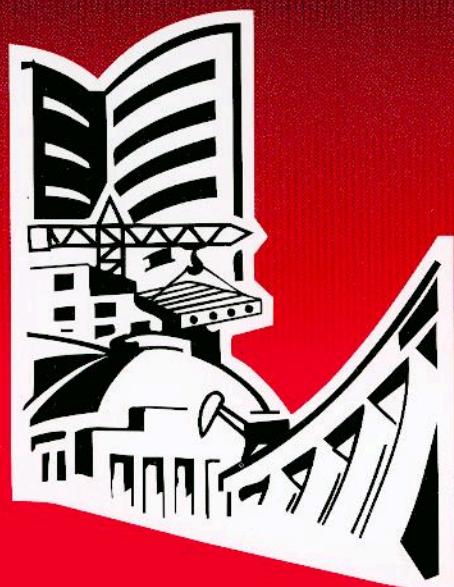


# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



СОЦИАЛЬНАЯ  
ПОЛИТИКА

6  
2007

ББК 38  
И 33  
УДК 69

Главный редактор В. Г. СЕБЕШЕВ  
Заместители главного редактора В. И. КОСТИН, Г. Б. ЛЕБЕДЕВ  
Ответственный секретарь Н. В. БИТКИНА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

проф. А. А. АФАНАСЬЕВ; проф. В. Л. БАЛАДИНСКИЙ; засл. деятель науки и техники России, проф. Т. И. БАРАНОВА; засл. деятель науки и техники России, проф. В. А. ВОРОБЬЕВ; проф. П. А. ДМИТРИЕВ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. А. ИГНАТЬЕВ; проф. В. И. КОСТИН; доц. Г. Б. ЛЕБЕДЕВ; проф. Е. М. ЛОБАНОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Л. С. ЛЯХОВИЧ; проф. В. И. МОРОЗОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Ю. П. ПАНИБРАТОВ; проф. Ю. А. ПОПОВ; проф. Ю. П. ПРАВДИВЕЦ; проф. В. Г. СЕБЕШЕВ; проф. И. Б. СОКОЛОВ; проф. Ю. А. ФЕОФАНОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. В. М. ХРУЛЁВ; проф. Е. М. ЧЕРНЫШОВ; засл. деятель науки и техники России, проф. Г. Н. ШОРШИНЕВ

Научное издание

**Известия вузов  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 6 (582) 2007**

Научно-теоретический журнал

Редакторы: Н. Г. Павлова, С. М. Погудина  
Технический редактор Н. М. Макаренко  
Компьютерная верстка Р. Г. Усова  
Корректор В. В. Борисова

Подписано в печать с оригинал-макета 31.05.07. Формат 70×108 1/16. Бумага типографская № 2.  
Гарнитура Антиква. Офсетная печать. Усл. печ. л. 11,20+0,35. Уч.-изд. л. 11,6. Тираж 400 экз.  
Заказ № 3452. Цена 80 р.

Адрес редакции: 630008, г. Новосибирск, 8, Ленинградская, 113,  
тел./факс (8-383) 266-28-59; e-mail: izvuz\_str@sibstrin.ru

ОАО «Новосибирский полиграфкомбинат», 630007, г. Новосибирск, 7, Красный проспект, 22,  
телефон 223-64-47.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

АССОЦИАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**СТРОИТЕЛЬСТВО**

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 6 (582)

Июнь 2007 г.

Издается с марта 1958 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Мищенко А. В. Применение скжато-изогнутых стержней со смещенными центрами сечений в рамных конструкциях .....	4
Бакушев С. В., Монахов В. А. К решению плоской задачи нелинейной теории упругости с использованием функции напряжений .....	12
Немировский Ю. В., Янковский А. П. Кинематический метод определения эффективных термоупругих характеристик грунта, армированного пространственной георешеткой .....	18

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

Косухин М. М., Шаповалов Н. А., Денисова Ю. В. Вибропрессованные бетоны с различными типами пластифицирующих добавок .....	26
Мирюк О. А. Влияние различных факторов на твердение магнезиальных вяжущих	30
Горюнов И. И., Алешковская А. А., Чеботаева Е. М. Определение оптимальных условий, максимизирующих выход целевого продукта при обжиге гипса в кипящем слое .....	35
Морева И. В., Медяник В. В., Самохина Е. Н., Соколова Ю. А. Способ получения гипсового вяжущего с карбонатсодержащей добавкой .....	37
Шевандо В. В., Вдовина Е. В., Абдрахимов А. В., Денисов Д. Ю., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Kovkov И. В. Полиморфные превращения кварца в глинах различного химико-минералогического состава .....	40

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Боровик В. С., Алексиков С. В. Теоретические аспекты оперативного управления ресурсным обеспечением строительства .....	47
Молодин В. В., Усинский Е. К. Зимнее бетонирование строительных конструкций жилых и гражданских зданий в монолитном исполнении .....	51
Романова А. И., Ибрагимова А. Р., Хатыпов А. М. Разработка показателей оценки и критериев внутренних и внешних факторов конкурентных преимуществ ...	60

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

Бик Ю. И., Поликарпова Я. Н., Чернышев П. С. Оценка эффективности использования основных средств гидротехнических сооружений .....	69
--	----

Издатель НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (Сибстрин), 2007

<b>САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА</b>	
Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Оценка экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия .....	75
Костин В. И., Сальков Е. А., Лугин И. В. Математическая модель воздухораспределения в помещениях станций метрополитенов .....	80
Гордеев-Бургвич М. А., Макарова И. А. Управление установкой сорбционной очистки воды в насыпных фильтрах .....	85
Андреев С. Ю., Гришин Б. М., Блажко С. И. Технология двухступенчатой физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод как альтернатива сооружениям биологической очистки .....	89
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ</b>	
Завьялов М. А. Функциональное состояние дорожного асфальтобетонного покрытия .....	92
Уткин В. А., Кадисов Г. М. О методах пространственного расчета балочных пролетных строений деревянных мостов с многослойной плитой проезжей части из kleenой древесины .....	98
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ</b>	
Кутумов А. А., Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А. Параметры давления воздуха в объемах камер рабочего и холостого ходов дроссельного пневмоударного механизма навесного молота .....	104
<b>НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ</b>	
Шундрин А. Д. Градостроительное развитие в условиях промышленно-хозяйственного освоения Красноярского Приангарья (территориальный аспект и экологическая направленность) .....	108
Сапрыкина Н. С. Эволюция архитектуры клубных зданий Ярославля (послевоенное десятилетие) .....	117
<b>В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ</b>	
Михайленко О. А. Экспериментальные исследования работы узлов деревометаллической треугольной безраскосной фермы .....	123

## CONTENTS

### THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Mishchenko A. V. Application of Compressed-Bent Bars with Displaced Crosses Centres in Frame Structures .....	4
Bakushev S. V., Monakhov V. A. Towards the Solution of a Flat Problem of the Non-linear Theory of Elasticity with Application of Pressures Function .....	12
Nemirovsky Yu. V., Yankovsky A. P. The Kinematic Method to Determine Effective Thermoelastic Characteristics of Soil Reinforced with Spatial Geolatice .....	18

### BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Kosukhin M. M., Shapovalov N. A., Denisova Yu. V. Vibropressed Concretes with Different Types of Plastijsing Admixtures .....	26
Miryuk O. A. The Influence of Various Factors on Hardening of Magnesial Binders .....	30
Goryunov I. I., Aleshkovskaya A. A., Chebotaeva E. M. Fixation of Optimum Conditions to Maximize the Output of the Product in Question with Calcination in the Boiling Sphere .....	35
Moreva I. V., Medyanik V. V., Samokhina E. N., Sokolova Yu. A. A Way of Producing Gypsum Binder with Carbonate-Containing Additive .....	37
Shevando V. V., Vdovina E. V., Abdrikhimov A. V., Denisov D. Yu., Abdrikhimov V. Z., Abdrikhimova E. S., Kovkov I. V. Polymorphic Transformation of Quartz in Clays of Various Chemical-Mineralogical Composition .....	40

### ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Borovik V. S., Aleksikov S. V. Theoretical Aspects of Operative Management for Resource Supply in Construction .....	47
--	----

<b>Molodin V. V., Usinsky E. K.</b> Winter Concreting of Building Structures – Dwelling and Public Houses in Monolith Construction .....	51
<b>Romanova A. I., Ibragimova A. R., Khatyпов A. M.</b> Development of Estimation Indices and Criteria of Inside and Outward Factors for Competitive Preferences ....	60
<b>HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION</b>	
<b>Bik Yu. I., Polikarpova Ya. N., Chernyshev P. S.</b> Estimation of Basic Means Application Effectiveness in Hydrotechnical Structures .....	69
<b>SANITARY ENGINEERING</b>	
<b>Tabunshchikov Yu. A., Shilkin N. V.</b> Estimation of Investment Economic Effectiveness in Power Saving Structures .....	75
<b>Kostin V. I., Salkov E. A., Lugin I. V.</b> Mathematical Model of Air Distribution in Metrostations .....	80
<b>Gordeyev-Burgvits M. A., Makarova I. A.</b> Plants Operation Control of Water Sorbtion Purification in Poured Filters .....	85
<b>CONSTRUCTION OF MOTOR ROADS AND BIDGES</b>	
<b>Zaviyalov M. A.</b> Function Condition of the Road Asphalt Pavement .....	92
<b>Utkin V. A., Kadisov G. M.</b> On Methods of Spatial Calculation of Beam Span Structures of Wood Bridges with a Multilayers Slab for the Passing Part of Glued Wood	98
<b>BUILDING AND ROAD MACHINES</b>	
<b>Kutumov A. A., Abramenchikov D. E., Abramenchikov E. A.</b> Parameters of Air Pressure in Chambers Volumes of Working and Idle Strokes of Throttle Percussion Mechanism of the Overhanding Hammer .....	104
<b>SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY</b>	
<b>Shundrin A. D.</b> Town-Planning Development in Industrial and Economic Activity of the Krasnoyarsk Angara's Basin (territorial aspect and ecological direction) .....	108
<b>Saprykina N. S.</b> Yaroslavl Clubs Architectures Evolution (ten after war years) ...	117
<b>IN HIGHER SCHOOL LABS</b>	
<b>Mikhailenko O. A.</b> Experimental Investigation of Units Operation of Wood-Metal Triangular Vierendel Trusses .....	123

### К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

Журнал «Известия вузов. Строительство» включен в новый «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», утвержденный Президиумом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации и введенный в действие с 01 января 2007 г. (см. Бюллетень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, № 1, 2007 г.).

# ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.072

А. В. МИЩЕНКО, канд. техн. наук, доц. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

## ПРИМЕНЕНИЕ СЖАТО-ИЗОГНУТЫХ СТЕРЖНЕЙ СО СМЕЩЕННЫМИ ЦЕНТРАМИ СЕЧЕНИЙ В РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

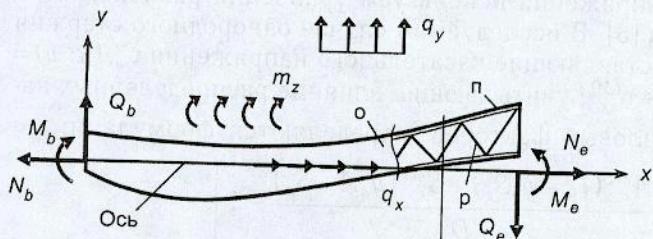
Предложен стержневой конструктивный элемент нового типа, испытывающий растяжение (сжатие) с прямым изгибом. Физические центры поперечных сечений в нем имеют регулируемое смещение относительно прямолинейной геометрической оси. Рассмотрены постановки прямых, обратных и смешанных задач на основе критериев прочности. Показана возможность существенного снижения материоемкости стержня путем выбора рационального смещения центров сечений в сочетании с регулированием деформированного состояния.

В теории оптимального проектирования существует класс задач, связанных с поиском оптимального контура конструкции (формы срединной поверхности оболочки или очертания оси криволинейного стержня) при фиксированных нагрузках и условиях опирания. Решение подобных задач обычно выполняется вариационными методами [1]. Поиск оптимального очертания конструкции осуществляется в классе экстремалей, граничных и особых линий, что требует индивидуального анализа и в общем случае сопряжено с существенными математическими трудностями.

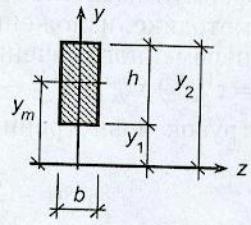
Обычно в традиционном проектировании считается, что ось стержня является геометрическим местом физических центров однородных или приведенных к однородным композитных сечений. Рассмотрим иной подход — на основе расширенной модели сжато(растянуто)-изогнутого однородного или композитного стержня, в котором физические центры поперечных сечений имеют произвольную одномерную привязку к прямолинейной геометрической оси. Это позволяет свести задачу поиска оптимального очертания криволинейной оси стержня к определению рациональных, в рамках принятых критерии, переменных параметров сечения стержня. Смещение физического центра, являясь дополнительным варьируемым параметром, позволяет для традиционных типов сечений и материалов получить дополнительную экономию материалов конструкции на основе критерия прочности.

На рис. 1 показан однородный стержень — элемент плоской стержневой системы из линейно-упругого материала. Геометрическую ось стержня совместим с осью  $x$  локальной системы координат  $xyz$ , а силовую плоскость — с плоскостью  $xy$ . Поперечные сечения, перпендикулярные геометрической оси, обладают симметрией относительно оси  $y$ . На схемах сечений  $b$ ,  $v$ ,  $g$ ,  $\partial$  величины  $b_k$ ,  $h_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) являются заданными (возможно, функционально), а  $y_j$  ( $j = 1, 2$ ) — искомыми параметрами проектирования (регуляторами), определяющими смещение центра сечения  $y_m$ . Подобное исполнение могут иметь элементы дощато-клеевых ( $b$ ) и клееванерных ( $v$ ,  $g$ ) рамных систем. В последнем случае стержни имеют обшивку (о), пояса (п) и решетку (р), воспринимающую поперечную силу. Сечение ( $\partial$ ) при соответствующей компоновке может применяться как в деревянных, так и в металлических [2] конструкциях.

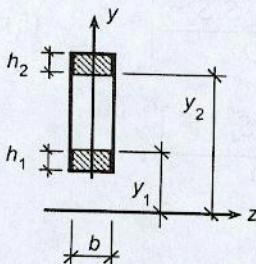
а)



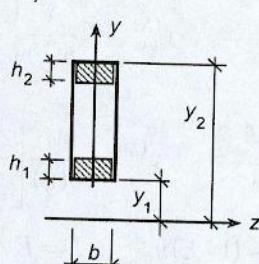
б)



в)



г)



д)

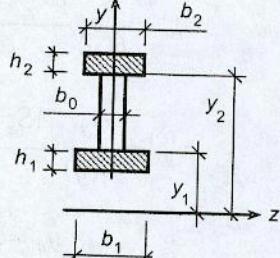


Рис. 1. Расчетная модель стержня

Полагая справедливой гипотезу плоских сечений, представим выражение для нормальных напряжений в поперечном сечении в виде

$$\sigma_x(x, y) = E[\varepsilon_0(x) - \kappa(x)y], \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$ ,  $\kappa$  — деформация и кривизна продольной оси стержня (ось  $x$ );  $E$  — модуль упругости материала.

Интегрируя (1), получим систему уравнений

$$\begin{cases} \varepsilon_0 A - \kappa S_z = N / E, \\ -\varepsilon_0 S_z + \kappa I_z = M / E, \end{cases} \quad (2)$$

связывающих обобщенные деформации  $\varepsilon_0$ ,  $\kappa$  с продольной силой и изгибающим моментом. Интегральные коэффициенты при обобщенных деформациях представляют собой площадь, статический момент и момент инерции сечения относительно оси  $z$

$$[A, S_z, I_z](x) = \sum_k \int_{y_k(x)}^{y_{k+1}(x)} b_k(x, y) [1, y, y^2] dy, \quad (3)$$

представленные в виде сумм соответствующих характеристик для элементов составного сечения (рис. 1, б-д).

Определив из (2) обобщенные деформации и подставив их в (1), получим нормальное напряжение. Представим его в виде суммы

$$\sigma_x(x, y) = \sigma_x^{(N)} + \sigma_x^{(M)},$$

где

$$\sigma_x^{(N)} = N \frac{I_z - y S_z}{I_z A - S_z^2}, \quad \sigma_x^{(M)} = -M \frac{y A - S_z}{I_z A - S_z^2}. \quad (4)$$

Как частный случай из полученных выражений (2), (4) вытекают известные соотношения для обобщенных деформаций и напряжений, представленных в центральных осях ( $S_z = 0$ ).

Соотношение между обобщенным сдвигом и поперечной силой, аналогичное выражениям (2), в рамках классической теории, основанной на гипотезе плоских сечений, не может быть получено. Поэтому для вывода

формул касательного напряжения используем уравнения равновесия по методике, изложенной в [3]. В исследуемом случае однородного стержня переменного сечения составляющие касательного напряжения  $\tau_{yx}(x, y) = \tau_{yx}^{(q_x)} + \tau_{yx}^{(m)} + \tau_{yx}^{(N)} + \tau_{yx}^{(Q)} + \tau_{yx}^{(M)}$ , учитывающие влияние распределенных нагрузок и внутренних силовых факторов, определяются формулами:

$$\begin{aligned}\tau_{yx}^{(q_x)} &= \frac{q_x}{b(y)} \left[ \frac{A^{\sec}(I_z - y_q S_z) + S_z^{\sec}(y_q A - S_z)}{D} - \xi \right], \\ \tau_{yx}^{(m)} &= \frac{m_z}{b(y)} \frac{AS_z^{\sec} - S_z A^{\sec}}{D}, \quad \tau_{yx}^{(N)} = -\frac{N}{b(y)} \left[ \frac{I_z A^{\sec} - S_z S_z^{\sec}}{D} \right]', \\ \tau_{yx}^{(Q)} &= \frac{Q}{b(y)} \frac{AS_z^{\sec} - S_z A^{\sec}}{D}, \quad \tau_{yx}^{(M)} = \frac{M}{b(y)} \left[ \frac{AS_z^{\sec} - S_z A^{\sec}}{D} \right]', \\ y_q &= \xi y_{\max} + (1 - \xi)y_{\min}, \quad D = I_z A - S_z^2.\end{aligned}\quad (5)$$

Здесь штрихом обозначено дифференцирование по координате  $x$ ;  $y_{\min}(x)$ ,  $y_{\max}(x)$  — координаты нижней и верхней границ поперечного сечения.

При помощи безразмерного коэффициента  $\xi \in [0, 1]$  заданы продольные нагрузки  $q_x^{(u)} = \xi q_x$ ,  $q_x^{(d)} = (1 - \xi)q_x$  на верхней и нижней поверхностях стержня. В формулах (5) введены величины геометрических характеристик  $A^{\sec}$ ,  $S_z^{\sec}$  сдвигаемой части сечения, расположенной выше уровня с координатой  $y$ , заданные выражениями

$$A^{\sec}(x, y) = \int_y^{y_{\max}} b(x, y) dy, \quad S_z^{\sec}(x, y) = \int_y^{y_{\max}} b(x, y) y dy.$$

Как частный случай при центральных осях из (5) имеем формулу Журавского для  $\tau_{yx}^{(Q)}$ .

Для замыкания системы разрешающих соотношений дополним физические равенства (2) дифференциальными условиями равновесия

$$N' = -q_x, \quad Q' = q_y, \quad M' = Q + m_z \quad (6)$$

и соотношениями для перемещений и обобщенных деформаций

$$\epsilon_0(x) = u', \quad \kappa(x) = \theta', \quad \theta(x) = v' \quad (7)$$

с соответствующими граничными условиями на концах стержня.

Основной интерес в рассматриваемом подходе представляют физические соотношения (2). В зависимости от состава исходных и искомых величин можно выделить следующие типы задач. В *прямой задаче* по заданным параметрам проектирования  $b$ ,  $h$ ,  $y$  определяются параметры состояния  $\epsilon_0$  и  $\kappa$ . В *обратной задаче* проектирования типа по параметрам состояния  $\epsilon_0$  и  $\kappa$ , удовлетворяющим определенным расчетным критериям (прочности, жесткости, устойчивости и др.), определяются параметры проектирования  $y$ . В задаче третьего типа — *смешанной* — исходной является некоторая часть параметров как состояния, так и проектирования, а другая, оставшаяся их часть, подлежит определению. Если первые два типа задач являются традиционными, то третий в практике проектирования стержневых систем не нашел должного применения. Использование смешанного подхода позволяет получать решения, удовлетворяющие

принятым расчетным критериям при одновременном обеспечении некоторых дополнительных условий (например, геометрического характера).

Проиллюстрируем решение трех указанных типов задач на примере стержня прямоугольного поперечного сечения (рис. 1, а, б). Представим обобщенные параметры состояния через деформации  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  на нижней и верхней границах сечения

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 y_2 - \varepsilon_2 y_1}{y_2 - y_1}, \quad \kappa = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{y_2 - y_1}, \quad (8)$$

а геометрические характеристики — на основе выражений (3) в виде  $A(x) = b(y_2 - y_1)$ ,  $S(x) = b(y_2^2 - y_1^2)/2$ ,  $I(x) = b(y_2^3 - y_1^3)/3$ .

В результате система (2) для варьируемых границ сечения  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$  примет вид

$$\begin{cases} \varepsilon_1 y_2 - \varepsilon_2 y_1 - 0,5(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(y_1 + y_2) = N / (bE), \\ 3(\varepsilon_2 y_1 - \varepsilon_1 y_2)(y_1 + y_2) + 2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(y_1^2 + y_1 y_2 + y_2^2) = M / (bE). \end{cases} \quad (9)$$

**Прямая задача.** При заданной геометрии сечения легко могут быть найдены параметры  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ , а по ним с использованием (8), (1) выявлено напряженное состояние. Деформированное состояние стержня находится решением краевой задачи (7).

**Обратная задача.** Для ее решения критерий прочности сформулируем в обобщенной форме

$$\frac{1+\chi}{2} \sqrt{\sigma_x^2 + \beta \tau_{yx}^2} + \frac{1-\chi}{2} |\sigma_x| \leq R^\pm, \quad (10)$$

где  $\chi, \beta$  — безразмерные параметры, при различных значениях которых из (10) получаются критерии: Галилея ( $\chi = -1$ ), Треска — Сен-Венана ( $\chi = 1, \beta = 4$ ), Кулона — Мора ( $\chi = \sigma_{u,t} / \sigma_{u,c}, \beta = 4$ ), Мизеса — Генки ( $\chi = 1, \beta = 3$ );  $R^\pm$  — расчетное сопротивление материала.

Преобразуем (10) к форме одноосного критерия

$$\operatorname{sgn}(\sigma_x) \sigma_x \leq \mu R^\pm. \quad (11)$$

Здесь безразмерный коэффициент  $0 < \mu(x, y) \leq 1$ , отражающий влияние на прочность материала поперечных касательных напряжений, определяется по формуле

$$\mu = 0,5\chi^{-1}[(1+\chi)\sqrt{1-\chi\beta(\tau_{yx}/R^\pm)^2} + \chi - 1]. \quad (12)$$

Очевидно, что чем в большем объеме стержня условия (11) приближены к знаку равенства, тем полнее реализуются прочностные свойства материала, что при решении обратных задач сопровождается снижением материоемкости [4]. Наличие двух варьируемых геометрических параметров  $y_1, y_2$  позволяет записать на основе (11) два предельных равенства

$$\begin{cases} \varepsilon_1(y_1) = \varepsilon_{e1}^*, \\ \varepsilon_2(y_2) = \varepsilon_{e2}^*. \end{cases} \quad (13)$$

где  $\varepsilon_{e,k}^* = \operatorname{sgn}(\varepsilon_k) \mu_k R^\pm / E$  — величина предельной деформации в  $k$ -й точке со знаком ( $k \in [1, 2]$ ). Наличие поправочного коэффициента  $\mu$  обуславливает поэтапное решение задачи.

На первом этапе следует принять  $\tau_{yx} = 0$  и  $\mu = 1$ , а на последующих — уточнить решение путем вычисления касательных напряжений (5) и коэффициента (12) по результатам предыдущего шага.

Объединяя (9) и (13), найдем параметры проектирования

$$y_1 = -\frac{M}{N} - \frac{2N(\varepsilon_{e1}^* + 2\varepsilon_{e2}^*)}{3bE(\varepsilon_{e1}^* + \varepsilon_{e2}^*)^2}, \quad y_2 = -\frac{M}{N} + \frac{2N(\varepsilon_{e2}^* + 2\varepsilon_{e1}^*)}{3bE(\varepsilon_{e1}^* + \varepsilon_{e2}^*)^2}. \quad (14)$$

Решение (14) описывает прямоугольное сечение шириной  $b$  и высотой

$$h = y_2 - y_1 = \frac{2N}{bE(\varepsilon_{e1}^* + \varepsilon_{e2}^*)} \quad (15)$$

или  $h = N / (b\sigma_m^*)$ , где  $\sigma_m^*$  — напряжение в центре сечения с координатой  $y_m = (y_1 + y_2)/2$ .

С учетом (14) для смещения центра  $y_m$  имеем

$$y_m = -\frac{M}{N} + \frac{N(\varepsilon_{e1}^* - \varepsilon_{e2}^*)}{3bE(\varepsilon_{e1}^* + \varepsilon_{e2}^*)^2}. \quad (16)$$

Выражение (16) может быть представлено в форме  $y_m = e_N + \Delta e_N$ , где  $e_N = -M/N$  — эксцентричеситет продольной силы при однородном распределении деформации  $\varepsilon(y)$ ;  $\Delta e_N = h(\varepsilon_{e1}^* - \varepsilon_{e2}^*) / (\varepsilon_{e1}^* + \varepsilon_{e2}^*) / 6$  — дополнительное смещение, связанное с неоднородностью деформации  $\varepsilon(y)$ .

Выполнив ряд приближений по уточнению коэффициента  $\mu$ , каждое из которых состоит из шагов вида

$$\mu_1, \mu_2 \rightarrow \varepsilon_{e1}^*, \varepsilon_{e2}^* \rightarrow y_1, y_2 \rightarrow \sigma_x(y), \tau_{yx}(y) \rightarrow \mu_1, \mu_2,$$

получим искомое решение проектной задачи по критерию прочности (равнодеформируемости (13)). Обычно для достижения 1%-й погрешности решения достаточно двух приближений.

Полученные таким образом сечения характеризуются определенной спецификой. Во-первых, отметим факт возможного несовпадения физического центра с геометрическим, лежащим на оси  $x$  ( $y_m \neq 0$ ). По сравнению с традиционными типами сечений, имеющими  $y_m = 0$ , здесь введен еще один варьируемый параметр, что согласно теории оптимального проектирования должно приводить к улучшению (или, как минимум, не ухудшению) качества проекта. Стержни, имеющие подобную геометрическую форму, назовем *стержнями со смещенными центрами поперечных сечений*.

Во-вторых, в соответствии с равенством (15) можно утверждать, что высота смещенного сечения, найденная по двухточечному критерию прочности (13), определяется только продольной силой, а изгибающий момент обуславливает смещение всего сечения в направлении оси  $y$  на величину  $y_m$  (16). Параметры проектирования  $y_1$  и  $y_2$  могут быть произвольными как по абсолютной величине, так и по знаку. Сечение может располагаться выше или ниже геометрического центра ( $y=0$ ), либо быть пересеченным осью  $z$ . При этом должно выполняться ограничение

$$h = y_2 - y_1 \geq h_{min} > 0, \quad (17)$$

где  $h_{min}$  — минимальная высота сечения, назначенная по конструктивным или иным требованиям.

Учитывая (14), (17), имеем необходимое условие существования решения обратной задачи по двухточечному критерию (13):

$$\begin{aligned} N &\geq N_{min}^+ \in \varepsilon_m^* > 0, \\ N &\leq N_{min}^- \in \varepsilon_m^* < 0, \end{aligned} \quad (18)$$

где  $N_{min}^\pm = \pm Ebh_{min}$ ,  $\varepsilon_m^* = 0,5(\varepsilon_{e1}^* + \varepsilon_{e2}^*)$ .

Решение (14) при удовлетворении двухточечного критерия прочности в случае  $N=0$  (элементы балочного типа) несущественно. Для проектирования таких элементов следует сразу использовать первое из равенств (2), дающее для сечений, имеющих горизонтальную ось симметрии,  $\varepsilon_2 = -\varepsilon_1$ . Тогда из второго равенства (2) для прямоугольного сечения имеем

$$(y_2 - y_1)^2 = 6M / (Eb\varepsilon_1) \quad (19)$$

или  $6M / (bh^2) = R^\pm$ .

Таким образом, в случае  $N=0$  достаточно определить высоту сечения при произвольном смещении центра  $y_m$ . Отметим, что все же основное назначение стержней со смещенными центрами сечений — это работа при изгибе со сжатием (растяжением). Целесообразность применения таких сечений возрастает с увеличением доли растяжения (сжатия) в общей деформации элемента.

Отметим один весьма важный момент. В полученных решениях (14)–(16), (19) для сечений со смещенными центрами может быть задано множество различных распределений деформации  $\varepsilon(y)$  с параметрами  $\varepsilon_1^*$ ,  $\varepsilon_2^*$ . Анализ материаломкости показал, что наиболее выгодным является однородное распределение, реализуемое при задании  $\varepsilon_1^* = \varepsilon_2^*$ . В этом случае смещение центра (16) совпадает с эксцентрикитетом продольной силы  $e_N$ .

