий струю. Часть воздуха в объеме, равном объему притока, вытекает через открытый торец наружу. Строго говоря, приток воздуха происходит не только через подводящий патрубок, но и через часть открытого торца за счет эжектирующего действия струи (рис. 1, *г*). Интенсивность эжекции определяется начальным импульсом струи.

Таким образом, кинематика течения в тупике существенно зависит от его длины. Это обстоятельство не учитывается в существующих методах расчета воздухораспределения в помещениях.

Результаты численных расчетов сравнивались с теоретическим решением И.А. Шепелева, М.Д. Тарнопольского [2], где рассматривалась задача об осесимметричной струе-источнике в бесконечно длинном тупике. Предполагалось, что профили продольной компоненты скорости в сечениях тупика такие же, как и в свободной струе, но имеет место сдвиг скорости, изменяющейся по длине тупика. Используется уравнение неразрывности, согласно которому расходы в прямом и обратном потоках в каждом сечении равны. В рамках сделанных допущений получено аналитическое решение для струи с неограниченной дальностью. Поскольку рассматривалась струя с нулевым начальным расходом, вытекание через открытый торец отсутствовало, т.е. можно было считать, что оба торца заглушены, и, естественно, что эжекция через проницаемый торец не учитывалась.

Приведем основные расчетные зависимости, полученные в работе [2]. Индексами «ст» и «св» будем обозначать параметры стесненной и свободной струй. Введем также безразмерные линейные величины $\bar{x} = x / R_1$, $\bar{r}_0 = r_0 / R$ и характерные значения скорости $u_m = u_0 \bar{r}_0$ и расхода $L_m = L_0 / \bar{r}_0$. Тогда формулы из работы [2] можно записать в следующем виде:

продольная компонента скорости в произвольной точке стесненной струи

$$u^{st} = u^{cv} - u_*, \quad (1)$$

$$u^{cv} = u_x^{cv} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{cx} \right)^2}, \quad (2)$$

где x и r — цилиндрические координаты точки; c — экспериментальная константа ($c = 0,082$);

скорость на оси свободной струи

$$u_x^{cv} = \frac{u_m}{cx}; \quad (3)$$

сдвиг скорости в произвольном поперечном сечении струи

$$u_* = \frac{u_m m}{c\bar{x}}, \quad m = 2 \left[1 - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{c\bar{x}} \right)^2} \right] (c\bar{x})^2; \quad (4)$$

скорость на оси стесненной струи

$$u_x^{\text{ct}} = \frac{u_m}{c\bar{x}} (1 - m); \quad (5)$$

максимальная скорость в обратном потоке

$$u_x^{\text{обр}} = \frac{u_m}{c\bar{x}} \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{c\bar{x}} \right)^2} - m \right]; \quad (6)$$

радиус стесненной струи в произвольном поперечном сечении

$$\bar{r}_{\text{рп}} = \frac{r_{\text{рп}}^{\text{ct}}}{R} = \sqrt{2c\bar{x}} \sqrt{-\ln m}; \quad (7)$$

радиус свободной струи

$$\bar{r}_{\text{рп}} = 0,22\bar{x}; \quad (8)$$

расход воздуха в поперечном сечении стесненной струи

$$L_x^{\text{ct}} = L_x^{\text{cb}} (1 - m + m \ln m); \quad (9)$$

расход в сечениях свободной струи

$$L_x^{\text{cb}} = L_m \bar{x} c. \quad (10)$$

Приведем основные результаты численного эксперимента. На рис. 2 представлены результаты вычислений максимальных скоростей в прямом (осевая скорость) и обратном (максимальная скорость в пристенном пограничном слое) потоках. По оси ординат отложены значения безразмерных

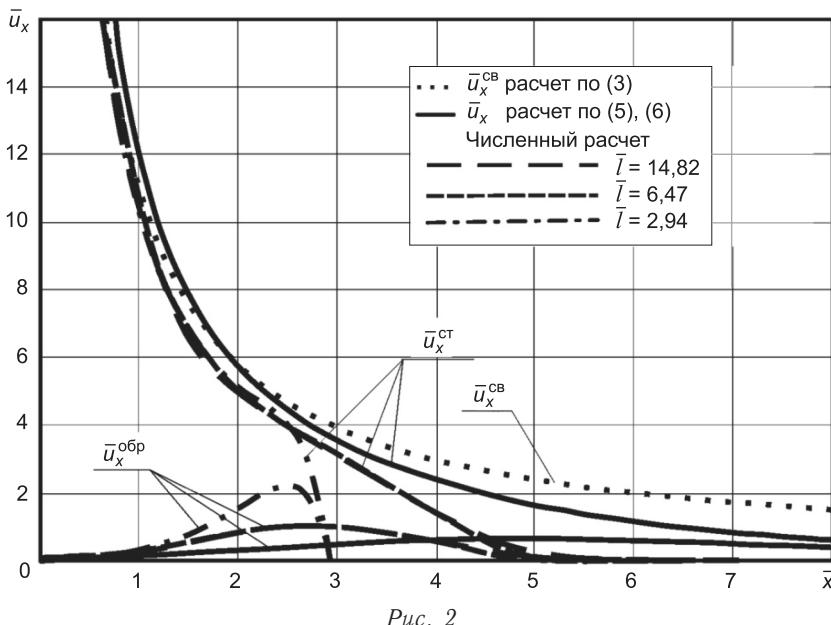


Рис. 2

скоростей $\bar{u}_x = \bar{u}_x/u_m$. На этом же рисунке нанесены расчетные кривые, построенные по формулам для свободной струи и стесненной струи — источника в бесконечно длинном тупике — формулы (3), (5), (6).

Видно, что безразмерные осевые скорости в струе (прямой поток) для тупиков разной длины падают практически одинаково до сечения $\bar{x}_1 \approx 2,3$. Примерно до этого же сечения скорости в обратных потоках возрастают, принимая здесь максимальные значения. По-видимому, можно считать, что в сечении $\bar{x}_1 \approx 2,3$ начинается зона разворота струй, после чего скорости в прямом и обратном потоках интенсивно падают до нуля, обозначая тем самым дальность струй \bar{x}_d .

Значения \bar{x}_d зависят от длины тупика: для «длинного» тупика $\bar{x}_d = 6,45$, для более коротких тупиков $\bar{x}_d = \bar{l}$. Аналитические зависимости [2] пригодны только для расчета осевых скоростей до зоны разворота. При возрастании \bar{x} аналитические кривые для прямого и обратного потоков сближаются, асимптотически стремясь к нулю при $\bar{x} \rightarrow \infty$.

На рис. 3 приведены профили продольных компонент скорости в сечениях струи в «коротком» тупике.

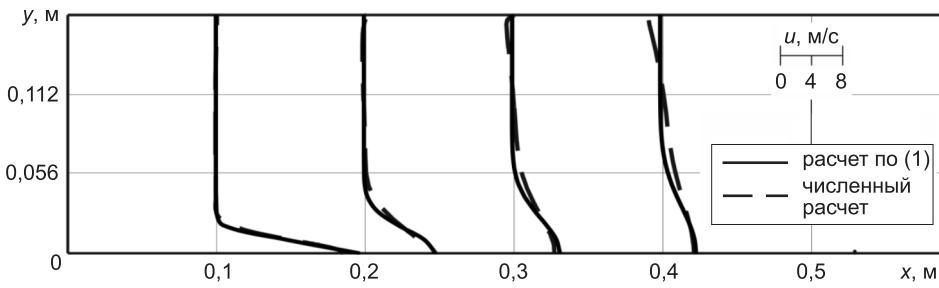


Рис. 3

Можно считать, что гипотеза о постоянстве сдвига, сформулированная авторами [2], в виде формулы (1) вполне корректна. Расчеты для «длинного» и «среднего» тупиков так же это подтверждают.

На рис. 4 приведены результаты расчета координат границы, разделяющей струю и обратный поток.

При $\bar{x} = 0$ границы всех струй начинаются не от края приточной щели $\left(\frac{r = r_0}{R} = 0,0088\right)$, как, казалось бы, должно быть, а от ординаты

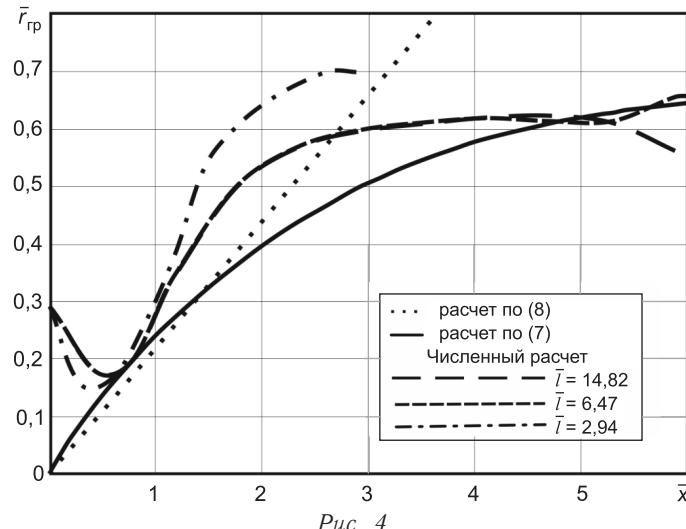


Рис. 4

$r_{\text{р}}/R = 0,3$. Этот факт объясняется эжектирующим действием струи через открытый торец тупика. Границы струй, развивающихся в «длинном» и «среднем» тупиках, практически совпадают. Формы границ определены вплоть до конца струи. На этом же рисунке нанесены расчетные границы, определенные по формулам (7), (8). Видно, что стесненные струи вначале расширяются более интенсивно, чем свободные, и тем интенсивнее, чем короче тупик. Этого и следовало ожидать, так как противодавление, препятствующее развитию струи, очевидно, тем больше, чем короче тупик. Аналитическая зависимость (7) определяет значительно более узкую струю почти на всем ее протяжении.

На рис. 5 показано, как изменяется расход воздуха по длине струи. По оси ординат отложены значения безразмерных расходов $\bar{L}_x = L_x/L_m$. И здесь также расход в начальном сечении определен с учетом эжектирующего действия струй. При $\bar{x} = 0$ мы имеем $L_{x=0} = 0,035$ ($L_x = 4L_0$) для всех тупиков. Как видно, эжекция вносит существенный вклад в циркуляцию воздушных масс в тупике. Расход эжектируемого воздуха определяется начальным импульсом струи и не зависит от длины тупика.

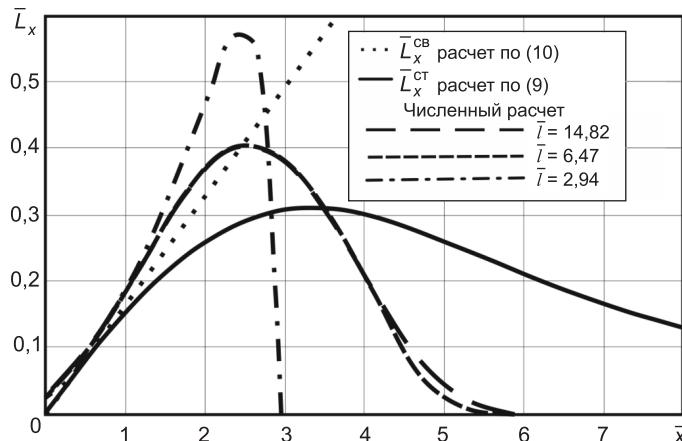


Рис. 5

Максимум расхода для всех тупиков достигается при $\bar{x}_1 = 2,3$ (начало зоны разворота), после чего расход быстро падает до нуля при $\bar{x}_1 = \bar{x}_d$. Кривые расхода для «длинного» и «среднего» тупиков практически совпадают. Аналитическая кривая (9) сильно расходится с численным расчетом.

Для расчета воздухораспределения в помещениях важно иметь информацию о средних по сечению струи скоростях. На рис. 6 представлены результаты вычислений средней по площади скорости в прямом и обратном потоках:

$$u_{\text{cp}}^{\text{пр}} = \frac{L_x}{\pi r_{\text{р}}^2}, \quad \bar{u}_{\text{cp}}^{\text{пр}} = \frac{\bar{L}_x}{\pi \bar{r}_{\text{р}}^2}, \quad (11)$$

$$u_{\text{cp}}^{\text{обр}} = \frac{L_x}{\pi(R^2 - r_{\text{р}}^2)}, \quad \bar{u}_{\text{cp}}^{\text{обр}} = \frac{\bar{L}_x}{\pi R^2(1 - \bar{r}_{\text{р}}^2)}. \quad (12)$$

Средняя относительная скорость в прямом потоке вначале быстро возрастает от некоторой величины $\bar{u}_{\text{cp}}^{\text{пр}} = 0,35$, определяемой условиями

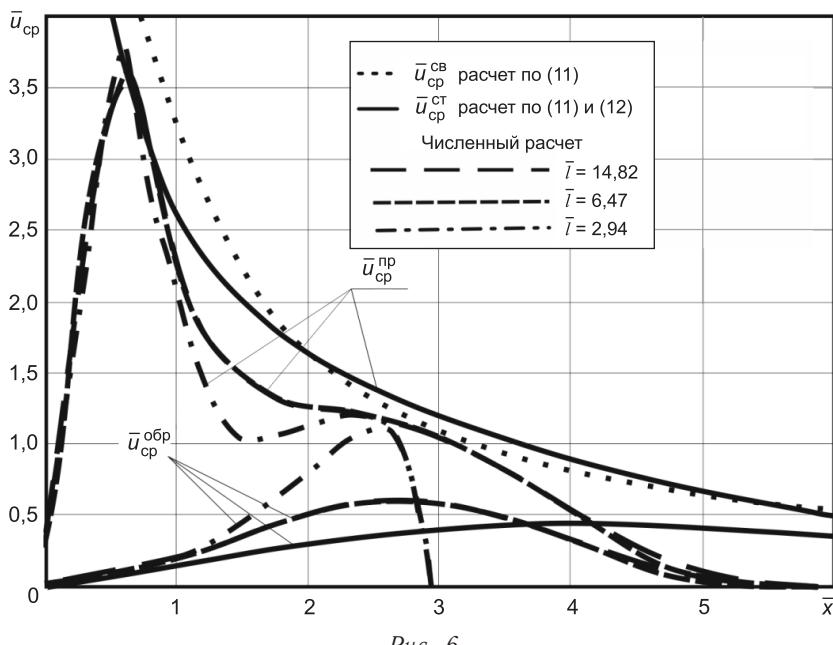


Рис. 6

истечения и эжекцией в сечении $\bar{x} = 0$, до максимума при $\bar{x} \approx 0,7$. В этом же сечении струя имеет минимальный размер (см. рис. 4). Далее средняя скорость, изменяясь сложным образом, падает до нуля при $\bar{x} = x_d$, причем характер падения зависит от длины тупика. В «длинном» и «среднем» тупиках падение происходит одинаково.

Средняя относительная скорость в обратном потоке изменяется так же, как и осевая. И здесь кривые для «длинного» и «среднего» тупиков практически совпадают. Аналитические кривые, построенные по формулам (7), (9)–(12), не отражают реальных особенностей течений.

Выводы. 1. Геометрические и кинематические характеристики струи зависят от соотношения радиуса и длины тупика. Для «длинного» ($l/R = 14,82$) и «среднего» ($l/R = 6,47$) тупиков различие несущественно; для «короткого» тупика фактор продольного стеснения становится решающим.

2. Заметное влияние на движение воздушных масс в тупике оказывает эжекция воздуха через проницаемый торец. Эжекция практически не зависит от длины тупика и определяется начальным импульсом струи.

Аналитические зависимости, полученные для струи-источника в бесконечно длинном тупике, не отражают особенностей реального течения и нуждаются в уточнении. Необходимо прежде всего исследовать влияние на характеристики течения параметра начального стеснения r_0/R .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м о в и ч, Г.Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович. — М. : Физматгиз, 1960. — 715 с.
2. Ш е п е л е в, И.А. Распространение турбулентной струи в ограниченном пространстве (осесимметричное течение) [Текст] / И.А. Шепелев, М.Д. Тарнопольский // Тез. науч. семинара «Теплогазоснабжение и вентиляция». Киев. : Будівельник, 1965. — С. 75–81.
3. Б а х а р е в, В.А. Основы проектирования и расчета отопления и вентиляции с со- средоточенным выпуском воздуха [Текст] / В.А. Бахарев, В.А. Трояновский. — М. : Профиздат, 1958. — 215 с.

*ПОСОХИН В.Н., д-р техн. наук, проф.; E-mail: posohin@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
КАРЕЕВА Ю.Р., асп.; E-mail: kareeva_87@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 17.02.11

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

Kareeva Yu.R., post-graduate student; E-mail: kareeva_87@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

AXISYMMETRIC TURBULENT JET-SOURCE

Characteristics of axisymmetric jet-source in cylindric dead-ends of different length have been defined numerically. The comparison of obtained results with the well-known analitic solution of I.A.Shepelev, M.D.Tarnopolsky are have been held.

Key words: jet-source, dead-end, numerical calculation.

REFERENCES

1. Abramovich, G.N. The theory of turbulent jets [Text] / G.N. Abramovich. — M. : Fizmatgiz, 1960. — 715 p.
2. Shepelev, I.A. Spread of the turbulent jet in the limited space (axisymmetric flow) [Text] / I.A. Shepelev, M.D. Tarnopolsky // Abstracts of scientific seminar «Heat, gas supplying and ventilation». — Kiev. : Budivelnik, 1965. — P. 75–81.
3. Baharev, V.A. The basis of the engineering and calculation of ventilation and heating with the concentration air output [Text] / V.A. Baharev, V.A. Troyanovsky. — M. : Profizdat, 1958. — 215 p.

УДК 697.921.2 : 631.22.223

М.В. БОДРОВ

СИСТЕМЫ КРУГЛОГОДИЧНОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ НЕОТАПЛИВАЕМЫХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Приведены и обоснованы зоны параметров наружного воздуха для применения систем естественной (горизонтальной, шахтной, активной аэрации) и механической приточно-вытяжной вентиляции. Даны расчетные зависимости и рекомендации по проектированию и эксплуатации систем естественной вентиляции неотапливаемых животноводческих помещений по периодам года.

Ключевые слова: неотапливаемое животноводческое помещение, гравитационное давление, ветровое давление, энергосбережение.

Помещения животноводческих зданий однопролетные, прямоугольные в плане имеют окна и ворота по торцам. Кровля зданий двухскатная, высота наружных стен (без обваловки) не более 3,0...3,3 м. Низ расположенных в один ряд в продольных стенах оконных проемов находится на отметке 1,4...1,6 м, размеры каждого окна с двойным остеклением лежат в пределах 1,4×0,8 м. В типовых животноводческих зданиях в холодный период года предусматриваются горизонтальная и шахтная системы приточно-вытяжной естественной вентиляции. Расчетное давление p_e , на которое проводится расчет естественной вентиляции (аэрации), равно сумме гравитационного p_t и ветрового p_v ($p_e = p_t + p_v$).

Горизонтальная вентиляция животноводческих помещений за счет ветрового давления осуществляется двумя способами:

- через специальные щелевидные регулируемые по воздухопроницаемости проемы в продольных стенах помещений;
- за счет инфильтрации наружного воздуха через наружные стены.

В последнем случае они становятся разновидностью систем вытесняющей приточно-вытяжной вентиляции.

Схема горизонтальной вентиляции через проемы в наружных стенах приведена на рис. 1. Она состоит из расположенных под окнами щелевидных проемов, заполненных каким-либо пористым материалом (соломой, сеном и т.п.). Аэродинамический расчет таких систем приведен в [1]. Полное наружное давление на наветренной стороне здания равно $p_h = c_h p_d$, на заветренной стороне $p_z = c_z p_d$, где $p_d = v_w^2 \cdot \rho_h / 2$ — динамическое давление ветра. Аэродинамические коэффициенты для типовых животноводческих зданий для наветренной стороны равны $c_h = 0,6...0,8$, для заветренной стороны $c_z = -0,4...-0,2$ [2]. В окончательном виде

$$\Delta p_h = (c_h - c_z) p_d \cdot \rho_w / (\rho_h + \rho_w), \quad \Delta p_z = (c_h - c_z) p_d \cdot \rho_w / (\rho_h + \rho_w). \quad (1)$$

Площади проемов, состоящих из щелей в продольных стенах животноводческих зданий с наветренной или заветренной сторон:

$$F_h = F_3 = G / 3600 \cdot \mu \cdot \rho_h \cdot v_b (c_h - c_3) \sqrt{\frac{\rho_b}{\rho_b + \rho_h}}. \quad (2)$$

При проектировании систем горизонтальной вентиляции пользуются графическими зависимостями, связывающими коэффициент расхода воздуха μ со степенью плотности набивки материала. На рис. 2 приведены значения μ при заполнении щелей соломой с различной плотностью ρ [1]. Пользуясь этим графиком, по коэффициенту расхода μ и требуемой скорости в проеме определяется степень заполнения проема (регулируется вручную).

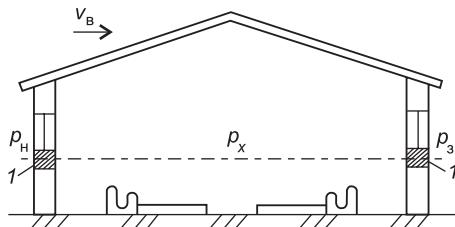


Рис. 1. Схема горизонтальной вентиляции: 1 — щелевидные проемы

Количественное определение полного давления с наветренной p_h и заветренной p_3 сторон здания по аэродинамическим коэффициентам c_h и c_3 необходимо проводить по средней скорости и повторяемости направления ветра за январь месяц [3]. За расчетную принимается наибольшая алгебраическая разность аэродинамических коэффициентов ($c_h - c_3$). В строительных нормах скорость ветра дается на высоте 10 м. Стены животноводческих зданий подвергаются меньшим ветровым воздействиям. Например, если нормативная скорость ветра для г. Нижнего Новгорода на высоте 10 м лежит в пределах $v_b \approx 5,0$ м/с, то на высоте 3,0 м, характерной для животноводческих зданий, она составляет 3,8 м/с, т.е. на 25 % ниже.

Горизонтальная вентиляция за счет инфильтрации наружного воздуха основана на физическом эффекте поровой инфильтрации через наружные ограждения. Теплофизический смысл положительного эффекта поровой фильтрации воздуха (тепловой, осушающей, вентиляционной и др.) рассмотрен в [4]. Сокращение общих трансмиссионных потерь теплоты коровников составляет в среднем 23,1 %. В то же время процесс поровой эксфильтрации внутреннего воздуха сопровождается процессами увеличения трансмиссионных потерь теплоты.

Данное противоречие вызывает необходимость разработки вариантов включения наружных стен в режим устойчивой инфильтрации за счет относительно предсказуемого гравитационного давления Δp_t и неустойчивого (случайного по величине) ветрового давления Δp_v . Анализ проведем при расчетной скорости ветра v_b (рис. 3).