**Задача смешанного типа.** Решается в том случае, если по тем или иным соображениям часть параметров проектирования необходимо зафиксировать. Например, при задании нижней границы сечения прямоугольного типа (рис. 1, б) следует систему ограничений-равенств (13) переписать в виде

$$\begin{cases} y_1 = y_1^* \\ \varepsilon_2^* = \operatorname{sgn}(\varepsilon_2) \mu_2 R^\pm / E \end{cases} \text{ или } \begin{cases} y_1 = y_1^* \\ \varepsilon_1^* = \operatorname{sgn}(\varepsilon_1) \mu_1 R^\pm / E. \end{cases} \quad (20)$$

Формируя равенства (9) с учетом первой системы (20), получим решение

$$y_2 = y_1^* + \frac{N}{Eb\varepsilon_{e2}^*} \left[ \pm \sqrt{1 - \frac{6Eb\varepsilon_{e2}^*}{N} \left( \frac{M}{N} - y_1^* \right)} - 1 \right],$$

$$\varepsilon_1 = \frac{N}{Eb(y_2 - y_1^*)} \left[ 3 \mp \sqrt{1 - \frac{6Eb\varepsilon_{e2}^*}{N} \left( y_1^* + \frac{M}{N} \right)} \right]. \quad (21)$$

Выбор системы ограничений в виде первой или второй группы равенств (20) должен обеспечивать выполнение условий (11).

Аналогичные решения могут быть получены и для  $y_1$ ,  $\varepsilon_2$ . В смешанной постановке используется одноточечный критерий прочности (20) при частично заданной геометрии стержня.

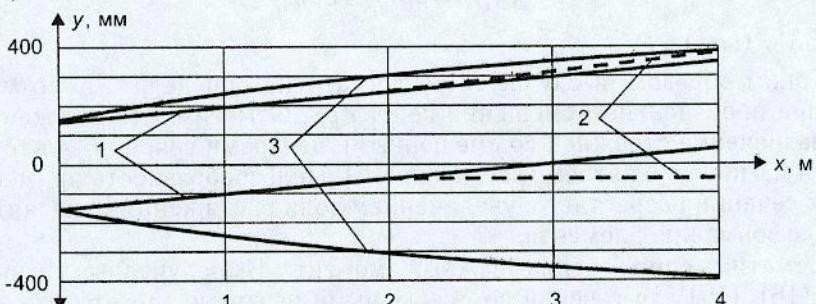
**ПРИМЕР расчета.** Пусть в стойке деревянной рамы длиной  $l = 4$  м прямоугольного сечения (рис. 1, а, б) заданы: продольная сила  $N = -1050$  кН, поперечная сила  $Q = 52,5$  кН, изгибающий момент  $M = 52,5x$  (кН·м) и ширина сечения  $b = 100$  мм. Примем для древесины (сосна) модуль упругости  $E = 10^4$  МПа, расчетные сопротивления при растяжении  $R^+ = 105$  МПа, при сжатии  $R^- = 35$  МПа и сдвиге  $R_s = 7$  МПа. Требуется определить закон изменения геометрических параметров  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$  при непрерывном обеспечении двухточечного критерия прочности стойки.

Выполним расчет без учета касательных напряжений. Вычислив предельные деформации  $\varepsilon_1^* = \varepsilon_2^* = -0,0035$  по соотношениям (13) при  $\mu = 1$ , получим искомые параметры проектирования (14) в виде

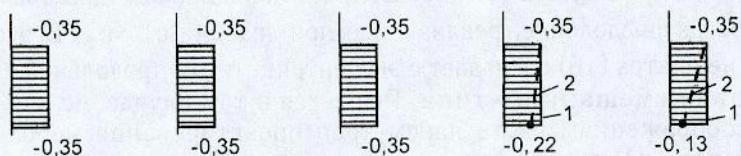
$$y_1 = -150 + 50x, \text{ мм}, \quad y_2 = 150 + 50x, \text{ мм}.$$

На рис. 2, а сплошными линиями 1 показан вид стержня в плоскости  $xy$ . При  $x = 0$  центр сечения принадлежит оси  $x$ , а далее при  $x > 0$  в силу наличия изгибающего момента наблюдается его смещение на величину  $y_m = 50x$ , мм, при постоянной высоте сечения  $h = y_2 - y_1 = 300$  мм. Благодаря регулированию смещения  $y_m$  по всему объему стержня получено однородное распределение деформации  $\epsilon_x(x, y) = -R^+ / E = \text{const}$  (сплошные линии на схемах б).

а)



б)  $\epsilon(y), \%$  при  $y_m \neq 0$



в)  $\epsilon(y), \%$  при  $y_m = 0$

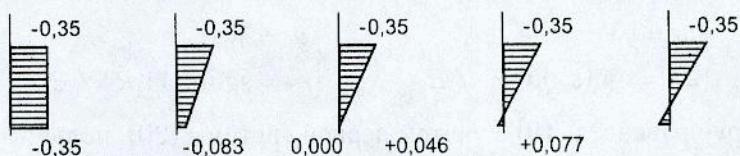


Рис. 2. Продольное профилирование стержня (а), распределение деформаций (б, в)

1 — двухточечный критерий; 2 — одноточечный критерий (смешанная постановка);  
3 — одноточечный критерий при  $y_m = 0$

Оценим уровень касательных напряжений. Для этого, определив геометрические характеристики (3) при найденных параметрах  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$ , получим выражения компонент касательного напряжения

$$\begin{aligned}\tau_{yx}^{(N)} &= -N(0,0833x^2 - 2,222xy + 11,111y^2 - 0,0833) / b, \\ \tau_{yx}^{(Q)} &= Q(5 - 0,555x^2 + 22,222xy - 222,22y^2) / b, \\ \tau_{yx}^{(M)} &= M(22,222y - 1,111x) * b, \quad \tau_{yx}^{(q_x)} = \tau_{yx}^{(m_z)} = 0.\end{aligned}$$

Учитывая заданные внутренние силовые факторы, получаем суммарное напряжение

$$\tau_{yx} = \tau_{yx}^{(N)} + \tau_{yx}^{(Q)} + \tau_{yx}^{(M)} = 1,75 \text{ МПа},$$

независящее от координат  $x$ ,  $y$ . При этом величина поправочного коэффициента (12) по всем теориям составит  $\mu \approx 0,995$ , что позволяет (в случае  $\tau_{yx} < R_s$ ) не выполнять дальнейшее уточнение параметров проектирования.

Для иллюстрации смешанного решения положим, что на участке  $x > 2$  м необходимо исключить смещение сечения за геометрическую ось. Примем ограничение

$$y_1(x) = y_1(2) = -50 \text{ мм}.$$

Используя равенства (21), находим верхнюю границу сечения

$$y_2 = -350 + 300\sqrt{2+x}, \text{ мм},$$

и деформацию на нижней кромке

$$\varepsilon_1 = 0,0035(\sqrt{2+x} - 3) / (\sqrt{2+x} - 1).$$

Результаты такого решения изображены на рис. 2, а, б пунктирной линией 2. Фиксация  $y_1$  на участке  $x \in [2, 4]$  привела к снижению среднего уровня деформаций и, согласно (15), к некоторому перерасходу материала.

Если для сравнения запроектировать стержень прямоугольного сечения без смещения его центра, то, потребовав выполнения критерия прочности на верхней поверхности стержня  $y = y_2$  непрерывно по продольной координате, получим

$$h = (N + \sqrt{N^2 + 24R^-bM}) / (2R^-b).$$

На рис. 2, а линии 3 отражают продольное профилирование  $y_2 = -y_1 = h / 2$  стержня, а схемы на рис. 2, в — распределение деформаций  $\varepsilon(y)$ . Объем материала такого стержня в 1,94 раза превышает объем стержня со смещенными центрами (линия 1).

При аналогичном поле внутренних силовых факторов стержень традиционного геометрического исполнения ( $y_m = 0$ ) характеризуется: а) более сложной геометрической формой с нелинейными функциями границ  $y_1(x)$ ,  $y_2(x)$ ; б) неоднородностью распределения деформации  $\varepsilon_x(x, y)$ ; в) существенно большей материалоемкостью. Модель стержня с прямолинейной центральной геометрической осью можно рассматривать как частный случай предложенной модели стержня со смещенными центрами сечений при наличии дополнительного ограничения симметрии  $y_1 = -y_2$  взамен одного из прочностных равенств (смешанная постановка). Выше было показано, что это неизбежно приведет к росту материалоемкости.

Применение стержней со смещенными центрами сечений в стержневых системах, очевидно, потребует разработки специальных (нетиповых) схем узловых соединений.

**Выводы.** Предложенная модель сжато-изогнутого стержня и метод его расчета в прямой, обратной и смешанной постановках расширяют спектр возможных проектных решений, позволяют создавать более эффективные конструкции, обладающие меньшей материалоемкостью при сопоставимой технологичности изготовления.

Подобный подход может быть распространен на более сложные ситуации, в которых учитывается физическая нелинейность и неоднородность (например, слоистость) структуры стержня [4, 5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн Ю. Б. Вариационные задачи статики оптимальных стержневых систем//Ю. Б. Гольдштейн, М. А. Соломещ.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980.—208 с.
2. Мищенко А. В. Оптимизация слоистых стержней при варьировании геометрических функций наружных и внутренних слоев//А. В. Мищенко, Ю. В. Немировский//Изв. вузов. Строительство.—2005.—№ 3.—С. 19–24.
3. Мищенко А. В. Нормальные и касательные напряжения в классической теории расчета слоистых стержней//А. В. Мищенко//Изв. вузов. Строительство.—2006.—№ 9.—С. 89–95.
4. Немировский Ю. В. Рациональное и оптимальное проектирование слоистых стержневых систем//Ю. В. Немировский, А. В. Мищенко, И. Т. Вохмянин.—Новосибирск: НГАСУ, 2004.—488 с.
5. Мищенко А. В. Прямая и обратная задачи деформирования слоистых стержней с учетом физической нелинейности//А. В. Мищенко//Численные методы решения задач теории упругости и пластичности: Тр. XIX Всерос. конф. Бийск, 28–31 августа 2005 г.—Новосибирск: Параллель, 2005.—С. 184–188.

© Мищенко А. В., 2007

Получено после доработки 26.02.07

С. В. БАКУШЕВ, В. А. МОНАХОВ, доктора техн. наук, профессора (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

## К РЕШЕНИЮ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Для модели сплошной среды, напряженно-деформированное состояние которой описывается уравнениями геометрически нелинейной теории упругости В. В. Новожилова при общих перекрестных зависимостях между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов напряжений и деформаций, строятся разрешающие уравнения плоской задачи в напряжениях. Отыскивается функция напряжений, удовлетворяющая квазилинейным уравнениям равновесия; записывается геометрически и физически нелинейное уравнение неразрывности деформаций с использованием функции напряжений; формулируется алгоритм решения задачи.

Целью настоящей работы является построение разрешающих уравнений плоской задачи геометрически и физически нелинейной теории упругости в напряжениях. Будем рассматривать модель сплошной среды, напряженно-деформированное состояние которой описывается уравнениями геометрически нелинейной теории упругости В. В. Новожилова [1] при общих перекрестных зависимостях между первыми  $\epsilon$ ,  $\sigma^*$  и вторыми  $\Gamma$ ,  $T^*$  инвариантами тензоров напряжений и деформаций:  $\epsilon = \epsilon(\sigma^*, T^*)$ ,  $\Gamma = \Gamma(\sigma^*, T^*)$ . Найдем функцию напряжений, удовлетворяющую тождественно уравнениям равновесия:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \sigma_{xx}^* + \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{xy}^* \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \sigma_{yx}^* + \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{yy}^* \right] = 0; \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{xx}^* + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sigma_{xy}^* \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{yx}^* + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sigma_{yy}^* \right] = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} \sigma_{x1} &= \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \sigma_{xx}^* + \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{xy}^*; & \sigma_{y1} &= \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \sigma_{yx}^* + \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{yy}^*; \\ \sigma_{x2} &= \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{xx}^* + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sigma_{xy}^*; & \sigma_{y2} &= \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{yx}^* + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sigma_{yy}^*. \end{aligned} \quad (2)$$

Система (1) при этом получает вид

$$\frac{\partial \sigma_{x1}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{y1}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{x2}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{y2}}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Введем две функции  $F_1(x, y)$  и  $F_2(x, y)$  такие, что

$$\sigma_{x1} = \frac{\partial F_1}{\partial y}; \quad \sigma_{y1} = -\frac{\partial F_1}{\partial x}; \quad \sigma_{x2} = \frac{\partial F_2}{\partial y}; \quad \sigma_{y2} = -\frac{\partial F_2}{\partial x}. \quad (4)$$

При этом система (3) удовлетворяется, очевидно, тождественно. Сопоставляя формулы (2) и (4), получаем:

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \sigma_{xx}^* + \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{xy}^* &= \frac{\partial F_1}{\partial y}; & \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \sigma_{yx}^* + \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{yy}^* &= -\frac{\partial F_1}{\partial x}; \\ \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{xx}^* + \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \sigma_{xy}^* &= \frac{\partial F_2}{\partial y}; & \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{yx}^* + \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \sigma_{yy}^* &= -\frac{\partial F_2}{\partial x}. \end{aligned} \quad (5)$$

Далее сделаем так:

$$— из (5<sub>1</sub>) найдем  $\sigma_{xx}^*$ :  $\sigma_{xx}^* = \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right)^{-1} \cdot \left[ \frac{\partial F_1}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial y} \sigma_{xy}^* \right]; \quad (a)$$$

$$— из (5<sub>4</sub>) найдем  $\sigma_{yy}^*$ :  $\sigma_{yy}^* = \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right)^{-1} \cdot \left[ -\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} \sigma_{yx}^* \right], \quad (b)$$$

подставим (а) в (5<sub>3</sub>) и (б) в (5<sub>2</sub>). В итоге после элементарных преобразований получаем:

$$\sigma_{yx}^* = \frac{-\left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial F_2}{\partial x}}{\left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x}}; \quad \sigma_{yx}^* = \frac{-\left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial F_1}{\partial y}}{\left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x}}. \quad (6)$$

Поскольку  $\sigma_{xy}^* = \sigma_{yx}^*$ , то, приравнивая правые части соотношений (6) и допуская, что знаменатель  $\left[\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]$  отличен от нуля, получаем

$$-\left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial F_2}{\partial x} = \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial F_2}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial F_1}{\partial y}. \quad (7)$$

Введем две функции  $\Phi_1(x, y)$  и  $\Phi_2(x, y)$  такие, что

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial x} = \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{\partial F_1}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial F_2}{\partial x}; \quad \frac{\partial \Phi_2}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial F_1}{\partial y} - \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial F_2}{\partial y}. \quad (8)$$

Формула (7) при этом получает вид

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial x} = \frac{\partial \Phi_2}{\partial y}. \quad (9)$$

Формула (9) обращается в тождество, если допустить, что существует такая функция  $\varphi^*(x, y)$ , что  $\Phi_1 = \frac{\partial \varphi^*}{\partial y}$  и  $\Phi_2 = \frac{\partial \varphi^*}{\partial x}$ . Функцию  $\varphi^*(x, y)$  будем называть функцией обобщенных напряжений.

Выразим обобщенные напряжения  $\sigma_{ij}^*$  через функцию обобщенных напряжений  $\varphi^*(x, y)$ . На основании соотношений (6) получаем

$$\sigma_{xy}^* = \sigma_{yx}^* = \frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial x \partial y} \cdot \left[ \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \right]^{-1}. \quad (10)$$

Используя формулы (5), находим:

$$\sigma_{xx}^* = \frac{\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial F_1}{\partial y} + \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial F_2}{\partial y} - \left[\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] \sigma_{xy}^*}{2 \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial v}{\partial x}}; \\ \sigma_{yy}^* = -\frac{\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial F_2}{\partial x} + \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{\partial F_1}{\partial x} - \left[\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] \sigma_{yx}^*}{2 \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right) \frac{\partial u}{\partial y}}.$$
 (11)

Для определения обобщенных напряжений  $\sigma_{xx}^*$  и  $\sigma_{yy}^*$  через функцию обобщенных напряжений  $\varphi^*(x, y)$  нужно выразить производные  $\frac{\partial F_1}{\partial x}, \frac{\partial F_1}{\partial y},$

$\frac{\partial F_2}{\partial x}, \frac{\partial F_2}{\partial y}$  через функции  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  или их производные.

Будем считать, что функции  $F_1(x, y)$  и  $F_2(x, y)$  таковы, что

$$dF_1 = \frac{\partial F_1}{\partial x} dx_1 + \frac{\partial F_1}{\partial y} dy_1 = 0; \quad dF_2 = \frac{\partial F_2}{\partial x} dx_2 + \frac{\partial F_2}{\partial y} dy_2 = 0. \quad (12)$$

Условия  $dF_1 = 0$  и  $dF_2 = 0$  определяют каждое свою зависимость:

$$y_1 = f_1(x_1, c_1) \quad \text{и} \quad y_2 = f_2(x_2, c_2), \quad (13)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  — постоянные интегрирования.

Функции  $y_1 = f_1(x_1, c_1)$  и  $y_2 = f_2(x_2, c_2)$  определяют семейства кривых, покрывающих плоскость  $XOY$ . Рассматриваемые совместно, они определяют совокупность всех точек плоскости  $XOY$ , причем в каждой точке пересечения кривых (13)  $x_1 = x_2 = x$  и  $y_1 = y_2 = y$ . Координаты  $x$  и  $y$  можно рассматривать как независимые, поскольку любая их совокупность будет определять некоторую точку на плоскости  $XOY$ , через которую будут проходить линии  $y_1 = f_1(x_1, c_1)$  и  $y_2 = f_2(x_2, c_2)$ , определяемые конкретными значениями произвольных постоянных  $c_1$  и  $c_2$ . В силу этого в уравнениях (13), рассматриваемых совместно, индексы у переменных  $x$  и  $y$  можно опустить.

Совокупность (8) и (12) дает систему линейных алгебраических уравнений относительно искомых производных. Решение данной системы имеет вид:

$$\frac{\partial F_1}{\partial x} = \frac{-\left[\frac{\partial \Phi_2}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial y} + \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial \Phi_1}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x}\right]}{\left[\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left(1 - \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] \frac{\partial x}{\partial x}}; \\ \frac{\partial F_1}{\partial y} = \frac{-\left[\frac{\partial \Phi_2}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial y} + \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \frac{\partial \Phi_1}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x}\right]}{\left[\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left(1 + \frac{\partial u}{\partial x}\right) \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y}\right)\right] \frac{\partial y}{\partial y}},$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial x} = \frac{-\left[ \frac{\partial \Phi_2}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \partial y + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \Phi_1}{\partial x} \partial x \right]}{\left[ \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] \partial x};$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial y} = \frac{-\left[ \frac{\partial \Phi_2}{\partial y} \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \partial y + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \Phi_1}{\partial x} \partial x \right]}{\left[ \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] \partial y}.$$

Теперь соотношения (11) получают следующий вид:

$$\begin{aligned}\sigma_{xx}^* &= \frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial x \partial y} \left[ \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right]^{-1} \frac{dx}{dy}; \\ \sigma_{yy}^* &= -\frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial x \partial y} \left[ \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right]^{-1} \frac{dy}{dx}.\end{aligned}\quad (14)$$

Итак, обобщенные напряжения  $\sigma_{ij}^*$  выражаются через функцию обобщенных напряжений  $\varphi^*(x, y)$  следующим образом:

$$\sigma_{xx}^* = \chi \frac{dx}{dy} \psi(x, y); \quad \sigma_{xy}^* = \sigma_{yx}^* = \chi \psi(x, y); \quad \sigma_{yy}^* = \chi \frac{dy}{dx} \psi(x, y). \quad (15)$$

$$\text{Здесь } \chi = \left[ \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} - \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right]^{-1}, \quad \psi = \frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial x \partial y}.$$

Проверим, удовлетворяются ли уравнения равновесия (1) для обобщенных напряжений, выраженных через функцию обобщенных напряжений. Для этого подставим формулы (15) в систему (1). Выполнив дифференцирование и произведя элементарные преобразования, получим:

$$\begin{aligned}\frac{\chi}{dy} \left[ \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy \right] \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\chi}{dx} \left[ \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy \right] \frac{\partial \psi}{\partial y} + \\ + \left\langle \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\chi}{dy} \left[ \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy \right] \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\chi}{dx} \left[ \left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy \right] \right\} \right\rangle \psi = 0;\end{aligned}\quad (16)$$

$$\begin{aligned}\frac{\chi}{dy} \left[ \frac{\partial v}{\partial x} dx + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dy \right] \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\chi}{dx} \left[ \frac{\partial v}{\partial x} dx + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dy \right] \frac{\partial \psi}{\partial y} + \\ + \left\langle \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\chi}{dy} \left[ \frac{\partial v}{\partial x} dx + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dy \right] \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\chi}{dx} \left[ \frac{\partial v}{\partial x} dx + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dy \right] \right\} \right\rangle \psi = 0.\end{aligned}$$

Выражения в квадратных скобках упрощаются:

$$\left( 1 + \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy = (dx + du); \quad \frac{\partial v}{\partial x} dx + \left( 1 + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dy = (dy + dv).$$

Теперь система (16) получает вид:

$$\begin{aligned} \chi \frac{dx+du}{dy} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \chi \frac{dx+du}{dx} \frac{\partial \psi}{\partial y} + \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \chi \frac{dx+du}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \chi \frac{dx+du}{dx} \right) \right] \psi = 0; \\ \chi \frac{dy+d\nu}{dy} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \chi \frac{dy+d\nu}{dx} \frac{\partial \psi}{\partial y} + \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \chi \frac{dy+d\nu}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \chi \frac{dy+d\nu}{dx} \right) \right] \psi = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Сумма первых двух слагаемых в системе (17) приводится к виду:

$$\begin{aligned} \chi \frac{dx+du}{dy} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \chi \frac{dx+du}{dx} \frac{\partial \psi}{\partial y} &= \chi \frac{dx+du}{dx} \frac{d\psi}{dy}; \\ \chi \frac{dy+d\nu}{dy} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \chi \frac{dy+d\nu}{dx} \frac{\partial \psi}{\partial y} &= \chi \frac{dy+d\nu}{dy} \frac{d\psi}{dx}. \end{aligned}$$

Вводя новые обозначения:

$$\begin{aligned} A_1 &= \chi \frac{dx+du}{dx}; \quad B_1 \frac{\partial}{\partial x} \left( \chi \frac{dx+du}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \chi \frac{dx+du}{dx} \right); \\ A_2 &= \chi \frac{dy+d\nu}{dy}; \quad B_2 \frac{\partial}{\partial x} \left( \chi \frac{dy+d\nu}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \chi \frac{dy+d\nu}{dx} \right), \end{aligned}$$

систему (17) приведем к форме

$$A_1 \frac{d\psi}{dy} + B_1 \psi = 0; \quad A_2 \frac{d\psi}{dx} + B_2 \psi = 0. \quad (18)$$

Система (18) легко интегрируется:

$$\frac{d\psi}{\psi} = -\frac{B_1}{A_1} dy; \quad \frac{d\psi}{\psi} = -\frac{B_2}{A_2} dx, \quad (19)$$

$$\text{т.е. } \psi(x, y) = e^{-\int \frac{B_1}{A_1} dy + d_1(x)}; \quad \psi(x, y) = e^{-\int \frac{B_2}{A_2} dx + d_2(y)}. \quad (20)$$

Здесь  $d_1$  и  $d_2$  — произвольные «постоянные» интегрирования.

Таким образом, уравнения равновесия будут удовлетворены, если функция обобщенных напряжений будет такова, что будут удовлетворяться соотношения (20). Приравнивая правые части в уравнениях (19), получим функцию, связывающую между собой функции перемещений  $u(x, y)$  и  $v(x, y)$ :

$$\begin{aligned} \frac{dx+du}{dy} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{dx+du}{dy} \chi \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{dx+du}{dx} \chi \right) \\ \frac{dy+d\nu}{dy} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{dy+d\nu}{dy} \chi \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{dy+d\nu}{dx} \chi \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Далее запишем уравнение неразрывности деформаций через функцию обобщенных напряжений. Для этого подставим физические соотношения

$$\varepsilon_{xx} = a\sigma_{xx}^* - b\sigma_{yy}^*; \quad \varepsilon_{yy} = -b\sigma_{xx}^* + a\sigma_{yy}^*; \quad \varepsilon_{xy} = c\sigma_{xy}^*$$

$$\text{(здесь } a = \frac{3K^* + 4G^*}{4G^*(3K^* + G^*)}; \quad b = \frac{3K^* - 2G^*}{4G^*(3K^* + G^*)} \text{ — для плоской деформации;}$$

$a = \frac{3K^* + G^*}{9K^*G^*}; b = \frac{3K^* - 2G^*}{18K^*G^*}$  — для плоского напряженного состояния;  
 $c = \frac{1}{G^*}$ ;  $K^*(\sigma, T)$  — обобщенный модуль объемного расширения (сжатия);  
 $G^*(\sigma, T)$  — обобщенный модуль сдвига) с учетом формул (15) в уравнение неразрывности деформаций:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \epsilon_{xy}}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \epsilon_{xx}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \epsilon_{yy}}{\partial x^2} &= g^{xx} \left[ \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial x} \left( \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial y} - \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial x} \right) - \left( \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial y} \right)^2 \right] + \\ &+ g^{yy} \left[ \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial y} \left( \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial y} \right) - \left( \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial x} \right)^2 \right] + \\ &+ g^{xy} \left[ \left( \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial y} - \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial x} \right) + \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial x} \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial y} - 2 \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial y} \frac{\partial \epsilon_{yy}}{\partial x} \right]. \end{aligned} \quad (22)$$

Здесь

$$g^{xx} = \frac{1 + 2\epsilon_{yy}}{D^2}; g^{yy} = \frac{1 + 2\epsilon_{xx}}{D^2}; g^{xy} = -\frac{\epsilon_{xy}}{D^2}; D^2 = (1 + 2\epsilon_{xx})(1 + 2\epsilon_{yy}) - \epsilon_{xy}^2.$$

Выполнив соответствующие преобразования, получим:

$$\begin{aligned} m_1 \psi + m_2 \frac{\partial \psi}{\partial x} + m_3 \frac{\partial \psi}{\partial y} + m_4 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + m_5 \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + m_6 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} = \\ = n_1 \psi^2 + n_2 \left( \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 + n_3 \left( \frac{\partial \psi}{\partial y} \right)^2 + n_4 \psi \frac{\partial \psi}{\partial x} + n_5 \psi \frac{\partial \psi}{\partial y} + n_6 \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial y}, \end{aligned} \quad (23)$$

где коэффициенты  $m_i$  и  $n_j$  — функции перемещений  $u(x, y)$  и  $v(x, y)$ .

Производные от функции  $\psi(x, y)$  на основании формул (20) будут равны:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial x} &= -\frac{B_2}{A_2} \psi; \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{B_1}{A_1} \psi; \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} &= \frac{1}{A_2^2} \left( B_2^2 - A_2 \frac{\partial B_2}{\partial x} + B_2 \frac{\partial A_2}{\partial x} \right) \psi; \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} &= \frac{1}{A_1^2} \left( B_1^2 + A_1 \frac{\partial B_1}{\partial y} + B_1 \frac{\partial A_1}{\partial y} \right) \psi; \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} &= \left[ \frac{B_1 B_2}{A_1 A_2} - \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{B_2}{A_2} \right) \right] \psi = \left[ \frac{B_1 B_2}{A_1 A_2} - \frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{B_1}{A_1} \right) \right] \psi. \end{aligned} \quad (24)$$

Уравнение неразрывности (23) с учетом формул (24) получает вид

$$\begin{aligned} m_1 - m_2 \frac{B_2}{A_2} - m_3 \frac{B_1}{A_1} + m_4 \left[ \left( \frac{B_2}{A_2} \right)^2 - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{B_2}{A_2} \right) \right] + m_5 \left[ \left( \frac{B_1}{A_1} \right)^2 - \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{B_1}{A_1} \right) \right] + \\ + m_6 \left[ \frac{B_1 B_2}{A_1 A_2} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{B_2}{A_2} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{B_1}{A_1} \right) \right] = \\ = \left[ n_1 + n_2 \left( \frac{B_2}{A_2} \right)^2 + n_3 \left( \frac{B_1}{A_1} \right)^2 - n_4 \frac{B_1}{A_1} - n_5 \frac{B_2}{A_2} + n_6 \frac{B_1 B_2}{A_1 A_2} \right] \psi. \end{aligned} \quad (25)$$

Итак, для решения плоской задачи геометрически и физически нелинейной теории упругости с помощью функции напряжений имеем уравнение неразрывности деформаций (25) и уравнение связи (21). Совокупность этих двух уравнений содержит две искомые функции перемещений:  $u(x, y)$  и  $v(x, y)$ . После интегрирования уравнений (21), (25) и определения функций перемещений  $u(x, y)$  и  $v(x, y)$  по формулам (20) находится вид функции  $\psi(x, y)$ . Для определения напряжений имеем формулы (15). Зная распределение напряжений в расчетной области, можно на основании краевых условий определить внешнюю контурную нагрузку.

Таким образом, решение плоской задачи геометрически и физически нелинейной теории упругости с использованием функции напряжений практически сводится к определению перемещений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новожилов В. В. Теория упругости.— Судпромгиз, 1958.— 370 с.

© Бакушев С. В., Монахов В. А., 2007

Получено 09.02.07

УДК 539.3

Ю. В. НЕМИРОВСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, проф., А. П. ЯНКОВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук (Институт теоретической и прикладной механики, г. Новосибирск)

### КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕРМОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА, АРМИРОВАННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОРЕШЕТКОЙ\*

Предложена модель механического поведения грунта, армированного пространственной георешеткой со структурой общего вида. На основе кинематических допущений о связи осредненных деформаций геокомпозита с деформациями фаз композиции определены термомеханические характеристики эквивалентного материала. Показано, что на основе полученных уравнений можно определить напряженно-деформированные состояния во всех фазах композиции, используя известные осредненные деформации и температуру в геокомпозите, что имеет принципиальное значение при расчетах армированного слоя грунта с использованием структурных теорий прочности. Проведен критический анализ ранее построенной модели геокомпозита, армированного пространственной георешеткой.

В последние десятилетия в мировой строительной практике все чаще находят применение геосинтетические материалы для армирования элементов современных дорожных конструкций и грунтов основания. Применение геосинтетики при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации автомобильных и других дорог позволяет компенсировать недостатки свойств грунтов и дорожно-строительных материалов [1], повысить их физические и механические свойства, а в некоторых случаях — превратить в совершенно новые типы композитных материалов — геокомпозиты.

Проблема формирования нормативной базы для проектирования дорожных конструкций, армированных геосинтетиками, наряду с эмпирической имеет большую долю теоретической составляющей. Последняя на

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума СО РАН (Постановление № 54 от 09.02.06, номер проекта 2.2)

сегодняшний день характеризуется отсутствием системного подхода к разработке моделей деформирования и расчета слоистых конструкций, армированных плоскими и пространственными (объемными) структурами, как композитных материалов и образованных из них конструкций [1].

Целью настоящей работы является построение модели механического поведения грунта, армированного пространственной георешеткой, позволяющей (модели) определять эффективные термоупругие характеристики эквивалентного гекомпозита.

Пусть имеется упругий слой толщиной  $h$ , армированный регулярно в плоскости  $(x_1, x_2)$  объемной георешеткой (координата  $x_3$  прямоугольной декартовой системы координат  $x_1, x_2, x_3$  направлена по толщине слоя). Выделим из такого гекомпозита простейший представительный элемент (ячейку) объемом  $V = 2a \times 2b \times h$  (рис. 1) так, чтобы любой другой элемент композита можно было получить параллельным переносом по направлению  $x_1$  на расстояние  $2an$ , а по направлению  $x_2$  — на расстояние  $2bm$  ( $n, m = \pm 1, \pm 2, \pm 3\dots$ ).

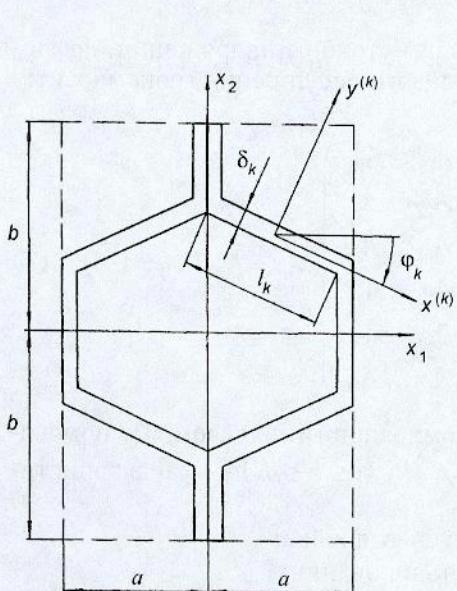


Рис. 1. Представительный элемент (ячейка) гекомпозита, армированного пространственной георешеткой (вид сверху)

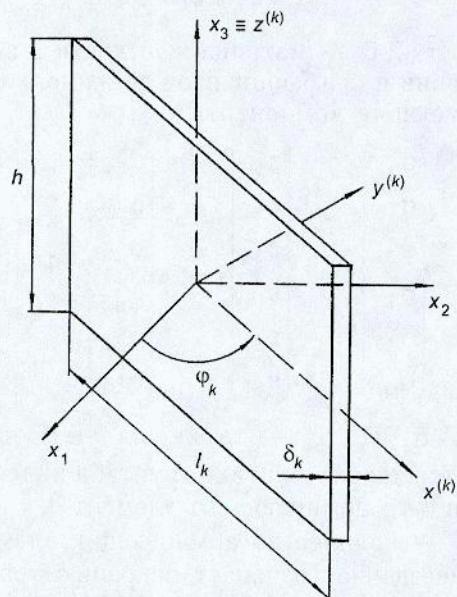


Рис. 2. Изометрическое изображение  $k$ -го армирующего элемента пространственной георешетки

Описание различных видов объемных георешеток и их схематизация подробно изложены в [1]. Не будем повторять эти сведения, отметим лишь, что для удобства инженерного расчета в [1] предлагается георешетку в пределах представительной ячейки аппроксимировать идеально связанными между собой плоскими армирующими элементами. На рис. 1 изображена ячейка с наиболее общим типом армирования. Из такой структуры заданием геометрии армирующих элементов можно получить георешетки всех видов, используемых на сегодняшний день на практике [1]. Согласно рис. 1 в общем случае ячейка усиlena 10 армирующими (плоскими) элементами. С каждым  $k$ -м армирующим элементом связываем свою локальную прямоугольную декартову систему координат  $x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)} \equiv x_3$  (как показано на рис. 1, 2), которая получается поворотом глобальной системы координат  $x_1, x_2, x_3$  на угол  $\varphi_k$  вокруг вертикальной оси  $x_3$ .

Все фазы композиции предполагаются ортотропными материалами, причем главные оси анизотропии грунта совпадают с направлениями

$x_1, x_2, x_3$  глобальной системы координат, а главные оси анизотропии  $k$ -го армирующего элемента — с направлениями  $x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)}$  локальной системы координат.

Соотношения Дюамеля — Неймана для эквивалентной композитной среды и фаз композиции в матричной форме имеют вид [2, 3]

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= A(\bar{\varepsilon} - \bar{\alpha}T) = \partial F / \partial \bar{\varepsilon}, \\ \bar{\sigma}_k &= A_k(\bar{\varepsilon}_k - \bar{\alpha}_k T_k) = \partial F_k / \partial \bar{\varepsilon}_k \quad (k=0, 1, 2 \dots K),\end{aligned}\quad (1)$$

где  $T, T_k$  — отклонение температуры геокомпозита и  $k$ -й фазы композиции соответственно от температуры естественного состояния;  
 $F, F_k$  — удельные свободные энергии Гельмгольца геокомпозита и  $k$ -й фазы композиции (инварианты), имеющие выражения [2]:

$$\begin{aligned}F &= \bar{\varepsilon}^* A \bar{\varepsilon} / 2 - \bar{\varepsilon}^* A \bar{\alpha} T + f(T), \\ F_k &= \bar{\varepsilon}_k^* A_k \bar{\varepsilon}_k / 2 - \bar{\varepsilon}_k^* A_k \bar{\alpha}_k T_k + f_k(T_k) \quad (0 \leq k \leq K);\end{aligned}\quad (2)$$

$A, \bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}, \bar{\alpha}$  — матрица жесткости и векторы-столбцы напряжений, деформаций и коэффициентов линейного теплового расширения геокомпозита, имеющие компоненты

$$\bar{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \end{pmatrix}, \bar{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} \end{pmatrix}, \bar{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{22} \\ \alpha_{33} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{23} \\ \alpha_{31} \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} A_{11}A_{12} \dots A_{16} \\ A_{21}A_{22} \dots A_{26} \\ A_{31}A_{32} \dots A_{36} \\ A_{41}A_{42} \dots A_{46} \\ A_{51}A_{52} \dots A_{56} \\ A_{61}A_{62} \dots A_{66} \end{pmatrix}, A_{ij} = A_{ji} \quad (i, j = 1, 6); \quad (3)$$

$A_k, \bar{\sigma}_k, \bar{\varepsilon}_k, \bar{\alpha}_k$  — то же для  $k$ -й фазы композиции (индексом «0» помечаются характеристики грунта, а индексом « $k$ » ( $1 \leq k \leq K$ ) — характеристики  $k$ -го армирующего элемента);

$K$  — количество армирующих элементов в ячейке;

«звездочка» означает операцию транспонирования;

$f(T), f_k(T_k)$  — некоторые функции, зависящие от температуры, но не зависящие от деформаций и характеризующие энтропию соответствующих материалов (конкретный вид этих функций в настоящем исследовании не потребуется).

Матрицы  $A_k$  и векторы-столбцы  $\bar{\sigma}_k, \bar{\varepsilon}_k, \bar{\alpha}_k$  имеют структуру, аналогичную (3), но записываются в разных системах координат: для грунта ( $k=0$ ) — в глобальной системе координат  $x_1, x_2, x_3$ , для  $k$ -го армирующего элемента ( $1 \leq k \leq K$ ) — в локальной системе  $x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)} \equiv x_3$ .

Так как установить фактическое распределение напряжений и деформаций в геокомпозите, где основной материал (грунт) имеет многочисленные более жесткие включения, весьма затруднительно [3], то при нахождении практически пригодных зависимостей для определения всех независимых термоупругих постоянных рассматриваемого геокомпозита необходимо сделать некоторые допущения в виде исходных предпосылок.

1. Количество представительных элементов как в направлении  $x_1$ , так и в направлении  $x_2$  достаточно велико, что позволяет рассматривать эквивалентный геокомпозит как однородный материал, одна из главных осей анизотропии которого совпадает с направлением  $x_3$ .

2. Между грунтом и каждым армирующим элементом существует полное сцепление.

3. В пределах представительного элемента деформации, напряжения и температуры во всех фазах и в композиции кусочно-постоянны. Эффектами высших порядков, связанными с изменением полей деформаций, напряжений и температур на микроуровне в малых окрестностях границ контакта грунта и армирующих элементов, пренебрегаем.

4. Осредненные поля деформаций и температуры в композиции определяются по правилу простой смеси — пропорционально объемному содержанию каждого составляющего (кинематическая гипотеза).

5. Все фазовые материалы линейно-упруги, ортотропны и однородны; связь между деформациями, напряжениями и температурой в них определяется соотношениями Дюамеля — Неймана (1).

6. В качестве условия эквивалентности выступает равенство свободной энергии эквивалентного однородного анизотропного материала свободной энергии геокомпозита.

В силу первого и пятого допущений справедливыми являются первое равенство (1) и соотношения (3). Согласно шестому допущению, имеем

$$\iiint_V F dV = \iiint_{V_0} F_0 dV + \iiint_{V_a} F_a dV = \iiint_{V_0} F_0 dV + \sum_k \iiint_{V_k} F_k dV,$$

отсюда в силу (2) и третьей гипотезы следует

$$F = \Omega F_0 + \omega_\beta F_\beta, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} V &= 4abh, \quad V_k = l_k \delta_k h, \quad V_0 = V - V_a = V - \sum_k V_k, \\ \omega_k &= V_k / V, \quad \Omega = V_0 / V = 1 - \sum_k \omega_k, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $V_0, V_a, V_k$  — объем грунта, георешетки и  $k$ -го армирующего элемента в ячейке соответственно;

$l_k, \delta_k$  — длина и толщина  $k$ -го армирующего элемента (см. рис. 1, 2);

суммирование производится от 1 до  $K$ ; по повторяющемуся немому индексу  $\beta$  также производится суммирование от 1 до  $K$ .

В силу второго и третьего допущений и условий сопряжения полей напряжений, перемещений и температур на лицевых поверхностях контакта  $k$ -го армирующего элемента с грунтом получим (см. рис. 2)

$$T_0 = T_k \quad (1 \leq k \leq K); \quad (6)$$

$$\sigma_{yy}^{(k)} = \sigma_{0yy}^{(k)}, \quad \sigma_{xy}^{(k)} = \sigma_{0xy}^{(k)}, \quad \sigma_{yz}^{(k)} = \sigma_{0yz}^{(k)} \quad (1 \leq k \leq K); \quad (7)$$

$$\varepsilon_{xx}^{(k)} = \varepsilon_{0xx}^{(k)}, \quad \varepsilon_{zz}^{(k)} = \sigma_{0zz}^{(k)} \equiv \varepsilon_{33}^{(0)}, \quad \varepsilon_{xz}^{(k)} = \varepsilon_{0xz}^{(k)} \quad (1 \leq k \leq K), \quad (8)$$

где  $\varepsilon_{ij}^{(k)}$ ,  $\sigma_{ij}^{(k)}$  ( $i, j = x, y, z$ ) — компоненты тензоров деформаций и напряжений в  $k$ -м армирующем элементе в локальной системе координат  $x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)} \equiv x_3$ ;

$\varepsilon_{0ij}^{(k)}, \sigma_{0ij}^{(k)}$  ( $i, j = x, y, z$ ) — то же, в грунте в системе координат  $x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)}$ .

Кроме того, из тех же допущений помимо равенств (6) в пределах представительного элемента с учетом закона теплопроводности Фурье тождественно выполняются и условия сопряжения по тепловым потокам на лицевых поверхностях контакта  $k$ -го армирующего элемента с грунтом.

Согласно четвертому допущению осредненные поля деформаций и температуры в геокомпозите определяются так:

$$T = \Omega T_0 + \omega_\beta T_\beta; \quad (9)$$

$$\varepsilon_{ij} = \Omega \varepsilon_{ij}^{(0)} + \omega_\beta e_{ij}^{(\beta)} \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad (10)$$

где  $e_{ij}^{(k)}$  — компоненты тензора деформаций  $k$ -го армирующего элемента в глобальной системе координат  $x_1, x_2, x_3$ .

Из равенства (9) с учетом (6), (5) следует

$$T = T_k \quad (0 \leq k \leq K), \quad (11)$$

т. е. средняя температура гекомпозита в пределах ячейки равна температуре каждого фазового материала.

Из соотношения (4) с учетом (2), (11) имеем

$$\bar{\varepsilon}^* A \bar{\varepsilon} / 2 - \bar{\varepsilon}^* A \bar{\alpha} T + f(T) = \Omega [\bar{\varepsilon}_0^* A_0 \bar{\varepsilon}_0 / 2 - \bar{\varepsilon}_0^* A_0 \bar{\alpha}_0 T + f_0(T)] + \\ + \omega_\beta [\bar{\varepsilon}_\beta^* A_\beta \bar{\varepsilon}_\beta / 2 - \bar{\varepsilon}_\beta^* A_\beta \bar{\alpha}_\beta T + f_\beta(T)]. \quad (12)$$

Выразим в (12) деформации  $\bar{\varepsilon}_k$  через  $\bar{\varepsilon}_0$ . Для этого воспользуемся равенствами (7), (8), правые части которых распишем в развернутом виде, используя правило преобразования тензоров второго ранга [2] при повороте системы координат на угол  $\varphi_k$  вокруг оси  $x_3 \equiv z^{(k)}$ ,

$$\begin{aligned} \sigma_{yy}^{(k)} &= \sigma_{11}^{(0)} \sin^2 \varphi_k + \sigma_{22}^{(0)} \cos^2 \varphi_k - \sigma_{12}^{(0)} \sin 2\varphi_k, \\ \sigma_{yz}^{(k)} &= -\sigma_{13}^{(0)} \sin \varphi_k + \sigma_{23}^{(0)} \cos \varphi_k, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\sigma_{xy}^{(k)} = 0,5(\sigma_{22}^{(0)} - \sigma_{11}^{(0)}) \sin 2\varphi_k + \sigma_{12}^{(0)} \cos 2\varphi_k \quad (1 \leq k \leq K);$$

$$\varepsilon_{xx}^{(k)} = \varepsilon_{11}^{(0)} \cos^2 \varphi_k + \varepsilon_{22}^{(0)} \sin^2 \varphi_k + \varepsilon_{12}^{(0)} \sin 2\varphi_k, \quad (14)$$

$$\varepsilon_{zz}^{(k)} = \varepsilon_{33}^{(0)}, \quad \varepsilon_{xz}^{(k)} = \varepsilon_{13}^{(0)} \cos \varphi_k + \varepsilon_{23}^{(0)} \sin \varphi_k \quad (1 \leq k \leq K),$$

где  $\varepsilon_{ij}^{(0)}, \sigma_{ij}^{(0)}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) — компоненты тензоров деформаций и напряжений в грунте в глобальной системе координат  $x_1, x_2, x_3$ .

Преобразуем равенства (13) с учетом (1), (14), (11) и пятого допущения:

$$\begin{aligned} A_{21}^{(k)} (\varepsilon_{xx}^{(k)} - \alpha_x^{(k)} T) + A_{22}^{(k)} (\varepsilon_{yy}^{(k)} - \alpha_y^{(k)} T) + A_{23}^{(k)} (\varepsilon_{zz}^{(k)} - \alpha_z^{(k)} T) = \\ = [A_{11}^{(0)} (\varepsilon_{11}^{(0)} - \alpha_1^{(0)} T) + A_{12}^{(0)} (\varepsilon_{22}^{(0)} - \alpha_2^{(0)} T) + A_{13}^{(0)} (\varepsilon_{33}^{(0)} - \alpha_3^{(0)} T)] \sin^2 \varphi_k + \\ + [A_{21}^{(0)} (\varepsilon_{11}^{(0)} - \alpha_1^{(0)} T) + A_{22}^{(0)} (\varepsilon_{22}^{(0)} - \alpha_2^{(0)} T) + A_{23}^{(0)} (\varepsilon_{33}^{(0)} - \alpha_3^{(0)} T)] \cos^2 \varphi_k - \\ - 2G_{12}^{(0)} \varepsilon_{12}^{(0)} \sin 2\varphi_k, \\ 2G_{xy}^{(k)} \varepsilon_{xy}^{(k)} = -\sin 2\varphi_k [A_{11}^{(0)} (\varepsilon_{11}^{(0)} - \alpha_1^{(0)} T) + A_{12}^{(0)} (\varepsilon_{22}^{(0)} - \alpha_2^{(0)} T) + \\ + A_{13}^{(0)} (\varepsilon_{33}^{(0)} - \alpha_3^{(0)} T)] / 2 + \sin 2\varphi_k [A_{21}^{(0)} (\varepsilon_{11}^{(0)} - \alpha_1^{(0)} T) + \\ + A_{22}^{(0)} (\varepsilon_{22}^{(0)} - \alpha_2^{(0)} T) + A_{23}^{(0)} (\varepsilon_{33}^{(0)} - \alpha_3^{(0)} T)] / 2 + 2G_{12}^{(0)} \varepsilon_{12}^{(0)} \cos 2\varphi_k, \\ 2G_{yz}^{(k)} \varepsilon_{yz}^{(k)} = -2G_{13}^{(0)} \varepsilon_{13}^{(0)} \sin \varphi_k + 2G_{23}^{(0)} \varepsilon_{23}^{(0)} \cos \varphi_k, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $A_{ij}^{(k)}, A_{ij}^{(0)}$  — компоненты матриц  $A_k, A_0$  в (1), причем, согласно пятому допущению,

$$\begin{aligned} A_{44}^{(k)} = 2G_{xy}^{(k)}, \quad A_{55}^{(k)} = 2G_{yz}^{(k)}, \quad A_{66}^{(k)} = 2G_{xz}^{(k)} \quad (1 \leq k \leq K), \\ A_{44}^{(0)} = 2G_{12}^{(0)}, \quad A_{55}^{(0)} = 2G_{23}^{(0)}, \quad A_{66}^{(0)} = 2G_{31}^{(0)}, \\ A_{ij}^{(k)} = A_{ij}^{(0)} = 0 \quad \text{при } i = \overline{4, 6}, \quad j = \overline{1, 6}, \quad j \neq i \quad \text{и} \quad \text{при } i = \overline{1, 3}, \quad j = \overline{4, 6}; \end{aligned} \quad (16)$$

$G_{ij}^{(k)}$  ( $i, j = x, y, z$ ),  $G_{ij}^{(0)}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) — модули сдвига материалов  $k$ -го армирующего элемента и грунта соответственно;

$\alpha_x^{(k)}, \alpha_y^{(k)}, \alpha_z^{(k)}$  и  $\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \alpha_3^{(0)}$  — компоненты векторов  $\bar{\alpha}_k$  и  $\bar{\alpha}_0$  в (1),

причем

$$\bar{\alpha}_k^* = \{\alpha_x^{(k)}, \alpha_y^{(k)}, \alpha_z^{(k)}, 0, 0, 0\}, \quad \bar{\alpha}_0^* = \{\alpha_1^{(0)}, \alpha_2^{(0)}, \alpha_3^{(0)}, 0, 0, 0\}. \quad (17)$$

В случае изотропных материалов фаз геокомпозита в (15)–(17) имеем

$$\begin{aligned} A_{ii}^{(k)} &= 2G^{(k)}(1-v^{(k)}) / (1-2v^{(k)}), \quad A_{ij}^{(k)} = 2G^{(k)}v^{(k)} / (1-2v^{(k)}), \\ A_{ll}^{(k)} &= 2G^{(k)} = E^{(k)} / (1+v^{(k)}) \quad (i, j=1, 2, 3, j \neq i, l=4, 5, 6, 0 \leq k \leq K), \quad (18) \\ \alpha_x^{(n)} &= \alpha_y^{(n)} = \alpha_z^{(n)} = \alpha^{(n)} (1 \leq n \leq K), \quad \alpha_1^{(0)} = \alpha_2^{(0)} = \alpha_3^{(0)} = \alpha^{(0)}, \end{aligned}$$

остальные компоненты  $A_{ij}^{(k)}$  равны нулю;

$E^{(k)}, v^{(k)}, \alpha^{(k)}$  — модуль упругости, коэффициент Пуассона и коэффициент линейного теплового расширения  $k$ -й фазы композиции.

Из (14), (15) можно однозначно определить все деформации  $\epsilon_{ij}^{(k)}$  ( $i, j=x, y, z$ ) в  $k$ -м армирующем элементе; соответствующее равенство запишем в матричной форме

$$\bar{\epsilon}_k = B_k \bar{\epsilon}_0 + \bar{C}_k T, \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_k^* &= \{\epsilon_{xx}^{(k)}, \epsilon_{yy}^{(k)}, \epsilon_{zz}^{(k)}, \epsilon_{xy}^{(k)}, \epsilon_{yz}^{(k)}, \epsilon_{zx}^{(k)}\}, \quad \bar{\epsilon}_0^* = \{\epsilon_{11}^{(0)}, \epsilon_{22}^{(0)}, \epsilon_{33}^{(0)}, \epsilon_{12}^{(0)}, \epsilon_{23}^{(0)}, \epsilon_{31}^{(0)}\}, \quad (20) \\ \bar{C}_k^* &= \{0, C_2^{(k)}, 0, C_4^{(k)}, 0, 0\}, \quad k=1, 2, 3 \dots K; \end{aligned}$$

$B_k = (B_{ij}^{(k)})$  — матрица размером  $6 \times 6$  с ненулевыми компонентами

$$\begin{aligned} B_{11}^{(k)} &= \cos^2 \varphi_k, \quad B_{12}^{(k)} = \sin^2 \varphi_k, \quad B_{14}^{(k)} = \sin 2\varphi_k, \\ B_{21}^{(k)} &= [A_{11}^{(0)} \sin^2 \varphi_k + (A_{21}^{(0)} - A_{21}^{(k)}) \cos^2 \varphi_k] / A_{22}^{(k)}, \\ B_{22}^{(k)} &= [A_{22}^{(0)} \cos^2 \varphi_k + (A_{21}^{(0)} - A_{21}^{(k)}) \sin^2 \varphi_k] / A_{22}^{(k)}, \\ B_{23}^{(k)} &= [A_{13}^{(0)} \sin^2 \varphi_k + A_{23}^{(0)} \cos^2 \varphi_k - A_{23}^{(k)}] / A_{22}^{(k)}, \\ B_{24}^{(k)} &= -\sin 2\varphi_k (2G_{12}^{(0)} + A_{21}^{(k)}) / A_{22}^{(k)}, \quad B_{33}^{(k)} = 1, \\ B_{41}^{(k)} &= \sin 2\varphi_k (A_{21}^{(0)} - A_{11}^{(0)}) / (4G_{xy}^{(k)}), \\ B_{42}^{(k)} &= \sin 2\varphi_k \times (A_{22}^{(0)} - A_{12}^{(0)}) / (4G_{xy}^{(k)}), \quad (21) \\ B_{43}^{(k)} &= \sin 2\varphi_k (A_{23}^{(0)} - A_{13}^{(0)}) / (4G_{xy}^{(k)}), \\ B_{44}^{(k)} &= \cos 2\varphi_k G_{12}^{(0)} / G_{xy}^{(k)}, \quad B_{55}^{(k)} = \cos \varphi_k G_{23}^{(0)} / G_{yz}^{(k)}, \\ B_{56}^{(k)} &= -\sin \varphi_k G_{13}^{(0)} / G_{yz}^{(k)}, \quad B_{65}^{(k)} = \sin \varphi_k, \quad B_{66}^{(k)} = \cos \varphi_k, \\ C_2^{(k)} &= [A_{21}^{(k)} \alpha_x^{(k)} + A_{22}^{(k)} \alpha_y^{(k)} + A_{23}^{(k)} \alpha_z^{(k)} - \sin^2 \varphi_k (A_{11}^{(0)} \alpha_1^{(0)} + \\ &+ A_{12}^{(0)} \alpha_2^{(0)} + A_{13}^{(0)} \alpha_3^{(0)}) - \cos^2 \varphi_k (A_{21}^{(0)} \alpha_1^{(0)} + A_{22}^{(0)} \alpha_2^{(0)} + A_{23}^{(0)} \alpha_3^{(0)})] / A_{22}^{(k)}, \\ C_4^{(k)} &= -\sin 2\varphi_k [\alpha_1^{(0)} (A_{21}^{(0)} - A_{11}^{(0)}) + \alpha_2^{(0)} (A_{22}^{(0)} - A_{12}^{(0)}) + \\ &+ \alpha_3^{(0)} (A_{23}^{(0)} - A_{13}^{(0)})] / (4G_{xy}^{(k)}). \end{aligned}$$

Подставим (19) в (12), тогда после элементарных преобразований с учетом симметрии матриц  $A_k$  получим

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}^* A \bar{\epsilon} / 2 - \bar{\epsilon}^* A \bar{\alpha} T + f(T) &= \Omega [\bar{\epsilon}_0^* A_0 \bar{\epsilon}_0 / 2 - \bar{\epsilon}_0^* A_0 \bar{\alpha}_0 T + f_0(T)] + \\ &+ \omega_\beta [\bar{\epsilon}_0^* B_\beta^* A_\beta B_\beta \bar{\epsilon}_0 / 2 + \bar{\epsilon}_0^* B_\beta^* A_\beta (\bar{C}_\beta - \bar{\alpha}_\beta) T + \\ &+ \bar{C}_\beta^* A_\beta (\bar{C}_\beta - 2\bar{\alpha}_\beta) T^2 / 2 + f_\beta(T)]. \quad (22) \end{aligned}$$

Выразим здесь деформации грунта  $\bar{\varepsilon}_0$  через осредненные деформации  $\bar{\varepsilon}$ . С этой целью воспользуемся равенством (10).

Компоненты тензоров деформаций  $\varepsilon_{ij}^{(k)}$  ( $i, j = x, y, z$ ) и  $e_{ij}^{(k)}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) определяют деформированное состояние  $k$ -го армирующего элемента в локальной  $x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)}$  и глобальной  $x_1, x_2, x_3$  системах координат, поэтому связаны матричным равенством

$$\bar{e}_k = D_k \bar{\varepsilon}_k, \quad (23)$$

где  $\bar{e}_k^* = \{e_{11}^{(k)}, e_{22}^{(k)}, e_{33}^{(k)}, e_{12}^{(k)}, e_{23}^{(k)}, e_{31}^{(k)}\}$ ,  $D_k = (D_{ij}^{(k)})$  — матрица ортогональных преобразований размером  $6 \times 6$  с ненулевыми компонентами

$$\begin{aligned} D_{11}^{(k)} &= D_{22}^{(k)} = \cos^2 \varphi_k, \quad D_{12}^{(k)} = D_{21}^{(k)} = \sin^2 \varphi_k, \quad D_{14}^{(k)} = -D_{24}^{(k)} = -\sin 2\varphi_k, \\ D_{33}^{(k)} &= 1, \quad D_{41}^{(k)} = -D_{42}^{(k)} = 0.5 \sin 2\varphi_k, \quad D_{44}^{(k)} = \cos 2\varphi_k, \\ D_{55}^{(k)} &= D_{66}^{(k)} = \cos \varphi_k, \quad D_{56}^{(k)} = -D_{65}^{(k)} = \sin \varphi_k. \end{aligned} \quad (24)$$

Подставим (23) в (10), тогда в матричной форме с учетом (19) получим

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon} &= \Omega \bar{\varepsilon}_0 + \omega_\beta \bar{e}_\beta = \Omega \bar{\varepsilon}_0 + \omega_\beta D_\beta \bar{\varepsilon}_\beta = \Omega \bar{\varepsilon}_0 + \omega_\beta D_\beta (B_\beta \bar{\varepsilon}_0 + \bar{C}_\beta T) = \\ &= (\Omega I + \omega_\beta D_\beta B_\beta) \bar{\varepsilon}_0 + T \omega_\beta D_\beta \bar{C}_\beta, \end{aligned} \quad (25)$$

где  $I$  — единичная матрица размером  $6 \times 6$ . Из (25) следует

$$\bar{\varepsilon}_0 = E \bar{\varepsilon} - T \bar{G}, \quad (26)$$

где  $E$  — матрица размером  $6 \times 6$ ,  $\bar{G}$  — вектор-столбец вида

$$E = (\Omega I + \omega_\beta D_\beta B_\beta)^{-1}, \quad \bar{G} = E(\omega_\beta D_\beta \bar{C}_\beta). \quad (27)$$

Подставим (26) в равенство (22), тогда после элементарных преобразований с учетом симметрии матриц  $A_0, A_k$  будем иметь

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}^* A \bar{\varepsilon} / 2 - \bar{\varepsilon}^* A \bar{\alpha} T + f(T) &= \Omega [\bar{\varepsilon}^* E^* A_0 E \bar{\varepsilon} / 2 - \bar{\varepsilon}^* E^* A_0 (\bar{\alpha}_0 + \bar{G}) T + \\ &+ \bar{G}^* A_0 (2\bar{\alpha}_0 + \bar{G}) T^2 / 2 + f_0(T)] + \omega_\beta \{ \bar{\varepsilon}^* E^* B_\beta^* A_\beta B_\beta E \bar{\varepsilon} / 2 - \\ &- \bar{\varepsilon}^* E^* B_\beta^* A_\beta (\bar{\alpha}_\beta - \bar{C}_\beta + B_\beta \bar{G}) T + [\bar{G}^* B_\beta^* A_\beta (B_\beta \bar{G} - 2\bar{C}_\beta + 2\bar{\alpha}_\beta) - \\ &- \bar{C}_\beta^* A_\beta (2\bar{\alpha}_\beta - \bar{C}_\beta)] T^2 / 2 + f_\beta(T) \}. \end{aligned} \quad (28)$$

Так как равенство (28) должно выполняться при любых  $\bar{\varepsilon}, T$ , то из него вытекают матричные соотношения

$$A = E^* [\Omega A_0 + \omega_\beta B_\beta^* A_\beta B_\beta] E; \quad (29)$$

$$A \bar{\alpha} = E^* [\Omega A_0 (\bar{\alpha}_0 + \bar{G}) + \omega_\beta B_\beta^* A_\beta (\bar{\alpha}_\beta - \bar{C}_\beta + B_\beta \bar{G})], \quad (30)$$

где нужно учесть выражения для матриц и векторов (21), (24), (27).