Наименьший перепад давлений для инфильтрации воздуха возникает в верхней плоскости помещения $\Delta p_t^1 = h(\rho_h - \rho_b)g$ при наружном ветровом давлении $\Delta p_v^3 = c_3 \cdot v_b^2 \cdot \rho_h / 2$. Чтобы заветренная стена находилась в зоне устойчивой инфильтрации, необходимо суммарное избыточное дав-

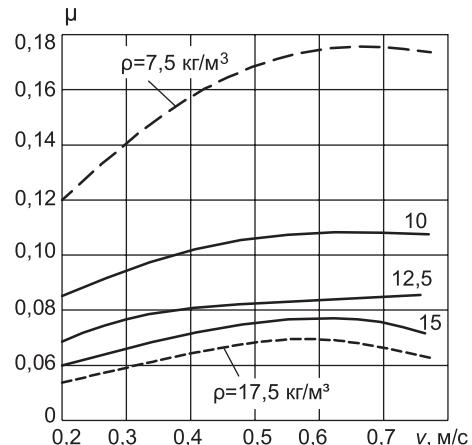


Рис. 2. Коэффициент расхода воздуха μ в проеме, заполненном соломой

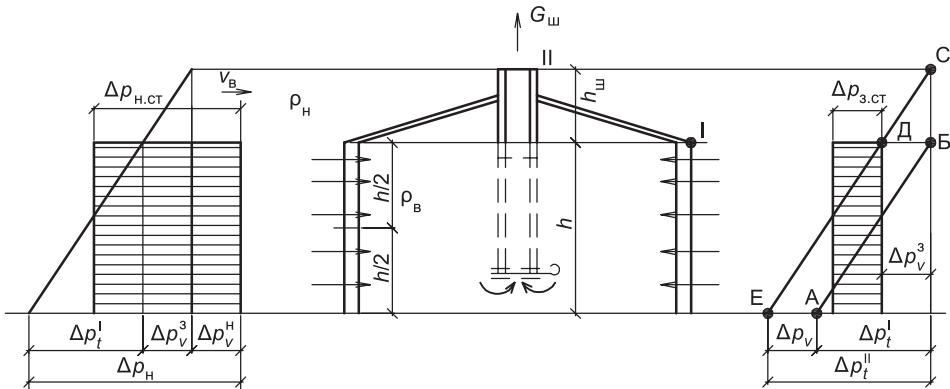


Рис. 3. Расчетные эпюры давлений при устойчивой инфильтрации воздуха

ление в плоскости I выше нуля ($\Delta p_t^I + \Delta p_v^3 \geq 0$). На графике точка Б должна совпадать с точкой Д. Такое перемещение за счет естественных источников возможно за счет увеличения гравитационного давления при установке вытяжной шахты высотой $h_{ш}$:

$$\Delta p_t^{II} = (h + h_{ш})(\rho_h - \rho_v)g. \quad (3)$$

Гравитационное давление, развиваемое шахтой, равно разрежению на заветренной стене $\Delta p_v^3 = h_{ш}(\rho_h - \rho_v)g$. С наветренной стороны общее избыточное давление, вызывающее поровую инфильтрацию, равно (плоскость II):

$$\Delta p_h = \Delta p_t^I + \Delta p_v^3 + \Delta p_v^H. \quad (4)$$

Воздушный баланс животноводческого помещения в холодный период года при горизонтальной поровой вентиляции (приток через наружные стены с наветренной стороны $G_{нр}^h$ площадью F_h и заветренной стороны $G_{нр}^3$, F_3 , вытяжка через шахту $G_{ш}$) имеет вид $G_{нр}^h + G_{нр}^3 + G_{доп} = G_{ш}$, где $G_{доп}$ — приток воздуха через окна, ворота, двери.

Количество наружного воздуха, поступающее в животноводческое помещение через наветренную $G_{нр}^h$ и заветренную $G_{нр}^3$ стены, в конечном развернутом виде составляет

$$G_{нр}^h = [0,5(c_h - c_3)v_b^2 \cdot \rho_h + 0,5h(\rho_h - \rho_v)g]F_{ct}/R_i; \quad (5)$$

$$G_{нр}^3 = 0,5h(\rho_h - \rho_v)g]F_{ct}/R_i. \quad (6)$$

При известном избыточном давлении на отдельные элементы оболочки здания (окна, двери, ворота) инфильтрационный приток воздуха ($G_{доп}$) в помещение определяется по формуле¹

$$G_{доп} = \sum G_i = \frac{0,21\Delta p_{ок}^{0,67} F_{ок}}{R_{и,ок}} + \frac{\sum p_{дв}^{0,5} F_{дв}}{R_{и,дв}}. \quad (7)$$

Сопротивление воздухопроницаемости окон $R_{и,ок}$ определяется по действующим нормам, а для наружных дверей и ворот животноводческих зданий следует принимать $R_{и,дв} = 0,3$ ($m^2 \cdot ч \cdot Па$)/кг. Один из авторов разработок и инициаторов строительства животноводческих зданий с воздухопроницаемы-

¹ Карпин Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1986. 258 с.

ми наружными стенами профессор В.М. Валов рекомендует использовать стенные панели из крупнопористого керамзитобетона с сопротивлением воздухопроницанию в диапазоне $R_i = 0,5...4,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$) / кг [4].

Суммарная площадь сечения вытяжных шахт рассматриваемых систем естественной вентиляции в холодный период года [1]:

$$F_{ш}^x = G_{h,\min} / 3600 \rho_{в} v_{ср.ш}. \quad (8)$$

Удаление воздуха с использованием утепленных вытяжных шахт целесообразно осуществлять в холодный период года из рабочей зоны, т.е. нижним срезом шахты, опущенным в зону содержания животных. При такой компоновке обеспечивается удаление вредностей из зоны их образования, устойчивая равномерная инфильтрация через воздухопроницаемые наружные стены (такой вариант показан на рис. 3 штриховыми линиями).

В переходные периоды года в животноводческих помещениях используется гравитационная (шахтная) вентиляция, удаляющая воздух из верхней зоны через шахты и подающая наружный воздух через подоконные приточные щели, освобожденные от соломы или сена. Расчетное гравитационное давление Δp_t^w определяется по формуле

$$\Delta p_t^w = (\rho_h - \rho_b) h_{ш} g. \quad (9)$$

Плотность наружного воздуха ρ_h принимается при средней температуре $t_h = 4...6$ °C. Плотность внутреннего воздуха ρ_b определяется при расчетной температуре в переходный период года $t_b = 12...14$ °C. Расчетная высота $h_{ш}$ равна разности высот устья шахты и центра подоконной приточной щели. В переходный период года при работе гравитационной вентиляции окна и ворота закрыты.

Системы активной естественной вентиляции (аэрации) используются в теплый период года при привязном содержании скота. В режиме работы активной естественной вентиляции открыты все шахты, щелевые отверстия в стенах, окна, ворота.

Рассмотренные выше расчетные закономерности и способы круглого-дничной естественной вентиляции относятся к помещениям для содержания крупного рогатого скота, коневодческим предприятиям, помещениям для содержания свиней, овец и коз, звероводческим хозяйствам по выращиванию кроликов, нутрий и т.п.

Наличие механической вытяжной вентиляции вызывает необходимость применения приточных систем с подогревом наружного воздуха в холодный период года. Такие системы предусматриваются в случае повышенных технологически заданных температурно-влажностных параметров внутреннего воздуха: при привязном содержании элитного крупного рогатого скота; в помещениях свинарников-маточников; в помещениях для содержания молодняка. В помещениях для молодняка животных помимо наличия подстилки желательно иметь подогреваемые полы.

Выводы. 1. Системы естественной вентиляции неотапливаемых животноводческих помещений рассчитываются на совместное действие ветрового и гравитационного давлений.

2. Разработаны методы расчета горизонтальных систем естественной вентиляции в холодный период года за счет ветрового давления: через специальные регулируемые по воздухопроницаемости проемы; в результате поровой инфильтрации через наружные стены.

3. На основе построения совместных эпюров давлений при действии горизонтальной и шахтной естественной вентиляции выявлены аэродинамические и конструктивные условия их устойчивой совместной работы с преобладанием инфильтрации воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егиазаров, А.Г. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий [Текст] / А.Г. Егиазаров, О.Я. Кокорин, Ю.М. Прыйгунов. — Киев : Будівельник, 1976. — 223 с.
2. Реттер, Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика [Текст] / Э.И. Реттер, С.И. Стриженов. — М. : Стройиздат, 1984. — 294 с.
3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика [Текст].
4. Валов, В.М. Энергосберегающие животноводческие здания (физико-технические основы проектирования) [Текст] / В.М. Валов. — М. : Изд-во АСВ, 1997. — 310 с.

*БОДРОВ М.В., канд. техн. наук, ст. препод.; E-mail: tes84@inbox.ru
ГОУ ВПО Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 04.03.11

Bodrov M.V., candidate of technical sciences, senior lecturer; E-mail: tes84@inbox.ru, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

SYSTEMS OF ALL-THE-YEAR-ROUND NATURAL VENTILATION OF NOT HEATED CATTLE-BREEDING PREMISES

The article grounds zones of parameters of external air for application of natural (horizontal, ventilation shaft, active aeration) and mechanical forced-extracted draft systems. The calculated dependences and recommendations in design and natural ventilation system operation in non-heated cattle-breeding rooms in different seasons of the year are represented in this article.

Key words: non-heated cattle-breeding rooms, gravity pressure, wind pressure, economy of energy, horizontal ventilation, ventilation shaft, aeration.

REFERENCES

1. Lagiazarov, A.G. Heating and ventilation of agricultural buildings [Text] / A.G. Lagiazarov, O.Ya. Kokorin, Yu.M. Prygunov. — Kiev : Budivelnic, 1976. — 223 p.
2. Retter, E.I. The aerodynamic of the buildings [Text] / E.I. Retter, S.I. Strizhenov. — M. : Stroyizdat, 1968. — 294 p.
3. SNiP 2.01.01-82. Building climatology and geophysics [Text].
4. Valov, V.M. Saving of energy in the cattle-breeding buildings (physical and technical foundations of design) [Text] / V.M. Valov. — ASV, 1997. — 310 p.

УДК 697.92.001.24

В.М. УЛЯШЕВА

ПРИБЛИЖЕННОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЗДУШНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ

Разработана приближенная математическая модель для модуля машинного зала с источником тепловыделения — газотурбинной установкой, расположенной выше уровня пола. Приведены результаты численного моделирования процессов тепло- и воздухообмена в рассматриваемых помещениях. Выполнен анализ результатов приближенного и численного моделирования тепловоздушных процессов в машинном зале компрессорной станции магистрального газопровода.

Ключевые слова: приближенная математическая модель, численное моделирование, тепловоздушные процессы, машинный зал компрессорной станции.

Проблеме совершенствования методов расчета тепловоздушных процессов в помещениях с источниками тепловыделения посвящен ряд работ [1–4].

В настоящее время для расчета воздухообмена и воздухораспределения используются приближенные математические модели, общая методология построения которых для объектов различного назначения была разработана Г.М. Позиным и включает четыре этапа:

- выявление расчетной схемы тепломассообмена;
- составление основной системы уравнений;
- преобразование основной системы уравнений к расчетному виду;
- постановка задачи и решение системы уравнений.

Сумма всех уравнений теплового баланса отдельных зон приводит к уравнению теплового баланса помещения:

$$\sum_{\substack{i=j \\ 2}}^{i=j} Q_{\text{л},i} + \sum_{\substack{m=n \\ 1}}^{m=n} Q_{\text{к},i} + \sum_{\substack{\text{h=h}_i \\ 1}}^{h=h_i} Q_{\text{тр},i} = 0; \quad (1)$$

$$\sum_{\substack{i=j \\ 1}}^{i=j} Q_{\text{км}} + \sum_{\substack{m=n \\ 1}}^{m=n} Q_{\text{турб}} + \sum_{\substack{i=p \\ 1}}^{i=p} Q_{\text{Мм}} + \sum_{\substack{\text{h=h}_i \\ 1}}^{h=h_i} Q_{\text{Мм}} = 0; \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i=p \\ 1}}^{i=p} Q_{\text{h1}} + \sum_{\substack{i=p \\ 1}}^{i=p} Q_{\text{M1}} + \sum_{\substack{i=p \\ 1}}^{i=p} Q_{\text{Mn}} = 0, \quad (3)$$

где Q — тепловой поток, Вт. Индексы при величинах имеют следующее значение: i, j, m, p, n — номера зон; л — лучистый; к — конвективный; тр — трансмиссионный; турб — турбулентный; М — с потоком массы; н — наружный воздух.

Ограничениями при решении системы уравнений служат условия комфорта и чистоты воздуха в помещениях.

Разработанная методика построения приближенных математических моделей носит общий характер, не противоречит физической сущности тепловоздушных процессов, которые рассматриваются во взаимосвязи и

взаимовлияния, и может быть использована для расчета процессов тепломассообмена в помещениях различного назначения.

При построении приближенной математической модели тепловоздушных процессов в соответствии с методологией Г.М. Позина рассмотрены все потоки теплоты и массы во взаимосвязи и взаимовлиянии. Выявлены характерные объемы и поверхности, для которых составлены системы уравнений сохранения энергии (теплоты) и массы для теплого и холодного периодов года.

Приближенное математическое моделирование позволило определить расчетные значения воздухообмена для предлагаемой схемы организации воздухообмена, при этом основным условием являлось обеспечение средних значений параметров воздуха в рабочей зоне помещения.

Известно, что интегральные методы расчета тепло- и воздухообмена не дают информации о локальных полях скорости и температуры в вентилируемых (кондиционируемых) помещениях. Аналитические решения тепловоздушных процессов в помещениях так же, как и в других направлениях аэродинамики, получить практически невозможно в связи с проблемой турбулентности. Таким образом, в настоящее время большое значение приобретает численное моделирование.

Полученные в результате численного моделирования пространственные поля параметров позволили проанализировать характер распределения параметров в рабочей зоне, оценить эффективность выбранного способа организации воздухообмена и воздухораспределения, уточнить граничные условия.

Одним из наиболее важных вопросов, рассмотренных в работе, является сопоставление результатов приближенного и численного моделирования тепловоздушных процессов для выбранной схемы организации воздухообмена в машинных залах с источниками тепловыделения — газотурбинными установками [1–4]. Проблема заключалась в различии результатов расчетов. Результаты приближенного моделирования представляют собой средние значения температуры в определенной характерной области (зоне) помещения, соответственно, результаты численного моделирования — это параметры (температура и скорость движения воздуха) в узлах расчетной сетки.

Поскольку самое важное — это сравнение тех параметров, которые нормируются, в частности температуры в рабочей зоне площадки обслуживания и рабочей зоне нижней части помещения, предварительно необходимо получить средние значения температуры по результатам численного моделирования в зонах (областях) помещения, аналогичных расчетным зонам, принятым при использовании приближенного моделирования.

Для обработки результатов численного моделирования при участии автора разработана программа на языке FORTRAN. С помощью этой программы из исходного текстового файла, представляющего собой массив температур (скоростей движения воздуха) и координат, вычисляются данные, соответствующие искомым сечениям. В качестве этих сечений принимаются уровни рабочих зон площадки обслуживания и нижней части помещения.

Аналогичная процедура может быть выполнена для любого сечения или выделенного объема помещения и в общем случае для любого параметра.

Результаты сравнения данных приближенного (п) и численного (ч) моделирования по температуре воздуха в рабочих зонах приведены на рис. 1.

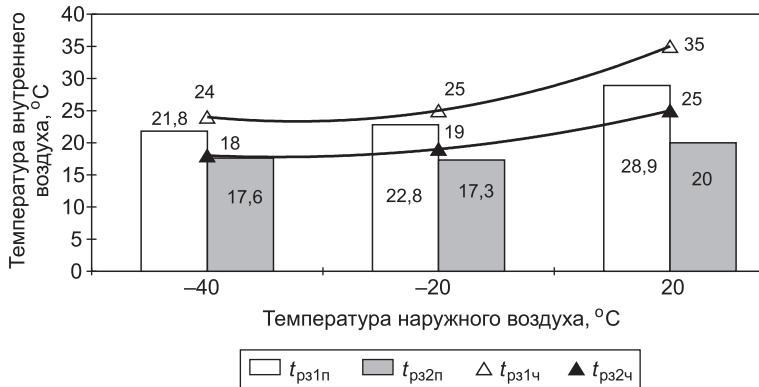


Рис. 1. Температура внутреннего воздуха в рабочих зонах площадки обслуживания (t_{pz1}) и нижней части помещения (t_{pz2})

Наиболее удовлетворительно согласуются результаты приближенного и численного моделирования для рабочей зоны нижней части помещения при температуре наружного воздуха -40°C . Так, температура воздуха в рабочей зоне нижней части помещения, полученная в результате численного моделирования, отличается от значений, полученных методом приближенного моделирования, на 1,7 %. Максимальное отклонение температуры воздуха имеет место в теплый период года в рабочей зоне площадки обслуживания и составляет 17,4 %.

Анализ результатов расчетов показывает, что сходимость параметров обратно пропорциональна размерам рассматриваемых зон — областей интегрирования.

Так же, как и при рассмотрении температур в рабочих зонах t_{pz1} и t_{pz2} , в результатах численного и приближенного моделирования имеет место более существенное отклонение температуры воздуха в приточной струе, связанной с рабочей зоной площадки обслуживания, t_{c1} по сравнению с t_{c2} (рис. 2 и 3). Кроме того, максимальные отклонения наблюдаются в теплый период года ($t_h = 20^{\circ}\text{C}$). Наиболее близкие значения получены для ниспадающего потока, что связано с соразмерностью его зон, полученных в результате численного и приближенного моделирования.

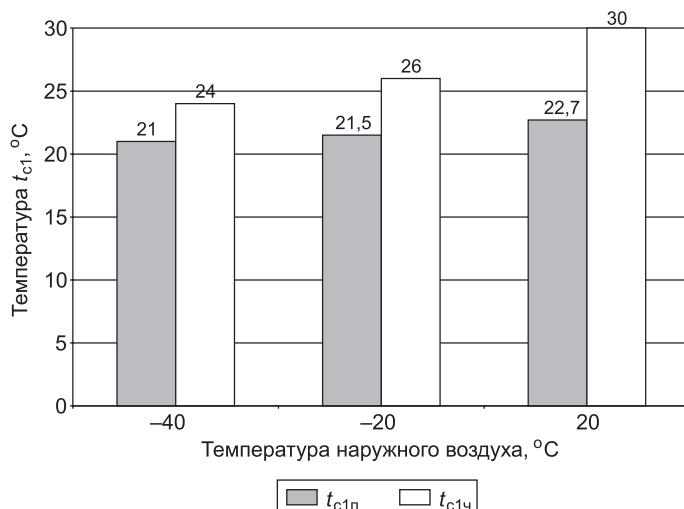


Рис. 2. Температура воздуха в приточной струе t_{c1}

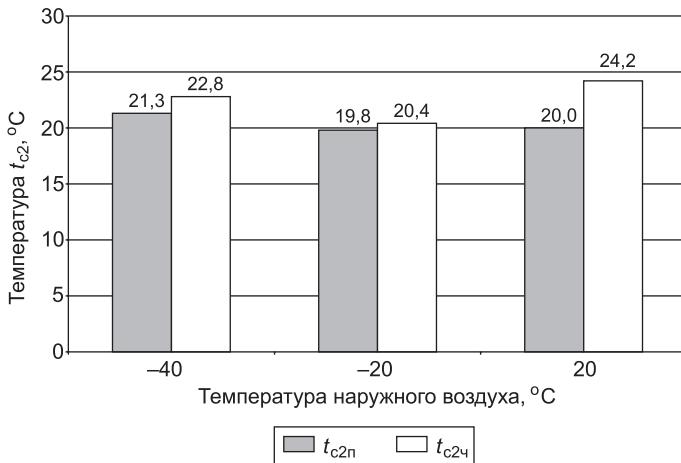


Рис. 3. Температура воздуха в приточной струе t_{c2}

Существенным достоинством численного моделирования является возможность построения полей скорости движения воздуха практически в любом сечении.

В рабочей зоне помещения средние значения скоростей, полученные в результате численного моделирования, соответствуют нормируемым. Исходя из особенностей приближенного моделирования сопоставление скоростей движения воздуха, полученных численными и приближенными методами, возможно только для приточных струй в сечениях на уровне рабочих зон (рис. 4 и 5). Максимальные отклонения скорости движения воздуха имеют место в теплый период года, как и во всех вышерассмотренных случаях.

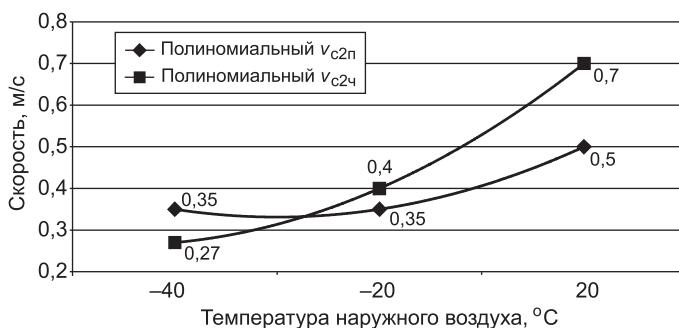


Рис. 4. Скорость движения воздуха в приточной струе при расходе G_{c2}

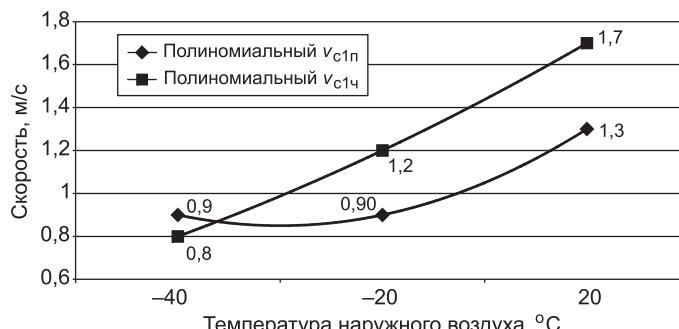


Рис. 5. Скорость движения воздуха в приточной струе при расходе G_{c1}

Целесообразность совместного использования приближенного и численного моделирования была подтверждена в работах Т.А. Дацюк применительно к расчетам аэрации и процессов обтекания здания. При рассмотрении тепловоздушных процессов в машинных залах с механической вентиляцией также предлагается поэтапное применение вышеуказанных способов.