Третье равенство, вытекающее из (28), связывает между собой функции  $f(T), T^2, f_0(T), f_k(T)$  ( $1 \leq k \leq K$ ). Это соотношение в рамках настоящего исследования не представляет интереса, так как определяет удельную эффективную энтропию геокомпозита, поэтому не будем его выписывать.

Из (30) следует

$$\bar{\alpha} = A^{-1} E^* [\Omega A_0 (\bar{\alpha}_0 + \bar{G}) + \omega_\beta B_\beta^* A_\beta (\bar{\alpha}_\beta - \bar{C}_\beta + B_\beta \bar{G})], \quad (31)$$

где нужно учесть (29).

Таким образом, соотношения (29), (31) определяют все эффективные термоупругие характеристики грунта, армированного пространственной георешеткой при использовании кинематического метода.

**Замечание 1.** В настоящем исследовании метод определения эффективных характеристик геокомпозита назван кинематическим, так как в качестве одной из гипотез (четвертой) использовались кинематические равенства (10), связывающие между собой средние деформации композиции с деформациями в фазовых материалах. При этом никаких допущений о связи средних напряжений  $\bar{\sigma}$  в геокомпозите с напряжениями  $\bar{\sigma}_k$  в фазовых материалах не делалось. Определить эффективные характеристики геокомпозита можно было бы, введя соответствующую гипотезу, позволяющую связать  $\bar{\sigma}$  с  $\bar{\sigma}_k$ , и не делая никаких допущений о связи  $\bar{\epsilon}$  с  $\bar{\epsilon}_k$  ( $0 \leq k \leq K$ ). Такой подход целесообразно назвать статическим методом определения эффективных характеристик геокомпозита. Изложение этого метода выходит за рамки настоящего исследования в силу ограниченности объема статьи.

**Замечание 2.** Важной особенностью предложенной модели геокомпозита является возможность определения напряжений  $\bar{\sigma}_k$  и деформаций  $\bar{\epsilon}_k$  в фазах композиции по известным средним деформациям  $\bar{\epsilon}$ . Действительно, пусть известны деформации  $\bar{\epsilon}$  и температура  $T$ , тогда из (11), (19), (26) известны  $T_k, \bar{\epsilon}_k$ , а из второго равенства (1) можно получить  $\bar{\sigma}_k$ . Знание напряжений  $\bar{\sigma}_k$  и деформаций  $\bar{\epsilon}_k$  ( $0 \leq k \leq K$ ) имеет принципиальное значение при использовании в дальнейшем структурной теории прочности, и кроме того, для изотропных фазовых материалов позволяет построить структурные формулы для эффективных характеристик геокомпозита при нелинейно-упругом деформировании материалов фаз композиции, так как реальные георешетки имеют нелинейные зависимости  $\sigma \sim \epsilon$  [1]. Для этого можно использовать деформационную теорию пластичности и метод переменных параметров упругости [4], причем на каждой итерации этого метода приближения для эффективных характеристик геокомпозита можно определить по изложенной выше схеме, заменив лишь  $G^{(k)}, v^{(k)}$  в (18) на значения (при  $T = 0$ )

$$\bar{G}^{(k)} = \frac{\sigma_i^{(k)}}{3\epsilon_i^{(k)}}, \quad \bar{v}^{(k)} = \frac{1/2 - (1 - 2v^{(k)})\sigma_i^{(k)} / (3E^{(k)}\epsilon_i^{(k)})}{1 + (1 - 2v^{(k)})\sigma_i^{(k)} / (3E^{(k)}\epsilon_i^{(k)})}, \quad 0 \leq k \leq K, \quad (32)$$

где  $\sigma_i^{(k)}, \epsilon_i^{(k)}$  — интенсивности напряжений и деформаций в  $k$ -й фазе композиции, известные из решения на предыдущей итерации (на первой итерации все материалы предполагаются линейно-упругими).

**Замечание 3.** Насколько известно авторам, впервые модель механического поведения грунта, армированного пространственной георешеткой, была разработана в [5]. Построенная в [5] модель отличается от предложенной в настоящей работе тем, что вместо (10) (четвертая гипотеза) в [1, 5] использовано более сильное допущение

$$\bar{\epsilon}_0 = \bar{\epsilon}_k = \bar{\epsilon}, \quad 1 \leq k \leq K \quad (33)$$

(в этом случае равенство (10) в силу (5) выполняется тождественно). При этом из (23) с учетом (33) имеем

$$\bar{\epsilon}_k = D_k^{-1}\bar{\epsilon}_k = D_k^* \bar{\epsilon} \quad (1 \leq k \leq K), \quad (34)$$

где  $D_k^{-1} = D_k^*$ , так как  $D_k$  является матрицей ортогональных преобразований [6]. После подстановки (33), (34) в (12) получим

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}^* A \bar{\epsilon} / 2 - \bar{\epsilon}^* A \bar{\alpha} T + f(T) &= \Omega [\bar{\epsilon}^* A_0 \bar{\epsilon} / 2 - \bar{\epsilon}^* A_0 \bar{\alpha}_0 T + f_0(T)] + \\ &+ \omega_\beta [\bar{\epsilon}^* D_\beta A_\beta D_\beta^* \bar{\epsilon} / 2 - \bar{\epsilon}^* D_\beta A_\beta \bar{\alpha}_\beta T + f_\beta(T)]. \end{aligned} \quad (35)$$

Это равенство должно выполняться при любых  $\bar{\epsilon}, T$ , поэтому из него следует

$$A = \Omega A_0 + \omega_\beta D_\beta A_\beta D_\beta^*, \quad A \bar{\alpha} = \Omega A_0 \bar{\alpha}_0 + \omega_\beta D_\beta A_\beta \bar{\alpha}_\beta. \quad (36)$$

(Третье равенство, вытекающее из (35), связывает между собой функции  $f(T), f_0(T), f_k(T)$  ( $1 \leq k \leq K$ ) и в рамках настоящего исследования не представляет интереса.) Равенства (36) при соответствующих переобозначениях совпадают с соотношениями, полученными в [1, 5]. Недостатком равенств (36) является то, что они получены на основе допущений (33), при которых не выполняются статические условия сопряжения (7), (13) на лицевых сторонах контакта  $k$ -го армирующего элемента с грунтом (кинематические условия (8), (14) выполняются тождественно). Кроме того, если все фазовые материалы изотропны (компоненты матриц  $A_0, A_k$  и векторов  $\bar{\alpha}_0, \bar{\alpha}_k$  определяются равенствами (17), (18)),

то из (36) следует, что при любых структурах армирования ячейки моделируемый геокомпозит будет квазизотропным:

$$A = \Omega A_0 + \omega_\beta A_\beta, \quad A\bar{\alpha} = \Omega A_0 \bar{\alpha}_0 + \omega_\beta A_\beta \bar{\alpha}_\beta, \quad (37)$$

так как для изотропных армирующих элементов  $D_k A_k D_k^* = A_k$ ,  $D_k \bar{\alpha}_k = \bar{\alpha}_k$  в силу ортогонального преобразования, определяемого матрицей  $D_k$ . Однако очевидно, что геокомпозит может обладать квазизотропными эффективными характеристиками лишь в исключительных случаях, причем только в плоскости  $x_1, x_2$  (монотропный материал), например, когда в плоскости  $x_1, x_2$  георешетка представляет собой шестигранные соты со специальными подобранными толщинами  $\delta_k$  армирующих элементов представительного элемента. Соотношения (37) также являются недостатком модели, предложенной в [1, 5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев С. А. Армированные дорожные конструкции: моделирование и расчет / С. А. Матвеев, Ю. В. Немировский.— Новосибирск: Наука, 2006.— 348 с.
2. Новацкий В. Теория упругости/В. Новацкий.— М.: Мир, 1975.— 872 с.
3. Малмайстер А. К. Сопротивление полимерных и композитных материалов / А. К. Малмайстер, В. П. Тамуж, Г. А. Тетерс.— Рига: Зинатне, 1980.— 572 с.
4. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести/Н. Н. Малинин.— М.: Машиностроение, 1968.— 400 с.
5. Матвеев С. А. Проектирование расчетной модели грунта, армированного объемной георешеткой/С. А. Матвеев, Ю. В. Немировский//Изв. вузов. Строительство.— 2002.— № 9.— С. 95–101.
6. Курош А. Г. Курс высшей алгебры/А. Г. Курош.— М.: Физматгиз, 1959.— 431 с.

© Немировский Ю. В., Янковский А. П., 2007

Получено после доработки 28.02.07

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.31 : 678.06

М. М. КОСУХИН, канд. техн. наук, доц., Н. А. ШАПОВАЛОВ, д-р техн. наук, проф., Ю. В. ДЕНИСОВА, инж. (Белгородский государственный технический университет)

### ВИБРОПРЕССОВАННЫЕ БЕТОНЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Проведены исследования по изучению пластифицирующих добавок различного состава и строения, их влиянию на физико-механические и эксплуатационно-технические свойства вибропрессованных бетонов.

Проведена сравнительная оценка нового резорцинформальдегидного суперпластификатора с известными пластифицирующими добавками на основе лигносульфонатов и суперпластификаторов С-3 на основе нафтилинформальдегидных олигомеров. Показано, что исследуемый суперпластификатор является наиболее эффективным не только с точки зрения пластифицирующей способности и физико-механических свойств бетона, но и с точки зренияfungицидных свойств.

В настоящее время при использовании добавок актуальным является не только повышение физико-механических показателей бетонов, но и увеличение биологической стойкости таких изделий, особенно при воздействии агрессивных сред. Если исследованию пластифицирующих до-

бавок посвящено большое количество работ, то одновременное изучение их фунгицидных свойств рассмотрено недостаточно [1].

Цель данной работы — изучение пластифицирующих добавок различного состава и строения. Было выбрано три типа добавок: добавка ЛМГ — на основе лигносульфонатов (ТУ 5870-096-46854090-99); суперпластификатор С-3 — на основе нафталин-формальдегидных олигомеров (ТУ 6-36-020429-635) [5, 6]; суперпластификатор СБ-3 — на основе резорцин-формальдегидных олигомеров (ТУ 24.211-80) [7].

Исследования проводили на вибропрессованных мелкозернистых и тяжелых бетонах с использованием следующих сырьевых материалов: цемент ПЦ500ДО ЗАО «Белгородский цемент» ( $\rho_u = 3120 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_i = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ); песок кварцевый Нижне-Ольшанского карьера ( $M_k = 1,5$ ); песок природный крупный Вяземского карьерауправления ( $M_k = 2,5$ ); щебень гранитный фр. 5–10 мм и фр. 5–20 мм ( $\rho_u = 2670 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_i = 1350 \text{ кг}/\text{м}^3$ ).

Таблица 1  
Влияние добавок на подвижность цементного теста  
и на водопотребность бетонной смеси

Наименование показателей	Добавка		
	ЛМГ	СБ-3	С-3
Количество добавки, $C_{\text{опт}}$ , %	0,3	0,35	0,45
Водоцементное отношение $B/\bar{C}_{\text{опт}}$	0,39	0,31	0,34
Жесткость, $J_{\text{опт}}$ , с	50	50	50
Площадь расплыва мини-конуса, $d_{\text{max}}$	121	175	161
Сокращение воды, $W_{\text{max}}$ , %	25	35	25

Исследование пластифицирующих способностей добавок выявило, что СБ-3 обладает большей пластифицирующей способностью, которая позволяет в большей степени снизить количество воды затворения для равноподвижных бетонных смесей (табл. 1).

Большая пластифицирующая эффективность добавки СБ-3 обусловлена тем, что гидрофильными группами в СБ-3 являются ароматические оксигруппы, обладающие наибольшей полярностью и гидрофилизирующими способностью.

Таблица 2  
Влияние добавок на прочность бетона

Прочность бетона после ТВО, МПа		Прочность бетона через 28 сут, МПа	
B26,5	B30	B26,5	B30
С добавкой СБ-3 (0,35% по массе сухого вещества; экономия цемента 15%)			
30,9	32,7	34,8	36,7
С добавкой ЛМГ(0,3% по массе сухого вещества; экономия цемента 10%)			
27,7	31,3	32,8	34,6
С добавкой С-3 (0,45% по массе сухого вещества; экономия цемента 10%)			
28,3	31,8	33,2	34,9

Изучение физико-механических характеристик вибропрессованных бетонов (ГОСТ 10180-90) показало, что добавка СБ-3 наиболее эффективна и позволяет сократить до 15% цемента без потери прочности, тогда как применение добавок С-3 и ЛМГ способствует сокращению только 10% цемента (табл. 2).

Использование СБ-3 позволяет улучшить и другие физико-механические показатели: морозостойкость (ускоренный метод в 5%-м растворе  $\text{NaCl}$ ); истираемость; водопоглощение; пористость (табл. 3). Это связано

Таблица 3  
Физико-механические показатели  
вибропрессованного бетона

Класс бетона	Добавка	Морозостойкость, циклы	Водопоглощение, %	Пористость, %	Истираемость, г/см <sup>2</sup>
B26,5	ЛМГ	200	5,5	9,4	0,56
	СБ-3	400	3,7	8,9	0,33
	С-3	200	4,8	9,1	0,48
B30	ЛМГ	200	5,8	11,9	0,57
	СБ-3	400	5,1	11,7	0,46
	С-3	200	5,4	11,9	0,50

тона с добавкой СБ-3 за счет уменьшения водоцементного отношения, а также эффективностью добавки СБ-3, обладающей большей пластифицирующей способностью. Истираемость вибропрессованного бетона классов В30 и В26,5 соответствует требуемому значению (не более 0,7 г/см<sup>2</sup>) как с добавками ЛМГ и С-3, так и с добавкой СБ-3. Однако с добавкой СБ-3 истираемость бетона для классов В26,5 и В30 меньше, чем с добавками ЛМГ и С-3, что объясняется более плотной и однородной структурой материала. Результаты испытаний вибропрессованных бетонов на морозостойкость показали, что они с добавкой СБ-3 выдержали 400 циклов при переменном замораживании и оттаивании, при этом потери массы и прочности меньше, чем у бетонов с добавками ЛМГ и С-3 после 200 циклов.

Для исследования добавок на фунгицидные свойства (ГОСТ 9.803-88) изучались биоповреждения строительных материалов с добавкой фунгицидов и без них под действием плесневых грибов, а также пластифицирующие добавки различного состава и строения на наличие фунгицидных свойств.

Определение грибостойкости проводили по ГОСТ 9.048-89, метод Б, который устанавливает у материала наличие фунгицидных свойств. Сущность метода Б заключается в том, что материал заражают спорами плесневых грибов в растворе минеральных солей с добавлением сахара (среда Чапека — Докса). Обработка результатов выявляла наличие у образцов фунгицидных свойств по степени развития плесневых грибов по шестибалльной шкале.

Для определения фунгицидных свойств суперпластификаторов и грибостойкости бетона исследовали споры плесневых грибов *Aspergillus niger* [2-4]. Результаты испытаний цементных образцов с добавками СБ-3, С-3, ЛМГ показали, что оценка по шестибалльной шкале (образец/среда) для ЛМГ (0,3% по массе сухого вещества) составляет 4/4-5 балла, для С-3 (0,4%) — 0-1/1-2, а для СБ-3 (0,35%) — 0/0 баллов. Таким образом, добавка СБ-3 снижает и предотвращает рост плесневых грибов [8].

Исследования фунгицидных свойств добавок показали, что ЛМГ не препятствует жизнедеятельности бактерий, в то время как СБ-3 активно подавляет их рост [2-4]. Это наглядно проявляется на графике зависимости pH водной вытяжки из бетонов, зараженных спорами плесневых грибов, с течением времени (рис. 1).

Как видно, при использовании добавки ЛМГ жизнедеятельность бактерий приводит к смещению значения pH в кислую область, что ведет к снижению биоцидных свойств бетона. Это обусловлено тем, что основой строения добавки ЛМГ являются лигносульфонаты, которые служат питательной средой для роста плесневых грибов.

Суперпластификатор С-3 проявляет слабые фунгицидные свойства, его введение вызывает незначительное возрастание pH по сравнению с

с получением более плотной структуры бетона и улучшением характеристик порового пространства.

Как видно из табл. 3, применение добавки СБ-3 позволяет получать вибропрессованные бетоны класса В26,5 с пористостью, меньшей на 5%, а класса В30 — меньшей на 2% по сравнению с аналогичными бетонами с добавками ЛМГ и С-3. Это объясняется более плотной структурой такого бетона.

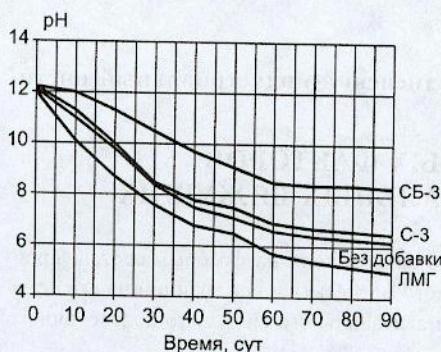


Рис. 1. Зависимость изменения pH водной вытяжки из бетонов с течением времени

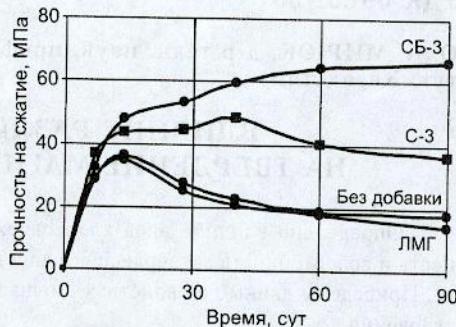


Рис. 2. Изменение прочности цементных образцов во времени с различными добавками (образцы заражали спорами плесневых грибов)

контрольным образцом, в то время как СБ-3 в значительной мере предотвращает рост бактерий. Также видно, что введение суперпластификатора СБ-3 резко снижает падение pH во времени, что обусловлено наличием резольных групп в составе данной добавки. Такое изменение pH позволяет сделать вывод о проявлении фунгицидных свойств добавки СБ-3. Это приводит к различному изменению прочности во времени для бетонов, зараженных спорами плесневых грибов (рис. 2).

Как видно из представленного графика, для ЛМГ с течением времени наблюдается значительный спад прочности. Прочность образцов с добавкой С-3 снижается незначительно.

В то же время образцы с добавкой СБ-3 показывают устойчивый рост прочности бетона во времени, что обусловлено меньшим воздействием биокоррозии на бетоны с СБ-3 и согласуется с данными по гибкости.

Таким образом, проведенные исследования показали, что суперпластификаторы на основе резорцинальдегидных олигомеров являются наиболее эффективными не только с точки зрения их пластифицирующей способности, но и с точки зрения их фунгицидных свойств [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны / В. Г. Батраков. — М.: Стройиздат, 1990.
2. Биоповреждения / Под ред. В. Д. Ильинова. — М.: Высш. шк., 1987. — 352 с.
3. Биоповреждения материалов и защита от них / Под ред. И. В. Старостина. — М.: Наука, 1987. — 232 с.
4. Каневская И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Каневская. — Л.: Наука, 1984. — 232 с.
5. Рекомендации по физико-химическому контролю состава и качества суперпластификатора С-3. — М.: НИИЖБ Госстроя, 1984.
6. Рекомендации по применению суперпластификаторов для бетонов СБ-3 и СБ-5. — Белгород, 1986. — 20 с.
7. Шаповалов Н. А. Строение суперпластификатора для бетонов на основе резорцина / Н. А. Шаповалов, В. А. Ломаченко // Совершенствование химии и технологии строительных материалов: Сб. науч. тр. — М.: МИСИ, БТИСМ, 1984.
8. Пат. № 2235695, МПК 7 C04B28/00 // (C04B28/00, 24:00), 103:69. Фунгицидный модификатор минеральных строительных композиций / И. В. Шаповалов, Л. Ю. Огрель, М. М. Косухин, В. И. Павленко, Ю. В. Попова, Н. А. Шаповалов, А. А. Слюсарь. — Заявл. 7.10.2002; Опубл. 10.09.2004. — Бюл. № 25.

© Косухин М. М., Шаповалов Н. А., Денисова Ю. В., 2007

Получено 20.02.07

О. А. МИРЮК, д-р техн. наук, проф. (Рудненский индустриальный институт, Казахстан)

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТВЕРДЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Определено влияние вида хлорсодержащего затворителя на фазовый состав, прочность и водостойкость затвердевшего каустического магнезита и композиций на его основе. Приведены данные о свойствах смешанного магнезиального вяжущего долгосрочного твердения.

Своеобразие магнезиальных вяжущих проявляется в использовании растворов солей для затворения; активном участии оксида магния в гидратообразовании; сложном составе гидратных соединений; интенсивном твердении, высокой прочности и износостойкости камня вяжущего.

Твердение магнезиальных вяжущих весьма чувствительно к целому ряду факторов, выявление которых позволит направленно изменять технические характеристики магнезиальных материалов.

Цель работы — исследование влияния характеристик затворителя и условий твердения на фазовый состав и свойства камня магнезиальных вяжущих.

В экспериментах использовались: каустический магнезит ПМК-87, растворы  $MgCl_2$  и  $HCl$  (затворители), отходы обогащения скарново-магнетитовых руд (минеральная добавка). Физико-механические характеристики вяжущих определялись на образцах размером  $20 \times 20 \times 20$  мм, изготовленных из теста нормальной густоты. Фазовый состав затвердевших материалов оценивался с помощью дифрактометрического метода анализа.

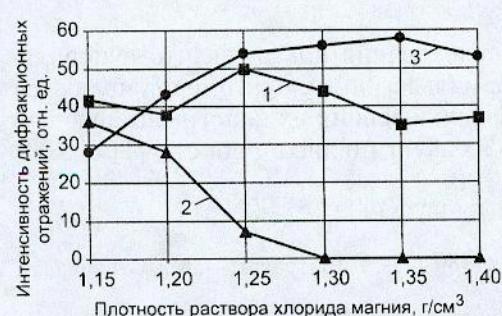


Рис. 1. Влияние плотности затворителя на фазовый состав камня каустического магнезита (7 сут)

1 —  $MgO$ ; 2 —  $Mg(OH)_2$ ;  
3 —  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$

камня (табл. 1). В составе вяжущего, затворенного растворами повышенной плотности (1,35 и 1,40 г/см<sup>3</sup>), идентифицирован тригидрооксихлорид магния  $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$  («3 — форма») — гидрат, более насыщенный хлоридом магния, образованный при перекристаллизации небольшой части «5 — формы».

В исследуемых материалах не прослеживается четкой зависимости между степенью гидратации  $MgO$  и концентрацией раствора  $MgCl_2$ ; между количеством гидратированного  $MgO$  и активностью вяжущего. Показатели прочности каустического магнезита возрастают в 3–4 раза по мере увеличения плотности раствора  $MgCl_2$  от 1,15 до 1,35 г/см<sup>3</sup>. При более высокой концентрации соли в затворителе ран-

Повышение плотности раствора  $MgCl_2$  в пределах 1,15–1,40 г/см<sup>3</sup> для каустического магнезита (рис. 1) ограничивает или полностью исключает образование  $Mg(OH)_2$ ; обеспечивает рост содержания пентагидрооксихлорида магния  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$  («5 — форма»), который преобладает в составе кристаллогидратов при использовании растворов плотностью 1,25–1,40 г/см<sup>3</sup>. Значительная доля «5 — формы» образуется в ранние сроки, обеспечивая высокие темпы твердения

Таблица 1

**Влияние плотности затворителя на прочностные показатели каустического магнезита**

Плотность раствора $MgCl_2$ , г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
	1	7	28
1,15	15	21	41
1,20	20	47	65
1,25	36	74	61
1,30	47	82	107
1,35	54	91	118
1,40	44	102	87

Таблица 2

**Влияние состава затворителя на прочность и водостойкость камня каустического магнезита**

Состав затворителя	Предел прочности при сжатии, МПа, после твердения			
	Раствор $MgCl_2$ плотностью 1,20 г/см <sup>3</sup>	Раствор HCl плотностью 1,05 г/см <sup>3</sup>	на воздухе	
			7 сут	14 сут
	100	0	48	65
	70	30	34	43
	50	50	35	37
	30	70	31	38
	0	100	25	32

	в воде		Разрушены	Трешины
	7 сут	14 сут		
			15	13
			14	14
			14	14

нее твердение менее интенсивно, а в возрасте 28 сут наблюдается спад прочности камня, вызванный перекристаллизацией «5 – формы» в «3 – форму».

Предпочтительность раствора  $MgCl_2$  для затворения магнезиальных вяжущих обусловлена значительной скоростью твердения и высокой прочностью камня. Однако наряду с растворами солей рекомендуют затворять вяжущие растворами кислот HCl и  $H_2SO_4$  [1], которые, по данным [2], способствуют повышению водостойкости материала. Для исследования влияния состава затворителя использовали раствор  $MgCl_2$  плотностью 1,25 г/см<sup>3</sup> и комплексный раствор (раствор  $MgCl_2:HCl:H_2O = 2:1:1$ , объемные части).

Использование комплексного раствора для каустического магнезита сопровождается повышением степени гидратации  $MgO$  на 2–6%, усиливающимся при твердении образцов в воде; сокращением на 28% содержания пентагидрооксихлорида магния и отсутствием этой фазы в камне водного твердения; образованием  $Mg(OH)_2$  в затвердевшем вяжущем; снижением прочности камня на 30% за счет уменьшения доли  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ .

Независимо от состава затворителя образцы, помещенные в воду, растрескиваются в первые сутки и становятся непригодными для испытаний. Пребывание образцов в воде вдвое снижает содержание исходного  $MgO$ ; обеспечивает образование значительного количества  $Mg(OH)_2$ , в том числе в камне на основе раствора  $MgCl_2$ ; приводит к распаду почти половины массы гидратного комплекса  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ .

Сравнение характеристик каустического магнезита, затворенного растворами различных составов, показало, что темпы снижения прочности камня непропорциональны уменьшению концентрации  $MgCl_2$ . Образцы, полученные с использованием раствора HCl, проявляют повышенную устойчивость в воде. По данным дифрактометрического анализа, в камне состава 2 (табл. 2), твердевшем на воздухе 28 сут, основным кристаллогидратом является  $Mg(OH)_2$ ; содержание «5 – формы» весьма незначительно; сохраняется до 30% несвязанного  $MgO$ . В образцах такого вяжущего, хранившихся в воде, содержание кристаллов  $Mg(OH)_2$  возрастает в 2,5 раза за счет полной гидратации  $MgO$  и распада «5 – формы». Темпы твердения, прочность и устойчивость камня вяжущего, пребывающего в различных средах, определяются соотношением количества гидратов  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$  и  $Mg(OH)_2$ . Ограниченнное содержание  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$  при активном образовании  $Mg(OH)_2$ , уплотняю-

щего структуру материала, способствует сохранению целостности камня в воде.

Высокая активизирующая способность магнезиальных вяжущих по отношению к многочисленному ряду веществ послужила основой для разработки композиций из каустического магнезита и минерального компонента — отходов обогащения скарново-магнетитовых руд [3]. Исследования влияния техногенного компонента и отдельных его минералов выявили следующие особенности смешанных вяжущих по сравнению с каустическим магнезитом: снижение расхода затворителя на 40–50%; замедление темпов раннего твердения при сопоставимой или превосходящей контрольные показатели прочности камня в 7–28 сут и более поздние сроки; повышенная водостойкость камня. Для гидратообразования смешанного вяжущего характерно: повышение активности  $MgO$  и увеличение степени его преобразования в гидрооксихлориды магния; преобладание в составе кристаллогидратов пентагидрооксихлорида магния; возможность образования гидрооксихлоркарбоната магния  $Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 2MgCO_3 \cdot 6H_2O$ . Выявлено, что гидрооксихлоркарбонат магния формируется при ограниченном содержании  $MgO$  в вяжущем и увеличении плотности раствора  $MgCl_2$ . Отмечена зависимость процессов образования пентагидрооксихлорида и гидрооксихлоркарбоната магния, исключающая одновременное увеличение содержания гидратных комплексов и предполагающая их взаимные превращения.

Повышение плотности раствора  $MgCl_2$  интенсифицирует гидратацию  $MgO$ , усиливает гидролитический распад минералов техногенного компонента, увеличивает долю гидрооксихлоридных комплексов.

Исследованы смешанные вяжущие, затворенные раствором  $MgCl_2$  плотностью 1,25 г / см<sup>3</sup> и твердевшие в различных средах в течение 5 лет. Стабильное увеличение прочности материала воздушного свидетельствует о продолжающихся во времени процессах формирования структуры. По данным дифрактометрического анализа, кристаллическую основу камня образуют гидрооксихлоридные комплексы, сформированные на начальных этапах гидратации (рис. 2). Наличие до 20% свободного  $MgO$

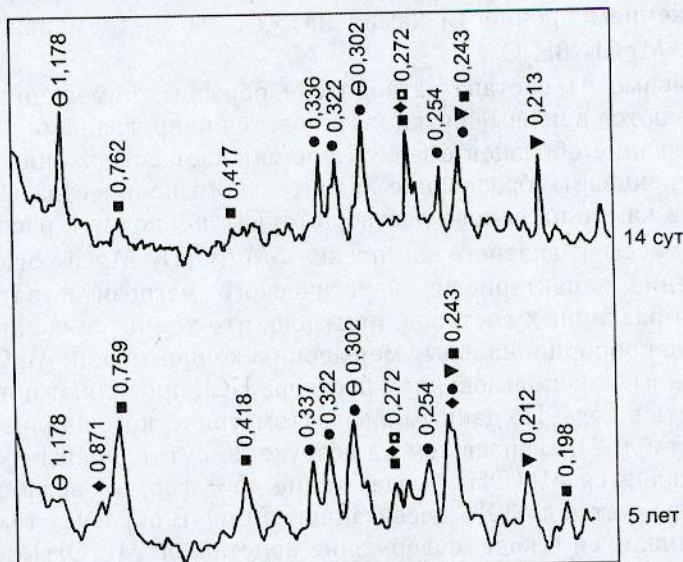


Рис. 2. Дифрактограммы смешанного вяжущего различных сроков воздушного твердения

▼ —  $MgO$ ; ● — минералы техногенного компонента;  
■ —  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ ; ♦ —  $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ ;  
⊖ —  $Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 2MgCO_3 \cdot 6H_2O$

указывает на неполную реализацию вяжущих свойств компонента, который является ресурсом для дальнейшего гидратообразования.

Значения прочности образцов долгосрочного водного твердения составили 30% показателей такого вяжущего в возрасте 28 сут на воздухе. В камне содержится  $Mg(OH)_2$ , образованный при распаде значительного количества гидратных комплексов; сохраняется до 5–10% исходного  $MgO$  (рис. 3). Появление дифракционных отражений, например,  $d = 0,222; 0,246; 0,350; 0,371$  нм указывает на присутствие гидросиликатов магния.

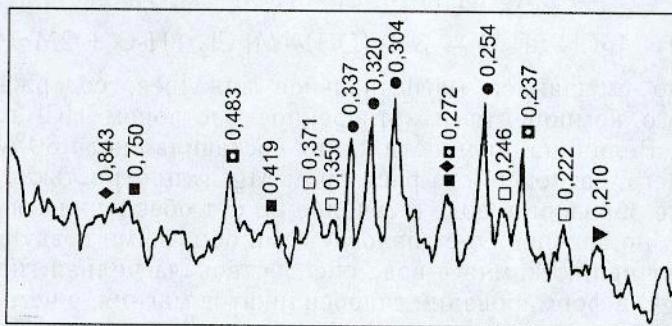


Рис. 3. Дифрактограмма смешанного вяжущего длительного водного твердения (5 лет)

- ▼ —  $MgO$ ; ● — минералы техногенного компонента;
- —  $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ ; ♦ —  $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ ;
- —  $3Mg(OH)_2$ ; □ — гидросиликаты магния

Замена раствора хлорида магния комплексным затворителем (раствор  $MgCl_2 : HCl : H_2O = 2:1:1$ , объемные части) для смешанного вяжущего сопровождается: замедлением гидратации  $MgO$  в начальный период твердения; формированием  $Mg(OH)_2$  в камне вяжущего; образованием количества гидрооксихлоридных комплексов, сопоставимого с содержанием этих фаз в смешанном вяжущем, затворенном раствором  $MgCl_2$ ; формированием прочного камня, не уступающего по показателям вяжущему на традиционном затворителе (рис. 4).

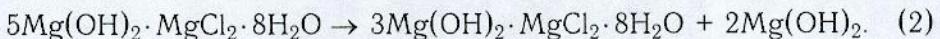
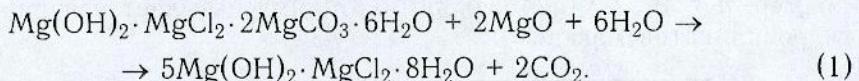
Пребывание образцов затвердевшего смешанного вяжущего в воде вызывает ускорение гидратации  $MgO$  и завершение процесса к 28-м сут-

Изменение показателей, отн. ед.	$MgO$									
	M	K	M	K	M	K	M	K	M	K
Показатели	Воздух		Воздух		Вода		Воздух		Вода	
	3 сут		14 сут		28 сут		3 сут		14 сут	
	M	K	M	K	M	K	M	K	M	K

Рис. 4. Влияние вида затворителя на состав и прочность камня смешанного вяжущего в различных условиях твердения

M — раствор хлорида магния; K — комплексный раствор

кам твердения. При этом в составе камня резко возрастает количество брусила и уменьшается доля пентагидрооксихлорида магния. Гидрооксихлоркарбонат магния  $Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 2MgCO_3 \cdot 6H_2O$ , проявляющий повышенную чувствительность к изменению концентрации соли в затворителе, неустойчив в воде и разрушается с выделением дополнительного количества пентагидрооксихлорида магния, который частично преобразуется в тригидрооксихлорид магния:



Изучено смешанное магнезиальное вяжущее, содержащее 50% техногенного компонента и затворенное раствором HCl плотностью 1,05 г / см<sup>3</sup>. Величина прочности камня составила около 30% показателей вяжущего, затворенного раствором  $MgCl_2$  плотностью 1,20 г / см<sup>3</sup>. Пребывание образцов в воде в течение 60 сут обеспечило рост прочности на 40% по сравнению с аналогичными образцами воздушного твердения. Упрочнению камня в воде способствовала полная гидратация и участие  $MgO$  в формировании гидросиликатов магния, о чем свидетельствуют снижение интенсивности дифракционных отражений минералов техногенного компонента и неизменность рефлексов  $Mg(OH)_2$  на дифрактограммах вяжущего с различной степенью гидратации  $MgO$ .

Трудно растворимые преимущественно аморфные новообразования вкупе с кристаллами магниевых гидратов и минералами техногенного компонента формируют гелекристаллическую водостойкую структуру.

**Выводы.** Изменение состава хлорсодержащего затворителя магнезиальных вяжущих влияет на гидратационную активность оксида магния, процессы гидратообразования, прочность камня. Характер влияния вида затворителя определяется составом вяжущего и условиями твердения. Добавление минерального компонента, пребывание в водной среде способствуют более полной гидратации оксида магния.

Присутствие в затворителе раствора соляной кислоты активизирует гидратацию оксида магния, увеличивает число гидратов за счет брусила, повышающего устойчивость структуры камня к деформациям.

Увеличение концентрации хлорида магния в затворителе обеспечивает формирование гидрооксихлоридных комплексов, интенсивно упрочняющих камень вяжущего.

Пентагидрооксихлорид магния — доминирующий кристаллогидрат, образующийся при повышенной концентрации хлорида магния; проявляет стабильность при длительном твердении. Устойчивость гидрата в водной среде зависит от состава вяжущего и затворителя, длительности воздействия воды. Значительное содержание пентагидрооксихлорида магния при отсутствии или ограниченном количестве слабо закристаллизованных и аморфных образований повышает уязвимость кристаллической структуры камня к воздействию воды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашенко А. А. Вяжущие материалы / А. А. Пашенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская.— Киев: Вища школа, 1975.— 444 с.
2. Философов П. П. Местные доломитовые вяжущие вещества / П. П. Философов.— М.: Стройиздат, 1984.— 92 с.
3. Мирюк О. А. Вяжущие вещества из техногенного сырья / О. А. Мирюк, И. С. Ахметов.— Рудный: РИИ, 2002.— 250 с.

© Мирюк О. А., 2007

Получено 16.02.07

И. И. ГОРЮНОВ, канд. техн. наук, доц., А. А. АЛЕШКОВСКАЯ, Е. М. ЧЕБОТАЕВА, аспиранты (Московский государственный строительный университет)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ, МАКСИМИЗИРУЮЩИХ ВЫХОД ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА ПРИ ОБЖИГЕ ГИПСА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Приведены результаты аналитического исследования оптимальных условий, обеспечивающих максимальный выход полугидрата гипса в процессе его обжига в агрегате кипящего слоя. Получены расчетные уравнения для нахождения оптимального времени пребывания сырья в реакционном пространстве агрегата.

Для однозначного определения состава конечного продукта обжига гипса необходимо задание содержания двух ключевых компонентов, в качестве которых можно выбрать дву- и полугидрат. Стационарный режим печи кипящего слоя можно представить системой уравнений

$$C_{\text{д}}^{(0)} - C_{\text{д}} - \tau \kappa_1 C_{\text{д}} = 0; \quad (1)$$

$$C_{\text{n}}^{(0)} - C_{\text{n}} + \tau (\kappa_1 C_{\text{д}} - \kappa_2 C_{\text{n}}) = 0, \quad (2)$$

в результате решения которой находим:

$$C_{\text{д}} = C_{\text{д}}^{(0)} / (1 + \tau \kappa_1); \quad (3)$$

$$C_{\text{n}} = [C_{\text{n}}^{(0)} + \tau \kappa_1 (C_{\text{д}}^{(0)} + C_{\text{n}}^{(0)})] / (1 + \tau \kappa_1)(1 + \tau \kappa_2). \quad (4)$$

В частном случае  $C_{\text{n}}^{(0)} = 0$  из уравнения (4) получим

$$C_{\text{n}} = C_{\text{д}}^{(0)} \tau \kappa_1 / (1 + \tau \kappa_1)(1 + \tau \kappa_2). \quad (5)$$

Из рисунка, на котором показано изменение концентраций твердых фаз сульфата кальция в зависимости от продолжительности обжига гипса, видно, что при достаточно малом значении  $C_{\text{n}}^{(0)}$  функция  $C_{\text{n}}(\tau)$  имеет максимум, что является характерным признаком процесса обжига гипса [1, 2].

Полученные уравнения для определения состава конечного продукта обжига позволяют также аналитически определить величину  $\tau_{\text{опт}}$ , соответствующую максимально му значению содержания целевого продукта обжига  $C_{\text{n}}$ .

Принимая во внимание формулу (5), характеризующую величину  $C_{\text{n}}$  на выходе печи, будем иметь следующее выражение для критерия оптимальности:

$$J = C_{\text{n}} = C_{\text{д}}^{(0)} \tau \kappa_1 / (1 + \tau \kappa_1)(1 + \tau \kappa_2), \quad (6)$$

дифференцированием которого по времени  $\tau$  и температуре обжига  $T$  находим систему уравнений, определяющую оптимальные условия процесса:

$$\partial J / \partial \tau = \kappa_1 C_{\text{д}}^{(0)} (1 - \tau^2 \kappa_1 \kappa_2) / [(1 + \tau \kappa_1)(1 + \tau \kappa_2)]^2 = 0; \quad (7)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \tau} = (\tau \kappa_1 C_d^{(0)} / R_r T^2) [E_1(1 + \tau \kappa_2) - E_2 \tau \kappa_2 (1 + \tau \kappa_1)] / [(1 + \tau \kappa_1)(1 + \tau \kappa_2)]^2 = 0. \quad (8)$$

Эта система уравнений эквивалентна следующей:

$$1 - \tau^2 \kappa_1 \kappa_2 = 0; \quad (9)$$

$$E_1(1 + \tau \kappa_2) - E_2 \tau \kappa_2 (1 + \tau \kappa_1) = 0. \quad (10)$$

Из уравнения (9) можно вывести формулу для нахождения оптимального времени пребывания сырья в реакционном пространстве печи кипящего слоя при заданном значении температуры:

$$\tau_{\text{опт}} = (\kappa_1 \kappa_2)^{-0.5}. \quad (11)$$

Подставляя выражение (11) в уравнение (10), после преобразований получим

$$E_1 = E_2. \quad (12)$$

Этот результат означает, что совместного решения уравнений (9) и (10) не существует, и следовательно, абсолютный экстремум у функции  $J$ , определяемый выражением (6), отсутствует. Тем не менее для заданного значения времени пребывания  $\tau$  решение уравнения (10) может быть получено, что можно показать, записав его в виде

$$(1/\tau \kappa_2) + 1 = (E_2/E_1) / (1 + \tau \kappa_1). \quad (13)$$

Очевидно, что левая часть уравнения (13) — убывающая положительная функция температуры, остающаяся больше единицы. Правая часть этого уравнения, напротив, является возрастающей функцией температуры, минимальное значение которой характеризуется отношением энергий активации. Таким образом, решение уравнения (13) в принципе может быть найдено.

Отсутствие абсолютного экстремума у критерия оптимальности (6), рассматриваемого как функция переменных  $\tau$  и  $T$ , означает, что его наибольшее значение следует искать на границе области допустимых значений этих переменных.

Из вида формулы (11) следует, что с возрастанием температуры обжига сырья оптимальное время пребывания  $\tau_{\text{опт}}$  уменьшается и, наоборот, с уменьшением температуры — увеличивается. Остается выяснить, когда возрастанию выхода полугидрата способствует повышение и когда снижение температуры. С этой целью подставим выражение для оптимального времени пребывания (11) в соотношение для критерия оптимальности (6), в результате чего критерий оптимальности можно рассматривать как функцию только температуры реакции:

$$J(T) = C_d^{(0)} [1 + (\kappa_1 / \kappa_2)^{0.5}]^{-2}. \quad (14)$$

Продифференцируем полученное выражение (14) по температуре:

$$dR(T)/dT = (C_d^{(0)} / R_r T^2) (\kappa_1 / \kappa_2)^{0.5} [1 + (\kappa_1 / \kappa_2)^{0.5}]^{-3} (E_1 - E_2). \quad (15)$$

Очевидно, что знак производной  $dR/dT$  совпадает со знаком разности  $(E_1 - E_2)$ . При этом, если  $E_1 > E_2$ , то

$$dR/dT > 0 \quad (16)$$

и, следовательно, выход полугидрата увеличивается при повышении температуры. Если же  $E_1 < E_2$ , то

$$dR/dT < 0 \quad (17)$$

и выход полугидрата возрастает при снижении температуры.

Таким образом, при заданных ограничениях на температуру обжига гипса

$$T_{\min} < T < T_{\max} \quad (18)$$

оптимальной будет температура  $T_{\max}$  при  $E_1 > E_2$  и  $T_{\min}$  при  $E_1 < E_2$ . Оптимальное время пребывания сырья в печи в этом случае рассчитывается по формуле (11). Если заданы ограничения на время пребывания:

$$\tau_{\min} < \tau < \tau_{\max}, \quad (19)$$

то время пребывания будет  $\tau_{\min}$  при  $E_1 > E_2$  и  $\tau_{\max}$  при  $E_1 < E_2$ . Оптимальная температура в этом случае определяется в результате решения уравнения (10).

Полученные результаты аналитического исследования позволяют вести оптимальное управление процессом обжига гипса практически для любого вида сырья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буров А. И. Технология строительных материалов и изделий / А. И. Буров. — М.: Выш. шк., 1982. — 464 с.
2. Балдин В. П. Производство гипсовых вяжущих веществ / В. П. Балдин. — М.: Выш. шк., 1983. — 136 с.

© Горюнов И. И., Алешковская А. А., Чеботаева Е. М., 2007

Получено 06.03.07

УДК 691.55

И. В. МОРЕВА, канд. техн. наук, В. В. МЕДЯНИК, канд. техн. наук, доц., (Казанский государственный архитектурно-строительный университет); Е. Н. САМОХИНА, асп., Ю. А. СОКОЛОВА, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Государственная академия профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиционной сферы, г. Москва)

#### СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО С КАРБОНАТСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ

Предлагается способ получения гипсового вяжущего с карбонатсодержащей добавкой, позволяющий замедлить сроки схватывания вяжущего без снижения прочности гипсового камня.

На свойства гипсовых композиций, структуру и долговечность гипсового камня на их основе оказывают влияние многочисленные факторы, в том числе и способ получения гипсового вяжущего. В отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературе приводится значительное количество способов, различающихся по виду тепловой обработки, составу сырьевой смеси, процедуре подготовки, совмещения компонентов и пр. [1, 2]. При этом воздействие на структуру и свойства может осуществляться на различных технологических переделах (рис. 1) за счет оптимизации тонкости помола, гранулометрии сырья и регулирования в соответствии с этим режимов тепловой обработки (ТО), а также выбором рациональной тонкости помола продуктов дегидратации. Кроме того, улучшать свойства гипсовых композиций и структуру гипсового камня на их основе можно введением минеральных и химических добавок.



Рис. 1. Основные направления регулирования физико-технических свойств гипсовых композиций при получении

вок либо их комплекса: перед ТО, в ее процессе и после. Однако наиболее целесообразным, на наш взгляд, является разумное сочетание существующих способов модификации структуры и свойств, что и стало предметом данного исследования.

В качестве объектов были выбраны гипсовый камень Камско-Устьинского месторождения Республики Татарстан (РТ) фракции до 5 мм и карбонатсодержащая добавка (КСД), полученная из шлама водоумягчения (ШВУ) Казанской ТЭЦ-1. Целесообразность применения для получения строительного гипса сырья данной фракции, оптимальные режимы получения вяжущего и количество КСД (5–15%), принятые для проведения экспериментальных исследований, были установлены ранее [3, 4].

Гипсовый камень (85–95%) с добавкой КСД (5–15%) подвергали ТО (температура 150°C, продолжительность 4,4 ч) с последующим помолом продукта дегидратации до средней тонкости по ГОСТ 125-79 (рис. 2). Анализ свойств полученного гипсового вяжущего показал, что использование данного способа позволяет замедлить сроки его схватывания без



Рис. 2. Технологическая схема получения гипсового вяжущего с карбонатсодержащей добавкой

снижения прочности гипсового камня: при введении 5–15% КСД сроки начала схватывания замедляются с 6 (строительный гипс без добавки) до 19–33 минут [5].

Методом рентгенофазового анализа (РФА) были исследованы строительный гипс из сырья фракции менее 5 мм и вяжущее, полученное ТО гипсового камня в присутствии добавки КСД. Рентгенографические исследования строительного гипса без добавки (рис. 3) показали наличие в

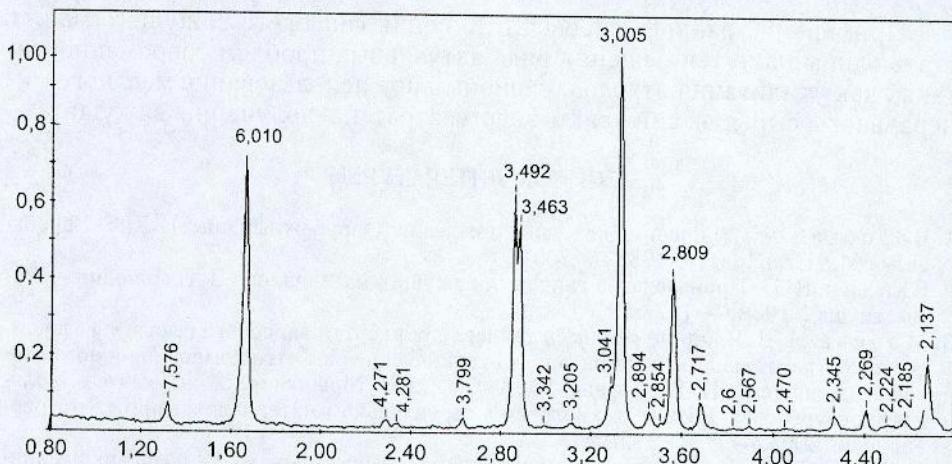


Рис. 3. Дифрактограмма гипсового вяжущего без добавки

нем преимущественно бассанита (дифракционные максимумы отвечают межплоскостным расстояниям 6,010; 3,463; 3,005; 3,041; 2,809; 2,717; 2,345; 2,269; 2,137 Å) с незначительными примесями двуgidрата (7,576; 3,799; 2,894 Å), природного ангидрита (3,492 Å) и доломита (2,894 Å). В составе гипсового вяжущего, полученного ТО гипсового камня совместно с КСД, идентифицируются преимущественно бассанит (дифракционные максимумы отвечают межплоскостным расстояниям 6,010; 4,355; 3,463; 3,005; 2,809; 2,717; 2,137 Å), в незначительных количествах примеси ангидрита (3,846; 3,492; 2,490; 2,094 Å), доломита (2,894 Å) и кальцита (3,034 Å), наличие которого обусловлено присутствием добавки (рис. 4). Отсутствие на рентгенограмме пиков двуgidрата позволяет предположить, что в присутствии КСД интенсифицируются процессы дегидратации и продукт ТО имеет более однородный фазовый состав. Кроме того, при получении вяжущего предлагаемым способом оказываются задействованными как термический, так и механохимический методы активации поверхности компонентов (ТО сырьевой смеси в присутствии наполнителя и последующий помол продукта дегидратации). Высокая удельная поверхность КСД позволяет использовать ее без предварительного помола и снизить энергозатраты на подготовку компонентов вяжущего.

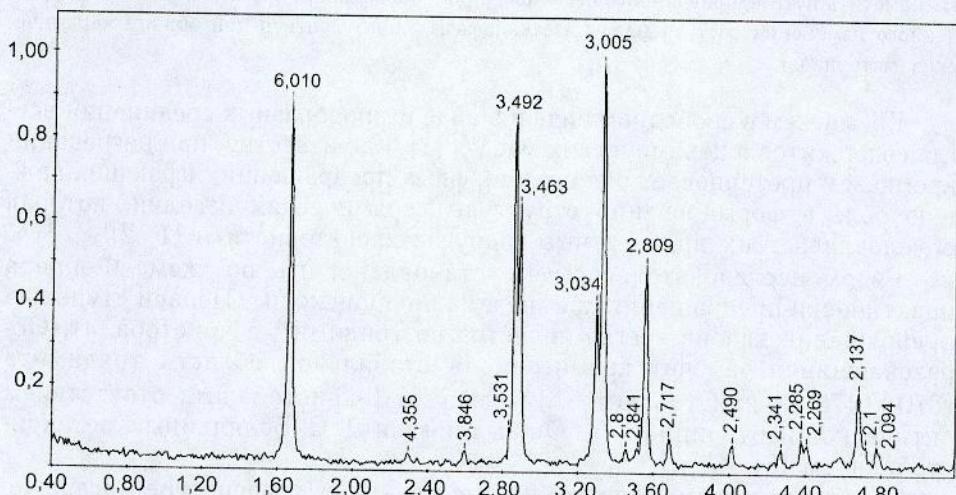


Рис. 4. Дифрактограмма гипсового вяжущего с карбонатсодержащей добавкой

Применение данного способа получения гипсового вяжущего может стать одним из путей решения ряда актуальных проблем современности, таких как утилизация отходов, рациональное использование местного минерального сырья и снижение энергозатрат на получение вяжущих.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Х. С. Гипсовые вяжущие и изделия: (зарубежный опыт) / Х. С. Воробьев.— М.: Стройиздат, 1983.— 200 с.
2. Балдин В. П. Производство гипсовых вяжущих материалов / В. П. Балдин.— М.: Высш. шк., 1988.— 167 с.
3. Морева И. В. Влияние режимов тепловой обработки гипсового сырья и фазового состава строительного гипса на физико-технические свойства композиционного гипсового вяжущего / И. В. Морева, Ю. А. Соколова: Междунар. сб. науч. тр. «Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении».— Новосибирск, 2005.— С. 12–15.
4. Морева И. В. Исследование влияния шлама водоумягчения ТЭЦ на физико-технические свойства строительного гипса / И. В. Морева, В. В. Медяник, Ю. А. Соколова и др. // Проблемы в проектировании объектов АПК России: сб. науч. тр.— ФГУП «НИИПИгпропромсельстрой».— Саратов, 2005.— С. 264–267.
5. Пат. РФ, № 2263641 С 04 В 11/02. Способ получения гипсового вяжущего / Ю. А. Соколова, И. В. Морева, В. В. Медяник и др.— Опубл. 10.11.05.— Бюл. № 31.

© Морева И. В., Медяник В. В., Самохина Е. Н., Соколова Ю. А., 2007

Получено 13.03.07

УДК 691.41 : 620.18

В. В. ШЕВАНДО, Е. В. ВДОВИНА, А. В. АБДРАХИМОВ, Д. Ю. ДЕНИСОВ,  
инженеры (ПК «НАУКА», г. Усть-Каменогорск, Казахстан);  
В. З. АБДРАХИМОВ, д-р техн. наук, проф., Е. С. АБДРАХИМОВА, канд. техн.  
наук, доц., И. В. КОВКОВ, инж. (Самарский государственный архитектурно-строительный университет)

#### ПОЛИМОРФНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ КВАРЦА В ГЛИНАХ РАЗЛИЧНОГО ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА

Отмеченные особенности модификационных превращений кварца находятся в прямой зависимости от химико-минералогического состава глинистых материалов и позволяют наметить пути направленного регулирования превращений кремнезема путем определенного изменения состава массы и стеклофазы, образующейся при обжиге керамических материалов.

Кремнезем в свободном виде и в виде разнообразных соединений всегда содержится в керамических массах [1]. Как известно, при нагревании кремнезем претерпевает ряд полиморфных превращений, играющих важную роль в формировании структуры керамических изделий, которая обусловливает их прочностные и другие характеристики [1, 2].

Рядом исследователей [1–4] установлено, что по схеме Феннера практически превращения кремнезема не происходит. Первой ступенью превращения кварца всегда является не тридимит, а кристобалит. Образовавшийся за счет кремнезема в стабильной области тридимита (870–1470°C) кристобалит отличается от β-кристобалита отсутствием оптической изотропии [5, 6]. Он был назван Д. С. Белянкиным метакристобалитом [6].

В литературе имеются различные данные о температуре превращения кварца в кристобалит при обжиге традиционных глин с добавками и

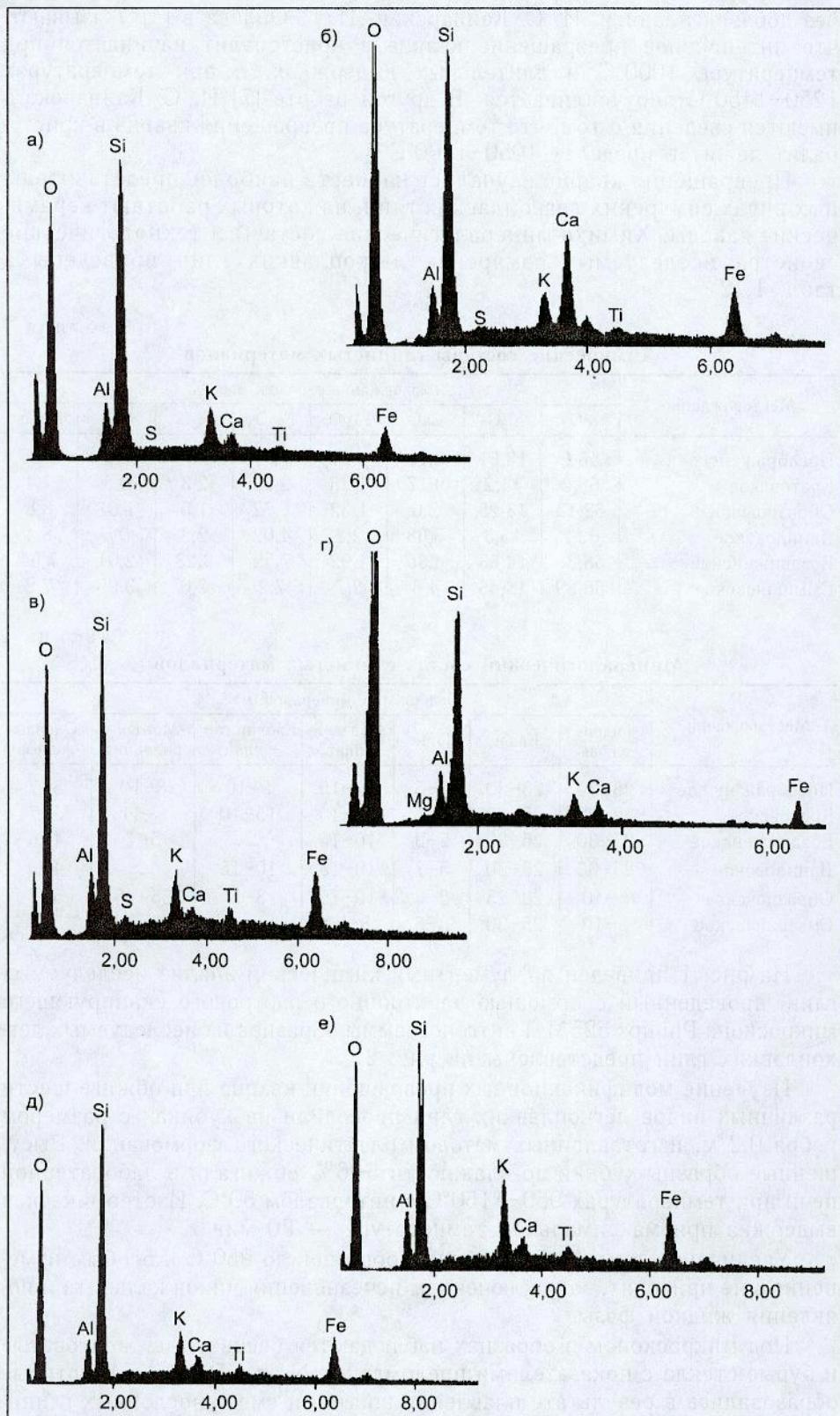


Рис. 1. Поэлементный химический анализ исследуемых глинистых материалов  
а — преображенская; б — кротовская; в — даниловская; г — воздвиженская; д — образцовская;  
е — смышляевская

без добавок плавней. И. С. Кайнарский, И. Г. Орлова в [4] указывают, что интенсивное превращение кварца в кристобалит начинается при температуре 1000°C и длительных выдержках, а при температурах 1250–1450°C оно усиливается. В другой работе [7] И. С. Кайнарского имеются сведения о том, что температура превращения кварца в кристобалит лежит в пределах 1050–1100°C.