Первый этап включает построение приближенной математической модели и определение расчетных воздухообменов для выбранной схемы организации воздухообмена и воздухораспределения. Основным условием является обеспечение параметров воздуха, в среднем по рабочей зоне помещения соответствующих нормируемым. Второй этап — численное моделирование тепловоздушных процессов. Полученные в результате пространственные поля параметров позволяют проанализировать характер распределения параметров в рабочей зоне, оценить эффективность выбранного способа организации воздухообмена и воздухораспределения, уточнить граничные условия. При необходимости этапы повторяются до получения наиболее рационального способа.

Выводы. 1. Приближенная математическая модель и вытекающие из нее инженерные методы расчета являются первым этапом в решении задачи рациональной организации воздухообмена. Трудоемкость численных методов не позволяет варьировать в широком диапазоне величиной расчетного воздухообмена. В связи с этим невозможно противопоставлять эти методы расчета, так как они дополняют друг друга. Для сравнения данных инженерного и численного моделирования разработана оригинальная методика усреднения результатов численного моделирования. Анализ показывает удовлетворительную сходимость результатов исследований, полученных вышеуказанными методами.

2. Пространственные поля температур и скоростей движения воздуха вблизи нагретых поверхностей, полученные в процессе численного моделирования процессов тепло- и воздухообмена в машинном зале компрессорной станции, позволили обосновать рациональную схему организации воздухообмена.

Результатом выполненных исследований является совершенствование и развитие методов расчета воздухообмена, а также разработка новых, более эффективных способов организации воздухообмена в помещениях с источниками теплоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Позин, Г.М. К вопросу математического моделирования тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты [Текст] / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 9. — С. 52–57.
2. Уляшева, В.М. О применимости балансового метода при исследованиях тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты [Текст] / В.М. Уляшева // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 7. — С. 27–33.
3. Позин, Г.М. Моделирование тепловоздушных процессов в машинных залах компрессорных станций [Текст] / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Матер. 3-й Междунар. конф. — М. : МГСУ, 2009. — С. 175–178.
4. Позин, Г.М. Численное моделирование тепловоздушных процессов в помещениях с источниками теплоты [Текст] / Г.М. Позин, В.М. Уляшева // Вест. гражд. инженеров. — 2010. — № 1(22). — С. 147–151.

УЛЯШЕВА В.М., канд. техн. наук, доц.; E-mail: ulyashevaavm@mail.ru
Ухтинский государственный технический университет

Получено 15.02.11

Ulyasheva V.M., candidate of technical sciences, assistant professor, E-mail: ulyashevavm@mail.ru, Ukhta State Technical University, Russia

APPROXIMATED AND NUMERICAL MODELING THERMAL-AIR PROCESSES IN PUTTINGS WITH HEATS DEVELOPMENT SOURCES

The approximated mathematical model for the modulus of a puttings with a heats development source — turbine installation located above the level of a floor is designed. The a numerical modeling results of processes heat and air exchange in considered puttings are reduced. The results approximated and numerical modeling thermal - air of processes in a gas main compressor station puttings analysis is executed.

Key words: approximated mathematical model, numerical modeling, thermal — air processes, puttings of compressor station.

REFERENCES

1. Pozin, G.M. On the issue of mathematical modeling of thermal-air processes with respect to heat source premises [Text] / G.M. Pozin, V.M. Ulyasheva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 9. — P. 52–57.
 2. Ulyasheva, V.M. About applicability of a balance method at studies thermal-air processes with respect to heat source premises [Text] / V.M. Ulyasheva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 7. — P. 27–33.
 3. Pozin, G.M. Modeling thermal-air processes in machine rooms of compressor stations [Text] / G.M. Pozin, V.M. Ulyasheva // Theoretical foundations of heat and gas supply and ventilation : Papers 3th Intern. scientific and technical forum. — M. : MGSU. — 2009. — P. 175–178.
 4. Pozin, G.M. Thermal-air processes numeral modulation in the case of premises containing heat sources [Text] / G.M. Pozin, V.M. Ulyasheva // Bulletin. of Civil Engineers. — 2010. — N 1 (22). — P. 147–151.
-

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 624.131

СОНГ ЕН УН, А.М. КАРАУЛОВ

РАСЧЕТ БЕЗОПАСНОГО РЕЖИМА ВОЗВЕДЕНИЯ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ НА КОНСОЛИДИРУЮЩЕМСЯ ОСНОВАНИИ

Приводится методика расчета безопасного режима возведения насыпи на консолидирующемся основании. Решение задачи основано на теории мгновенной прочности консолидирующихся грунтов. Показана возможность ее практического использования для расчета технологического режима возведения земляного полотна.

Ключевые слова: насыпь, основание, безопасная нагрузка, консолидирующиеся грунты.

Проблема оценки прочности и устойчивости консолидирующихся оснований насыпей возникает при возведении и дальнейшей эксплуатации земляного полотна железных и автомобильных дорог на слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Точное определение понятия прочности и устойчивости рассмотрим исходя из расчетной схемы насыпи на слабом основании.

Предполагается, что материал насыпи значительно прочнее, чем грунт основания. Появление и развитие областей предельного равновесия будут иметь место прежде всего в слабом основании. Для осуществления теоретического анализа этого процесса действие насыпи на основание представляется в виде полосовой нагрузки с формой эпюры нормальной компоненты, подобной очертанию поперечного профиля земляного полотна. Обратимся к наиболее типичной конструкции земляного полотна, имеющего трапециoidalную форму поперечного сечения. На рис. 1 показана расчетная схема насыпи на слабом основании.

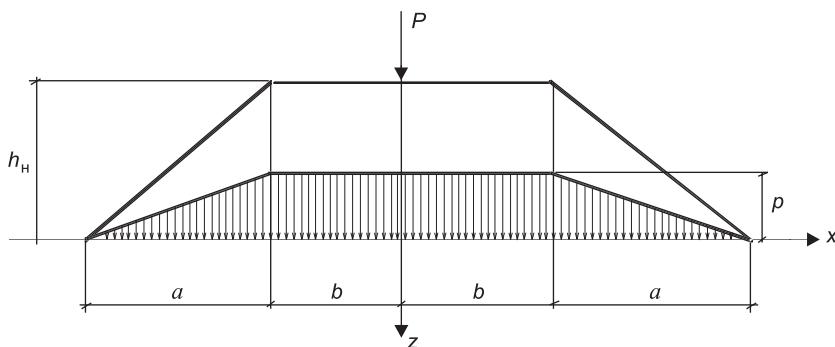


Рис. 1. Расчетная схема насыпи на слабом основании

Максимальная ордината трапецеидальной эпюры нормального давления p будет равна:

$$p = \gamma_h h_h + \frac{P}{a+b}, \quad (1)$$

где γ_h — удельный вес материала насыпи;

h_h — высота насыпи;

$2b, a$ — ширина основной площадки и заложение откоса;

P — равнодействующая погонная сила от временной нагрузки и веса верхнего строения пути (для железных дорог) или дорожного покрытия (для автодорог).

Приведенная расчетная схема широко используется при проектировании земляного полотна на слабых грунтах [1].

Прочность слабого основания характеризуется величиной безопасной нагрузки $p = p_{без}$, которой отвечает разрушение грунта в одной точке. С позиций механики грунтов безопасную нагрузку можно квалифицировать как первое критическое давление с трапецеидальной эпюроей нормальной компоненты. Заметим, что при определении безопасной нагрузки касательные напряжения по подошве насыпи не учитываются. Устойчивость слабого основания характеризуется величиной трапецеидального предельного давления, при котором полностью формируются области предельного равновесия, определяющие боковой выпор грунта.

Методика определения безопасной нагрузки была разработана В.Д. Казарновским [1]. Применение данной методики для оценки прочности консолидирующихся оснований базируется в настоящее время на использовании теории плотности — влажности Н.Н. Маслова [2]. Согласно этому подходу безопасная нагрузка вычисляется в зависимости от параметров прочности — удельного сцепления c_w и угла внутреннего трения ϕ_w , соответствующих достигнутой плотности (ρ) и влажности (w) грунта в каждой точке. Для реализации расчета необходимо установить изменение влажностного режима в основании и располагать специальными экспериментальными функциями $c_w(w)$ и $\phi_w(w)$.

Другой подход к решению данной задачи заключается в использовании принципа эффективных напряжений К. Терцаги [3]. С этих позиций данное решение до сих пор не рассматривалось, хотя в практическом отношении оно может оказаться более предпочтительным. Для его реализации необходимо установить эффективное напряженное состояние и иметь параметры прочности c и ϕ , определенные в стандартных испытаниях.

Данная работа посвящена расчету безопасной нагрузки на консолидирующееся основание с позиций принципа эффективных напряжений. Здесь для оценки прочности консолидирующегося грунта целесообразно использовать теорию мгновенной прочности Ю.И. Соловьева [4], согласно которой условие предельного равновесия в точке записывается в полных напряжениях:

$$s = \sigma \sin \rho + k \cos \rho, \quad (2)$$

$$\text{где } s = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}; \sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2};$$

k и ρ — параметры мгновенной прочности консолидирующегося грунта (удельное сцепление и угол внутреннего трения).

Характеристики k и ρ рассчитываются по формулам

$$\sin \rho = (1 - \beta) \sin \varphi, \quad k = \frac{\sin \varphi}{\cos \rho} (\beta \sigma^* + c \operatorname{ctg} \varphi), \quad (3)$$

где σ^* — среднее эффективное напряжение, действующее в рассматриваемый момент времени до приложения напряжения σ ;

β — коэффициент порового давления.

Коэффициент порового давления определяется отношением

$$\beta = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma}, \quad (4)$$

где Δu — мгновенное приращение порового давления при мгновенном приложении приращения среднего полного напряжения $\Delta \sigma$.

Перейдем к определению безопасной нагрузки на консолидирующееся основание. Решение задачи выполним в относительных переменных:

— единица массовой силы — удельный вес грунта основания γ ;

— единица длины — заложение откоса a ;

— единица времени — отношение a^2 / c_v , где c_v — коэффициент консолидации.

Специальных обозначений для относительных напряжений и координат вводить не будем.

В соответствии с теорией линейно-деформируемой среды величины s и σ от трапециoidalной нагрузки и с учетом бытового напряженного состояния можно определить формулами

$$\begin{aligned} \sigma &= \bar{p}A + z, \quad s = \bar{p}\sqrt{B^2 + T^2}, \\ A &= \frac{1}{\pi} \left[\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \bar{b}(\alpha_1 + \alpha_3) + x(\alpha_1 - \alpha_3) - z \ln \frac{\cos \beta_2 \cos \beta_3}{\cos \beta_1 \cos \beta_4} \right], \\ B &= \frac{z}{\pi} \ln \frac{\cos \beta_2 \cos \beta_3}{\cos \beta_1 \cos \beta_4}, \quad T = \frac{z}{\pi}(\alpha_1 - \alpha_3), \\ \beta_1 &= \arctg \frac{x + \bar{b} + 1}{z}, \quad \beta_2 = \arctg \frac{x + \bar{b}}{z}, \quad \beta_3 = \arctg \frac{x - \bar{b}}{z}, \quad \beta_4 = \arctg \frac{x - \bar{b} - 1}{z}, \\ \alpha_1 &= \beta_1 - \beta_2, \quad \alpha_2 = \beta_2 - \beta_3, \quad \alpha_3 = \beta_3 - \beta_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Допустим, что к рассматриваемому моменту времени на основание действовала уплотняющая трапециoidalная нагрузка \bar{p}^* и процесс консолидации от этой нагрузки завершился. Тогда в любой точке основания достигнутый уровень эффективного среднего напряжения составит:

$$\sigma_* = \bar{p}^* A + z. \quad (6)$$

Определяя параметры прочности по формулам (3) с учетом выражения (6), из условия предельного равновесия (2) получим выражение для величины \bar{p} :

$$\bar{p} = \frac{z + \beta \bar{p}^* A + \eta \operatorname{ctg} \varphi}{\sqrt{B^2 + T^2} - A \sin \varphi} \sin \varphi, \quad (7)$$

где $\eta = \frac{c}{\gamma a}$.

Величина безопасной нагрузки находится как минимум выражения (7) по координатам z, x из положительной области определения \bar{p} . Таким образом, для абсолютной величины $p_{\text{без}}$ можно записать

$$p_{\text{без}} = \gamma a \bar{p}_{\text{без}}, \quad \bar{p}_{\text{без}} = \min \bar{p}(z, x) = f(\bar{b}, \beta, \eta, \varphi). \quad (8)$$

Приведенные выражения позволяют рассчитывать безопасную нагрузку насыпи на консолидирующемся основание с учетом его предварительного уплотнения. Минимум выражения (7) определяется численным методом.

При $\bar{p}^* = 0$ будем иметь естественное неуплотненное основание и, соответственно, с помощью выражения (8) можно найти начальное значение безопасной нагрузки. До этой величины основание может нагружаться практически мгновенно. Дальнейшее увеличение нагрузки должно соответствовать степени уплотнения консолидирующегося основания и достигнутому уровню его прочности.

Рассмотрим методику расчета скорости увеличения нагрузки при условии, что в каждый момент времени достигнутый уровень нагрузки будет равен ее безопасной величине.

Рассмотрим случай равномерного увеличения нагрузки от 0 до величины \bar{p} за время \bar{T} . Найдем величину безопасной нагрузки для времени \bar{T} . Для определения эффективного напряженного состояния будем использовать решения теории фильтрационной консолидации Терцаги — Герсеванова — Флорина для равномерной полосовой уплотняющей нагрузки. В некоторый момент времени $0 \leq t \leq \bar{T}$ к основанию прикладывается равномерная полосовая нагрузка $d\bar{p} = \frac{\bar{p}}{\bar{T}} dt$ шириной $a_t = \bar{b} + 1 - \frac{t}{\bar{T}}$ (рис. 2).

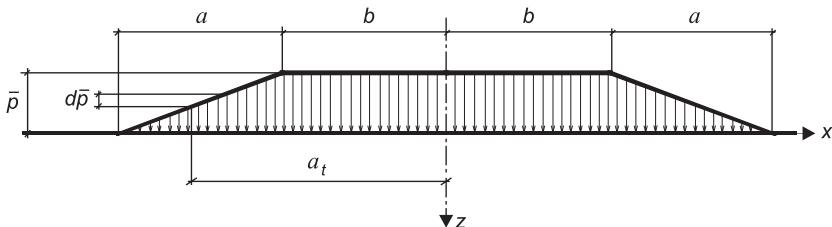


Рис. 2. Расчетная схема к определению режима возведения насыпи

Бесконечно малое приращение эффективного напряжения к моменту времени \bar{T} от нагрузки $d\bar{p}$, приложенной в момент времени t , определит-ся интегралом

$$d\sigma_3 = \frac{\bar{p} z}{\pi \bar{T}} \cdot \int_{-a_t}^{a_t} \frac{1}{(x-\xi)^2 + z^2} \cdot e^{\frac{(x-\xi)^2 + z^2}{4(t-\bar{T})}} d\xi dt. \quad (9)$$

Уровень достигнутого эффективного напряженного состояния к моменту времени \bar{T} с учетом бытовых напряжений составит

$$\sigma_3^* = \frac{\bar{p} z}{\pi \bar{T}} \cdot \int_0^{\bar{T}} \int_{-a_t}^{a_t} \frac{1}{(x-\xi)^2 + z^2} \cdot e^{\frac{(x-\xi)^2 + z^2}{4(t-\bar{T})}} d\xi dt + z. \quad (10)$$

Формула (7) для определения величины \bar{p} в данном случае примет вид

$$\bar{p} = \frac{z + \beta \sigma_3^* A + \eta \operatorname{ctg} \varphi}{\sqrt{B^2 + T^2} - A \sin \rho} \sin \varphi. \quad (11)$$

Далее с помощью выражения (8) определяется величина безопасной нагрузки. Однако в этом случае полученное значение $\bar{p}_{\text{без}}$ должно быть равно заданной величине \bar{p} . Равенство $\bar{p}_{\text{без}} = \bar{p}$ достигается методом по-

следовательных приближений. Параметром поиска в данном случае является время \bar{T} . Таким образом, определяется время возведения насыпи при условии, что к завершению отсыпки нагрузка на консолидирующееся основание будет равна безопасной величине.

Рассмотрим случай неравномерной скорости отсыпки насыпи. Для этого дискретизируем процесс увеличения нагрузки. Примем n этапов, на каждом из которых нагрузка увеличивается на величину $\bar{p}_i = \text{const}$ за время \bar{T}_i . Трапецидальная форма эпюры для i -го этапа будет характеризоваться геометрическими параметрами $\bar{b}_i = \bar{b} + 1 - i/n$ и $\bar{a}_i = i/n$. Тогда для некоторого промежуточного этапа $1 \leq l \leq n$ в момент времени $\sum_{j=1}^{j=l} \bar{T}_j$ достигнутый уровень эффективного напряженного состояния будет определяться выражением

$$\sigma_{\text{э}}^* = \frac{z}{\pi} \sum_{i=1}^{i=l} \frac{\bar{p}_i}{\bar{T}_i} \int_0^{\bar{T}_i} \int_{-a_{ti}}^{a_{ti}} \frac{1}{(x-\xi)^2 + z^2} e^{\frac{(x-\xi)^2 + z^2}{4 \left(t - \sum_{j=i}^{j=l} \bar{T}_j \right)}} d\xi dt,$$

$$a_{ti} = \bar{b}_i + \bar{a}_i \left(1 - \frac{t}{\bar{T}_i} \right). \quad (12)$$

По формуле (11) устанавливается величина безопасной нагрузки. На каждом этапе методом последовательных приближений находится время \bar{T}_i , при котором достигнутый уровень нагрузки равен безопасной величине.

Пример расчета. Проектируется насыпь высотой $h_{\text{н}} = 6$ м с шириной основной площадки $2b = 6$ м и заложением откоса $a = 6$ м. Насыпь будет отсыпана из крупнообломочного материала с удельным весом

$$\gamma_{\text{н}} = 20 \text{ кН/м}^3.$$

Грунт основания сложен водонасыщенным суглинком с характеристиками: $\gamma = \gamma_{sb} = 10 \text{ кН/м}^3$, $c = 10 \text{ кПа}$, $\phi = 20^\circ$. Коэффициент консолидации составляет $c_v = 20 \text{ м}^2/\text{сут}$, $\beta = 0,9$. Требуется рассчитать безопасный режим отсыпки земляного полотна.

Устанавливаем относительные значения исходных данных:

$$\eta = \frac{10}{10 \cdot 6} = 0,17; \quad \bar{b} = \frac{3}{6} = 0,5; \quad \bar{p} = \frac{20 \cdot 6}{10 \cdot 6} = 2,0.$$

Разбиваем процесс увеличения нагрузки на 7 этапов, в которых величина \bar{p}_i будет равна 1,4 на первом этапе и 0,1 на последующих.

Относительное время безопасного режима

Интенсивность относительной нагрузки	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Относительное время безопасного режима	0,27	0,47	0,79	1,3	2,8	3,7	6,9

Вычисленное по предлагаемой методике относительное время возведения насыпи представлено в таблице.

С учетом единицы измерения времени $a^2/c_v = 36/20 = 1,8$ на рис. 3 приведен график безопасного режима возведения насыпи во времени.

Изложенная в данной статье методика расчета безопасной нагрузки насыпи на консолидирующееся основание и расчет безопасного режима возведения земляного полотна предлагаются для практического использования при проектировании насыпей железных и автомобильных дорог на слабых консолидирующихся грунтах.

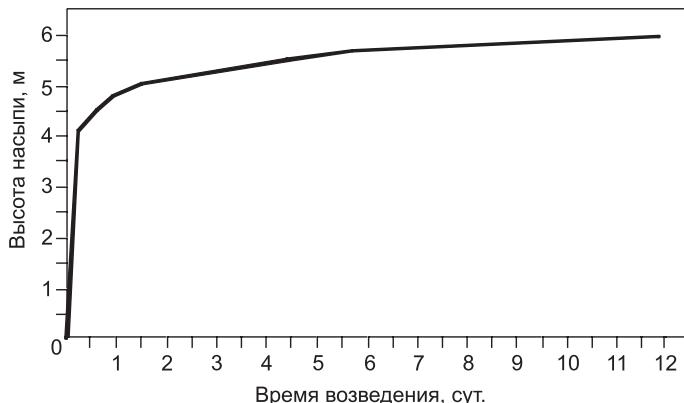


Рис. 3. Пример графика безопасного режима возведения насыпи

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах [Текст]. — М. : Стройиздат, 1989. — 124 с.
2. Маслов, Н.Н. Механика грунтов в практике строительства [Текст] / Н.Н. Маслов. — М. : Стройиздат, 1977. — 320 с.
3. Терцаги, К. Теория механики грунтов [Текст] / К. Терцаги. — М. : Госстройиздат, 1961. — 508 с.
4. Соловьев, Ю.И. Жестко- и упругопластический анализ устойчивости и напряженно-деформированного состояния грунтов [Текст] / Ю.И. Соловьев : Автoref. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1989. — 42 с.

SONG EN UN (Южная Корея), асп.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
КАРАУЛОВ А.М., д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 30.12.10

Song En Un (South Korea), post-graduate student, Siberian State University of Means of Communication, Novosibirsk, Russia

Karaulov A.M., doctor of technical sciences, professor, Siberian State University of Means of Communication, Novosibirsk, Russia

CALCULATION OF THE SAFE MODE OF ERECTION OF THE ROAD EMBANKMENT ON THE CONSOLIDATED BASIS

The desing procedure of a safe mode of erection of an embankment on the consolidated basis is resulted. The decision of a problem is based on the theory of instant durability consolidated grounds. The opportunity of its practical use for calculation of a technological mode of erection of an earthen cloth is shown.

Key words: embankment, basis, safe loading, consolidated soils.

REFERENCES

1. The manual on designing an earthen cloth of highways on weak grounds [Text]. — M. : Stroyizdat, 1989. — 124 p.
2. Maslov, N.N. Mechanic soil in practice of constructure [Text] / N.N. Maslov. — M. : Stroyizdat, 1977. — 320 p.
3. Terzaghi, K. Teorija of mechanics grounds [Text] / K. Terzaghi. — M. : Gosstroyizdat, 1961. — 508 p.
4. Soloviev, Ju.I. Rigid nightingales and elastic-plastic the analysis of stability and it is intense-deformed conditions soil [Text] / Ju.I. Soloviev : Autoref. dis. ... dr. techn. science. — M., 1989. — 42 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, С.В. ВАЖЕНИН,
А.С. ЗВЕРЕВА, Р.В. ЧИЧКАНОВ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА С УПРАВЛЕНИЕМ ВПУСКОМ ВОЗДУХА В КАМЕРЫ РАБОЧЕГО И ХОЛОСТОГО ХОДА

Рассматривается пневмоударный механизм с управлением впуском воздуха в кольцевую камеру рабочего и холостого хода посредством штоковой части ударника и стержня, взаимодействующего со ступенчатым ударником.

Ключевые слова: пневматический механизм, ударник, давление воздуха, распределительный стержень, корпус, выпуск, выпуск, инструмент, камера рабочего хода, камера холостого хода.

Введение. Одним из недостатков беззолотниковых пневматических ударных механизмов [1] с жестко закрепленными в кольцевом фланце стержнями, которые выполняют функции воздухораспределителя камеры холостого хода, являются сложности в изготовлении, поскольку поршневая и штоковая части ударника требуют ступенчатого исполнения цилиндра-корпуса. Изготовление на одной установке ступенчатых цилиндров-корпусов технологически сложно, так как осуществить соосность обеих расточек на обычном токарном оборудовании практически невозможно. Если такие ступенчатые расточки выполняются, то, как правило, обусловливают в сопряжении со ступенчатым ударником посадки, приводящие к перекосам, задиркам, увеличивающим на штоковой или поршневой части ударника силы трения, а следовательно, к потерям его скорости и снижению ударной мощности пневматического ударного механизма. Этот недостаток устраняется, например, выполнением стержня относительно кольцевого фланца подвижным с зазором и штоковой части ударника с зазором относительно цилиндра-корпуса. Таким образом, уменьшается количество плотных посадок ступенчатого ударника в ступенчатом цилиндре-корпусе. Перетечки при этом через кольцевые зазоры учитываются как расход воздуха. Другим недостатком является недостаточное наполнение кольцевой камеры рабочего хода воздухом из сети (распределительной камеры), что снижает силовой импульс давления воздуха при реализации рабочего хода ударника.

- Устраняется этот недостаток выполнением:
- кольцевого зазора между штоковой частью ударника и цилиндром-корпусом;
 - дополнительного канала на штоковой части ударника с возможностью управления функциями воздухораспределения между распределительной камерой и кольцевой камерой рабочего хода.

© Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Важенин С.В., Зверева А.С.,
Чичканов Р.В., 2011

Следующим недостатком указанных механизмов является камера атмосферного давления, как правило, кольцевая. Такие камеры не образуют силового импульса давления воздуха и нежелательны для применения в пневматических ударных механизмах.

1. Постановка задачи и техническое предложение по ее решению. Для подобных пневмоударных механизмов необходимо:

- исключать камеры атмосферного давления;
- уменьшать количество посадок трением;
- сокращать количество деталей, участвующих в подвижных контактах;
- обеспечивать соосность всех подвижных деталей относительно базовой.

Обеспечить техническое решение вышеприведенных задач возможно, если исключить или минимизировать посадки трением в парах:

- «шток ударника — корпус», заменив кольцевым дроссельным зазором;
- «шток — стержень», исключив втулку с пазами;
- «корпус — хвостовик инструмента» — уменьшив объем вытекающего воздуха через зазор между ними;
- «стержень — фланцевое кольцо» — учитывая количество вытекающего воздуха через зазор между отверстием во фланцевом кольце и стержнем.

Предложение авторов иллюстрируется принципиальной схемой (см. рисунок) пневматического устройства, которая содержит такие следующие элементы, как: 1 — цилиндр; 2 — ударник; 3 — штоковая часть ударника; 4 — поршневая часть ударника; 5 — осевой канал; 6 — стержень; 7 — поршневая часть стержня; 8 — паз; 9 — кольцевой фланец; 10 — распределительная камера; 11 — буртик стержня; 12 — предкамера сетевого воздуха; 13 — крышка цилиндра; 14 — радиальный наклонный канал; 15 — кольцевой дроссельный канал; 16 — кольцевая камера рабочего хода; 17 — камера холостого хода; 18 — канал выпуска отработавшего воздуха из кольцевой камеры рабочего хода; 19 — канал выпуска отработавшего воздуха из камеры холостого хода; 20 — канал впуска в предкамеру сетевого воздуха; 21 — канал впуска воздуха в распределительную камеру; 22 — хвостовик рабочего инструмента; 23 — межкамерное разделительное кольцо; 24 — буртик инструмента.

Здесь M , N , Q — координаты ограничения протяженности хода ударника до фланца, разделительного кольца, поршневой части стержня в осевом канале ударника;

ω_{ap} , ω_{ax} , ω_{ai} — проходные сечения каналов выпуска отработавшего воздуха из камер рабочего и холостого хода и утечек через зазор между корпусом и хвостовиком из камеры холостого хода;

ω_m , ω_{pc} , ω_x , ω_p — проходные сечения каналов впуска воздуха в предкамеру, распределительную камеру, камеры холостого и рабочего хода;

ω_{zc} , ω_{zp} — проходные сечения каналов запуска воздуха в распределительную камеру и камеру рабочего хода;

S_m , S_k , S_x — площади сечения кольцевой штоковой, кольцевой частей и полная площадь сечения ударника;

p_0 , p_n , p_{pc} , p_x — давление воздуха в сети, в предкамере сетевого воздуха, распределительной камере, кольцевой камере рабочего и холостого хода;

V_p , V_x , V_n , V_{pc} — объемы камер рабочего и холостого хода, предкамеры и распределительной камеры;

F_h — усилие нажатия на корпус пневмоударного механизма;

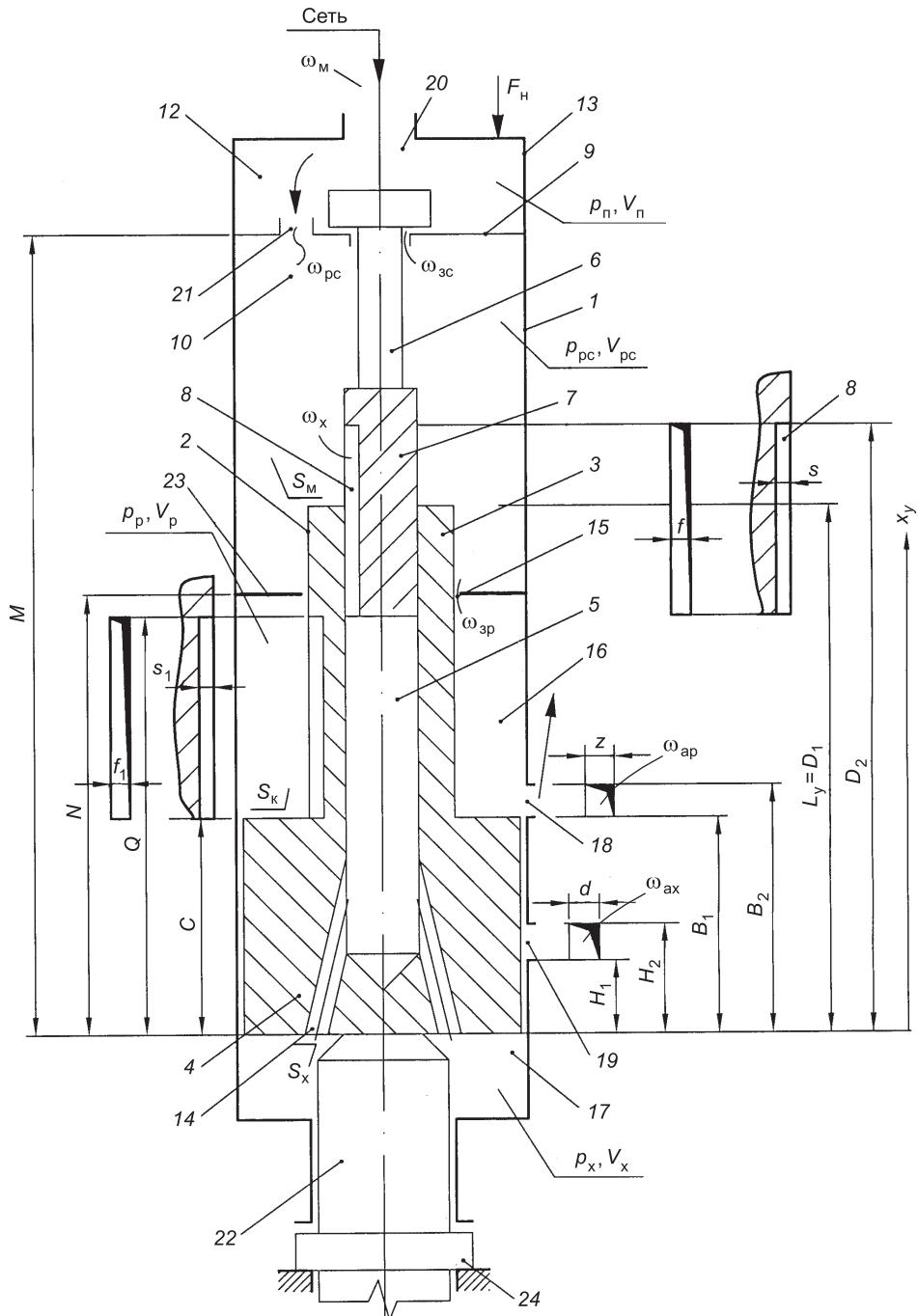


Схема пневматического устройства

m_y , x_y , L_y — масса, перемещение и полная длина ступенчатого ударника;

C — длина поршневой части ударника;

z , d — ширина каналов выпуска;

f , s — ширина и глубина канала впуска в камеру холостого хода;

f_1 , s_1 — ширина и глубина канала впуска в кольцевую камеру рабочего хода;

H_1 , H_2 , B_1 , B_2 — координаты отсекающих кромок каналов выпуска отработавшего воздуха соответственно из камеры холостого и рабочего хода;

D_1 , D_2 — координаты канала впуска в камеру холостого хода.

Пневматический ударный механизм работает следующим образом. После включения пускового устройства (на чертеже не показано и может быть любым) воздух из сети по каналу 20 в стакане 13 поступает в предкамеру 12 сетевого воздуха. Далее через канал 21 в кольцевом фланце 9 воздух поступает в распределительную камеру 10. Из распределительной камеры 10 по каналу-пазу 8 поршневой части 7 стержня 6 воздух поступает по осевому каналу 5 и радиальным каналам 14 ударника 2 в камеру холостого хода 17. Одновременно по кольцевому дроссельному каналу 15 воздух из распределительной камеры 10 поступает в камеру 16 рабочего хода, соединенную с атмосферой через выпускной канал 18. В начале движения ударника 2 продолжается наполнение воздухом камеры 17 холостого хода, обеспечивая расчетную величину импульса холостого хода. Под действием импульса давления со стороны камеры 17 холостого хода ударник 2 продолжает движение в сторону распределительной камеры 10, совершая холостой ход. При последующем движении ударник 2 открывает выпускной канал 18 на цилиндре 1, а канал-паз 8 поршневой части 7 стержня 6 перекрывается штоковой частью 3 ударника, после чего давление воздуха в камере 17 холостого хода выравнивается до атмосферного. В камере 16 после разобщения ее с атмосферой начнется сжатие отсеченного и поступающего через кольцевой дроссельный канал 15 воздуха до некоторой расчетной величины. Давление воздуха в распределительной камере 10 увеличивается и под действием разности импульсов давлений воздуха, действующих на ударник со стороны распределительной камеры 10, кольцевой камеры 16 рабочего хода и камеры 17 холостого хода, ударник 2 затормозится и остановится в расчетной точке. Сразу же под действием импульса давления воздуха со стороны распределительной камеры 10, кольцевой камеры 16 рабочего хода ударник 2 начинает двигаться в сторону хвостовика 22 рабочего инструмента, совершая рабочий ход. При этом ударник 2 откроет выпускной канал 18 и кольцевая камера 16 станет сообщаться с атмосферой. Далее ударник 2 своей боковой поверхностью перекроет выпускной канал 19, откроет канал-паз 8 поршневой части 7 стержня 6, вследствие чего в камере 17 холостого хода начнется сжатие отсеченного в ней воздуха и воздуха, поступающего из распределительной камеры 10.

Так как рабочая площадь поршневой части 4 ударника 2 со стороны камеры 17 холостого хода больше площади штоковой части 3 ударника, под действием разности импульсов давлений воздуха ударник, преодолевая противодавление со стороны камеры холостого хода, наносит удар по хвостовику 22 инструмента. Под действием импульсов отскока и давления воздуха со стороны камеры 17 холостого хода ударник начинает холостой ход. Далее цикл работы пневматического ударного механизма повторяется.

При этом физико-математическое описание технических решений должно учитывать следующие факторы. Расход воздуха кольцевой камерой рабочего хода рассчитывается при $\omega_p(x_y) \neq \text{const}$ и $\omega_{zp} = \text{const}$ и $\omega_{zp} \rightarrow \lim \min \omega_{zp}$. Диаметральная площадь зазора между стержнем и стенкой отверстия фланцевого кольца рассчитывается при $\omega_{zc} = \text{const}$ и $\omega_{zc} \rightarrow \lim \min \omega_{zc}$.

Расчет площадей проходных сечений ω_p и ω_x производится по методике, предложенной для $\omega_p = \text{const}$ и $\omega_x = \text{const}$ как постоянно открытых дроссельных калиброванных каналов с перекрытием впуска воздуха ударником перед сообщением камеры с атмосферой, что обеспечивает прекращение впуска воздуха. Координаты открытия и закрытия каналов впуска

воздуха в камеры обеспечиваются ограничениями $\omega_p(x_y)$ и $\omega_x(x_y)$, а выпуска — ограничениями $\omega_{ap}(x_y)$ и $\omega_{ax}(x_y)$ при $\omega_{ap} = \text{const}$ и $\omega_{ax} = \text{const}$.

Утечки через зазор между хвостовиком инструмента и цилиндрическим корпусом подлежат учету введением функции $(\omega_{ai}\varphi_{ai})$ при $\omega_{ai} = \text{const}$. Поскольку площадь зазора будет изменяться с течением времени, отсеченные утечки во времени цикла из рассмотрения можно исключить, задав $\omega_{ai} = 0$.

Преимущество предложенного технического решения заключается в применении величин проходных сечений средств впуска, рассчитанных по методу, предусматривающему определение необходимого и достаточного сечения каналов впуска в рабочие камеры при варьировании:

— соотношениями объемов камер рабочего и холостого хода

$$\Lambda = V_p / V_x = 6\dots8;$$

— соотношениями проходных сечений каналов впуска в камеры V_p и V_x

$$\alpha = \omega_x V_p / \omega_p V_x = 3\dots4;$$

— комплексным коэффициентом, учитывающим основные бародинамические и термодинамические параметры

$$\beta = p_0 S_y V_p^2 m_y^{-1} (\omega_p k)^{-2} = 2\dots12,$$

где p_0 — давление воздуха на входе в предкамеру;

S_y , m_y — площадь сечения и масса ударника;

V_p , ω_p — объем камеры рабочего хода и площадь проходного сечения дросселя впуска воздуха в камеру;

k_t — термодинамический коэффициент, $k_t = [2gkR\theta_0(k-1)^{-1}]^{1/2}$, где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; k — показатель процесса; R — универсальная газовая постоянная; θ_0 — температура воздуха в сети.

Устойчивое радиальное положение ударника в цилиндрическом корпусе обеспечивается контактной посадкой его поршневой части со стороны хвостовика инструмента.

2. Аналитическое описание физико-математической модели и ограничения для процесса пневмоударного механизма. Физико-математическая модель рабочего процесса описанного выше механизма представлена системой уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_n}{dt} = \frac{k}{V_n} [W(\omega_n \varphi_n - \omega_{3c} \varphi_{3c} - \omega_{pc} \varphi_{pc})], \\ \frac{dp_{pc}}{dt} = \frac{k}{V_{pc} + x_y S_m} \left[W(\omega_{pc} \varphi_{pc} + \omega_{3c} \varphi_{3c} - \omega_p(x_y) \varphi_p - \omega_{3p} \varphi_{3p} - \omega_x(x_y) \varphi_x) + p_{pc} \frac{dx_y}{dt} S_m \right], \\ \frac{dp_p}{dt} = \frac{k}{V_p + x_y S_k} \left[W(\omega_p(x_y) \varphi_p + \omega_{3p} \varphi_{3p} - \omega_{ap}(x_y) \varphi_{ap}) + p_p \frac{dx_y}{dt} S_k \right], \\ \frac{dp_x}{dt} = \frac{k}{V_x - x_y (S_x - (S_k + S_m))} \left[W(\omega_x(x_y) \varphi_x - \omega_{ai} \varphi_{ai} - \omega_{ax}(x_y) \varphi_{ax}) - p_x \frac{dx_y}{dt} S_x - (S_k + S_m) \right], \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 x_y}{dt^2} = \frac{p_x (S_x - (S_k + S_m)) - p_{pc} S_m - p_p S_k}{m_y} \quad \text{при } x_y > 0, \\ \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_0 = -k_y \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_y \quad \text{при } x_y \leq 0, \\ \frac{d^2 x_k}{dt^2} = \frac{[p_x (S_x - (S_k + S_m)) - p_{pc} S_m - p_p S_k] - F_h}{m_k} \quad \text{при } x_k > 0, \\ \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_0 = -k_k \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_y \quad \text{при } x_k \leq 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь

$$W = [2kR/(k-1)]^{1/2},$$

где k , R — показатель процесса и газовая постоянная;

k_y , k_k — коэффициенты отскока ударника от хвостовика инструмента и цилиндра от буртика инструмента;

ω_n , ω_{pc} , ω_p , ω_x — проходные сечения каналов впуска воздуха в предкамеру из сети, распределительную камеру из предкамеры, в камеры рабочего и холостого хода;

ω_{zc} , ω_{zp} — проходные сечения каналов запуска распределительной камеры и кольцевой камеры рабочего хода;

ω_{ap} , ω_{ax} , ω_{ai} — сечения каналов выпуска отработавшего воздуха из камер рабочего и холостого хода и утечек из камеры холостого хода.

Конструктивные ограничения и допущения (см. рисунок): $x_y \leq (N-C) \leq (M-D_1)$; стержень перемещается в радиальном направлении в размерах зазора; непроизводительные утечки и перетечки воздуха между фланцем и стержнем, поршневой частью стержня и осевым каналом в ударнике, поршневой частью ударника и цилиндром, хвостовиком инструмента и цилиндром незначительны и при предварительных исследованиях обычно не учитываются. Это же допущение учитывается при равенстве коэффициентов расхода воздуха ($\mu_i = 1,0$).

Бародинамические функции (ϕ_n , ϕ_{pc} , ϕ_p , ϕ_x) впуска воздуха в камеры выпуска по аналогии с зависимостью Сен-Венана — Вантцеля имеют вид

$$\phi_i(x_y) = \sigma_i^{\frac{k+1}{2k}} \begin{cases} \left[(\sigma_i \sigma_0^{-1})^{\frac{2}{k}} - (\sigma_i \sigma_0^{-1})^{\frac{k+1}{k}} \right]^{\frac{1}{2}} & \text{при } \sigma_i \sigma_0^{-1} > 0,5288, \\ 0,259 & \text{при } \sigma_i \sigma_0^{-1} \leq 0,5288, \end{cases}$$

где $\sigma_i = p_i/p_0$; $\sigma_0 = p_0/p_0 = 1$; и индекс (i) заменяется на индекс соответствующей камеры. При обратном истечении, когда $\sigma_i > \sigma_0$, следует $\phi_i(\sigma_i, 1) = \phi_i(1, \sigma_i)$. Здесь функции (ϕ_{ap} , ϕ_{ax}) выпуска отработавшего воздуха из камеры аналогична записи ϕ_i . При $\sigma_{ai} > \sigma_a$ следует $\phi_{ai}(\sigma_{ai}, 1) = -\phi_{ai}(1, \sigma_{ai})$.

Координаты выпуска отработавшего воздуха из кольцевой камеры рабочего и камеры холостого хода:

$$\omega_{ap}(x_y) = \begin{cases} 0 & \text{при } (x_y + C) > B_2, \\ (B_2 - (x_y + C))Z & \text{при } B_2 < (x_y + C) < B_2, \\ (B_2 - B_1)Z & \text{при } (x_y + C) < B_1; \end{cases}$$

$$\omega_{ax}(x_y) = \begin{cases} 0 & \text{при } x_y < H_1, \\ (x_y - H_1)d & \text{при } H_2 > x_y > H_1, \\ (H_2 - H_1)d & \text{при } x_y < H_2. \end{cases}$$

Площади каналов впуска воздуха в кольцевую камеру рабочего и камеру холостого хода из распределительной камеры:

$$\omega_x(x_y) = \begin{cases} 0 & \text{при } (x_y + L_y) \geq D_2, \\ fS & \text{при } D_2 > (x_y + L_y) > D_1, \\ fS & \text{при } (x_y + L_y) \leq D_1; \end{cases}$$

$$\omega_p(x_y) = \begin{cases} 0 & \text{при } (x_y + L_y) < N, \\ 0 & \text{при } (x_y + Q) < N, \\ f_1 S_1 & \text{при } (N - C) \geq (x_y + Q) > N. \end{cases}$$

3. Результаты моделирования. Моделирование вариантов рабочего процесса при использовании предложенного механизма позволило установить возможности улучшения расходных характеристик пневмоударных механизмов со ступенчатым ударником, применив гарантированное перекрытие каналов впуска на время сообщения камеры с атмосферой. Во время впуска воздуха в камеры проходное сечение канала впуска соответствует необходимому и достаточному значению для создания со стороны камер силового импульса давления воздуха как для холостого, так и для рабочего хода ударника.

Основные результаты моделирования представлены в таблице.

Показатели экспериментальных образцов заимствованы из работы [2]. Диаметры и массы ударников, энергия, частота и скорость ударников, давление сетевого воздуха ($p_0 = 1,2$ МПа) приняты одинаковыми для экспериментальных образцов и моделей дроссельного пневмоударного механизма (ДПУМ). Исследованы и три варианта дроссельного пневмоударного механизма: ДПУМ-0 — чистый ДПУМ, ДПУМ-1 — с управлением впуском воздуха в камеру холостого хода и ДПУМ-2 — с управлением впуском в камеры рабочего и холостого хода. Отметим, что в ДПУМ-1 исключен непроизводительный расход воздуха со стороны камер холостого хода, а в ДПУМ-2 исключены непроизводительные расходы воздуха со стороны камер холостого и рабочего хода.