Превращения кварца изучались на шести наиболее представительных видах самарских легкоплавких глин, на которых работают керамические заводы. Химико-минералогические составы и технологические свойства исследуемых самарских легкоплавких глин приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1  
Химические составы глинистых материалов

Месторождение	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	П.п.п.
Преображенское	56,6	18,81	6,18	2,21	7,01	4,34	0,1	4,26
Кротовское	56,2	14,2	9,17	1,25	9,92	2,3	0,3	7,4
Образцовское	62,13	13,25	2,0	1,32	5,72	1,5	1,01	8,8
Даниловское	62,2	15,3	5,68	2,2	4,02	2,8	0,5	8,4
Воздвиженское	58,38	14,63	4,35	1,92	7,52	3,23	2,01	7,64
Смышляевское	58,89	13,43	4,8	2,7	7,2	2,0	0,05	7,8

Таблица 2  
Минералогический состав глинистых материалов

Месторождение	Содержание минералов, мас. %						
	Гидро-слюда	Кварц	Гипс	Полевой шпат	Каолинит + + иллит	Монтмориллонит	Оксиды железа
Преображенское	25–30	25–30	3–5	10–15	5–10	8–10	5–7
Кротовское	22–28	25–30	3–5	10–15	15–10	8–11	5–7
Воздвиженское	25–30	25–30	2–3	10–15	—	5–7	4–6
Даниловское	25–30	25–30	5–7	10–15	10–15	—	4–5
Образцовское	5–10	20–25	2–3	10–15	3–5	35–45	5–7
Смышляевское	5–10	25–30	3–5	8–20	—	45–50	5–7

На рис. 1 приведен поэлементный химический анализ исследуемых глин, проведенный с помощью электронного растрового сканирующего микроскопа Phillips 525M. Рентгенограммы образцов из исследуемых легкоплавких глин представлены на рис. 2.

Изучение модификационных превращений кварца при обжиге шести различных видов легкоплавких глин проводили на кубиках с размером ребра 0,2 м, изготовленных методом пластического формования. Высушенные образцы-кубики до влажности 5–6% обжигали в лабораторной печи при температурах 950–1150°C с интервалом 50°C. Изотермическая выдержка при максимальной температуре — 30 мин.

Увеличение температуры обжига образцов до 950°C к особым изменениям не приводит, за исключением исчезновения пиков кальцита и появления жидкой фазы.

Под микроскопом в образцах наблюдаются бесцветные, желтоватые и бурые стекла с показателями преломления N от 1,50 до 1,54, которые образовались в результате плавления шпатов и смешанослойных глинистых образований. Присутствие в исследуемых легкоплавких глинах Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и R<sub>2</sub>O способствует появлению жидкой фазы при 950°C.

При температуре 950°C в исследуемых глинистых материалах кристобалит не образуется (рис. 3, а).

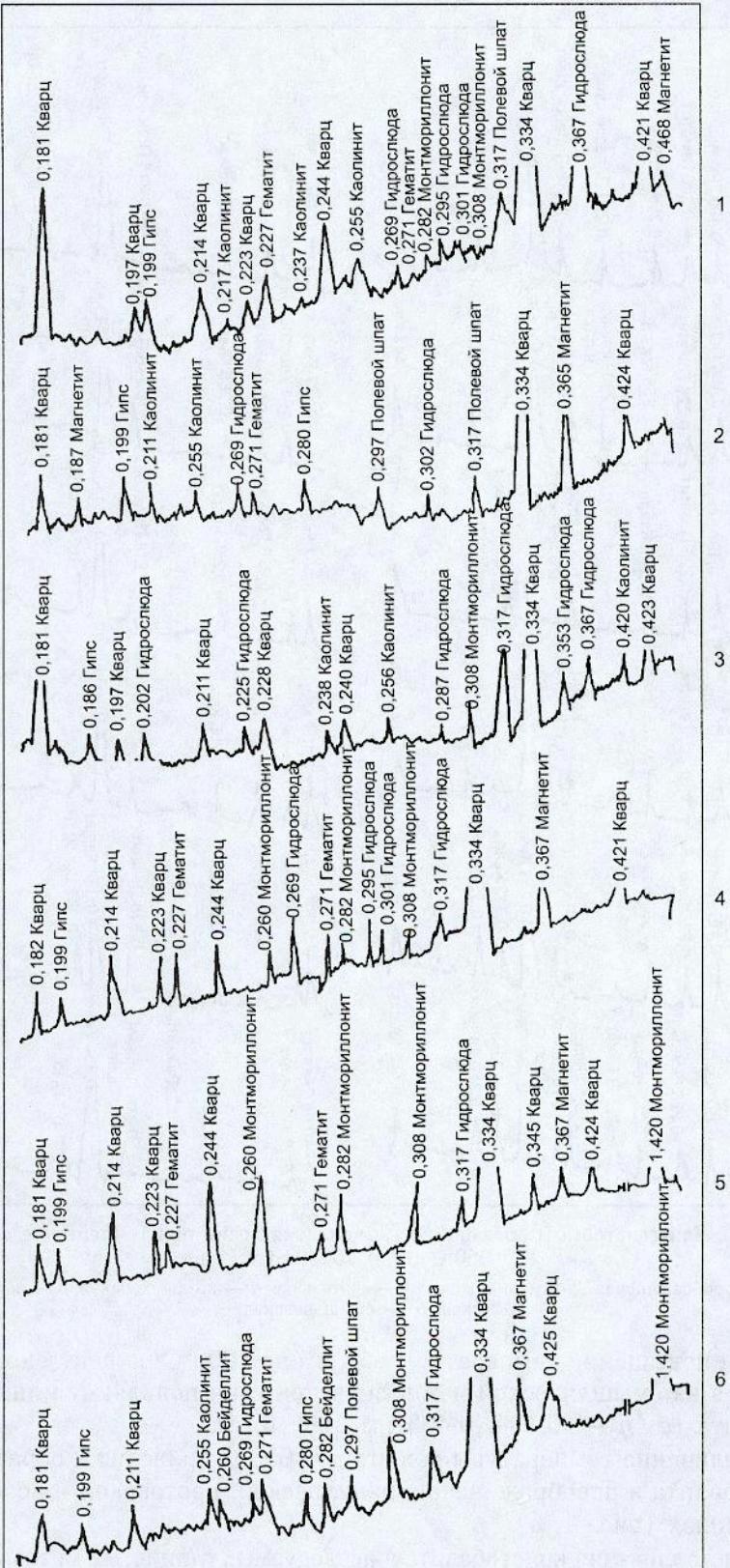


Рис. 2. Рентгенограммы образцов из легкоплавких глин

1 — преображенская; 2 — даниловская; 3 — кротовская; 4 — воздвиженская;  
5 — смышляевская; 6 — образцовская

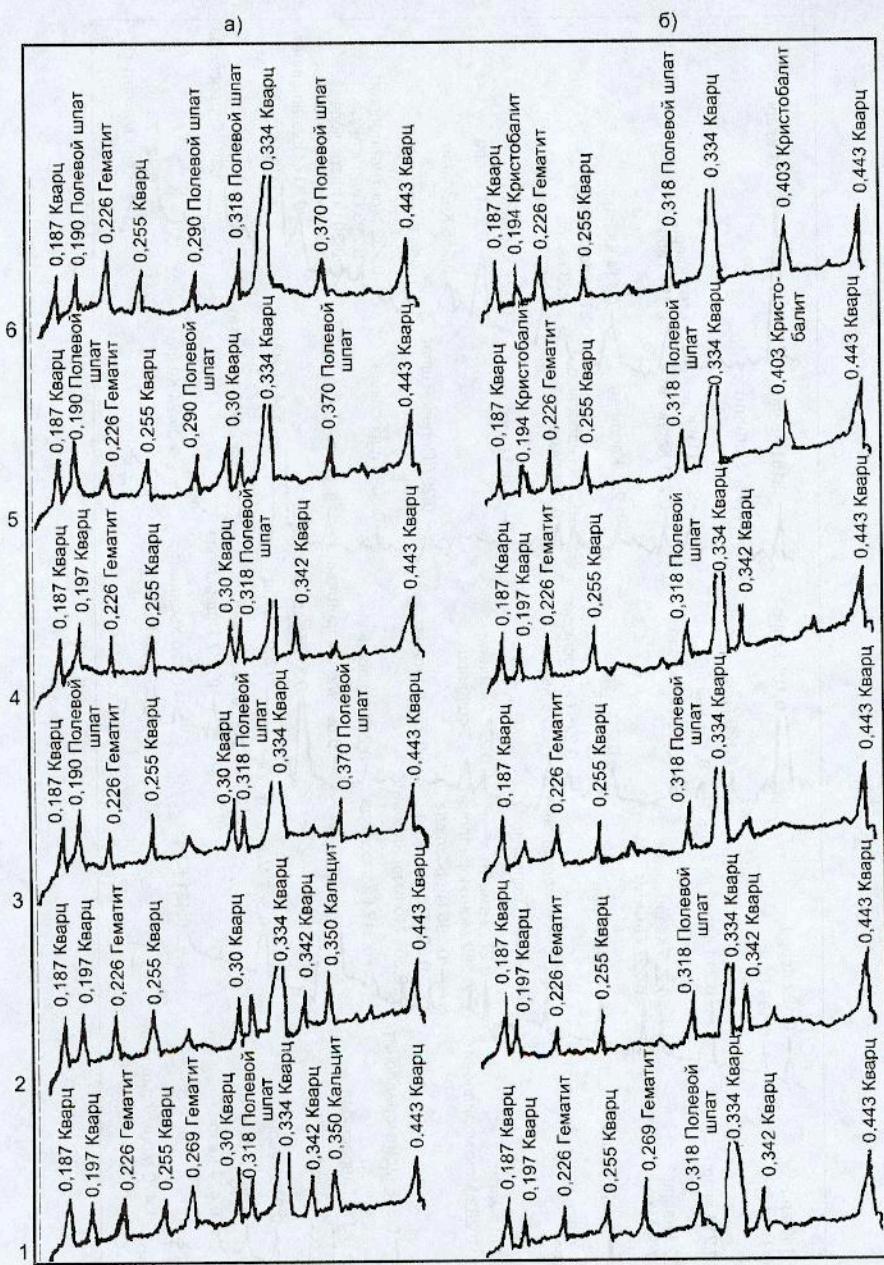


Рис. 3. Рентгенограммы образцов из легкоплавких глин при температуре обжига 950°C (а) и 1000°C (б)

1 — преображенская; 2 — даниловская; 3 — кротовская; 4 — воздвиженская; 5 — образцовская; 6 — смышляевская

При повышении температуры обжига до 1000°C на рентгенограммах образцов из смышляевской и образцовской глин появляются линии кристобалита ( $d/n = 0,194, 0,403$  нм, рис. 3, б).

Увеличение температуры обжига до 1050°C приводит к образованию кристобалита в преображенской, даниловской, кротовской и воздвиженской глинах (рис. 4, а).

Кристаллизация кристобалита в исследуемых глинистых материалах отмечается по трещинам на краях зерен кварца. Начало кристаллизации кристобалита в образцах при температуре обжига 1050°C подтверждается и увеличением полосы поглощения  $\nu = 1010 \text{ см}^{-1}$  на ИК-спектре (рис. 5, а).

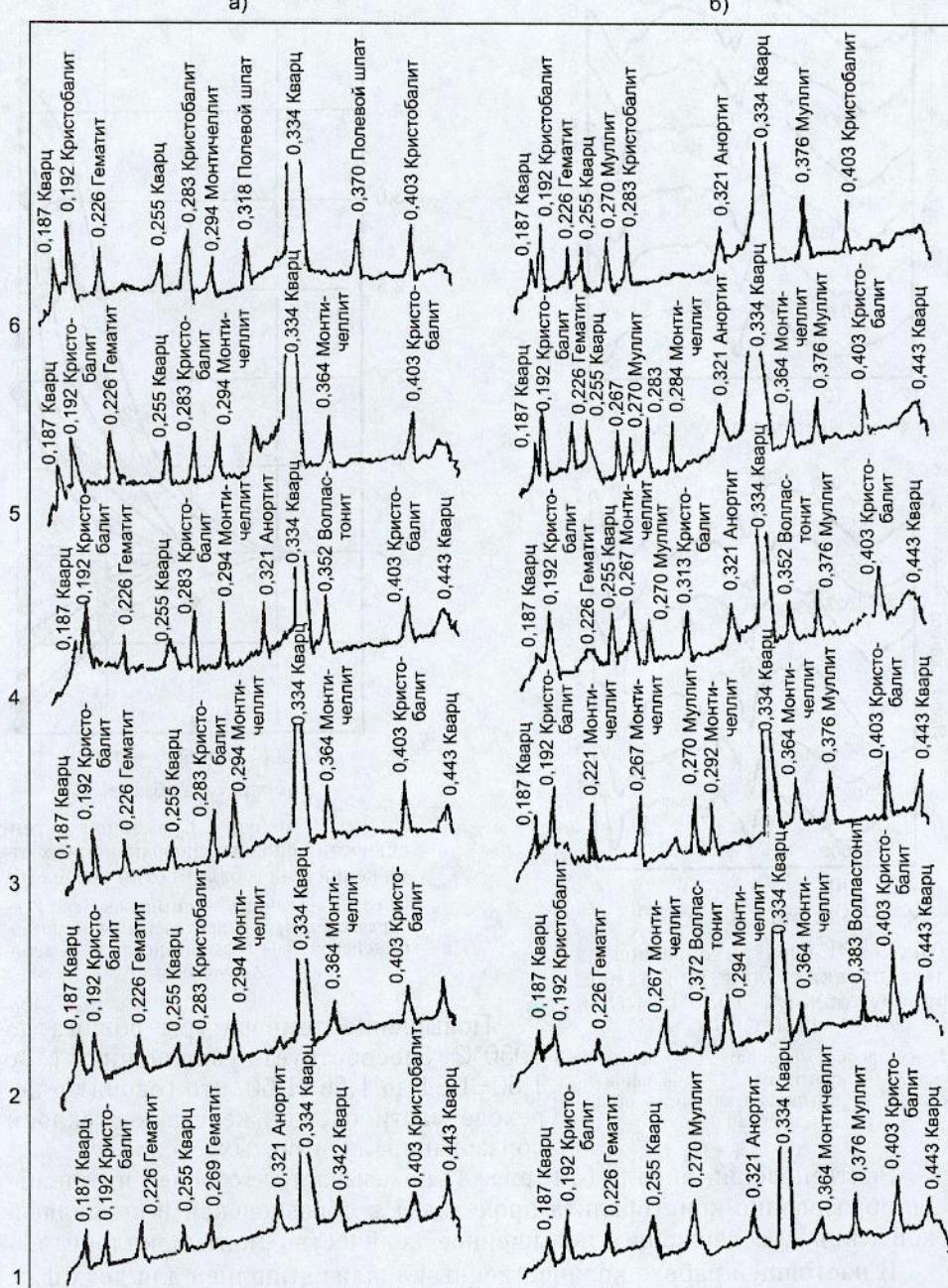


Рис. 4. Рентгенограммы образцов из легкоплавких глин при температуре обжига 1050°C (a) и 1100°C (b)

1 — преображенская; 2 — даниловская; 3 — кротовская; 4 — воздвиженская; 5 — смышляевская; 6 — образцовская

Частота максимумов поглощения у кристобалита составляет  $1010\text{ cm}^{-1}$ , у кварца  $980\text{ cm}^{-1}$  и кварцевого стекла  $1027\text{--}1195\text{ cm}^{-1}$  (рис. 5).

Объемный эффект при переходе  $\alpha$ -кварца в  $\alpha$ -кристобалит составляет 15,4%, что способствует разрыхлению поверхности кристаллической решетки [3]. У разрыхленных и богатых дефектами, а также аморфных веществ твердофазовые реакции протекают быстрее благодаря ускоренной самодиффузии и гетеродиффузии [3, 6–8].

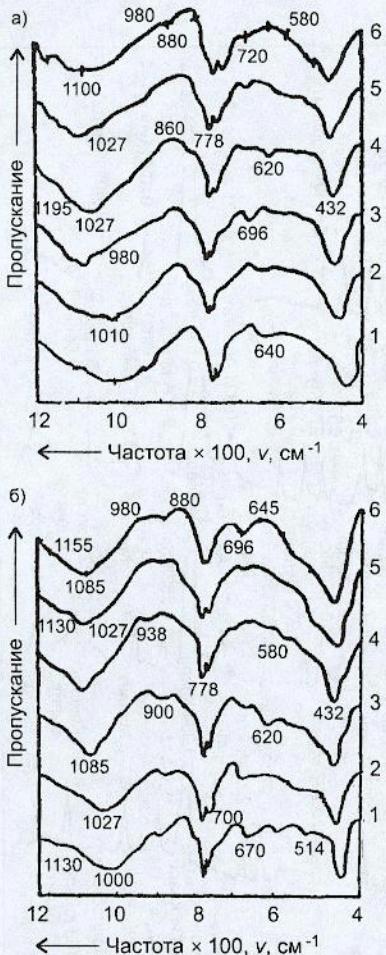


Рис. 5. ИК-спектры образцов из легкоплавких глин при температуре обжига 1050°C (а) и 1100°C (б)

1 — преображенская; 2 — даниловская; 3 — кротовская; 4 — воздвиженская; 5 — смышляевская; 6 — образцовская

Рентгеновский анализ (см. рис. 4) показывает, что более интенсивное образование кристобалита происходит в образцовской и смышляевской глинах, содержащих повышенное количество монтмориллонита.

В настоящей работе количественный анализ выполнен для двух фаз: кристобалита и кварца (рис. 6). При увеличении содержания кристобалита уменьшается количество кварца, что свидетельствует о его частичном превращении в кристобалит и переходе в расплав. Более интенсивное уменьшение количества кварца происходит при обжиге смышляевской и образцовской глин.

В образцовской и смышляевской глинах по отношению к остальным исследуемым легкоплавким глинам содержание щелочей и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  более низкое (см. табл. 1), поэтому образование кристобалита в кротовской, преображенской, воздвиженской и даниловской глинах сдвигается на 50°C выше.

Таким образом, в процессе нагревания в смышляевской и образцовской глинах, содержащих повышенное количество монтмориллонита, уже при относительно низких температурах образуется жидкая фаза за счет наиболее легкоплавких эвтектических смесей. Продукты распада

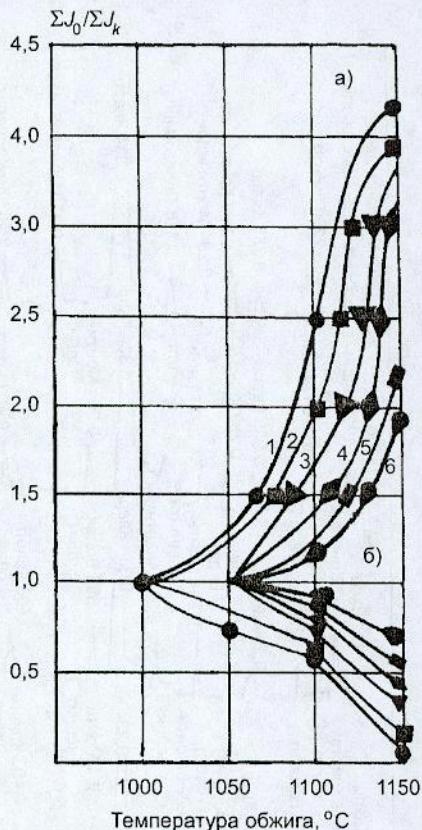


Рис. 6. Изменение суммарной интенсивности основных дифракционных отражений кристобалита (а) и кварца (б)  
Образцы из глин: 1 — смышляевской; 2 — образцовской; 3 — кротовской; 4 — преображенской; 5 — воздвиженской; 6 — даниловской

Повышение температуры обжига до 1050°C способствует увеличению N с 1,50–1,54 до 1,56–1,60, что говорит о переходе части оксида железа в стекло и образовании железистых стекол.

глинистых минералов находятся в тонкодисперсном состоянии и, следовательно, обладают большой удельной поверхностью при соприкосновении с жидкой фазой. Силикатный расплав имеет хорошую смачивающую способность относительно кремнезема и хорошую растворимость. Все это обуславливает интенсивное растворение в расплаве кремнезема, выделившегося в результате муллитизации. Кристобалит в смышляевской и образцовской глинах образуется, по-видимому, за счет кристаллического кремнезема, затем по мере накопления аморфного кремнезема и жидкой фазы образование происходит из аморфного кремнезема.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В. Ф. Особенности превращения кремнезема, содержащегося в глинах / В. Ф. Павлов // Тр. ин-та НИИстройкерамики. — 1973. — Вып. 38. — С. 3–11.
2. Абдрахимова Е. С. Полиморфные превращения  $\text{SiO}_2$  в глинистых материалах различного химико-минералогического состава / Е. С. Абдрахимова, А. В. Абдрахимов, В. З. Абдрахимов // Материаловедение. — 2002. — № 7. — С. 35–41.
3. Куколев Г. В. Химия кремния и физхимия силикатов / Г. В. Куколев. — М.: Выш. шк., 1966. — 250 с.
4. Кайнарский И. С. Физико-химические основы керамики / И. С. Кайнарский, Н. Г. Орлова. — М.: Наука, 1956. — 128 с.
5. Абдрахимова Е. С. Полиморфные превращения кварца / Е. С. Абдрахимова // Вестн. ВКТУ. — 2001. — № 4. — С. 155–162.
6. Белянкин Д. С. Петрография технического камня / Д. С. Белянкин, Б. В. Иванов, В. В. Лапин. — М.: АН СССР, 1952. — 582 с.
7. Кайнарский И. С. Процессы технологии оgneупоров / И. С. Кайнарский. — М.: Стройиздат, 1959. — 126 с.
8. Павлушкин Н. М. Химическая технология стекла / Н. М. Павлушкин. — М.: Стройиздат, 1983. — 432 с.

© Шевандо В. В., Вдовина Е. В., Абдрахимов А. В., Денисов Д. Ю., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Ковков И. В., 2007

Получено после доработки 09.01.07

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 63.003 : 658.566

В. С. БОРОВИК, д-р техн. наук, проф., С. В. АЛЕКСИКОВ, канд. техн. наук, доц.  
(Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет)

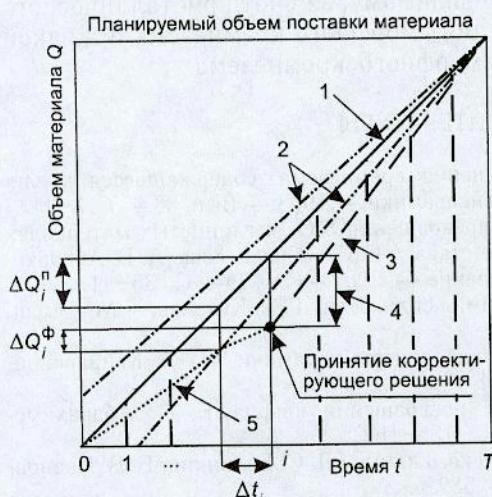
### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассмотрена модель оперативного управления ресурсным обеспечением строительных объектов, позволяющая повысить обоснованность принимаемых организационно-технологических решений по выполнению проектных графиков поставки производственных ресурсов и завершению строительства в установленные сроки.

Из всего многообразия вопросов управления строительством наибольшее значение имеет оперативное управление ресурсным обеспечением технологических процессов, направленное на реализацию решений, принятых в проектах организации строительства и производства работ. Сущность его состоит в устранении препятствий, возникающих на пути

осуществления проектной ритмичной поставки строительных материалов, полуфабрикатов и энергоносителей, в корректировке этих проектных решений в соответствии с изменяющимися условиями производств.

Исследованиями [1, 2] доказано, что ритмичная поставка производственных ресурсов повышает экономические показатели строительства. При увеличении коэффициента ритмичности на 1% фондоотдача возрастает на 0,317%, а объем работ по сметной стоимости снижается на 0,353% [1].



Расчетная схема оперативной корректировки графика поставки ресурсов в случае его сбоя

1 — планируемый график поставки материала,  $I^n$ ;  
2 — границы допустимых отклонений от графика поставки материала; 3 — скорректированный график поставки материала; 4 — отклонение по объему поставки; 5 — фактический график поставки материала,  $I^\Phi$

Траекторию проектного графика поставки ресурса можно описать уравнением

$$Q(t) = I^n \cdot t, \quad (1)$$

$I^n = \frac{Q^n}{T}$  — проектная интенсивность поставки материала;

$t$  — текущее время ( $0 < t < T$ );

$Q^n$  — общая проектная потребность в материале.

Достаточностью поставки ресурса на объект в  $i$ -й момент времени за интервал  $\Delta t_i$  является выполнение условия

$$\begin{cases} I_i^\Phi \geq I_i^n; \\ \sum_{i=1}^N \Delta Q_i^\Phi \geq \sum_{i=1}^N \Delta Q_i^n, \end{cases} \quad (2)$$

где  $I_i^n = \frac{\Delta Q_i^n}{\Delta t_i}$  и  $I_i^\Phi = \frac{\Delta Q_i^\Phi}{\Delta t_i}$  — соответственно проектная и фактическая интенсивность поставки ресурса на объект в  $i$ -й момент времени, которая определяется по величине приращения объема материала за интервал времени  $\Delta t_i$ ;

$N$  — количество расчетных интервалов времени в предшествующий период;  $\sum_{i=1}^N \Delta Q_i^\Phi$ ,  $\sum_{i=1}^N \Delta Q_i^n$  — соответственно общий фактический и проектный объем поставок материала в предшествующий период времени.

В случае систематических отклонений фактических объемов поставки ресурса  $\Delta Q_i^\Phi$  в меньшую сторону нетрудно прогнозировать момент принятия управленческого решения по корректировке ресурсного обеспечения строительства по условию

$$\Delta Q_i^\Phi \geq \Delta Q_i^d, \quad (3)$$

где  $\Delta Q_i^d$  — допустимое отклонение фактического графика поставки ресурса от проектного в  $i$ -й момент времени.

Допустимое отклонение от проектного графика определяется резервом в увеличении производительности дорожно-строительного отряда (в случае выполнения работ с «колес») или транспортного звена (при заблаговременной поставке ресурсов на объект или производственное предприятие) без изменения их состава. При этом допустимое отклонение линейным образом зависит от резерва времени ( $T - t_i$ ) до окончания строительства.

При детерминированном подходе допустимое отклонение определяется возможностью увеличения коэффициента использования  $K_u$  ведущей дорожно-строительной машины в составе отряда, определяющей интенсивность потребления ресурса  $I^n$ :

$$\Delta Q_i^d = (1 - K_u) I^n (T - t_i). \quad (4)$$

Вероятностный подход к определению допустимого отклонения основан на нормальности распределения сменного темпа работ, оценивается среднеквадратичным отклонением суточной интенсивности потребления ресурса  $\sigma$ , относительно его математического ожидания  $\bar{I}^n$ :

$$\Delta Q^{ap} = \varphi \sigma / (T - t_i), \quad (5)$$

где  $\varphi$  — нормированное отклонение, определяющееся заданным уровнем надежности  $P$ .

Если в процессе мониторинга ресурсного обеспечения технологических процессов фактические отклонения графика поставки превышают допустимые (условие (3)), перед диспетчером возникает задача корректировки строительного процесса. Такая ситуация, как правило, возникает по причине просчетов проектировщиков, допущенных в проектах организации (ПОС) и производства работ (ППР), несоблюдения проектных решений в процессе строительства или воздействия неучтенных факторов, имеющих вероятностный характер (изменение климатических условий производства работ, поломка автомобилей или машин и т.п.).

Несовершенство или несоблюдение проектных решений (ПОС, ППР), обусловленное просчетами при комплектовании дорожно-строительных отрядов, проявляется в устойчивом тренде отклонений. Случайное воздействие производственных факторов приводит к резким изменениям в интенсивности поставок.

Принятие управленческих решений по изменению производственно-го процесса основано на обеспечении скорректированной интенсивности поставки ресурса  $I_k$

$$I_k = \frac{(Q^n - Q_i)}{(T - t_i)}, \quad (6)$$

где  $Q_i$  — объем ресурса, поставленного на строительный объект до момента ( $t_i$ ) принятия корректирующего решения.

Увеличение интенсивности поставки ресурсов возможно при:

- повышении производительности предприятий (АБЗ, ЦБЗ, ЖБИ), выпускающих полуфабрикаты (битумоминеральные или цементобетон-

ные смеси) или конструкции за счет увеличения их количества, мощности или режима работы;

— повышении производительности погрузоразгрузочных машин за счет их количества или грузоподъемности в карьере, складе или на строительной площадке;

— повышении провозной возможности транспортного звена за счет увеличения грузоподъемности автомобилей, их количества или изменения маршрута перевозки грузов;

— повышении интенсивности потребления ресурсов на строительном объекте за счет увеличения производительности дорожно-строительных звеньев или потока в целом.

Принятие организационно-технологических решений по корректировке фактической интенсивности поставки ресурсов на строительный объект возможно на основе регрессионного анализа результатов мониторинга строительного процесса за предшествующий период времени или по объектам-аналогам с помощью производственной функции вида:

$$I_i^\Phi = C_0 \cdot P_{n,i}^{\alpha 1} \cdot W_{t,i}^{\alpha 2} \cdot P_{y,i}^{\alpha 3}, \quad (7)$$

где  $P_{n,i}$  — суточная производительность поставщика (предприятий по выпуску материала (карьер, склад), полуфабриката (АБЗ, ЦБЗ) или энергоснителя);

$W_{t,i}$  — провозная возможность транспортного комплекса;

$P_{y,i}$  — суточная производительность звена или потока в целом, потребляющего ресурсы на строительном объекте;

$C_0$  — коэффициент, отражающий влияние неучтенных факторов на интенсивность поставки ресурсов;

$\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3$  — коэффициенты влияния технологических факторов на интенсивность поставки производственных ресурсов.

Исследования [3] подтверждают эффективность функции (7) при обосновании организационно-технологических решений по повышению ритмичности поставки производственных ресурсов. Значения коэффициентов  $\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3$  определяют стратегию принимаемых решений, а математическая модель (3) позволяет моделировать реакцию производственной среды на корректирующее решение.