Представляют теоретический и практический интерес расходы воздуха: Q , $Q_{уд}$ и $Q_{ц}$ (см. таблицу). Наиболее показательным является расход воздуха, затрачиваемый на получение энергии удара, выводимой из ПУМ за один цикл, поскольку он связан со всеми остальными параметрами состояния, сконцентрированными в параметре объема воздуха в камерах. Следует отметить, что в предложенных авторами технических решениях ДПУМ-2 можно ожидать снижения расхода воздуха за 1 цикл в сравнении с комбинированным ПУМ в 1,79 раза, с золотниковым ПУМ в 1,39 раза и с бесклапанным ПУМ в 1,44 раза. Для ДПУМ-1 (управление впус-

Характеристика экспериментальных образцов и моделей дроссельного пневмоударного механизма

Параметр	Типы пневмомоторов к ЭКГ-5В [2]					
	Комбинированный ПУМ			Бесклапанный ПУМ		
	ДПУМ-0	ДПУМ-1	ДПУМ-2	ДПУМ-0	ДПУМ-1	ДПУМ-2
Диаметр ударника, м	0,195 / 0,248			0,195 / 0,255		0,195 / 0,258
Масса ударника, кг	149,5 / 149,5			150,1 / 150,1		152,0 / 152,0
Энергия удара, Дж	3356 / 3356			3112 / 3112		3450 / 3450
Частота ударов, Гц	11 / 11			12 / 12		12 / 12
Скорость ударника, м/с	6,7 / 6,7			6,44 / 6,44		6,50 / 6,50
Расход воздуха Q , $\text{м}^3/\text{с}$	0,769			0,607		0,644
	1,290	0,860	0,430	1,310	0,873	0,437
Удельный расход воздуха $Q_{уд}$, $10^5 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{Вт})$	2,08			1,62		1,67
	3,500	2,334	1,167	3,500	2,334	1,167
Расход воздуха за 1 цикл $Q_{цк}$, $\text{м}^3/\text{цикл}$	0,0699			0,0506		0,0537
	0,1172	0,0782	0,0391	0,1096	0,0727	0,0364
					0,1123	0,0744
						0,0373

Примечание. Перед и за чертой приведены значения параметров для экспериментального и моделируемого вариантов ПУМ.

ком только в камеру холостого хода) расход воздуха за 1 цикл для сравниваемых молотов все же выше соответственно в 1,12; 1,44 и 1,38 раза. Для ДПУМ-0 (чисто дроссельный ПУМ — без отсечек непроизводительного расхода) расход $Q_{ц}$ выше, чем у экспериментальных молотов соответственно в 1,677; 2,166 и 2,091 раза.

Сравнение значений расхода воздуха Q и $Q_{уд}$ технически просто может быть получено при использовании табличных показателей.

Выводы. 1. Применение метода расчета проходных сечений каналов впуска воздуха в камеру холостого и рабочего хода дает оптимальное значение сечения канала, достаточного для создания силового импульса давления воздуха со стороны камер холостого и рабочего хода, без его завышения.

2. Несмотря на значительные расходы воздуха Q , $Q_{уд}$ и $Q_{ц}$, предельную конструктивную простоту, высокую технологичность изготовления и ремонтопригодность, а следовательно, больший (более двух раз [3]) ресурс, молоты с ДПУМ-0 и ДПУМ-1 могут быть конкурентоспособными по отношению к сравниваемым экспериментальным молотам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м е н к о в , Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные [Текст] / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 1993. — 430 с.
2. М а т и с с , А.Р. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых [Текст] / А.Р. Матисс, В.И. Ческидов, В.Л. Яковлев, М.Д. Новопашин и др. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. — 337 с.
3. А б р а м е н к о в , Д.Э. Теория дроссельных пневматических механизмов и разработка типоразмерного ряда ручных машин ударного действия для строительства [Текст] : Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Д.Э. Абраменков. — Омск, 2004. — 45 с.

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ВАЖЕНИН С.В., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЗВЕРЕВА А.С., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЧИЧКАНОВ Р.В., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 20.12.10

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

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

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

Zvereva A.S., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

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

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODEL
OF THE PNEUMOSHOCK MECHANISM WITH
THE CONTROL OF AIR INTAKE IN CHAMBERS OF WORKING
AND IDLE COURSES**

We consider a pneumoshock mechanism with controlled intake of air into the annular chamber of the working and idle strokes through the rod of the drummer and rod interacting with stepped drummer.

Key words: pneumatic mechanism, drummer, air pressure, distributing the rod, case, intake, exhaust, tool ,working course chamber, idling chamber.

REFERENCES

1. Abramenchikov, E.A. Pneumatic mechanisms of actionshockmachines : throttle, jet, without plunger, without valve [Text] / E.A. Abramenchikov, D.E. Abramenchikov. — Novosibirsk: Publ. of NGU, 1993. — 430 p.
 2. Matiss, A.R. Nonexplosive technology open-pit mining of solid minerals [Text] / A.R. Matiss, V.I. Cheskiv, V.L. Jakovlev, M.D. Novopashin et al. — Novosibirsk: Publ. of SO RAN, 2007. — 337 p.
 3. Abramenchikov, D.E. Theory of throttle pneumatic mechanisms and working out of a typical dimensional number of manual machines of shock action for building [Text] / Abstract of thesis ... doctor of technical science / D.E. Abramenchikov. — Omsk, 2004. — 45 p.
-

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4-112 (571.1/.5)

Е.В. КЕТОВА

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ СИБИРИ (конец XVI — начало XX столетия)

Для каждого исторического периода освоения и развития территории сибирского региона свойственны свои закономерности, принципы, особенности и механизмы, рассмотренные в данной статье. Генезис и эволюция исторических городов Сибири неразрывно связаны с общероссийскими историческими традициями, которые выявляются в процессах становления и развития, протекающих на огромной территории сибирского региона.

Ключевые слова: градостроительство, архитектура, крепость, острог, механизм, принцип, закономерность, историческая застройка, ландшафт, рельеф.

Возникновение и формирование исторических городов Сибири неразрывно связано с общероссийскими историческими традициями. При освоении новых территорий и сложении планировочной структуры в каждом сибирском городе действуют свои механизмы, закономерности и принципы, превалирующие на огромной территории в разные исторические периоды.

Анализируя процесс освоения и заселения Сибири с конца XVI до начала XX столетия следует отметить, что на формирование городских и сельских населенных мест оказали влияние различные факторы в каждый исторический период. Немаловажную роль сыграли экономическая и политическая зависимость Сибири от централизованной власти, значительная удаленность от обжитых районов страны, а также этнические особенности населения и довольно суровые природно-климатические условия.

В первом историческом периоде, в конце XVI — первой половине XVII веков, механизмом эволюции сибирского региона является освоение богатого сибирского края и возведение фортификационных сооружений для усиления и закрепления территориальных позиций. Первые сооружения представляли собой острожки, остроги, крепости, образовавшие впоследствии системы русских укрепленных поселений на территории Сибири. Территории вне фортификационных пунктов в данный период не осваивались. В первой половине XVII века завершается процесс присоединения к России западной территории Сибири.

Дальнейшее освоение сибирского региона продолжается продвижением русских первопроходцев на восток к Оби, Енисею и далее к Ангаре и бассейну Лены. В середине XVII века русские землепроходцы осваивают

Прибайкалье и Забайкалье, закрепляя новые земли строительством ряда укрепленных пунктов. Официальное присоединение восточных территорий к Российскому государству дало импульс в развитии сибирского региона, что явилось закономерным для данного исторического периода [1].

Вторым важнейшим историческим периодом является конец XVII — первая половина XVIII века. В этот период появляется необходимость создания оборонительных форпостов, что, в свою очередь, послужило механизмом в формировании планировочной структуры городов. Возникают новые типы поселений: города-ясачные остроги, торгово-перевалочные города и ярмарки, города-заводы и города-крепости. В связи с хозяйственным освоением малозаселенного края возникают сотни новых населенных пунктов, зимовий, острогов и городов. Вблизи острогов, крепостей или заводов появляются посады или слободы. В первой половине XVIII века завершается многолетний процесс территориального закрепления сибирских земель, образуется разветвленная система военно-административных, торгово-ремесленных и горнозаводских населенных мест, острогов и крепостей, послуживших основой для дальнейшего хозяйственно-экономического освоения края и развития торговли. Формируется инфраструктура, что является закономерным продолжением естественного процесса территориального освоения.

В третьем историческом периоде, второй половине XVIII — середине XIX века, в связи с ростом капиталистических отношений в Сибири происходит активное укрепление восточных границ и интенсивное освоение южных районов Западной Сибири, что отразилось на развитии и изменении функций сибирских городов, которые стали связующим звеном при создании устойчивых связей между центральными и восточными территориями Российского государства. Такие города, как Тюмень, Тобольск, Томск, Иркутск, Красноярск, Омск, Барнаул, на рубеже XVIII–XIX веков утрачивают свое стратегическое значение и становятся основными административно-политическими, торгово-промышленными и культурными центрами.

На рост городов большое влияние оказала торгово-экономическая активность. В соответствии с процессом миграции населения происходит прокладка основных путей и дорог, зарождение пароходства, развитие и расширение транспортно-коммуникационных связей, строительство Московско-Сибирского тракта в конце XVIII века, связавшего основные населенные пункты и во многом определившего территориальное развитие городов.

Открытие новых, а также расширение и активная разработка уже имеющихся горнорудных месторождений в XVIII веке явились механизмом в развитии промышленности и экономического всплеска не только для сибирского региона, но и всего Российского государства. Это повлекло за собой расширение инфраструктуры и закономерно проявилось в формировании промышленных и горнодобывающих центров в Сибири, в росте поселений и расширении территориальных границ, а также в образовании сельскохозяйственных регионов. Все эти закономерности, в свою очередь, значительно ускорили становление товарно-денежных и торгово-экономических отношений в сибирском регионе.

В первой половине XIX века в хозяйственно-экономической и социально-политической жизни Сибири происходят значительные изменения, которые во многом определили характер и возможности дальнейшего развития региона. В 1822 году по проекту М.М. Сперанского Сибирь была разделена на западную и восточную части. Данное нововведение способствовало образованию новых административных единиц — губерний и

областей. На территории Западной Сибири были образованы Тобольская, Томская губернии и Омская область, а Восточная Сибирь включила Енисейскую, Иркутскую губернии и Якутскую область. В связи с этим были назначены первые генерал-губернаторы названных губерний, которые находились в Омске, Томске, Красноярске и Иркутске.

В четвертом историческом периоде (второй половине XIX — начале XX столетия) наблюдается всплеск в развитии капиталистических отношений в экономике Сибири, что в свою очередь способствовало росту промышленности, торговли, активизации общественно-культурной и научной деятельности. Социально-экономический фактор повлиял на существенный рост городов, который отразился на появлении новых слоев сибирских горожан — чиновников, купцов, мещан.

Во второй половине XIX века проводятся общегосударственные мероприятия в области градостроительства, появляются первые системы расселения с центральным ядром — городом. Значительно увеличивается количество населения. Составляются регулярные планы сибирских городов, планы пригородных территорий, а также значительное количество утвержденных генеральных планов, положенных в основу всего дальнейшего развития сибирского градостроительства (Омск, Томск, Красноярск и др.) [2].

Создание крупной транспортной системы — Транссибирской магистрали — в 1890-х годах явилось механизмом развития региона и способствовало превращению Сибири в рынок сырья и сбыта промышленных товаров стран Европы и сферу вложения иностранного капитала в отрасли, связанные с сельским хозяйством. В Сибирь направляется большой поток переселенцев из европейской части России, что существенно повлияло на развитие уже сложившейся планировочной структуры городов и создание новых поселений. В начале XX века происходит интенсивное развитие науки и образования, открывается университет, формируются общегородские центры и исторические городские ансамбли [1].

На основе ряда выявленных закономерностей в развитии сибирского региона следует отметить основные принципы градоформирования, которые неразрывно перекликаются с градостроительными традициями Древней Руси, но в то же время имеют свои отличительные особенности. Так, принцип преемственности прослеживается с момента освоения сибирского региона, проявляясь в совокупности действия традиций, социальных и культурных ценностей, привнесенных в Сибирь первопроходцами при переселении из различных мест и, прежде всего, из центральных и североевропейских районов России. Такое перемещение отразилось на выборе места и постановке многочисленных зимовий, острогов и крепостей, на строительстве сибирских городов, формировании их центров, сложении объемно-планировочной структуры, характере архитектуры культовых, общественных и жилых построек. Этот принцип нашел отражение в сочетании систем фронтальной застройки береговых панорам с садово-парковыми зонами, с массовой застройкой и контрастирующими с ней культовыми сооружениями, что послужило формированию и развитию глубинно-пространственной композиции в исторических городах Сибири. Эволюция в сибирском градоформировании неразрывно связана с возникновением градостроительной культуры, имеющей свои характерные особенности. Но в сложении архитектурно-пространственной структуры каждого сибирского города отражаются историко-культурные традиции Древней Руси.

В каждом историческом периоде сибирского градоформирования прослеживается принцип системности, действие которого можно отметить и

на ранних этапах освоения территории, в становлении отдельных фортификационных поселений и взаимосвязи их с образовавшимися элементами систем расселения: посадами, слободами и монастырями. Но наиболее характерен принцип системности для городов, формирующихся с учетом природно-климатических факторов и рельефа местности, размещающихся вдоль мощных водных артерий, Московско-Сибирского тракта, а также по линии Транссибирской магистрали. С учетом этих факторов складывалась и развивалась градостроительная система исторических городов Сибири с конца XVI до XVIII столетия. Системность объемно-планировочной структуры каждого исторического города придает целостность и гармоничность в архитектурно-визуальном восприятии городской среды. Все планировочные зоны города имели функциональную и пространственно-планировочную взаимосвязь, что повлияло на формирование различных планировочных систем для каждого исторического города Сибири с индивидуальной архитектурно-пространственной композицией, линейной или компактной планировочной структурой.

После внедрения регулярных планировок во второй половине XVIII столетия исторические сибирские города не потеряли своеобразия, так как новые планировочные решения разумно накладывались на старый каркас и не вносили диссонанс во взаимосвязь с природной средой, ландшафтом, имеющейся ценной исторической застройкой.

В процессе развития сибирского градостроительства происходит формирование новых центров, а также возникновение новых систем жилой застройки. В этот период наиболее явственно прослеживается принцип субординации, который основывается на характерном выделении центрального ядра и общественного центра и тяготении к нему отдельных частей города с периферийными жилыми кварталами и промышленными зонами.

Частичное проявление принципа субординации наблюдается и на начальном этапе становления городов при моноцентричной архитектурно-планировочной структуре, где общественным центром являлось фортификационное сооружение, что, несомненно, отражалось на развитии градостроительно-планировочной структуры города [3].

Субординация четко прослеживается в функциональном зонировании внутригородского пространства, где выделяется центральная зона — историческое ядро, система площадей и главных улиц как основных композиционных осей и периферийная зона, тяготеющая к центральному ядру. Значительное развитие получают торгово-рыночные площади, по периметру которых складывается система торговых улиц, кварталов постоянных дворов для размещения многочисленных обозов с привозными товарами. Эти районы становятся наиболее оживленными и пользуются популярностью у городского населения. Сохраняя в некоторой степени принцип субординации, городские центры дифференцируются на торговые, административные и культовые, вследствие чего города приобретают новые композиционно-пространственные качества. С формированием главных улиц наблюдаются весьма характерные процессы, связанные с ослаблением роли береговой зоны центральных районов и с концентрацией внутриквартальной застройки.

На развитие и преобразование архитектурно-пространственной структуры городов оказывали влияние различные градоформирующие механизмы. Определяющее значение в формировании индивидуального архитектурно-художественного облика сибирских городов сыграли природно-географические, социально-экономические и административно-политические факторы.

Традиции русского народного деревянного зодчества находят отражение в архитектурно-художественном облике исторических городов Сибири, в чем явно прослеживается архитектурно-композиционный принцип преемственности. Близ фортификационных сооружений возникают посады и слободы, возводятся сакральные сооружения, что, несомненно, отражается на живописности силуэтов и панорам сибирских городов. В XVIII столетии облик сибирских городов существенно видоизменяется, что обуславливается началом каменного строительства и в первую очередь культовых сооружений. Постепенно увеличивается число каменных строений, выполненных в стиле барокко, привнесенном из европейской части России. Положение окраины и пестрое происхождение русского населения обусловили длительное существование барокко и классицизма в их сибирских вариантах. «Сибирское барокко» на основе традиций русского культового зодчества отразилось преимущественно в культовой архитектуре, сформировав локальные направления: «Тобольское» и «Тюменское» барокко [3].

В конце XVIII — середине XIX веков преобладают торгово-административный, культурно-просветительный и промышленно-экономический факторы, воздействующие на развитие городской структуры. Прерогативой городской застройки является выделение торговых, административных и общественно-культурных сооружений, а также развитие типологии общественных зданий.

Среди крупных сибирских городов наиболее ценным историко-архитектурным наследием обладают Тюмень, Томск, Омск, Барнаул, Красноярск, Иркутск, Улан-Удэ. Из более мелких городов — это Тобольск, Змеиногорск, Бийск, Енисейск, Колывань, а также и другие исторические города, образовавшиеся в период с конца XVI до начала XX столетия.

Индивидуальность и неповторимость в архитектурно-художественном облике каждого сибирского города достигалась использованием разнообразных композиционных приемов, которые основаны на принципе образности и соразмерности. Необходимо отметить, что сибирские зодчие соблюдали традиции своих предков в организации жизненного пространства, проявляющиеся в разноуровневой иерархии архитектурных комплексов и ансамблей. К первому уровню относятся храмы, соборы, монастырские комплексы и колокольни, ко второму — общественные, административные, торговые и жилые здания, а к третьему — хозяйствственные постройки. Такой подход к архитектурно-пространственному формированию городской среды позволил выделить в селитебном пространстве вертикальные доминанты в облике каждого сибирского города. Особенно ярко это отразилось при строительстве храмовых, церковных и монастырских комплексов, место для которых выбиралось с особенной тщательностью в некотором удалении от жилых построек. Эти колоритные культовые каменные сооружения, доминируя над одно- и двухэтажной деревянной жилой застройкой и контрастируя с ней, создавали неповторимый и живописный облик сибирских городов. Выстраивается ритмическое соотношение селитебной застройки с величественно доминирующими церквями и колокольнями. Крепости и монастырские ансамбли с шатровыми и луковичными навершиями сформировали характерные панорамы сибирских городов [1].

Наряду с этим ярко выражен колористический контраст в облике городов, изменяющийся в разное время года. В летнее время элементами общей архитектурной композиции города становились огромные зеленые массивы, голубизна водной глади в совокупности с темно-серыми жилы-

ми постройками и белоснежными стенами храмов с золотыми главками и крестами. Зимой — укрытые снегом хвойные массивы, жемчужная лента реки, белоснежные холмы и поля, темные и приземистые жилые строения и сверкающие главки в лучах зимнего солнца. Город легко ложился на рельеф местности и органично сочетался с природным ландшафтом. Поэтому характерные особенности природного ландшафта следует рассматривать как упорядочивающие и связующие факторы в архитектурно-художественной организации городов.

Так, города Западной Сибири — Тюмень, Тобольск, Томск, а затем Кузнецк, Омск, Барнаул и Бийск и города Восточной Сибири — Енисейск, Красноярск, Иркутск, Верхнеудинск и другие, находясь в одинаковых природно-климатических условиях, имели неповторимый и узнаваемый облик. Во многом это достигалось тем, что силуэты городов и прибрежные панорамы имели свои индивидуальные отличия.

В городах, расположенных на сложном рельефе (Тобольск, Томск), сформировался более выразительный архитектурно-художественный облик, чем в городах, расположенных на спокойном, пологом рельефе (Енисейск, Омск, Улан-Удэ). Иркутск, возведенный с учетом разветвленной водной артерии, получил компактное планировочное решение, которое отразилось не только на формировании прибрежных панорам, но и на глубинно-пространственной структуре города. Енисейск из-за пологой болотистой местности получил линейное развитие на одной стороне реки с минимальным удалением от реки вглубь территории.

Соподчиненность, гармоничность и взаимосвязь различных архитектурно-градостроительных элементов в композиционной и объемно-планировочной системе каждого сибирского города под воздействием различных механизмов отражаются в принципе корреляции. Неповторимость архитектурно-художественного облика каждого сибирского города достигается разнообразными художественными приемами: сценарным характером застройки, единством ритма и модуля, наличием продуманных пропорциональных членений, симметрией или асимметрией, контрастными или нюансными соотношениями, цветом, фактурой, пластикой и даже элементами неожиданности и случайности. Благодаря разнообразному ландшафту архитектура крепостных, монастырских комплексов и жилых образований, находясь в гармонии с природой, создавала индивидуальный и неповторимый образ сибирских городов. Архитектурно-планировочная структура каждого сибирского города складывалась под влиянием ландшафтных и антропогенных факторов.

Архитектурный ландшафт центральной части, где центральное историческое ядро играет важную градостроительную роль в структуре каждого города, культурный слой, отражающий наслаждения разных эпох, интерьерность и сомасштабность среды — все это определяет привлекательность и неповторимость исторических городов Сибири.

В процессе эволюции сибирские города обретают более сложный, двойственный облик, который определяется как внешними береговыми панорамами и общим силуэтом, сложившимся в конце XVIII — начале XIX веков, так и внутренними кварталами и центральными улицами, застройка которых осуществлялась с конца XIX столетия. В XIX веке облик сибирских городов стали определять «образцовые проекты», выполненные в духе провинциальной классики и призванные поднять градостроительство на качественно новый уровень и придать сибирским городам европейские черты. Эта особенность проявилась и в начале XX столетия, при рациональной «шахматной» планировке городов, ос-

нованной на четкости, симметрии, пропорциональности. Данная многоплановость придавала динамичность объемно-планировочной структуре городов, а также создавала индивидуальный архитектурно-художественный облик каждого сибирского города. Такой подход явился определяющим при сложении композиционной структуры всех сибирских городов начала XX столетия [3].

Художественный облик каждого сибирского города закодирован «архитектурным языком» в архитектурных сооружениях, характерных для каждого исторического периода — с конца XVI до начала XX столетия. Такая особенность нашла отражение в формировании композиционно-планировочных структур и панорам красивейших и неповторимых сибирских городов, таких как Тюмень, Тобольск, Томск, Барнаул, Енисейск, Красноярск, Иркутск и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольская, Л.Н. Архитектурно-градостроительное наследие Сибири [Текст] / Л.Н. Вольская. — Новосибирск, 2008. — 240 с.
2. Ружже, В.Л. Красноярск. Вопросы формирования и развития [Текст] / В.Л. Ружже. — Красноярск, 1985. — 211 с.
3. Оглы, Б.И. Формирование центров крупных городов Сибири [Текст] / Б.И. Оглы. — Новосибирск : Изд-во НГУ, 1999. — 168 с.

КЕТОВА Е.В., ст. препод.; E-mail: 9048828@mail.ru

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 14.01.11

Ketova E.V., senior lecturer; E-mail: 9048828@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Engineering (Sibstrin), Russia

THE MAIN PRINCIPLES, MECHANISMS AND REGULARITY OF HISTORICAL SIBERIAN TOWNS' EVOLUTION (the end of 16th Sept. — the beginning of 20th Sept.)

There are principles, mechanisms, regularities and patterns peculiar to every phase of exploration and development of Siberian territory. These principles are analyzed in the given article. The genesis and evolution of historical Siberian towns are inseparably entwined with Russia-wide historical traditions that reveal itself in the development and establishing processes taking place in the broad territory of Siberian region.

Key words: town-planning, architecture, fortress, dungeon, mechanisms, principles, regularities, historical development, landscape, terrain.

REFERENCES

1. Volskaya, L.N. Architectural and town-planning heritage of Siberia [Text] / L.N. Volskaya. — Novosibirsk, 2008. — 240 p.
2. Ruzhze, V.L. Krasnoyarsk. Formation and development issues [Text] / V.L. Ruzhze. — Krasnoyarsk, 1985. — 211 p.
3. Ogly, B.I. Formation of Siberian cities' centers [Text] / B.I. Ogly. — Novosibirsk : Novosibirsk State University publishing house, 1999. — 168 p.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 624.075.2.014.2

А.А. КОЛЬЗЕЕВ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ТРУБ

Исследуются резервы несущей способности сжатых стержней замкнутого сечения. Выполнены расчеты на ЭВМ с учетом физической и геометрической нелинейности моделей стержней. Полученные коэффициенты продольного изгиба сравниваются с нормативными.

Ключевые слова: сжатый стержень, устойчивость, замкнутое сечение.

Известно, что трубчатая форма поперечного сечения является идеальной для стержней, работающих на сжатие. Стержни из труб имеют наибольшие радиусы инерции относительно главных осей и наивысшую жесткость при кручении в сравнении с любым типом открытого сечения (двуутавр, швеллер и др.). Повышенные коррозионная стойкость и долговечность при условии герметизации внутренней полости, хорошие аэродинамические качества делают привлекательными стержневые элементы из труб в колоннах, фермах, арках, высотных сооружениях.

Широкое применение конструкций из круглых труб сдерживается их относительно высокой стоимостью. В то же время прямоугольные сварные трубы из двух прокатных уголков или швеллеров можно легко изготавливать как на заводе металлоконструкций, так и на строительной площадке.

К достоинствам прямоугольных труб при использовании их, например, в фермах можно отнести возможность сопряжения стержней в узлах без фасонок при прямых резах труб, возможность опирания настила или прогонов непосредственно на пояс и, наконец, удобство передвижения монтажников по поясам ферм (по сравнению с круглыми трубами) в процессе монтажа.

Несущая способность центрально-сжатого стержня по устойчивости может быть вычислена по формуле (все обозначения приняты по [1])

$$N = \varphi A R_y \gamma_c, \quad (1)$$

где φ — коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости $\lambda = l_{ef} / i$; l_{ef} — расчетная длина стержня; i — радиус инерции сечения.

Резервы несущей способности сжатых стержней замкнутого (трубчатого) сечения скрыты в величине коэффициента φ . Эти резервы, в основном экспериментально, исследовались в США, странах Западной Европы и в России.

В США в 1946 г. была создана организация, названная CRC (Column Research Council), для исследования работы колонн и сжатых стержней.

В 1960 г. ее преобразовали в SSRC (Structural Stability Research Council). Результатом работы SSRC стало появление трех кривых устойчивости (фактически коэффициентов продольного изгиба), учитывающих форму поперечного сечения сжатого стержня, способы его изготовления и в том числе влияние остаточных сварочных напряжений [2]. В Западной Европе аналогичные исследования выполнялись в ECCS (European Convention of Constructional Steelwork) начиная с 1952 г. В результате работы ECCS появились 5 кривых устойчивости в функции λ (коэффициентов φ), учитывающих форму поперечного сечения колонны и влияние остаточных напряжений от прокатки, сварки и резки [2].

Таблица 1
Коэффициенты продольного изгиба в советских и российских нормативных документах
(Сталь СТ 3)

λ	НиТУ 1934 г.	НиТУ 1939 г.	СНиП II-B. 3-62	СНиП II-B. 3-72	СНиП II-23-81*
50	0,846	0,89	0,89	0,867	0,852
60	0,798	0,86	0,86	0,820	0,805
70	0,741	0,81	0,81	0,770	0,754
80	0,683	0,75	0,75	0,715	0,686
90	0,625	0,69	0,69	0,655	0,612
100	0,568	0,60	0,60	0,582	0,542
110	0,511	0,52	0,52	0,512	0,478

В СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» форма поперечного сечения сжатых стержней учитывается косвенно и только для решетчатых конструкций покрытий с помощью коэффициента условий работы γ_c , который при расчетах на устойчивость равен 0,95 для всех типов поперечных сечений, кроме замкнутых (трубчатых). Для труб $\gamma_c = 1$.

В 2004 г. в России издан и рекомендован для применения на добровольной основе свод правил СП 53-102-2004 [3]. В этом документе коэффициенты продольного изгиба предлагается вычислять с учетом формы поперечного сечения сжатого стержня (кривая *a* — для круглых труб, кривая *b* — для прямоугольных труб, кривая *c* — для открытых типов сечений, таких как швеллер, уголок, тавр).

Для оценки надежности расчетов на устойчивость, выполненных с учетом влияния формы сечения сжатого стержня (в соответствии со СП 53-102-2004), на кафедре металлических и деревянных конструкций НГАСУ (Сибстрин) были проведены дополнительные исследования.

Какие же факторы оказывают наибольшее влияние на устойчивость центрально-сжатого стержня? Такими факторами могут быть начальная кривизна стержня (максимальная стрелка и форма погибы), случайная расцентровка и остаточные напряжения, возникающие при изготовлении.

Теоретических исследований влияния начальной кривизны на устойчивость сжатых стержней немного. Так, Н.С. Стрелецким¹ установлено, что начальная кривизна оказывает существенное влияние на устойчивость сжатых стержней решетчатых конструкций: ферм, рам и арок.

¹ Стрелецкий Н.С. Работа сжатых стоек. Материалы к курсу стальных конструкций. Вып. 2. Ч. 1. М.: Госстройиздат, 1959. 283 с.

В СССР одни из первых коэффициентов продольного изгиба были представлены в НиТУ 1934 г. Эти коэффициенты корректировались в большую или меньшую сторону при переиздании норм проектирования стальных конструкций (табл. 1), однако форму поперечного сечения и другие параметры сжатых стержней (кроме гибкости) они не учитывали.

С.Д. Лейтес² показал, что искривления оси стержня особенно сильно сказываются на величине критической нагрузки в области средних и больших гибкостей.

Для центрально-сжатых стержней при вычислении коэффициентов продольного изгиба φ , заложенных в нормы [1], учитывалась синусоидальная начальная кривизна с максимальной стрелкой $f_0 = 1/750l$, где l — геометрическая длина сжатого стержня. Значение максимальной стрелки $f_0/l = 1/750$ введено в нормы на основе исследований А.В. Геммерлинга³.

В результате исследований, проведенных в НГАСУ (Сибстрин), установлено, что внешние силовые воздействия при совершении одинаковой работы приведут к образованию меньшей величины начальной кривизны в стержнях из труб по сравнению со стержнями открытого сечения [4].

С учетом этого для стержней замкнутого сечения в виде прямоугольных труб предложены значения стрелки начальной кривизны (погиби) в зависимости от гибкости:

$$\begin{aligned} \text{при } \lambda \leq 80 \quad f_0/l &= 1/1000, \\ \text{при } 80 < \lambda \leq 120 \quad f_0/l &= 1/1000...1/750, \\ \text{при } \lambda > 120 \quad f_0/l &= 1/750, \end{aligned} \tag{2}$$

т.е. при гибкости $\lambda \leq 120$ начальная кривизна стержней из труб примерно на 10...30 % меньше нормируемой величины.

Полученные результаты согласуются с результатами статистических исследований, проведенных в ЦНИИСК им. Кучеренко⁴.

Показано, что на стадии эксплуатации стрелка погиби зависит от формы поперечного сечения стержня и для ферм из труб величина f_0/l меньше, чем для ферм со стержнями из двух уголков, сваренных в тавр.

Исследования, проведенные в НГАСУ (Сибстрин), также показали, что форма изогнутой оси практически не оказывает влияния на величину критической нагрузки внецентренно-сжатого стержня. При выполнении расчетов изогнутая ось стержня аппроксимировалась полуволной синусоиды, квадратной параболой и частью окружности. Расхождения — в пределах до 1 %.

Случайные эксцентрикитеты, возникающие при изготовлении и монтаже металлоконструкций, также снижают величину критической нагрузки сжатого стержня. Величина начального случайного эксцентрикитета, заложенного в нормы [1], составляет $1/20$ от радиуса инерции поперечного сечения. В то же время исследованиями А.Р. Ржаницына установлено, что начальный случайный эксцентрикитет является функцией габарита сечения — h^5 . Исходя из известного соотношения $i = 0,3h$ для таврового сечения можно считать, что $e_0 = 0,015xh$.

Изучение влияния остаточных напряжений, возникающих при сварке, резке и правке сжатых стержней и колонн, на их устойчивость требу-

² Лейтес С.Д. Устойчивость сжатых стальных стержней. М.: Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1954. 308 с.

³ Геммерлинг А.В. Несущая способность стержневых стальных конструкций. М.: Госстройиздат, 1958. 216 с.

⁴ Кошутин Б.Н., Косоруков В.А. Статистическое исследование влияния погнутостей сжатых стержней решетки стропильных ферм на их несущую способность // Исследование нагрузок на сооружения и надежности строительных конструкций: Тр. ЦНИИСК. М., 1976. С. 52–61.

⁵ Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. М.: Гостехиздат, 1955. 476 с.

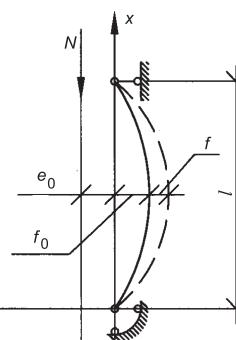
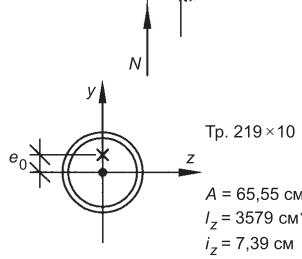
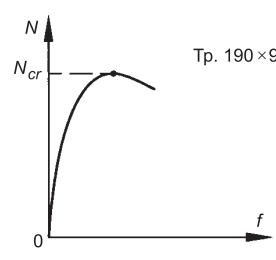
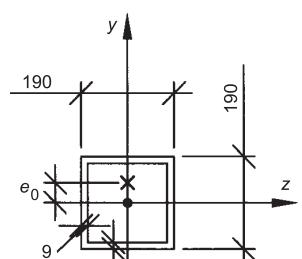
ет большого объема экспериментальных и теоретических исследований. В данной работе этот вопрос не рассматривается.

Для оценки влияния таких факторов, как стрелка начальной кривизны и случайная расцентровка, на величину критической силы центрально-сжатых стержней приняты модели для труб квадратного и круглого сечения. Результаты вычислений представлены в табл. 2 и на рисунке.

Варьируемые параметры моделей:

— стрелка начальной кривизны стержня $f_0/l = 1/1000 \dots 1/750$;

Таблица 2
Результаты расчета на ПЭВМ

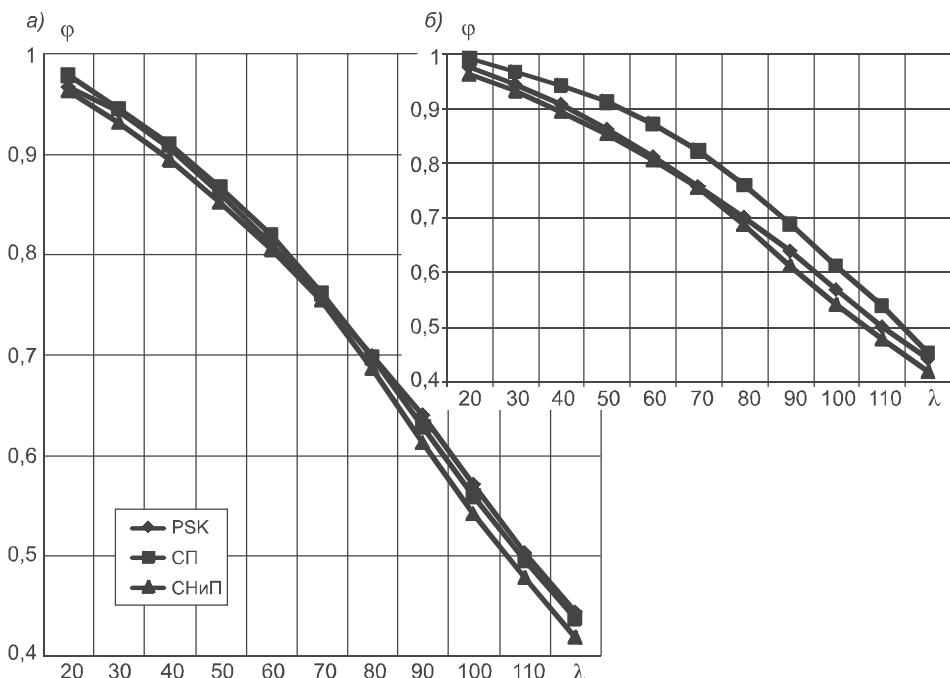
Расчетная схема и поперечное сечение стержня	λ	PSK		$\varphi [3]$	$\varphi [1]$
		N_{cr} , кН	φ		
	20	1564	0,974	0,990	0,962
	30	1513	0,942	0,966	0,931
	40	1456	0,907	0,941	0,894
	50	1384	0,862	0,910	0,852
	60	1303	0,811	0,871	0,805
	70	1216	0,757	0,822	0,754
	80	1122	0,699	0,760	0,686
	90	1024	0,638	0,688	0,612
	100	914	0,569	0,612	0,542
	110	805	0,501	0,539	0,478
	120	710	0,442	0,452	0,419
	20	1542	0,966	0,978	0,962
	30	1504	0,942	0,945	0,931
	40	1446	0,906	0,909	0,894
	50	1374	0,861	0,867	0,852
	60	1294	0,810	0,819	0,805
	70	1206	0,756	0,761	0,754
	80	1116	0,699	0,697	0,686
	90	1020	0,639	0,628	0,612
	100	912	0,571	0,559	0,542
	110	803	0,503	0,495	0,478
	120	708	0,444	0,437	0,419

- случайный эксцентризитет сжимающей силы $e_0 = 0,015xh$;
- гибкость $\lambda = 20 \dots 120$.

Поставленная задача решалась с помощью программы PSK на ЭВМ Pentium, реализованной на языке С. В основе алгоритма программы, разработанной в ЦНИИпроектстальконструкции, — метод перемещений с использованием суперэлементов. Критическая нагрузка вычислялась с учетом физической и геометрической нелинейности, а также развития зон упругопластических деформаций по длине стержня. Результаты вычислений по этой программе хорошо согласуются с экспериментом.

Модель разбивалась на 8 одинаковых конечных элементов по длине стержня и на 32 элемента в поперечном сечении, в том числе 24 конечных элемента в плоскости потери устойчивости. Физическая нелинейность работы материала модели учитывалась с помощью диаграммы сжатия стали, предложенной ЦНИИСК и задаваемой координатами точек, $\sigma_T = 240$ МПа. Изогнутая в процессе нагружения ось стержня, и начальная кривизна в том числе, аппроксимировалась полуволной синусоиды. Для каждой модели вычислялись критическая нагрузка N_{cr} и коэффициенты продольного изгиба ϕ :

$$\phi = \frac{N_{cr}}{A\sigma_T}. \quad (3)$$



Коэффициенты продольного изгиба для труб квадратного (а) и круглого (б) сечения

Анализируя результаты исследований, можно заключить следующее.

1. Сравнение коэффициентов продольного изгиба, вычисленных по программе PSK, с ϕ , рассчитанных по [1, 3], показывает, что сжатые стержни из труб имеют резервы несущей способности по устойчивости.

2. Коэффициенты ϕ для стержней из прямоугольных труб, вычисленные по программе PSK, выше коэффициентов продольного изгиба, рассчитанных по [1], на 1...6 % и находятся на уровне кривой b [3]. Наиболь-

шее влияние формы поперечного сечения стержня оказывается в области гибкостей 80...120.

3. Коэффициенты φ для стержней из круглых труб, вычисленные по PSK, на 1...5 % выше нормативных [1] и в то же время на 3...13 % ниже коэффициентов продольного изгиба, определенных по [3]. Наибольшее влияние замкнутой формы сечения также отмечено в области $\lambda = 80...120$.

4. Таким образом, для расчетов на устойчивость центрально-сжатых стержней из круглых и прямоугольных труб можно использовать кривую b коэффициентов продольного изгиба [3].

Коэффициент условий работы можно принять равным $\gamma_c = 0,95$ для всех типов поперечных сечений. Дополнительная экономия металла в конструкциях со стержнями замкнутого поперечного сечения с учетом принципа унификации может составить до 5...7 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП II-23-81*. Нормы проектирования. Стальные конструкции. — М. : ЦИПП Госстроя СССР, 1990. — 96 с.
2. Stability of metal structures — a world view // Engineering J. — 1981. — Vol. 18, N 3. — P. 90–126.
3. СП 53-102-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Общие правила проектирования стальных конструкций. — М., 2005. — 131 с.
4. Кользев, А.А. Исследование устойчивости стержней ферм из прямоугольных сварных труб // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1986. — № 8. — С. 9–13.

КОЛЬЗЕЕВ А.А., канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено после доработки 18.02.11

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

COMPARATIVE ESTIMATION OF STRESS REDUCTION COEFFICIENTS OF COMPRESSED STEEL RODS OF TUBES

This article contains the results of carrying capacity reserves research on compressed steel rods of closed section. Computer calculations were made according to physical and geometrical nonlinearity models of rods. Obtained stress reduction coefficients are compared to normative coefficients.

Key words: compressed rod, stability, closed section.

REFERENCES

1. SNiP II-23-81*. Steelwork. — M. : Russian Ministry of Construction, 1990. — 96 p.
2. Stability of metal structures — a world view // Engineering J. — 1981. — Vol. 18, N 3. — P. 90–126.
3. SP 53-102-2004. General Rules for Steel Structure Design. M., 2005. — 131 p.
4. Kolzeyev, A.A. Rectangular welded tubes truss members stability Research // News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture. — 1986. — N 8. — P. 9–13.

УДК 699.844:534.6

Д.А. АЛЕШКОВ, А.Д. КРИВОШЕИН

ОЦЕНКА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ПРИТОЧНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Представлена методика оценки акустических характеристик оконных блоков с приточными вентиляционными устройствами. Приведены результаты испытаний и расчетов по предложенной методике. Показана зависимость звукоизоляции оконных блоков с приточными устройствами различного типа от ряда параметров.

Ключевые слова: оконный блок, приточные устройства, звукоизоляция.

Повышение требований к комфортности жилья, отмечающееся в последние годы, обусловливает актуальность вопросов, связанных с обеспечением заданных параметров внутренней среды помещений. Одной из основных задач в этой области является создание требуемой звукоизоляции ограждающих конструкций зданий с учетом режима проветривания помещений и обеспечения требуемого воздухообмена.

Для притока свежего воздуха в помещениях жилых и ряда общественных зданий с современными светопрозрачными конструкциями применяют оконную фурнитуру с регулируемым открыванием оконных створок (микропроветривание, щелевое проветривание и т.п.), различного рода проветриватели и приточные вентиляционные устройства (клапаны), встраиваемые в наружные стены или непосредственно в оконные конструкции. Соответственно возникает необходимость в оценке звукоизоляции ограждающих конструкций с учетом различных режимов проветривания.

Нормируемой акустической характеристикой оконных блоков является величина звукоизоляции $R_{\text{Атран}}$, дБА, отражающая снижение воздушного шума потока городского транспорта [1]. В соответствии [2] требуемое значение $R_{\text{Атран}}$ должно обеспечиваться оконным блоком с учетом нормативного воздухообмена.

Влияние режима проветривания на звукоизоляцию ограждающих конструкций может быть весьма существенным и предопределять акустический режим помещений. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты испытаний оконного блока из ПВХ-профилей с двухкамерными стеклопакетами, выполненные по методике ГОСТ 26602.3–99 [1] в звукомерных камерах. Как следует из результатов испытаний, открытие створки окна в режиме щелевого проветривания приводит к снижению $R_{\text{Атран}}$ на величину порядка 10 дБА, открытие створки в режиме проветривания — на величину около 17 дБА.

Для характеристики малых строительных элементов, к которым можно отнести приточные вентиляционные устройства, применяется показатель $D_{n.e.w}(C; C_{tr})$ [3]. Здесь C и C_{tr} — коэффициенты согласования, позволяющие учитывать различные спектры источников шума, таких как розовый шум и шум потока городского транспорта соответственно. Коэффициенты согласования рассчитываются на основании результатов лабораторных испытаний



Рис. 1. Частотные характеристики изоляции воздушного шума оконного блока ОП ОСП 15-15 ГОСТ 30674-99 с двухкамерными стеклопакетами СПД 4М₁-12-4М₁-12-4М₁ при различных режимах проветривания (по результатам испытаний в звукомерных камерах)

1 — нормативная частотная характеристика; 2 — для оконного блока в закрытом состоянии ($R_{A\text{тран}} = 25,2$ дБА); 3 — для оконного блока в режиме «щелевого проветривания» ($R_{A\text{тран}} = 15,0$ дБА); 4 — для оконного блока с (открытой) откинутой створкой ($R_{A\text{тран}} = 7,5$ дБА)

по [3]. Для учета спектра транспортного шума к индексу звукоизоляции $D_{n.e.w}$ прибавляют коэффициент согласования C_{tr} . Таким образом, $(D_{n.e.w} + C_{tr})$, дБА, — величина, характеризующая снижение строительным элементом воздушного шума, создаваемого потоком городского транспорта. Применимельно к приточным устройствам $(D_{n.e.w} + C_{tr})$ можно назвать звукоизоляцией приточного устройства и для удобства записи обозначить как D_A . В качестве примера в табл. 1 приведены результаты испытаний некоторых приточных устройств с определением показателя D_A .

Таблица 1
Результаты испытаний приточных вентиляционных устройств

Марка приточного устройства	Характеристика	Звукоизоляция, D_A , дБА	
		открыто	закрыто
Стеновой клапан «КИВ-125»	Внутренний диаметр канала 125 мм. Длина канала 400 мм	36,1*	39,8*
Стеновой клапан «СВК В-75»	Размеры внутреннего сечения 415×75 мм. Длина корпуса 400 мм	45,1*	51,6*
Окненный клапан ЕММ 3-30	Размеры внутреннего сечения 344×12 мм	33,0**	—
Стеновой клапан «Purgo Air»	Размеры внутреннего сечения 250×25 мм. Длина канала 400 мм	36,0**	—

* Результаты испытаний в звукомерных камерах ИЦ «Стройтест-СибАДИ».

** Данные производителя.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость в оценке совместной звукоизоляции того или иного оконного блока с приточным устройством, т.е. по сути дела в прогнозировании величины $R_{A\text{тран}}^{\text{окно+ПУ}}$ при известных (полученных по результатам испытаний) показателях звукоизоляции оконных блоков $R_{A\text{тран}}$ и приточных устройств D_A . Здесь $R_{A\text{тран}}^{\text{окно+ПУ}}$ — показатель, служащий для оценки снижения оконным блоком совместно с приточным устройством воздушного шума от потока городского транспорта.