Одним из основных факторов, влияющих на ритмичность поставки ресурсов, является транспортное обеспечение строительства. За счет организационных мероприятий в сфере транспортного обслуживания ресурсного обеспечения возможно повышение ритмичности строительно-го производства на 10–12% [2]. Потребное количество транспортных средств  $N_j$ , обеспечивающих выполнение скорректированного графика поставки ресурсов, можно определить по формуле:

$$N_j = \frac{I}{\alpha_j W_{aj}}, \quad (8)$$

где  $\alpha_j$  — коэффициент выхода автосамосвалов  $j$ -й марки на линию;

$W_{aj}$  — производительность автомобиля, зависит от его грузоподъемности  $q$ , средней скорости  $V_{cp}$  и дальности перевозки грузов  $L_{er}$ :

$$W_a = \frac{0,5504 q^{0,8427} V_{cp}^{0,7937}}{L_{er}^{0,7366}}. \quad (9)$$

В том случае, когда выполнение скорректированного графика поставки ресурса невозможно, следует пересмотреть всю последующую органи-

зационно-технологическую последовательность строительного процесса и для сдачи объекта в установленный срок заблаговременно зарезервировать последующий фронт работ в комплексном строительном потоке [2].

Предложенная модель оперативного управления ресурсным обеспечением строительных объектов позволяет повысить обоснованность принимаемых организационно-технологических решений по обеспечению фактического выполнения проектных графиков поставки производственных ресурсов и завершению строительства в установленные сроки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Могилевич В. М. Основы организации дорожно-строительных работ / В. М. Могилевич.— М.: Выш. шк., 1975.— 288 с.
2. Могилевич В. М. Организация дорожно-строительных работ / В. М. Могилевич, Т. В. Борброва.— М.: Транспорт, 1990.— 151 с.
3. Боровик В. С. Теоретические аспекты разработки хозяйственной стратегии / В. С. Боровик // Изв. вузов. Строительство.— 2003.— № 6.— С. 40–47.

© Боровик В. С., Алексиков С. В., 2007

Получено 27.02.07

УДК 693. 547. 34

В. В. МОЛОДИН, канд. техн. наук, доц. (ООО «Евросити»);  
Е. К. УСИНСКИЙ, инж. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

## ЗИМНЕЕ БЕТОНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ В МОНОЛИТНОМ ИСПОЛНЕНИИ

С использованием возможностей метода математического моделирования сложных физических и организационно-технологических процессов решены задачи, связанные с обоснованием технологии зимнего бетонирования таких конструктивных элементов зданий в монолитном исполнении, как фундаментные ростверки-балки и ростверки-плиты, стены и перегородки при различных вариантах их сопряжения с ранее забетонированными конструкциями, а также плит перекрытия.

В последние десятилетия активно развивается строительство жилых и гражданских зданий из монолитного бетона и железобетона. При этом по разным данным от 40 до 50% объема бетонных и железобетонных работ выполняется в зимнее время года.

В соответствии с [1, 2] жилые и гражданские здания в монолитном исполнении подразделяются:

по виду фундаментной части: монолитные фундаментные плиты, монолитные ростверки-балки и ростверки-плиты;

по виду надземной части: здания полностью в монолитном исполнении и комбинированные здания, у которых внутренние стены и перегородки изготавливаются из монолитного железобетона, а наружные — из какого-либо другого строительного материала;

по расположению в плане несущих стен: здания с продольными, поперечными и продольно-поперечными несущими стенами.

Зимнее бетонирование монолитных фундаментных плит с полезным использованием тепла, аккумулированного в талой части грунтового основа-

ния, рассмотрено в работе [3]. Поэтому остановимся на выборе технологии зимнего бетонирования монолитных ростверков-балок и ростверков-плит.

**Монолитный ростверк.** Технологический процесс возведения данной фундаментной части зданий включает три технологические операции: вскрытие котлована, забивку свай и бетонирование собственно ростверка-балки или ростверка-плиты (табл. 1).

Таблица 1

Вид фунда-мента	Расчетная схема	Вид фунда-мента	Расчетная схема
Ростверк-балка		Ростверк-плита	

В соответствии с [4, 5] рассмотрим фундаментную часть зданий, состоящую из железобетонных забивных свай *квадратного* сечения 25×25, 30×30, 35×35 или 40×40 см и монолитного ростверка в соответствии с расчетными схемами (рис. 1).

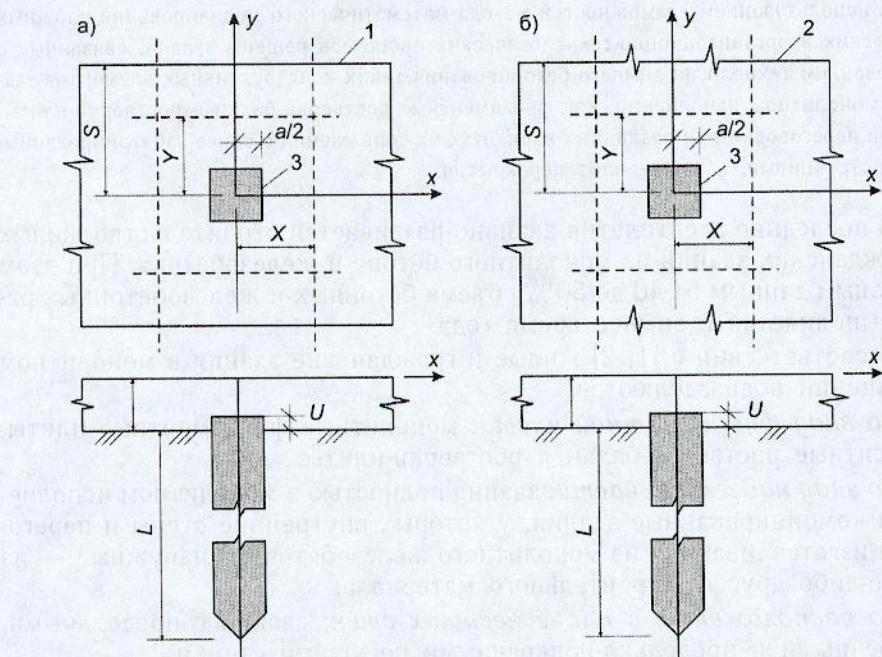


Рис. 1. Расчетные схемы ростверка-балки (а) и ростверка-плиты (б)  
1 — ростверк-балка; 2 — ростверк-плита; 3 — свая

**Трехмерная математическая модель** динамики связного (общий случай) грунта, подстилающего ростверк, а также в бетоне ростверка с его прогревом электрическими нагревательными проводами имеет вид:

*Грунтовое основание вокруг забитой сваи*

$$1. \frac{\partial t_{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{1,2}}{C_{\phi}} \left( \frac{\partial^2 t_{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 t_{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right) \pm \frac{W_{\phi}(\tau)}{C_{\phi}},$$

$(x \in (A/2, a/2) \vee x \in (A/2, X)) \wedge (y \in (A/2, b/2) \vee y \in (A/2, Y)) \wedge z \in H_0;$

$$2. -\lambda_2 \frac{\partial t_2(i = \eta(x), y, z, \tau)}{\partial x} + \lambda_1 \frac{\partial t_1(i = \eta(x), y, z, \tau)}{\partial x} = \\ = \pm \varepsilon \omega_{\text{HCB}} \rho_{1,2} \frac{d\eta(y, z, \tau)}{d\tau}, \quad x \in (A/2, a/2) \vee x \in (A/2, X);$$

$$3. -\lambda_2 \frac{\partial t_2(x, y = \xi(y), z, \tau)}{\partial y} + \lambda_1 \frac{\partial t_1(x, y = \xi(y), z, \tau)}{\partial y} = \\ = \pm \varepsilon \omega_{\text{HCB}} \rho_{1,2} \frac{d\xi(x, z, \tau)}{d\tau}, \quad y \in (A/2, b/2) \vee y \in (A/2, Y);$$

$$4. -\lambda_2 \frac{\partial t_2(x, y, z = v(z), \tau)}{\partial z} + \lambda_1 \frac{\partial t_1(x, y, z = v(z), \tau)}{\partial z} = \\ = \pm \varepsilon \omega_{\text{HCB}} \rho_{1,2} \frac{dv(x, y, \tau)}{d\tau}, \quad z \in (\delta, H_0);$$

$$5. -\lambda_{1,2} \frac{\partial t_{1,2}(x, y, z = \delta, \tau)}{\partial z} + \lambda_6 \frac{\partial t_6(x, y, z = \delta, \tau)}{\partial z} = 0;$$

$$6. t_1(x, y, z = H_0, \tau) = \text{const} = t^*;$$

$$7. \frac{\partial t_{1,2}(x = X, y, z, \tau)}{\partial x} = 0;$$

$$8. \frac{\partial t_{1,2}(x, y = Y, z, \tau)}{\partial y} = 0;$$

$$9. t_{1,2}(x, y, z, \tau = 0) = \psi(x, y, z).$$

*Монолитный ростверк*

$$10. \frac{\partial t_6^{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_6^{1,2}}{C_6^{1,2}} \left( \frac{\partial^2 t_6^{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_6^{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 t_6^{1,2}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right) + \frac{\omega^{1,2}(\tau)}{C_6^1} + \frac{q_{\text{np}}^{1,2}(\tau)}{C_6^1 \cdot l};$$

$\frac{\omega^1(\tau)}{C_6^1} > 0 \wedge \frac{q_{\text{np}}^1(\tau)}{C_6^1 \cdot l} > 0$  — для свежеуложенного

бетона монолитного ростверка;

$\frac{\omega^2(\tau)}{C_6^2} = 0 \wedge \frac{q_{\text{np}}^2(\tau)}{C_6^2 \cdot l} = 0$  — для бетона забивных свай

$$(x \in (0, A/2) \wedge y \in (0, A/2) \wedge z \in (\delta - u, L));$$

$$11. -\lambda_6^1 \frac{(x, y, z \in (0, \delta), \tau)}{\partial z} + \lambda_{np}^{1,2} \frac{\partial t_{np}^{1,2}(x, y, z \in (0, \delta), \tau)}{\partial z} = 0;$$

$$12. -\lambda_6^1 \frac{\partial t_6^1 \left( x \in \left( 0, \frac{A}{2} \right), y = \frac{A}{2}, z \in (\delta - u, \delta), \tau \right)}{\partial x} +$$

$$+ \lambda_6^2 \frac{\partial t_6^2 \left( x \in \left( 0, \frac{A}{2} \right), y = \frac{A}{2}, z \in (\delta - u, \delta), \tau \right)}{\partial x} = 0;$$

$$13. -\lambda_6^1 \frac{\partial t_6^1 \left( x = \frac{A}{2}, y \in \left( 0, \frac{A}{2} \right), z \in (\delta - u, \delta), \tau \right)}{\partial y} +$$

$$+ \lambda_6^2 \frac{\partial t_6^2 \left( x = \frac{A}{2}, y \in \left( 0, \frac{A}{2} \right), z \in (\delta - u, \delta), \tau \right)}{\partial y} = 0;$$

$$14. -\lambda_6^1 \frac{\partial t_6^1 \left( x \in \frac{A}{2}, y \in \frac{A}{2}, z \in \delta - u, \tau \right)}{\partial z} +$$

$$+ \lambda_6^2 \frac{\partial t_6^2 \left( x \in \frac{A}{2}, y \in \frac{A}{2}, z \in \delta - u, \tau \right)}{\partial z} = 0.$$

Для крайнего ряда свай

$$15. -\lambda_6^2 \frac{\partial t_6^2(x, y=S, z \in \delta, \tau)}{\partial y} = k_{np} [t_6^2 * (x, y=S, z \in \delta, \tau) - \Theta(\tau)],$$

где 1.1 — дифференциальное уравнение теплопроводности связного грунта с объемно-распределенным источником (стоком) тепла фазового типа, «включаемым» при замерзании (оттаивании) *связанной* влаги в температурном диапазоне  $t \in (0 \div -5^\circ\text{C})$ ;

1.2—1.4 — граничные условия Стефана для соответствующих осей координат, учитывающие процессы замерзания (оттаивания) *несвязанной* влаги в связных грунтах или общие процессы замерзания (оттаивания) влаги в несвязанных грунтах;

1.10 — дифференциальное уравнение теплопроводности бетона ростверка с объемно-распределенным источником тепла экзотермического типа и искусственным тепловым источником от нагревательных проводов; остальные элементы математической модели — классические граничные условия I—IV родов и математическая формализация соответствующих осей тепловой симметрии;

индексы 1 и 2 относятся к соответственно талому и мерзлому грунту ( $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ), а также к свежеуложенному (ростверк) и уложенному ранее (забитые сваи) бетону ( $\lambda_6^1$  и  $\lambda_6^2$ ).

Математическая модель (1) аппроксимирована по неявной разностной схеме дробных шагов академика Н. Н. Яненко. При этом рассмотрены два вида температурных режимов тепловой обработки бетона с ниже приведенной их математической формализацией:

$$\left. \begin{array}{l}
 N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in T_{\text{ив}}; \\
 N = 0, \tau \in T_{\text{ост}}; \\
 t \in (t_{\text{бс}}, t_{\text{ив}}), \tau \in T_{\text{пл}} \wedge \tau \in T_{\text{ив}}; \\
 t \in (t_{\text{ив}}, 0), \tau \in T_{\text{ост}};
 \end{array} \right\} \text{Неуправляемый температурный режим с изотермическим выдерживанием бетона}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 N = M, \tau \in T_{\text{пп}} \wedge (\tau \in T_{\text{уп}}, p=2k, \\
 k=1, 2, \dots, S); \\
 N = 0, (\tau \in T_{\text{уп}}, p=2k-1, k=1, 2, \dots, S); \\
 t = \psi(\tau), \tau \in T_{R_{kp}},
 \end{array} \right\} \text{Управляемый температурный режим в оптимальном температурном диапазоне}$$

где  $N$  — суммарная мощность нагревателей, Вт;

$T_p$ ,  $T_{\text{ив}}$ ,  $T_{\text{ост}}$  и  $T_{\text{уп}}$  — продолжительность периодов соответственно разогрева, изотермического выдерживания и остывания бетона, а также периода управляемого температурного режима в оптимальном температурном диапазоне.

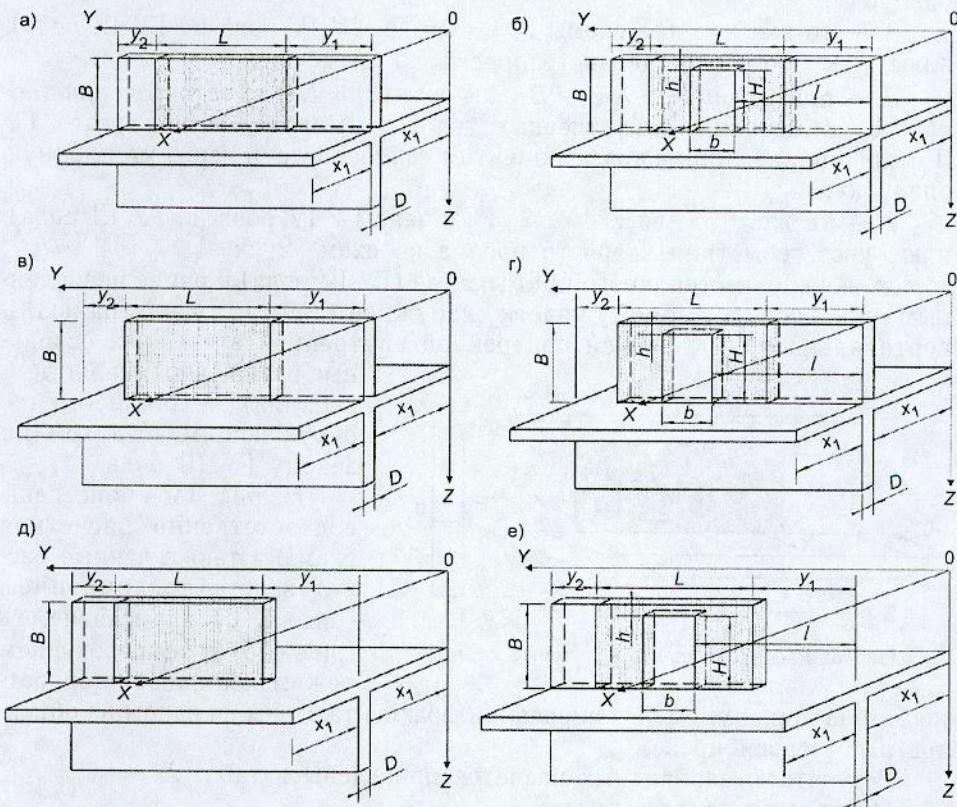
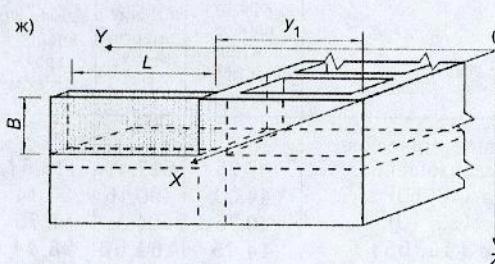


Рис. 2. Варианты бетонируемых фрагментов внутренних стен и перегородок (а–е) и наружной стены (ж)

а — фрагмент стены без дверного проема, примыкающий слева и справа к ранее возведенным участкам стены, снизу — к плине перекрытия; б — то же, но с дверным проемом; в — фрагмент стены без дверного проема, примыкающий справа к ранее возведенному участку стены, снизу — к плине перекрытия; г — то же, но с дверным проемом; д — фрагмент стены без дверного проема, примыкающий слева к ранее возведенному участку стены, снизу — к плине перекрытия; е — то же, но с дверным проемом; ж — фрагмент наружной стены



**Монолитные стены и перегородки.** Наиболее часто встречающиеся варианты бетонируемых стен и перегородок систематизированы на рис. 2, а—ж. Рассмотрим особенности записи дифференциального уравнения теплопроводности и граничных условий:

*а* — используются математические модели С. Н. Шпанко, приведенные в работах [6, 7];

*б* — формализуется геометрическая привязка дверного проема, в пределах которого «не работает» дифференциальное уравнение теплопроводности бетона:  $x \in (x_1, (x_1 + D)) \wedge y \in (l, (l + b)) \wedge z \in (h, (h + H))$ ; в контуре проема ГУ III рода (с приведенным коэффициентом теплопередачи через утепленную опалубку) на гранях дверного проема:  $x \in (x_1, (x_1 + D)) \wedge z \in (h, (h + H)) \wedge x \in (x_1, (x_1 + D)) \wedge y \in (l, (l + b)) \wedge z = h$ ;

*в* — при  $y = y_1 + L \wedge z \in B \wedge x \in (x_1, (x_1 + D))$  вместо условия теплового примыкания двух твердых тел (ГУ IV рода) используется ГУ III рода с приведенным коэффициентом теплопередачи через утепленную опалубку;

*г* — то же, что для схемы 2, *в* (замена ГУ IV рода на ГУ III рода), плюс учет геометрии дверного проема по схеме 2, *б*;

*д* — при  $y = y_1 + L \wedge z \in B \wedge x \in (x_1, (x_1 + D))$  вместо условия теплового примыкания двух твердых тел (ГУ IV рода) используется ГУ III рода с приведенным коэффициентом теплопередачи через утепленную опалубку;

*е* — то же, что для схемы 2, *д* (замена ГУ IV рода на ГУ III рода), плюс учет геометрии дверного проема по схеме 2, *б*;

*ж* — условия теплового примыкания (ГУ IV рода) к ранее возведенным нижерасположенному участку наружной стены (нижней гранью) и вертикально примыкающей поперечной внутренней стене; все остальные грани (вертикальные и верхняя) — теплообмен с окружающим воздухом по закону ГУ III рода.

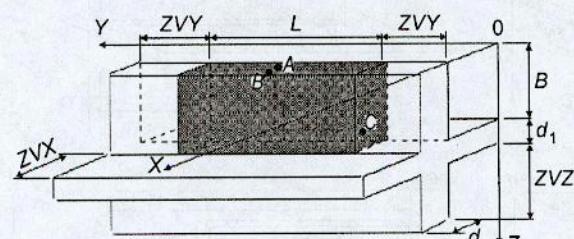


Рис. 3. Расчетная схема фрагмента стены

ки бетона при зимнем бетонировании фрагмента стены на одном из объектов в г. Новосибирске.

Результаты вариантовых расчетов приведены в табл. 2.

**Монолитные перекрытия.** Один из вариантов монолитной плиты перекрытия при возведении административного здания на пересечении улиц Свердлова и Советской в г. Новосибирске зимой 2005/06 г. приведен на рис. 5. Математическая модель динамики температурного и прочностного полей в бетоне для варианта рис. 6 имеет вид:

Таблица 2  
Результаты вариантовых расчетов

Вариант	Итоговые результаты		
	Время набора критической прочности, ч	Общие энергозатраты, кВт·ч	Удельные энергозатраты, кВт·ч/м <sup>3</sup>
Изотермическое выдерживание, °C	47,75	617,41	113,54
$t \in (40, 60)$	44,00	490,16	90,14
$t \in (30, 70)$	40,75	504,31	92,76
$t \in (45, 55)$	<b>44,75</b>	<b>464,56</b>	<b>85,44</b>

$$1. \frac{\partial t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{\text{пл}}}{C_{\text{пл}}} \left( \frac{\partial^2 t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_{\text{пл}}(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right) +$$

$$+ \frac{\omega(\tau)}{C_{\text{пл}}} + \frac{q_{\text{нр}}(\tau)}{C_{\text{пл}} \cdot l}; \quad x \in B \wedge y \in b \wedge z \in \delta_{\text{пл}};$$

$$2. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x = X_1, y \in b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial x} + \lambda_6 \frac{\partial t_6(x = X_1, y \in b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial x} = 0;$$

$$3. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in B, y = \delta, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial y} + \lambda_6 \frac{\partial t_6(x \in B, y = \delta, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial y} = 0;$$

$$4. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in B, y \in (\delta, \delta_{\text{нс}}), z = \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} +$$

$$+ \lambda_6 \frac{\partial t_6(x \in B, y \in (\delta, \delta_{\text{нс}}), z = \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} = 0;$$

$$5. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in (X_1 + l_3, X_1 + l_3 + \delta_{\text{вс}}), y \in b, z = \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} +$$

$$+ \lambda_6 \frac{\partial t_6(x \in (X_1 + l_3, X_1 + l_3 + \delta_{\text{вс}}), y \in b, z = \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} = 0;$$

$$6. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in B, y \in b, z = 0, \tau)}{\partial z} = K_{\text{нр}1}[t_{\text{пл}}(x \in B, y \in b, z = 0, \tau) - \Theta];$$

(2)

$$7. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x = X_1 + B, y \in b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial x} =$$

$$= K_{\text{нр}2}[t_{\text{пл}}(x = X_1 + B, y \in b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau) - \Theta];$$

$$8. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in B, y = b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial y} =$$

$$= K_{\text{нр}3}[t_{\text{пл}}(x \in B, y = b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau) - \Theta];$$

$$9. -\lambda_{\text{пл}} \frac{\partial t_{\text{пл}}(x \in B, y \in b, z = \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial z} =$$

$$= K_{\text{нр}4}[t_{\text{пл}}(x \in B, y \in b, z = \delta_{\text{пл}}, \tau) - \Theta];$$

$$10. \frac{\partial t_6(x = X_1, y \in b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau)}{\partial \tau} = 0;$$

$$11. t_{\text{пл}}(x \in B, y \in b, z \in \delta_{\text{пл}}, \tau) = t_{6c};$$

$$12. R^\tau = 0;$$

$$13. R^{\tau + \Delta \tau} = R^\tau + \Delta R,$$

где  $K_{\text{нр}1}$ ,  $K_{\text{нр}2}$ ,  $K_{\text{нр}3}$  и  $K_{\text{нр}4}$  — приведенный коэффициент теплопередачи соответственно через утепленную поверхность плиты, через опалубку торца плиты, через опалубку боковой поверхности плиты и через опалубку нижней грани плиты,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ .

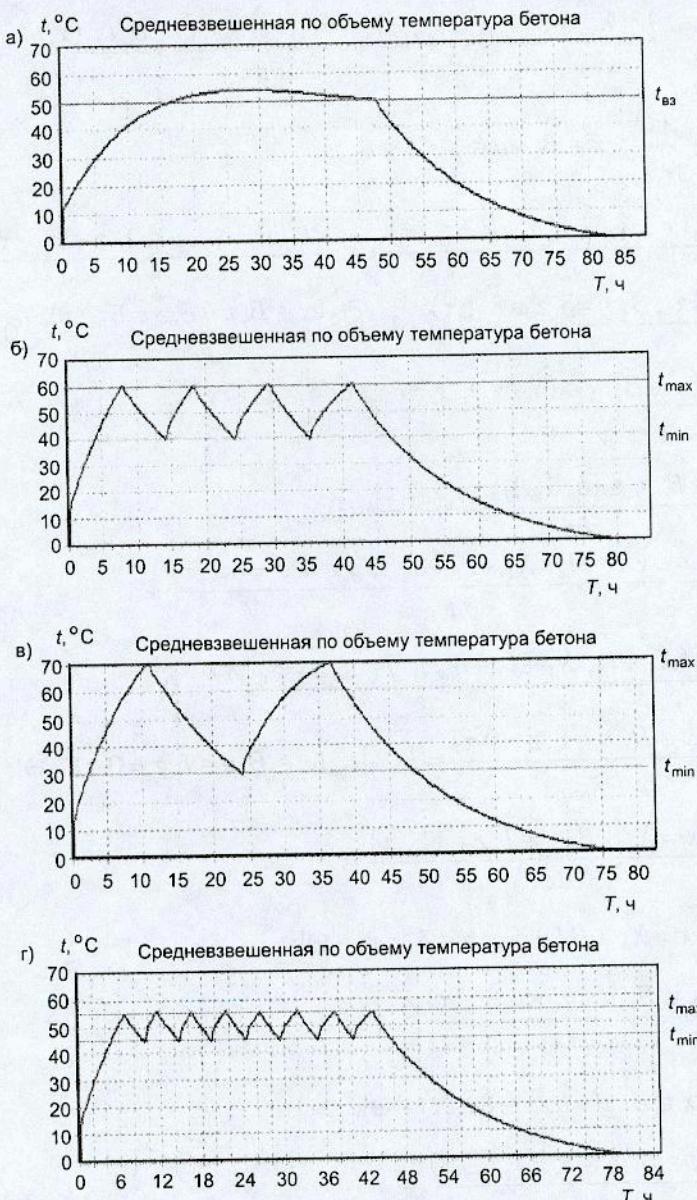


Рис. 4. Данные расчетов при традиционном (а) и управляемом (б-г) температурных режимах прогрева бетона в температурном диапазоне соответственно  $t \in (40, 60)$ ,  $t \in (30, 70)$  и  $t \in (45, 55)$ °С

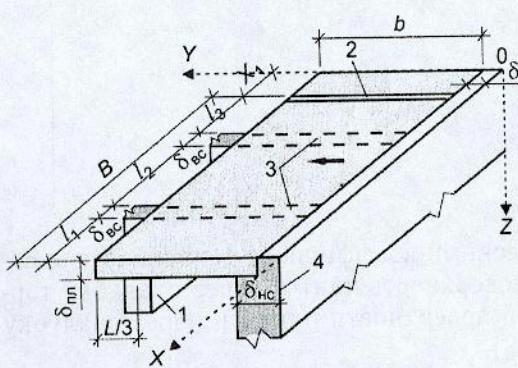


Рис. 5. Расчетная схема перекрытия, бетонируемого параллельно внутренним несущим стенам

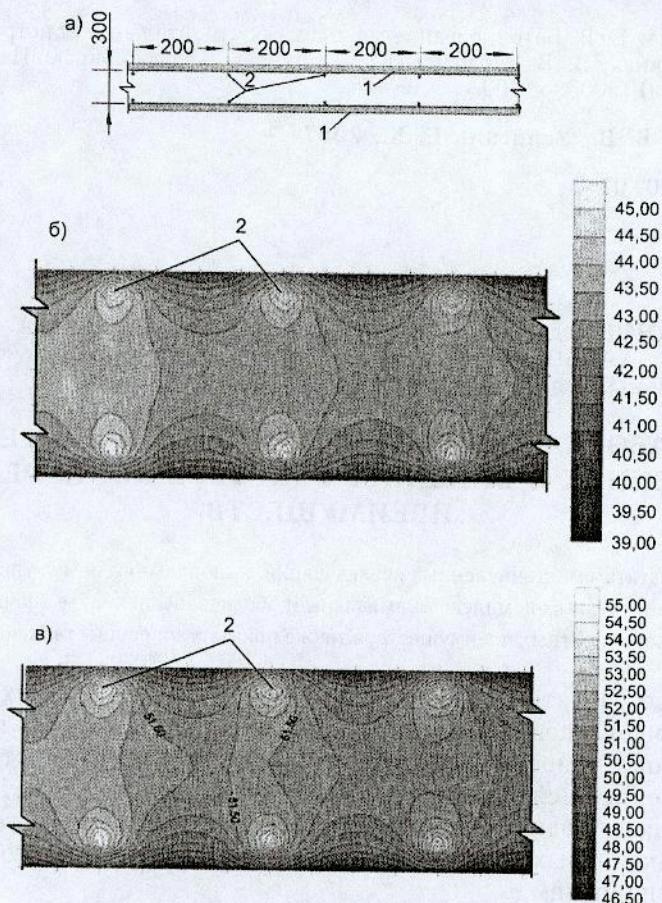


Рис. 6. Расчетная схема (а) и температурные поля в горизонтальном сечении при удельной тепловой мощности нагревателей 20 (б) и 25 (в) Вт/м  
1 — опалубка; 2 — нагревательные провода

На рис. 6 приведены расчетная схема и температурные поля в бетоне плиты при разных значениях удельной тепловой мощности нагревателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Мосаков Б. С. Технология возведения зданий и сооружений: Учебник / Б. С. Мосаков, В. Л. Курбатов. — М.: Выш. шк., 2004. — 321 с.
- Мосаков Б. С. Технология зимнего бетонирования: Учебное пособие / Б. С. Мосаков. — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2006. — 144 с.
- Молодин В. В. Ресурсо-, энергосбережение при зимнем бетонировании фундаментных плит / В. В. Молодин, Ю. В. Лунев // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 8. — С. 32—42.
- Бахолдин Б. В. Современные конструкции свай и ростверков / Б. В. Бахолдин, Е. В. Светинский, В. И. Остров. — М.: Изд-во НИИОСП Госстроя СССР, 1973. — 73 с.
- Трофименков Ю. Г. Свайные фундаменты для жилых и промышленных зданий / Ю. Г. Трофименков, А. А. Ободовский. — М.: Стройиздат, 1970. — 239 с.
- Попов Ю. А. Энергосберегающие технологии зимнего бетонирования строительных конструкций и сооружений / Ю. А. Попов, Т. В. Завалишина, С. Н. Шпанко // Изв. вузов. Строительство. — 2000. — № 9. — С. 50—58.
- Завалишина Т. В. Энергосберегающий режим электрообогрева при зимнем бетонировании строительных конструкций / Т. В. Завалишина, С. Н. Шпанко // Изв. вузов. Строительство. — 2001. — № 9—10. — С. 65—75.
- Попов Ю. А. Управляемые режимы тепловой обработки бетона / Ю. А. Попов, В. В. Молодин, Ю. В. Лунев // Бетон и железобетон. — 2006. — № 5. — С. 10—12.
- Молодин В. В. Энергосберегающая технология зимнего бетонирования фундаментных плит / В. В. Молодин, Ю. В. Лунев // Бетон и железобетон. — 2006. — № 6. — С. 10—12.