Бессспорно, для случая, когда приточное устройство является элементом оконного блока, возможно проведение испытаний по методике

ГОСТ 26602.3–99 [1] и получение характеристики $R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}}$ по результатам прямых измерений. Однако такой подход не очень удобен, поскольку требует испытаний оконных блоков с различными величинами $R_{\text{Атран}}$. Гораздо сложнее обстоит дело при использовании устройств, которые не являются элементами оконных блоков и монтируются в наружных стенах, например стеновых клапанов «КИВ-125» или «СВК В-75».

Для прогнозирования величины $R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}}$ предложено воспользоваться известным подходом [2], применяемым для расчета ограждающих конструкций, состоящих из нескольких частей с различной звукоизоляцией:

$$R^{\text{общ}} = 10 \lg \frac{S}{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{10^{0,1R_i}}}, \quad (1)$$

где S — общая площадь ограждающей конструкции, м^2 ;

S_i — площадь i -й части, м^2 ;

R_i — изоляция воздушного шума i -й частью, дБА.

Если ограждающая конструкция состоит из двух частей, то выражение (1) принимает вид

$$R^{\text{общ}} = 10 \lg \frac{S}{\frac{S_1}{10^{0,1R_1}} + \frac{S_2}{10^{0,1R_2}}}. \quad (2)$$

Для оценки звукоизоляции оконного блока совместно с приточным устройством по формуле (2) необходимо, чтобы их акустические характеристики описывались одинаковыми величинами.

Согласно [4] величину R_i можно представить в виде

$$R_i = D_i - 10 \lg A_0 + 10 \lg S_i. \quad (3)$$

После несложных математических преобразований запишем

$$\frac{S_i}{10^{0,1R_i}} = 10^{\left(\frac{10 \lg A_0 - D_i}{10}\right)}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2) вместо одного из слагаемых знаменателя, получим

$$R^{\text{общ}} = 10 \lg \frac{S}{\frac{S_1}{10^{0,1R_1}} + 10^{\left(\frac{10 \lg A_0 - D_A}{10}\right)}}. \quad (5)$$

Из-за относительно небольших геометрических размеров приточного устройства по сравнению с оконным блоком площадь оконного блока S_1 можно принять как общую площадь рассчитываемой ограждающей конструкции S . Учитывая то, что характеристикой оконного блока является $R_{\text{Атран}}$, а характеристикой приточного клапана — D_A , выражение (5) можно записать в виде

$$R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}} = 10 \lg \frac{S}{\frac{S_1}{10^{0,1R_{\text{Атран}}}} + 10^{\left(\frac{10 \lg A_0 - D_A}{10}\right)}}. \quad (6)$$

Полученная зависимость (6) позволяет рассчитывать общую звукоизоляцию оконного блока совместно с приточным устройством $R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}}$,

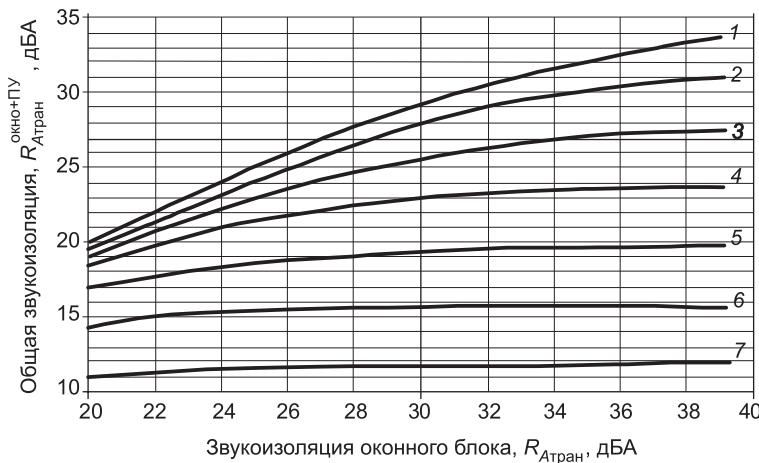


Рис. 2. Зависимость общей звукоизоляции оконного блока с приточным устройством $R_{\text{окно+ПУ}}$ от звукоизоляции оконного блока $R_{\text{Атран}}$ при различных значениях звукоизоляции приточных устройств D_A
 1 — $D_A = 44$ дБА; 2 — 40 дБА; 3 — 36 дБА; 4 — 32 дБА; 5 — 28 дБА;
 6 — 24 дБА; 7 — 20 дБА

используя известные характеристики оконного блока $R_{\text{Атран}}$ и приточного устройства D_A .

На рис. 2 в качестве примера приведены результаты расчета ряда оконных блоков с приточными устройствами различного типа. Как свидетельствуют полученные зависимости для оконных блоков с $R_{\text{Атран}} < 25$ дБА, величина звукоизоляции приточных устройств D_A оказывает незначительное влияние на $R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}}$. В то же время для оконных блоков с высокими значениями $R_{\text{Атран}}$ ($R_{\text{Атран}} > 35$ дБА) снижение $R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}}$ может составлять до 6...8 дБА.

Экспериментальная проверка полученных теоретических зависимостей проведена в звукомерных камерах ИЦ «Стройтест-СибАДИ» с различными приточными устройствами (табл. 2). Погрешность Δ расчетных и экспериментальных величин $R_{\text{Атран}}^{\text{окно+ПУ}}$ составила около 1–5 %.

Предложенный метод позволяет прогнозировать звукоизоляцию оконных блоков с приточными устройствами различного типа. Результаты расчетов достаточно хорошо корреспондируют с результатами испытаний в звукомерных камерах.

Таблица 2
Результаты расчета звукоизоляции оконного блока с приточными устройствами по формуле (6) и результаты измерений в звукомерных камерах

Звукоизоляция оконного блока, $R_{\text{Атран}}$, дБА	Марка приточного устройства	Звукоизоляция приточного устройства, D_A , дБА	$R_{\text{окно+ПУ}}$, дБА		Погрешность, %
			расчет	результаты испытаний	
25,2	КИВ-125	36,1*	23,2	24,3*	4,5
27,9	СВК В-75	45,1*	27,3	26,5*	2,9
27,4	ЕММ 3-30	33,0**	23,9	24,3*	1,6

* Результаты испытаний в звукомерных камерах ИЦ «Стройтест-СибАДИ».

** Данные производителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 26602.3-99. Блоки оконные и дверные. Метод определения звукоизоляции [Текст].
2. СНиП 23-03-2003. Защита от шума [Текст].
3. ISO 717-1:1996 Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Pt 1 : Airborne sound insulation [Текст].
4. Ventilation systems for windows // ift-guideline, LU-01engl/1, 2009 [Text].

АЛЕШКОВ Д.А., асп.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск

КРИВОШЕИН А.Д., канд. техн. наук, доц.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск

Получено 17.06.10

Aleshkov D.A., post-graduate student, Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk, Russia

Krivoshein A.D., candidate of technical sciences, Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk, Russia

ESTIMATE OF SOUND INSULATION TRANSLUCENT CONSTRUCTIONS WITH A GLANCE OF INPUT VENTILATION FACILITIES

In this article is introduced a methodic of estimation of the window lintels acoustics jointly with the input system of ventilation facilities. There are the results of the test work and the accounts of the introduced methodic. Revealed the dependence between the sound insulation of different types of the window lintels with the input system of ventilation facilities and a number of characteristics.

Key words: sash pulley, ventilating devices, sound insulation.

REFERENCES

1. GOST 26602.3-99. Windows and doors. Method of measurement of sound insulation [Text].
 2. SNiP 23-03-2003. Sound protection [Text].
 3. ISO 717-1: 1996 Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Pt 1 : Airborne sound insulation [Text].
 4. Ventilation systems for windows // ift-guideline, LU-01engl/1, 2009 [Text].
-

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.011.1

Д.А. УКРАИНЧЕНКО, В.И. ЖАДАНОВ

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕНИИ-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ПАНЕЛЕЙ С КЛЕЕДОЩАТОЙ ОБШИВКОЙ

Приведены результаты численных и экспериментальных исследований kleedощатых панелей, работающих при поперечном изгибе. Выявлены зависимости изменения коэффициентов приведения kleedощатой обшивки от ее толщины, схемы расположения в сжатой или растянутой зоне поперечного сечения, а также от геометрических параметров конструкции. Получены расчетные формулы, дающие возможность учесть степень влияния фактических параметров разработанных панелей на величину коэффициентов приведения kleedощатых обшивок.

Ключевые слова: панель, древесина, ребро, обшивка, поперечный изгиб, эксперимент, испытания, прочность, напряжения, деформации, коэффициент приведения.

При расходовании на нужды деревянного малоэтажного строительства огромных объемов материальных и энергетических ресурсов повышение эффективности их использования приобретает существенное значение и становится важной народнохозяйственной проблемой. Такое повышение может быть достигнуто за счет увеличения уровня индустриализации и степени заводской готовности строительных конструкций и деталей, расширения практически полнособорного панельного строительства из унифицированных элементов.

Технологическая унификация может быть достигнута без существенных капитальных вложений за счет применения панельных конструкций, в которых деревянные цельные или kleedощатые несущие ребра сочетаются с kleedощатой обшивкой. Этот факт подтверждает проведенный на территории Оренбургской области мониторинг предприятий, занимающихся обработкой древесины, который показал, что типовые технологические запрессовочные стенды позволяют изготавливать kleedощатые щиты размерами от 1,5×3,0 до 3,0×6,0 м, а фактическая степень их загруженности не превышает 20 %.

Авторами разработаны панели с kleedощатой обшивкой, отличающиеся рядом положительных качеств в сравнении с известными зарубежными и отечественными аналогами [1]. В состав разработанных панелей П-образного поперечного сечения (рис. 1) входят два продольных деревянных ребра и kleedощатая обшивка, которая приклена к ребрам с гвоздевым прижимом, что позволяет включить ее в общую работу конструкции. Включение обшивки в работу существенно увеличивает момент инерции и сопротивления поперечного сечения, что и приводит к экономии материала. Неизменяемость поперечного сечения обеспечивается диафрагмами жесткости, установленными на расстоянии 500 мм от тор-

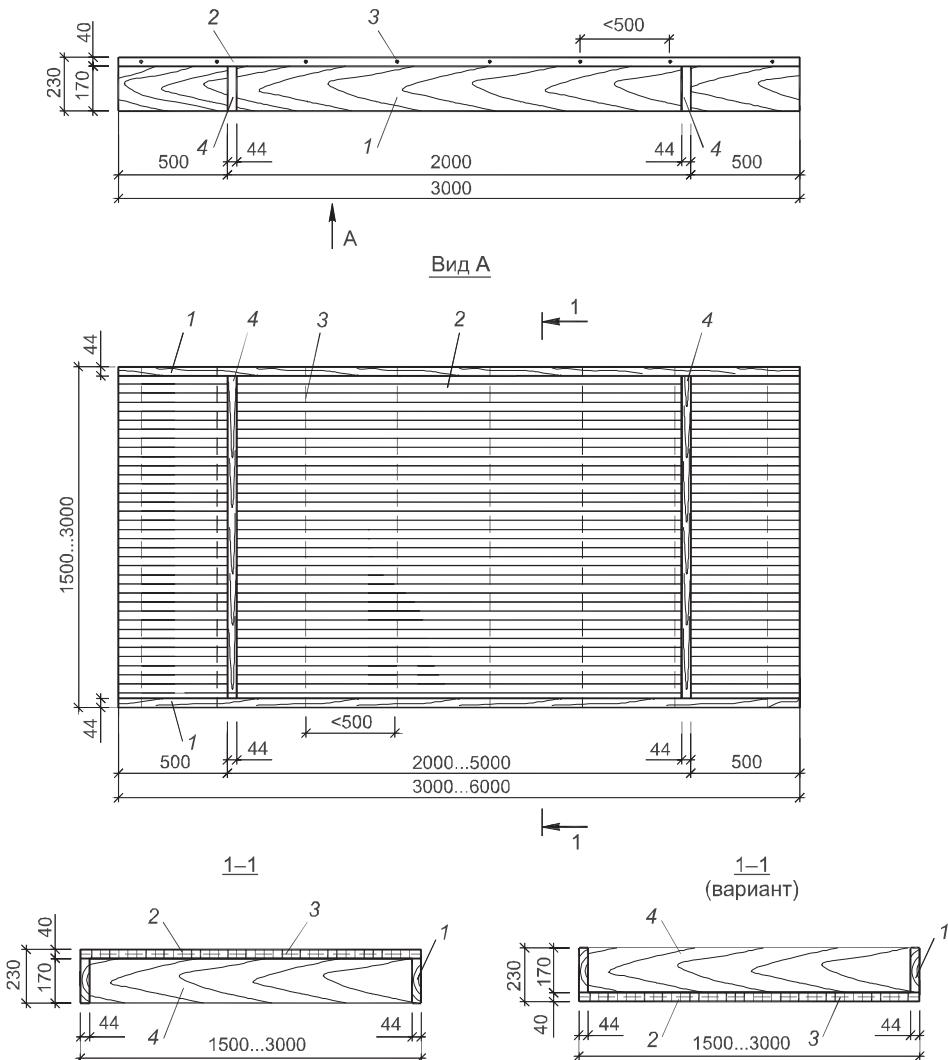


Рис. 1. Панель с kleedoштатой обшивкой

1 — продольные ребра; 2 — kleedoштатая обшивка; 3 — поперечные арматурные стержни; 4 — диафрагма жесткости

цов элемента из условия конструирования опорных узлов. Соединение основных ребер и диафрагм жесткости выполняется при помощи вклеенных стержней, металлических пластин или на зубчатый шип. Открытые продольные ребра позволяют легко выполнять узлы сопряжения панелей с нижележащими конструкциями.

Новизной предложенного технического решения является то, что kleedoштатая обшивка выполнена с предварительным напряжением из склеенных между собой брусков поперечным сечением не более чем 45×45 мм. Предварительное напряжение в обшивке создается за счет стальных стержней из арматурной стали класса А-III диаметром 8...12 мм, вклеенных с шагом 300...500 мм по всей длине пакета на всю его ширину в заранее высверленные отверстия. При изготовлении kleedного щита контролируемая нагрузка прикладывается к древесине в направлении поперек волокон, при этом обеспечивается запрессовочное давление, равное 0,5 МПа. Какая-либо нагрузка к армирующим стержням не прикладывается. После отверждения клея давление снимается,

при этом древесина, работающая в упругой стадии, будет стремиться вернуть первоначальную ширину пакета, чему препятствуют вклеенные стержни, воспринимающие в тот момент давление, созданное при запрессовке пакета. Создание предварительного напряжения препятствует образованию усушечных трещин, повышает эксплуатационную надежность и эстетические качества панельной конструкции в целом. Отметим, что в kleедощатых щитах с предварительным напряжением после их хранения в холодном помещении в течение 14 месяцев какие-либо усушечные трещины и следы раскалывания отсутствовали, а щиты без предварительного напряжения были покороблены и требовали проведения ремонтных работ по защеканке трещин.

Анализ нормативно-технической литературы в области конструирования и расчета деревянных панельных конструкций выявил, что существующие методы расчета и проведенные исследования [2] не дают ответа на вопрос о степени участия в общей работе конструкции kleедощатой обшивки, которая может быть расположена как в сжатой, так и в растянутой зоне поперечного сечения изгибаемых панелей. Отсутствие данных по этому вопросу приводит к несоответствию расчетных моделей реальному поведению конструкции при воздействии эксплуатационных нагрузок.

С целью изучения действительной работы разработанных панелей с kleедощатой обшивкой при поперечном изгибе проведены их численные исследования и статические испытания. При этом ставились следующие задачи:

- исследовать напряженно-деформированное состояние каждого конструктивного элемента и долю его участия в работе всей конструкции в зависимости от геометрических размеров панели, схемы расположения обшивки в сжатой или растянутой зоне поперечного сечения;
- определить действительную несущую способность и деформативность конструкций, выяснить место и характер разрушения;
- оценить прочность соединений конструкции.

При проведении численных исследований в качестве базовой конструкции была принята изгибаемая панель П-образного поперечного сечения с размерами в плане $1,5 \times 3,0$ м. Исследования напряженно-деформированного состояния предложенных конструктивных форм выполнены при помощи программных комплексов «SCAD» и «Лира». В качестве варьируемых параметров принимали:

- положение обшивки в сжатой или растянутой зоне поперечного сечения;
- длину пролета панели от 3,0 до 6,0 м;
- шаг продольных ребер от 0,75 до 3,0 м;
- толщину обшивки в пределах от 32 до 45 мм.

Расчетную нагрузку, определенную с соблюдением требований [3] с учетом фактических размеров поперечных сечений, прикладывали к продольным ребрам как равномерно распределенную по их длине. Расчетная модель имела с одной стороны шарнирно-подвижную, с другой — шарнирно-неподвижную опору. Упругие характеристики древесины приняты согласно нормам: модуль упругости вдоль волокон $E_0 = 10\,000$ МПа, по-перек волокон $E_{90} = 400$ МПа, коэффициент Пуассона вдоль волокон $\mu = 0,5$, по-перек волокон $\mu = 0,02$, модуль сдвига $G = 500$ МПа.

Степень влияния изменяемых факторов на величину включения обшивки в работу конструкции оценивалась по величине изменения коэффициентов приведения обшивки, вычисляемых по формуле

$$k = \sigma_x^{\text{cp}} / \sigma_x^{\text{max}}, \quad (1)$$

где σ_x^{cp} — среднее нормальное напряжение по ширине обшивки в рассматриваемом сечении;

σ_x^{max} — максимальное значение нормальных напряжений, возникающих в обшивке в месте их присоединения к основным ребрам.

Определенные по формуле (1) значения коэффициентов приведения обшивки в зависимости от шага продольных ребер и толщины обшивки (δ_0) приведены в таблице. Отметим, что полученные значения на 20...25 % выше соответствующих данных, полученных для аналогичных панелей с фанерной обшивкой толщиной 10 мм. Квадратичная аппроксимация полученных данных при подстановке δ_0 (в сантиметрах) приводит к соотношениям

$$k_{\text{об}}^{750} = -0,017\delta_0^2 + 0,187\delta_0 + 0,348, \quad (2)$$

$$k_{\text{об}}^{1500} = 0,013\delta_0^2 - 0,034\delta_0 + 0,302, \quad (3)$$

$$k_{\text{об}}^{3000} = -0,023\delta_0^2 - 0,116\delta_0 + 0,385. \quad (4)$$

Анализ результатов численных исследований, представленных в таблице, показал, что увеличение шага ребер с 750 мм (min) до 3000 мм (max) приводит к уменьшению коэффициента $k_{\text{об}}$ на 60...68 %, а значение толщины обшивки с 32 до 45 мм обеспечивает увеличение $k_{\text{об}}$ на 8...40 % в зависимости от конкретных параметров рассматриваемых панелей. Распределение напряжений в элементах панелей, обшивка которых была расположена в растянутой и сжатой зонах поперечного сечения, имело идентичный характер. При этом значения коэффициентов приведения обшивки в случае ее растяжения или сжатия оставались практически постоянными. Также было выявлено, что наличие предварительного напряжения в обшивке, созданного в направлении поперек волокон, не оказывает влияния на напряженно-деформированное состояние как самой обшивки, так и панели в целом.

Выполненные численные исследования также показали, что при отношении шага продольных ребер a_p к пролету панели более 0,25 на величину коэффициента приведения обшивки оказывают существенное влияние как сам шаг ребер и толщина обшивки, так и отношение a_p/L . Так, для панели размерами 3,0×3,0 м при увеличении пролета с 3,0 м ($a_p/L = 1$) до 6,0 м ($a_p/L = 0,5$) при толщине обшивки 32 мм значение $k_{\text{об}}$ увеличилось с 0,32 до 0,38, т.е. величина изменения достигает 19 %. Аналогичные результаты получены и при других исходных параметрах панелей, что говорит о необходимости учета этого фактора в расчетах конструкций. Такой учет может быть осуществлен при помощи введения к полученным ранее значениям коэффициентов приведения в зависимости от шага основных ребер и толщины обшивки (см. таблицу) поправочной величины k_l , которая может быть определена по аппроксимационной формуле

$$k_{\text{об}} = k_{\text{об}}^m k_l, \quad (5)$$

где k_l — коэффициент, учитывающий соотношение шага ребер и пролета панели:

$$k_l = 1,18 - 0,36 \sqrt{a_p / L}. \quad (6)$$

Такой подход позволяет учитывать фактическое соотношение a_p / L . При этом величина погрешности в соответствии с полученными данными составляет 0...5 %, что можно считать вполне приемлемым для выполнения практических расчетов.

Для подтверждения достоверности результатов численных исследований проведены кратковременные статические испытания натурной опытной конструкции размерами 1,5×3,0 м. Панель исследовалась при расположении обшивки в сжатой и растянутой зонах поперечного сечения. При испытании опытная конструкция имела с одной стороны шарнирно-подвижную, с другой — шарнирно-неподвижную опору. Опорные реакции передавались на основные ребра через стальные жесткие прокладки длиной 60 мм и шириной, равной ширине основных ребер. Перед испытанием опытную конструкцию тщательно обследовали визуально. Проводили измерение поперечных сечений рабочих элементов и сравнивали с проектными. Фактические пороки древесины были сопоставлены с допусками по нормам. Кроме того, проверяли качество изготовления конструкции (точность подгонки элементов, наличие или отсутствие повреждений древесины, качество обработки рабочих поверхностей, качество kleеных швов и т.д.). При проведении испытаний измеряли температуру и влажность воздуха в помещении. Испытания были проведены с использованием методики и рекомендаций [4].

Для получения четкой картины работы панели под нагрузкой при проведении испытаний измеряли:

- основные деформации системы (прогиб панели в середине и третях пролета, осадки опор, изменение длины пролета, прогиб обшивки, величину расхождения основных ребер в середине пролета);
- фибровые деформации ребер и kleедощатой обшивки.

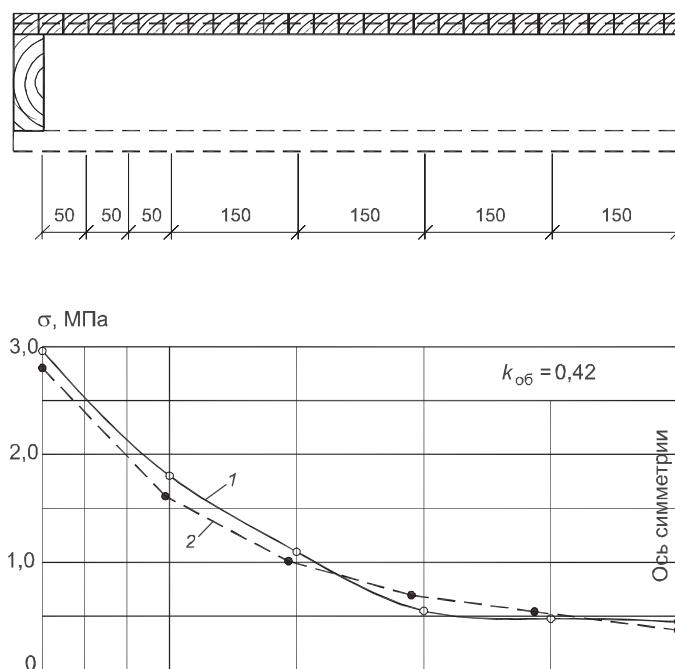


Рис. 2. Распределение нормальных сжимающих напряжений в kleедощатой обшивке панели размерами 1,5×3,0 м
1 — теоретические, 2 — экспериментальные данные

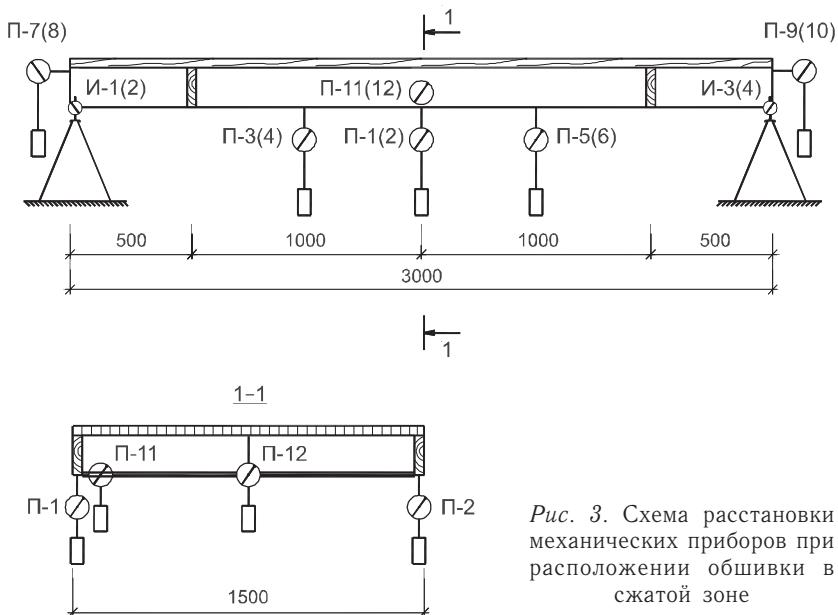


Рис. 3. Схема расстановки механических приборов при расположении обшивки в сжатой зоне

Основные деформации конструкции измеряли прогибомерами 6ПАО-ЛИСИ и индикаторами часового типа с ценой деления шкалы 0,01 мм. Деформации в элементах конструкции измеряли согласно общепринятой методике с использованием тензорезисторов с базой 20 мм и микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64, которая обеспечивала время снятия отсчетов не более 1 с. Схема расстановки механических приборов показана на рис. 3.

Клеедощатая обшивка при действии равномерно распределенной нагрузки изгибаются, одновременно работая на сжатие при общем изгибе конструкции. Для определения сжимающих и изгибных напряжений, действующих в обшивке, использовали нагрузку:

- приложенную только к основным ребрам (при расположении обшивки как в сжатой, так и в растянутой зоне поперечного сечения);
- равномерно распределенную по площади обшивки (при расположении обшивки в сжатой зоне поперечного сечения).

После завершения первых испытаний конструкцию разгружали и выдерживали перед проведением последующих не менее трех суток. Нагружение производили до расчетных нагрузок. После испытаний панели расчетными нагрузками конструкцию доводили до разрушения, нагружая ее нагрузкой, равномерно распределенной по обшивке. Изгибную нагрузку создавали синтетическими мешками с песком массой 20 кг, вес которых тарировался перед проведением каждого испытания.

В целях объективности сопоставления результатов испытаний с теоретическими данными были выполнены дополнительные статические расчеты исследуемой конструкции при помощи программных комплексов. При задании упругих характеристик конечным элементам введены в расчет фактические величины модулей упругости древесины ребер и обшивки, установленные стандартными испытаниями образцов, взятых из конструкции после ее разрушения. Модули упругости древесины обшивки и ребер вдоль волокон составили соответственно $E_0 = 10700$ МПа и $E_0 = 12890$ МПа.

Максимальные прогибы основных ребер панели в середине пролета при различных положениях обшивки и приложении нагрузки находились

в пределах норм. Значения фактических прогибов от нормативной нагрузки составили 6,3 мм при расположении обшивки в сжатой зоне и 6,7 мм в растянутой, при этом относительный прогиб был равен 1/476 и 1/447 пролета соответственно. Расхождения в значениях прогибов по ступеням загружения, а также в зависимости от схемы приложения нагрузки не превышали 5 %. Разница между экспериментальными и теоретическими значениями прогибов составила 17 %.

Выделив напряжения сжатия из общих напряжений, получили ярко выраженное неравномерное их распределение по ширине обшивки. При расчетном значении нагрузки максимальное нормальное напряжение в обшивке составило 2,74 МПа, а соответствующее эпюре значение коэффициента приведения — 0,42 (см. рис. 2). Расхождения между экспериментальными и теоретическими значениями коэффициентов приведения составили не более 8,7 %, что для условий натурного эксперимента можно считать допустимой погрешностью.

При испытании конструкции до разрушения обшивка панели была расположена в сжатой зоне поперечного сечения, что соответствует условиям ее наихудшей работы. Панель разрушилась при нагрузке 12,95 кН/м². Требуемый коэффициент безопасности, рассчитанный согласно [4], равен 2,23, а фактический составил 2,78, что свидетельствует о достаточной несущей способности разработанной конструкции, в том числе при длительном действии нагрузки. Разрушение опытной конструкции произошло в опорных зонах из-за скальвания клеевого шва соединения основного ребра и обшивки.

Выводы. 1. Клеедощатая обшивка, приклеенная к ребрам каркаса, включается в общую работу плиты, увеличивая тем самым ее прочность и жесткость, при этом степень неравномерности распределения нормальных напряжений по ширине kleедощатой обшивки, определяемая при помощи коэффициента приведения k_{ob} , зависит от соотношения шага ребер и пролета конструкции, а также от толщины обшивки.

2. Расположение обшивки в сжатой или растянутой зоне поперечного сечения элемента не оказывает влияния на величину коэффициента приведения обшивки, причем значение этого коэффициента не меняется по длине панели. На напряженно-деформированное состояние обшивки и панели в целом не влияет наличие предварительного напряжения в обшивке, созданного в направлении поперек волокон.

3. Расчет панелей с kleедощатой обшивкой, включенной в общую работу конструкции, рекомендуется выполнять с использованием программных комплексов «Лира» и «SCAD». Инженерный расчет можно производить по методу приведенного сечения с учетом полученных значений коэффициентов приведения (определенных для конкретных параметров панелей численными или экспериментальными методами).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 36404. МПК Е04В 1/10. Утепленная стена вертикальной разрезки [Текст] / П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов, П.П. Дмитриев, Д.В. Сагантаев. — Опубл. 10.03.2004. — Бюл. 7. — 6 с.
2. Наделяев, В.Д. К расчету дощатых обшивок крупноразмерных дощатых плит [Текст] / В.Д. Наделяев, И.С. Инжутов, С.В. Деордиеv и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2000. — № 11. — С. 4–8.
3. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования [Текст] — М. : Стройиздат, 1983. — 31 с.
4. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. — М. : Стройиздат, 1976. — 28 с.

УКРАИНЧЕНКО Д.А., асп.; E-mail: ukrainchenko@inbox.ru
Оренбургский государственный университет
ЖАДАНОВ В.И., д-р техн. наук, доц.; E-mail: organ-2003@bk.ru
Оренбургский государственный университет

Получено 20.01.11

Ukainchenko D.A., post-graduate student; E-mail: ukrainchenko@inbox.ru, Orenburg State University, Russia

Zhadanov V.I., doctor of technical sciences, assistant professor; E-mail: organ-2003@bk.ru, Orenburg State University, Russia

FEATURES TIGHT AND DEFORMATED STATE OF FLEXIBLE PANELS WITH A GLUED BOARD

They gave results of fulfilled numerical and experimental researches of glued board panels of U-shaped section which work in cross bend. They revealed the dependence of the reduction coefficient for a glued board of different geometric parameters of construction, the orientation of boarding concerning the room and the thickness of boarding. They approximated formulae which makes it possible for take into account the level of influence of panel construction parameters on the quantity of the reduction coefficient for a glued board.

Key words: panel, wood, rib, board, cross bend, experiment, test, strength, tension, deformation, reduction coefficient.

REFERENCES

1. Russian Federation Patent N 36404. IPC E04B 1/10. Heated wall of vertical cutting [Text] / P.A. Dmitriev, V.I. Zhadanov, P.P. Dmitriev, D.V. Sagantaev. — Publ. 10.03.2004. — Bull. 7. — 6 p.
 2. N a d e l y a e v, V.D. To the account of plank boards of large-size plank plates [Text] / V.D. Nadelyaev, I.S. Inzhutov, S.V. Deordiev, P.A. Dmitriev, V.V. Purtov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2000. — N 11. — P. 4–8.
 3. SNiP II-25-80. Wooden constructions. Designing Regulations [Text] — M. : Stroyizdat, 1983. — 31 p.
 4. Recommendations of wooden constructions test [Text] / Kucherenko's CRI BC. — M. : Stroyizdat, 1976. — 28 p.
-

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

УДК 666.973.3

А.Ф. КОСАЧ, Ю.В. БЕРЁЗКИНА, Н.А. ГУТАРЕВА, М.Н. ВАНЬКОВА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ РАЗДЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА КОМБИНАТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассматривается влияние технологических переделов, таких как способ перемешивания, порядок загрузки компонентов в бетоносмеситель, использование добавки на активацию компонентов керамзитобетона. Выполнен сравнительный анализ результатов применения двух различных технологий — заводской и предлагаемой.

Ключевые слова: керамзитобетон, активация компонентов, физико-механические показатели, заводская технология, турбулентная технология.

Серьезный недостаток при заводском производстве бетонных изделий и конструкций — отсутствие четких представлений о физико-механических показателях используемых компонентов конгломерата и возможных технологических приемах, повышающих их активность.

Несмотря на позитивные результаты в поисках новых интенсивных технологий, в производственной практике возможности минеральных вяжущих по-прежнему используются в пределах 45 %. Поэтому научные исследования должны быть направлены на использование имеющихся ресурсов, интенсификацию процессов и разработку новых, более эффективных приемов активации компонентов бетона, что позволит повышать физико-механические показатели бетона на минеральном вяжущем.

Большинство известных работ, посвященных исследованию технологического цикла производства бетона на пористом заполнителе, ограничивается рассмотрением отдельных технологических факторов: материала, технологии приготовления смесей, виброуплотнения, тепловой обработки и т.д. Поэтому весьма важны задачи комплексного исследования технологии бетона на пористом заполнителе, изыскания возможности повышения технологическим путем активности компонентов, принимающих участие в процессе структурообразования, и улучшения физико-механических свойств, а также совершенствования технологии изготовления бетона на пористом заполнителе.

Целью работы являлось создание методов комплексного регулирования эксплуатационных свойств керамзитобетона путем направленного структурообразования на основе учета свойств пористого заполнителя и протекающих физико-механических процессов для снижения расхода энергозатрат и цемента. Были исследованы физико-механические свойства керамзитобетона, приготовленного по интенсивной раздельной техно-

© Косач А.Ф., Берёзкина Ю.В., Гутарева Н.А., Ванькова М.Н., 2011

логии в условиях производства на Омском комбинате строительных конструкций.

При этом решались следующие задачи:

- определить физико-механические свойства исходных компонентов керамзитобетона и его состав;

- выполнить опытно-производственную проверку результатов исследования предложенных новых технологических переделов и определить их технологическую и экономическую эффективность.

Для управления эксплуатационными свойствами керамзитобетона были приняты следующие технологические переделы.

Частота вращения ротора бетоносмесителя:

- заводская, смеситель СБ-138 с частотой вращения $n = 40 \text{ мин}^{-1}$;
- турбулентная, смеситель СБ-148 с частотой вращения $n = 900 \text{ мин}^{-1}$.

Порядок загрузки компонентов керамзитобетонной смеси в бетоносмеситель и продолжительность перемешивания осуществлялись по двум вариантам:

А) компоненты (цемент + вода + песок + керамзит) загружали одновременно и перемешивали в течение 5 мин при $n = 40 \text{ мин}^{-1}$, 80 с при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$, т.е. Ц + В + П + К = 5 мин (80 с);

Б) компоненты (вода + керамзит) перемешивали 2 мин при $n = 40 \text{ мин}^{-1}$, 20 с при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$; к этой смеси добавили цемент, перемешивали 1 мин при $n = 40 \text{ мин}^{-1}$, 40 с при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$; к полученной смеси добавили песок, перемешивали 5 мин при $n = 40 \text{ мин}^{-1}$ и 80 с при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$, т.е. (В + К) = 2 мин (20 с) + Ц = 3 мин (40 с) + П = 5 мин (80 с).

Применялась поверхностно-активная пластифицирующая воздухововлекающая добавка СНВ в количестве 0,5 %. Варьирование технологических переделов производилось по разработанной структурной схеме, соответствующей рис. 1.

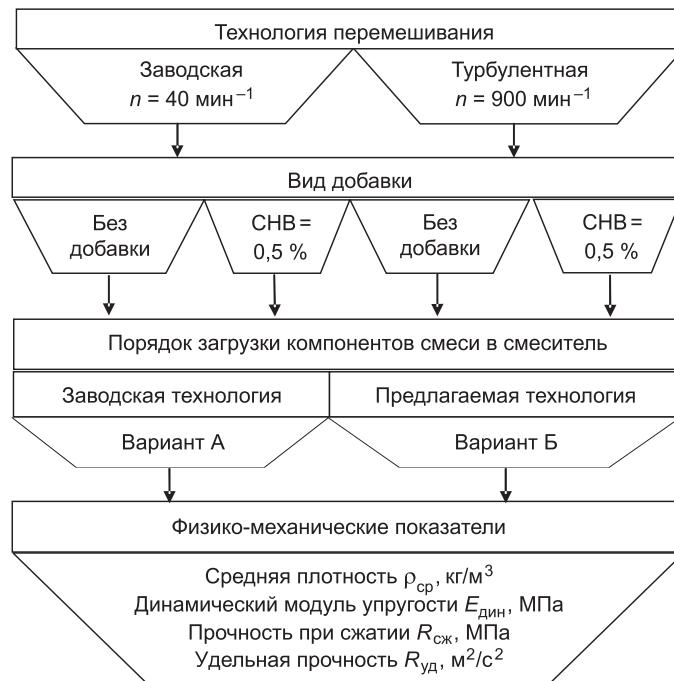


Рис. 1. Структурная схема производственных испытаний

Определялись следующие показатели керамзитобетона в возрасте 28 сут: средняя плотность, динамический модуль упругости, прочность при сжатии и удельная прочность полученных образцов.

Контроль прочности готовых изделий производился на поверенном оборудовании в заводской лаборатории ультразвуковым методом по ГОСТ 17624–87. Определение прочности при сжатии выполнялось на бетонных образцах размерами $10 \times 10 \times 10$ и $15 \times 15 \times 60$ см в возрасте 28 сут — по методике ГОСТ 10180–90 «Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение». Результаты испытания контрольных образцов представлены на рис. 2. Из анализа полученных результатов видно, что турбулентная технология приготовления керамзитобетонной смеси способствует увеличению физико-механических показателей керамзитобетона на 17–20 %. При этом удельная прочность полученных образцов увеличивается на 12–18 %.

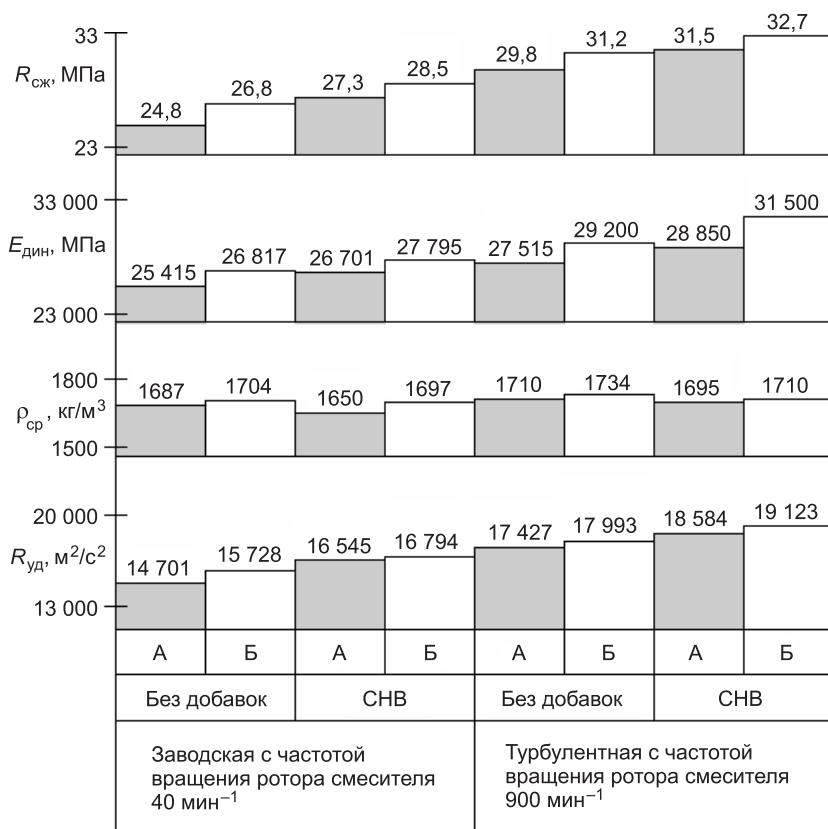


Рис. 2. Результаты испытаний керамзитобетона в производственных условиях

■ А и □ Б — порядок загрузки компонентов бетонной смеси

Переход от обычного метода (А) загрузки компонентов керамзитобетонной смеси в смеситель к загрузке по предложенному методу (Б) позволяет увеличить физико-механические показатели бетона на 5–9 %. Использование добавки СНВ увеличивает физико-механические показатели керамзитобетона на 7–10 %.

Комплексное использование принятых технологических переделов (способ перемешивания, порядок загрузки компонентов в бетоносмеситель, добавка СНВ) позволяет увеличить физико-механические показатели бетона на 25–31 %.

Анализ полученных результатов производственной проверки экспериментальных данных показывает, что физико-механические показатели керамзитобетона в лабораторных и производственных условиях практически совпадают при идентичных технологических переделах. Небольшие отклонения опытно-производственных данных от экспериментальных показателей вызваны, во-первых, большей неоднородностью поступающего керамзитового гравия по прочности ($R_u = 2,4\ldots4,03$ МПа) и средней плотности ($\rho_{cp} = 450\ldots850$ кг / м³); во-вторых, различной активностью поступающих на завод равномарочных цементов одного вида (по данным заводской лаборатории); в-третьих, объемным эффектом — за счет большого промышленного объема приготовления бетонной смеси в отличие от экспериментального.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косач, А.Ф. Структурообразование в керамзитобетоне при совершенствовании технологии перемешивания и уплотнения [Текст] / А.Ф. Косач : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Омск, 1985. — 24 с.
2. Янчиников, В.Ф. Исследование процесса структурообразования и свойств керамзитобетона при турбулентной технологии [Текст] / В.Ф. Янчиников, А.Ф. Косач // Технологическая механика бетона: Сб. науч. тр. РПИ. — Рига, 1983. — С. 137—142.
3. Косач, А.Ф. Исследования влияния технологических факторов на физико-механические показатели керамзитобетона [Текст] / А.Ф. Косач // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 6. — С. 26—29.
4. Ращупкина, М.А. Процессы структурообразования бетона [Текст] / М.А. Ращупкина, В.В. Набитовский // Наука и инновации в строительстве SIB-2008 : Матер. междунар. конгресса, 10—15 ноября 2008. — Воронеж, 2008. — С. 263—266.

КОСАЧ А.Ф., д-р техн. наук, проф.

*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
БЕРЕЗКИНА Ю.В., канд. техн. наук, доц.*

*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
ГУТАРЕВА Н.А., асп.*

*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
ВАНЬКОВА М.Н., асп.*

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Получено 23.12.10

Kosach A.F., doctor of technical sciences, professor, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Berezkina Yu.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Gutareva N.A., post-graduate student, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Vankova M.N., post-graduate student, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

TECHNOLOGICAL FEATURES OF A HEADING THE INTENSIVE SEPARATE TECHNOLOGY OF HAYDITE CONCRETE IN OMSK INDUSTRIAL COMPLEX OF BUILDING PRODUCTION

Agency of technological repartitions, such as a way of mixing, an order of loading of components in concrete mixer, additive use on activation of haydite concrete components is

observed. The comparative analysis of results of application two various production engineering — applied (factory) and offered is made.

Key words: haydite concrete, activation of components, physicomechanical parametres, factory production engineering, turbulent production engineering.

REFERENCES

1. Kosach, A.F. Structurization in haydite concrete at perfection of production engineering of mixing and consolidation [Text] / A.F. Kosach // Authors abstract on competition of a scientific degree of cand. tech. sci. — Omsk, 1985. — 24 p.
 2. Yanchinikov, V.F. Research of process of structurization and properties haydite concrete turbulent production engineering [Text] / V.F. Yanchinikov, A.F. Kosach // Technological mechanics of concrete : collection of scientific papers / RPI. — Riga, 1983. — P. 137–142.
 3. Kosach, A.F. Researches of agency of technology factors on physicomechanical parametres haydite concrete [Text] / A.F. Kosach // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2003. — N 6. — P. 26–29.
 4. Raschupkina, M.A. Processes of structurization of concrete [Text] / M.A. Raschupkina, V.V. Nabitovsky // Science and innovations in building SIB-2008 : Materials of the Intern. congress, 10–15 Nov. 2008. — Voronezh, 2008. — P. 263–266.
-

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
 - *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подпись автора или руководителя представляющей статью организации. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5") или диске 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008);

— сведения об авторах: **фамилии, инициалы, ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и **e-mail** авторов;

— **название статьи на английском языке;**

— **аннотацию на английском языке;**

— **ключевые слова на английском языке;**

— **библиографический список на английском языке.**

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются **прямым шрифтом. Латинские буквы набирать **курсивом**. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).**

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2011 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины и их обозначения, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052–78 (СН 528–80).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2011 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический
В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1200 р.

Цена отдельного номера — 200 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 3 (627) 2011

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Т.П. Петроченко*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*