10. Молодин В. В. Бетонирование монолитных строительных конструкций в зимних условиях / В. В. Молодин, Ю. В. Лунев. — Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2006. — 300 с.

© Молодин В. В., Усинский Е. К., 2007

Получено 14.02.07

УДК 338

А. И. РОМАНОВА, д-р экон. наук, проф., А. Р. ИБРАГИМОВА, канд. экон. наук, А. М. ХАТЫПОВ, асп. (Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

## РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ И КРИТЕРИЕВ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ

По результатам многочисленных исследований регионального опыта управления инвестиционно-строительным комплексом выявлены и обоснованы наиболее значимые внутренние факторы конкурентных преимуществ, а также показатели, осуществляющие их оценку.

По мере развития общества, роста его технологических возможностей, совершенствования системы рыночных отношений и решения на этой базе совокупности социально-экономических потребностей происходит увеличение числа факторов, оказывающих влияние на строительные предприятия и содержание производственно-хозяйственного процесса, получение конечных результатов и как следствие — на устойчивое развитие предприятия.

В результате анализа научных исследований было установлено, что в наибольшей степени конкурентоспособность предприятия определяется четырьмя внутренними факторами: финансово-экономическим состоянием, уровнем технического развития, квалификацией его персонала и качеством продукции. Данные показатели характеризуют три составляющие деятельности предприятия: строительную продукцию, уровень управления и потенциал развития предприятия. Для оценки финансово-экономического состояния строительного предприятия предлагается разделить финансовые показатели на четыре группы (табл. 1): 1) ликвидность; 2) финансовая устойчивость; 3) оборачиваемость; 4) рентабельность и деловая активность.

Таблица 1  
Основные показатели финансового состояния предприятия

Группа	Показатель	Определение показателя	Нормальное значение показателя
2	3	4	5
Ликвидность	Коэффициент абсолютной ликвидности $X_1^{(4)}$ факт	Денежные средства / Текущие активы = стр. 260 ф.1 / стр. 690 ф.1	Теоретические значения: для $X_1^{(5)}$ 0,2 – 0,3, для $X_2^{(5)}$ 1,5 – 2, для $X_3^{(5)}$ 0,7 – 1. С учетом нестабильности российской экономики, а также в условиях малой величины оборотного капитала в строительстве в качестве базы сравнения принимаем пороговое значение 0,2; 1,5; 0,7 соответственно

Продолжение табл. 1

2	3	4	5
Ликвидность	Коэффициент текущей ликвидности $X_2^{(4)}$ факт	Текущие активы / Текущие обязательства = = стр.290ф.1 / стр.690ф.1	
	Коэффициент быстрой ликвидности $X_3^{(4)}$ факт	Денежные средства, расчеты и прочие краткосрочные активы / Текущие обязательства = (стр.290ф.1 – стр.210ф.1) / стр.690ф.1	
Финансовая устойчивость	Коэффициент автономии $X_4^{(4)}$ факт	Собственный капитал / Всего хозяйственных средств = 490ф.1 / 300ф.1	Теоретические значения: 0,5–0,6. Высокое значение показателя говорит о возможности ограничения деловой активности строительных предприятий, слишком низкое приводит к его остановке, в связи с этим принимаем пороговое значение 0,5
	Коэффициент маневренности $X_5^{(4)}$ факт	Собственные оборотные средства / Собственный капитал = = (стр.290ф.1 – стр.690ф.1) / стр.490ф.1	Теоретические значения 0,4–0,5. В силу фондоемкости и материалоемкости строительства значительная часть собственного капитала предприятий инвестируется в основные фонды, в связи с этим в качестве базы сравнения принимаем пороговое значение 0,4
	Коэффициент соотношения собственных и заемных средств $X_6^{(4)}$ факт	Собственный капитал / Заемный капитал = = стр.490ф.1 / стр.690ф.1	Зависимость строительного предприятия от внешних источников финансирования снижает его финансовую устойчивость, вместе с тем нецелесообразное снижение заемных средств ограничивает возможности финансово-хозяйственной деятельности, в связи с этим в качестве базы сравнения принимаем пороговое значение 1
Оборачиваемость	Коэффициент обеспеченности собственными активами $X_7^{(4)}$ факт	(Текущие активы – Текущие обязательства) / Текущие активы = = (стр.290ф.1 – стр.690ф.1) / стр.290ф.1	Принимаем в качестве базы сравнения пороговое значение, равное нормативному 0,1
	Коэффициент оборачиваемости активов $X_8^{(4)}$ факт	Выручка / Совокупные активы = = стр.010ф.2 / (стр.190ф.1 + стр.290ф.1)	В качестве базы сравнения принимаем среднеотраслевой показатель на текущий период. По состоянию на 2005 г. среднеотраслевой уровень составлял 0,91
	Коэффициент оборачиваемости собственного капитала $X_9^{(4)}$ факт	Выручка / Собственный капитал = = стр.010ф.2 / стр.490ф.1	В качестве базы сравнения принимаем среднеотраслевой показатель на текущий период. По состоянию на 2005 г. среднеотраслевой уровень составлял 1,99
	Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности $X_{10}^{(4)}$ факт	Выручка / Дебиторская задолженность = = стр.010ф.2 / (стр.230ф.1 + стр.240ф.1)	В качестве базы сравнения принимаем среднеотраслевой показатель на текущий период. По состоянию на 2005 г. среднеотраслевой уровень составлял 3,15

Окончание табл. 1

2	3	4	5
Рента- бельность и деловая активность	Коэффициент рентабельности продукции $X_{11}^{(4)}$ факт	Прибыль/Выручка = = стр.160ф.2 / стр.010ф.2	В качестве базы сравнения принимаем среднеотраслевой показатель на текущий период. По состоянию на 2005 г. среднеотраслевой уровень составлял 6,6%
	Коэффициент рентабельности основной деятельности $X_{12}^{(4)}$ факт	Прибыль/Затраты на производство = = стр.160ф.2 / стр.020ф.2	В качестве базы сравнения принимаем среднеотраслевой показатель на текущий период. По состоянию на 2005 г. среднеотраслевой уровень составлял 7,1%
	Коэффициент фондоотдачи $X_{13}^{(4)}$ факт	Выручка/Стоимость основных средств = = стр. 010ф.2 / стр.120ф.1	В качестве базы сравнения принимаем среднеотраслевой показатель на текущий период. По состоянию на 2005 г. среднеотраслевой уровень составлял 3,95%

Перечисленные в табл. 1 тринадцать показателей в наибольшей степени отражают финансовое положение и позволяют определить внутренние возможности строительного предприятия по реализации конкурентных преимуществ.

В связи с этим показатели финансово-экономического состояния предприятия объединим в следующую формулу:

$$Y_4 = \sum (X_{\text{а факт}}^{(4)} / X_{\text{а норм}}^{(4)}),$$

где  $X_{\text{а факт}}^{(4)}$  — фактические показатели финансово-экономического состояния предприятия;

$X_{\text{а норм}}^{(4)}$  — нормальные значения показателей финансово-экономического состояния.

Одним из важнейших факторов увеличения объема производства является обеспеченность предприятия необходимым уровнем технической базы. Об этом говорит и тот факт, что по результатам опроса руководителей крупных строительных предприятий РФ было установлено, что нехватка и износ основных строительных машин и технологического оборудования находится на третьем месте по рейтингу причин, ограничивающих производственную деятельность строительных предприятий.

В связи с этим уровень технического развития строительного предприятия предлагаем рассчитывать по трем показателям:

- 1) износ находящихся на балансе машин и оборудования  $X_{1\text{ факт}}^{(5)}$ ;
- 2) степень обновления машин и оборудования  $X_{2\text{ факт}}^{(5)}$ ;
- 3) уровень технической вооруженности труда  $X_{3\text{ факт}}^{(5)}$ .

Нормальный уровень данных показателей равен среднеотраслевому:

1)  $X_{1\text{ норм}}^{(5)} = 49,3\%$ ;

2)  $X_{2\text{ норм}}^{(5)} = 13,4\%$ ;

3)  $X_{3\text{ норм}}^{(5)} = 79,98$  тыс. р.

Общий уровень технического развития предприятия определяется суммой отклонения представленных выше показателей

$$Y_5 = \frac{X_{1\text{ норм}}^{(5)}}{X_{1\text{ факт}}^{(5)}} + \frac{X_{2\text{ факт}}^{(5)}}{X_{2\text{ норм}}^{(5)}} + \frac{X_{3\text{ факт}}^{(5)}}{X_{3\text{ норм}}^{(5)}}.$$

В современных условиях особое внимание необходимо уделять совершенствованию организации труда и повышению его производительности, так как они являются единственным источником реального экономического роста и прогресса. В сложившейся экономической ситуации проблема роста эффективности труда остается одной из самых сложных, но, решая ее, можно добиться успехов в построении социально ориентированной рыночной экономики. Однако в последние годы резко усилились процессы некомпенсированного выбытия промышленно-производственного потенциала, в том числе рабочих мест. Начиная с 1991 г. выбытие производственных мощностей в ряде отраслей превысило ввод новых, происходит дальнейшее сокращение ввода новых рабочих мест. Кроме того, в строительстве особенно интенсивно сокращается количество физических рабочих мест, в первую очередь, из-за уменьшения производственного строительства, поскольку ограничение сбыта продукции приводит к уменьшению числа занятых, а за этим следует и сокращение физических рабочих мест за их ненадобностью.

Реальный механизм решения проблемы состоит в том, чтобы проводить финансово-кредитную и экспортно-импортную политику, направленную на развитие национального производства; создавать обстановку, когда бы действовали реальные стимулы к накоплению и инвестированию; разгосударствление собственности осуществлять с учетом возможности и эффективности производства; бережно относиться к накопленному интеллектуальному и трудовому потенциалу.

Очевидно, что уровень трудовых ресурсов строительной организации представляет особую значимость в оценке ее конкурентоспособности. Фактор уровня трудовых ресурсов, на наш взгляд, должен отражать стаж работников, их образование, тарифный разряд, а также эффективность использования организацией трудовых ресурсов.

Каждая работа в строительстве имеет определенный состав и специфические правила выполнения. Поэтому работники, занятые в строительном производстве, должны обладать определенным мастерством. Мастерство основывается на теоретических знаниях характера работы, ее состава, требований к качеству исполнения операций, их последовательности, свойств используемых материалов, особенности применения инструментов и инвентаря. Теоретические знания должны сочетаться с навыком, опытом, умением использовать теорию на практике. Знания в сочетании с опытом и определяют квалификацию работника. Учитывая вышесказанное, фактор уровня трудовых ресурсов может определяться показателем среднего стажа работников организации  $X_{1\text{ факт}}^{(6)}$ , который вычисляется по формуле:

$$X_{1\text{ факт}}^{(6)} = C_i / i,$$

где  $C_i$  — стаж  $i$ -го работника предприятия;

$i$  — количество работников предприятия с  $i$ -м стажем.

Нормальный уровень данного показателя  $X_{1\text{ норм}}^{(6)}$  возьмем на уровне 10 лет.

Опыт работников не дает достаточных представлений об общей квалификации трудовых ресурсов предприятия. Необходимо учитывать и средний тарифный разряд работников. Однако с учетом того, что предприятие может заниматься производством работ, не требующим высококвалифицированных рабочих, квалификацию рабочих предлагаем определять на основе коэффициента соотношения среднего тарифного разряда рабочих к среднему тарифному разряду работ  $X_{2\text{ норм}}^{(6)}$ :

$$X_{2 \text{ норм}}^{(6)} = [(Численность рабочих } i\text{-го разряда} \cdot i\text{-й тарифный разряд)}/\\(Численность рабочих } i\text{-го разряда)]/[(Количество работ } i\text{-го разряда} \cdot i\text{-й тарифный разряд)].$$

Превышение разряда работ над разрядом рабочих будет означать недостаточный уровень квалификации и некачественное выполнение операций. Равенство разрядов рабочих и работ будет означать нормальный уровень квалификации трудовых ресурсов, поэтому значение  $X_{2 \text{ норм}}^{(6)}$  должно равняться 1.

Фундаментальные изменения в производстве, вызванные научно-техническим прогрессом, обостряют необходимость в новых знаниях, способах их получения и применения. По расчетам западных специалистов, повышение уровня образования населения обеспечивает среднегодовое увеличение ВВП до 15%. Развитие интеллектуального и образовательного потенциала — определяющий фактор прогресса общества и экономики. Образовательный потенциал строительного предприятия является фактором экономического роста на макроэкономическом уровне и фактором формирования и повышения конкурентоспособности на уровне предприятия. Особые требования при этом предъявляются руководящему звену, административно-управляющему персоналу и инженерно-техническим работникам, поскольку их квалификация во многом определяет эффективность управления. Наличие у работника высшего профильного образования означает потенциальное конкурентное преимущество предприятия по данному фактору.

Коэффициент образования работников  $X_{3 \text{ факт}}^{(6)}$  исследуемого предприятия определяется по формуле:

$$X_{3 \text{ факт}}^{(6)} = \frac{\text{Численность работников АУП и ИТР с высшим образованием}}{\text{Общая численность АУП и ИТР}}.$$

Нормальный уровень данного показателя  $X_{3 \text{ норм}}^{(6)}$  должен равняться 1.

Обобщающим показателем трудового потенциала предприятия является эффективность использования трудовых ресурсов, т. е. производительность труда  $X_{4 \text{ факт}}^{(6)}$ :

$$X_{4 \text{ факт}}^{(6)} = B_p / Ч,$$

где  $B_p$  — выручка от реализации;

$Ч$  — среднесписочная численность работников.

Нормальное значение производительности труда  $X_{4 \text{ норм}}^{(6)}$  определяется на уровне среднеотраслевого, которое по состоянию на 2005 г. составляло 358 698 р. Ориентируясь на данный показатель, можно сравнивать эффективность использования трудовых ресурсов предприятий в рамках данного метода оценки конкурентоспособности.

Суммируя вышеизложенное, вычислим уровень трудовых ресурсов:

$$Y_6 = \sum(X_{c \text{ факт}}^{(6)} / X_{c \text{ норм}}^{(6)}), \quad c = 1, \dots, 4,$$

где  $X_{c \text{ факт}}^{(6)}$  — фактические показатели уровня трудовых ресурсов;

$X_{c \text{ норм}}^{(6)}$  — нормальные значения показателей уровня трудовых ресурсов предприятия.

Организация, работающая в рыночных отношениях, — это хозяйствственный механизм, который функционирует для того, чтобы выпустить продукцию, выполнить работы или оказать услуги с таким качеством или такой ценой, которые бы удовлетворяли различные потребности общества. Поэтому качество продукции, работ, услуг является основной целью

действующего механизма организации и основным орудием борьбы с конкурентами.

Качество строительно-монтажных работ — свойство строительной продукции в полной мере удовлетворять потребность заказчика (населения). Повышение качества является важнейшей задачей для строительной отрасли в целом. Система качества — это хозяйственный механизм организации, содержащий комплекс необходимых элементов, обеспечивающих его оптимальную с точки зрения качества стоимость и правовое обеспечение, функционирование, направленное на достижение конкурентоспособности организации в рыночных условиях хозяйствования. Создание системы качества в организации — дело добровольное, однако организации вынуждены их организовывать и идти на связанные с этим затраты, так как в настоящее время именно это создает условия для реальной конкурентной борьбы.

За последнее десятилетие в строительной отрасли РФ произошли ощутимые структурные изменения. Они привели к появлению большого количества строительно-монтажных организаций, которые хотят получить лицензию на осуществление строительства различных объектов, а также заказы государственных, частных, в том числе, иностранных инвесторов. Между организациями возникает конкурентная борьба, что дает возможность инвесторам выбрать организации, удовлетворяющие их требования по качеству и стоимости строительства. При этом требования инвесторов к качеству строительства значительно повышаются, что в большей мере является результатом разделения функций заказчиков и подрядчиков и законодательного закрепления в Гражданском кодексе РФ порядка осуществления подрядных отношений в строительстве, соответствующего условиям рыночной экономики. Таким образом, складывается конъюнктура, при которой система качества становится чрезвычайно актуальной задачей.

Базой создания системы качества на предприятии являются международные стандарты ИСО 9000, которые в настоящее время приняли в России в качестве национальных. Организацию и координацию работ, связанных с разработкой и внедрением системы качества, осуществляет служба качества организации. Численность сотрудников этой службы зависит от размера организации и сложности возложенных на нее функций. Ответственность за разработку и внедрение документов системы качества, а также за эффективное ее функционирование возлагается на руководителя организации, а за координацию этой деятельности — на руководителя службы качества.

Рассмотрим организацию системы управления качеством строительства специализированного управления № 32 ОАО «Строймеханизация» (г. Бугульма, Республика Татарстан).

В принцип данной системы, главным образом, вошел экономический рычаг. Управление качеством ведется на базе оперативной информации о фактическом состоянии качества строительства на объектах. Система СУ-32 основывается на разработках отдельных систем управления качеством производственных участков. Главную работу за контролем качества в отношении непосредственного исполнителя (рабочего, бригадира, мастера, прораба) на участках проводит группа качества, которая предварительно, как и все ИТР, проходит обучение по организации производства и приемки работ, согласно профилю выполняемых работ и принятому внутреннему нормативному документу по аттестации. Группа качества (руководитель группы) заводит свой журнал учета брака, в котором фиксируются замеченные нарушения производственного процесса с суммой затрат на их исправления. Если имеющийся брак не обнаружен, КТУ чле-

нов группы качества автоматически понижается на 0,2, и соответственно повышается на 0,2 в случае своевременного его обнаружения.

Анализ систем качества некоторых предприятий РТ показал, что в целом данные системы организованы по одним и тем же принципам. Различия наблюдались в основном в мотивации труда работников, т. е. раз-мере поощрения или наказания за брак.

Для оценки эффективности системы качества с экономической точки зрения в организации разрабатываются процедуры финансовой отчетности, отражающие затраты на обеспечение качества и влияние качества на прибыль. Выбор и применение методов финансовой отчетности конкретной организации зависят от структуры организации и уровня развития систем качества. Может применяться метод калькуляции затрат на качество, метод определения потерь от низкого качества или другие известные методы. Внутренние финансовые отчеты о деятельности по управлению качеством составляются каждый квартал экономистом организации совместно со службой качества и представляются для анализа руководителю организации. Ответственность за выполнение данной дея-тельности возлагается на финансового директора организации.

По нашему утверждению, обеспечение требуемого качества связано с выявлением, устранением и предотвращением дефектов. Эти действия влекут за собой определенные затраты строительной организации.

Предлагается также показатель качества строительной продукции оценивать соотношением затрат, вызванных дефектами в процессе произ-водства, с учетом затрат, связанных с эксплуатацией самой системы ка-чества.

Уровень качества строительной продукции будет определяться от-клонением нормального показателя качества от фактического  $Y_7$

$$Y_7 = X_{\text{норм}}^{(7)} / X_{\text{факт}}^{(7)}.$$

Нормальный уровень качества равен 1. Предприятие будет конкурен-тоспособным по данному показателю, если отклонение нормального зна-чения от фактического равно 1.

Показатель качества рассчитывается по формуле

$$X_{\text{факт}}^{(7)} = Z_{\text{д прием}} / (Z_{\text{двх}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{дпром}} + Z_{\text{д инс}} + Z_{\text{экс}}),$$

где  $Z_{\text{д прием}}$  — затраты от дефектов, обнаруженных при приемочном кон-троле;

$Z_{\text{двх}}$  — затраты от дефектов, обнаруженных на входном контроле;

$Z_{\text{доп}}$  — затраты от дефектов, обнаруженных при операционном контроле;  $Z_{\text{дпром}}$  — затраты от дефектов, обнаруженных при промежуточном кон-троле;

$Z_{\text{д инс}}$  — затраты от дефектов, обнаруженных при инспекционном контроле;

$Z_{\text{экс}}$  — затраты, вызванные эксплуатацией системы качества на предпри-ятии (оплата труда групп качества, повышение квалификации работни-ков, внедрение новой техники, содержание лаборатории качества и т.д.).

Поскольку значение фактора конкурентных преимуществ определя-ется соотношением нормального уровня к фактическому, коэффициент не должен равняться нулю, поэтому введем в формулу дополнительную постоянную, равную 1. Формула при этом будет иметь следующий вид:

$$X_{\text{факт}}^{(7)} = [Z_{\text{д прием}} / (Z_{\text{двх}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{дпром}} + Z_{\text{д инс}} + Z_{\text{экс}})] + 1.$$

Продукция будет считаться качественной в том случае, если показа-тель качества  $X_{\text{факт}}^{(7)} = 1$ . Значение показателя от 1 до 2 будет означать низ-

кое качество строительной продукции, а при  $X_{\text{факт}}^{(7)} > 2$  система контроля качества процесса строительного производства абсолютно неэффективна.

Важные результаты конкурентной борьбы, степень доминирования предприятия на рынке отражает фактическая рыночная доля предприятия, значение которой рассчитывается по формуле:

$$\Delta_i = B / \sum B_i \quad i = 1, \dots, n; \quad 0 < \Delta_i < 1 \quad \Delta_i = X_{14}^{(5)}_{\text{факт}},$$

где  $B$  — выручка строительного предприятия.

Долю рынка нельзя однозначно отнести к внутренним факторам, поскольку, с одной стороны, она определяется объемом работ, т. е. непосредственно результатом хозяйственной деятельности предприятия. С другой — доля рынка характеризует масштаб предприятия, а в настоящее время многим предприятиям лидерство в размере охвата строительного рынка досталось по наследству от плановой экономики, и в этой связи необходимо говорить о доле рынка как о внешнем факторе. В любом случае ее размер является одним из важнейших показателей, определяющих основную линию поведения предприятия в условиях конкурентной борьбы.

Позиционирование предприятия относительно конкурентов предполагает выделение классификационных групп строительных предприятий по рыночной доле. Распределение рыночных долей позволяет выделить ряд стандартных положений предприятий на рынке. Как правило, речь идет о лидерах рынка — с максимальными значениями долей, предприятиях-аутсайдерах, занимающих самые скромные позиции, и некоторых промежуточных группах. В научной литературе рекомендации на этот счет сводятся к определению граничных значений долей, которые определяют принадлежность предприятия к той или иной группе. Эти границы представляют собой абсолютные значения  $\Delta_i$ , формируемые на основе анализа рыночной позиции конкурентов на конкретных рынках. Частный характер такого рода рекомендаций, а также динамичность конкурентных отношений не позволяют использовать получаемые оценки для других рынков и временных периодов. На рынке возможны ситуации, когда 15%-я доля достаточно для доминирования, и наоборот, 40%-я доля не дает основания считать предприятие лидером. Определить граничные значения, учитывающие более общие и существенные факторы, которые, с одной стороны, отражают особенности конкретного рынка, с другой — дают возможность создать единую схему распределения предприятий на группы, позволяет методика Г. Л. Азоева, воспользовавшись которой определим наличие конкурентного преимущества строительного предприятия по размеру охвата строительного рынка.

Схема определения границ групп предприятий по долям рынка следующая:

- 1) рассчитывается среднее арифметическое значение рыночных долей;
- 2) вся совокупность предприятий рассматриваемого рынка делится на два сектора, для которых значения долей больше или меньше среднего значения;
- 3) в каждом из секторов рассчитываются среднеквадратические отклонения, которые совместно с минимальными и максимальными значениями определяют границы представленных групп.

Среднее арифметическое значение долей всей совокупности предприятий  $\Delta_{cp}$  вычисляется из соотношения  $\Delta_{cp} = 1/n \cdot 100\%$ .

Определяются минимальное  $\Delta_{min}$  и максимальное  $\Delta_{max}$  значения рыночной доли:

$$\Delta_{min} = \text{MIN } \{\Delta_i\}, \quad \Delta_{max} = \text{MAX } \{\Delta_i\}.$$

$\bar{D}_{cp1}$  ( $\bar{D}_{cp2}$ ) — среднее арифметическое значение рыночной доли предприятий, для которых  $D_s < \bar{D}_{cp}$  ( $D_t > \bar{D}_{cp}$ ):

$$\bar{D}_{cp1} = (1/k_1) \cdot \Sigma (D_s), \quad s = 1, \dots, k_1,$$

$$\bar{D}_{cp2} = (1/(n - k_1)) \cdot \Sigma (D_t), \quad t = 1, \dots, n - k_1.$$

Среднеквадратическое отклонение рыночной доли предприятия  $q_1$  ( $q_2$ ) при  $D_i > (<) \bar{D}_{cp}$  рассчитывается по соответствующим секторам:

$$q_1 = \sqrt{(1/k_1) \cdot \Sigma (D_s - \bar{D}_{cp1})^2};$$

$$q_2 = \sqrt{(1/(n - k_1)) \cdot \Sigma (D_t - \bar{D}_{cp1})^2},$$

где  $k_1$  — количество предприятий, рыночная доля которых меньше среднеарифметического значения;

( $n - k_1$ ) — количество предприятий, рыночная доля которых больше среднеарифметического значения.

В результате расчетов образуются четыре группы (табл. 2).

Таблица 2

Классификация предприятий по рыночной доле

Интервалы принадлежности $D_i$	Группы принадлежности строительного предприятия по $D_i$
$\bar{D}_{cp} + 3 \cdot q_2; D_{max}$	Лидеры рынка
$\bar{D}_{cp}; \bar{D}_{cp} + 3 \cdot q_2$	Предприятия с сильной конкурентной позицией
$\bar{D}_{cp} - 3 \cdot q_1; \bar{D}_{cp}$	Предприятия со слабой конкурентной позицией
$D_{min}; \bar{D}_{cp} - 3 \cdot q_1$	Аутсайдеры рынка

Определение доли рынка соответственно и принадлежности к той или иной классификационной группе позволит предприятию установить свою позицию по отношению к конкурентам и сформировать представление о возможности и направлении дальнейшего развития с целью противостояния давлению конкурентов.

Таким образом, были выявлены и обоснованы наиболее значимые внутренние факторы конкурентных преимуществ, а также показатели, осуществляющие их оценку. Они отражают важные аспекты ведения конкурентной борьбы: наличие финансовых ресурсов, долю рынка, уровень производственного потенциала, качество строительной продукции. Позиционирование по данным факторам позволит строительному предприятию правильно определить линию стратегического поведения по отношению к конкурентам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лапин Г. Н. Оценка конкурентоспособности строительных компаний / Г. Н. Лапин // Экономика строительства. — 2000. — № 7. — 31 с.
- Романова А. И. Развитие конкурентоспособного регионального строительного комплекса: проблемы и перспективы / А. И. Романова, А. Р. Ибрагимова, М. Ш. Хуснуллин, Г. М. Загидуллина. — Казань: КГАСУ, 2005. — 208 с.

© Романова А. И., Ибрагимова А. Р., Хатыпов А. М., 2007

Получено 19.01.07

# ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627 : 658./55

Ю. И. БИК, д-р техн. наук, проф., Я. Н. ПОЛИКАРПОВА, ст. препод.,  
П. С. ЧЕРНЫШЕВ, асп. (Новосибирская государственная академия водно-  
го транспорта)

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Изложена методика оценки эффективности использования основных средств гидротехнических сооружений, которая позволит выявить резервы повышения фондоотдачи основных средств. Предложена математическая модель по оценке ситуаций неопределенности и риска, возникающих в процессе эксплуатации гидротехнического сооружения.

При исследовании методов рационального использования основных средств гидротехнических сооружений очень мало внимания уделяется тем ресурсам, которые применяются не по своему целевому назначению, т. е. теряются в результате возникновения различного рода аварий или непредвиденных ситуаций.

Этому направлению повышения эффективности использования основных средств посвящено мало научных работ, хотя значимость такого подхода переоценить сложно.

Его сущность заключается в уменьшении убытков, возникающих при эксплуатации основных средств гидротехнических сооружений путем предвидения ситуаций, связанных с неопределенностью и риском.

Социальный аспект ущерба при возникновении подобных ситуаций учитывает такие последствия, как гибель людей, ущерб, наносимый экологической сфере, сильные стрессы работников предприятия, падение морального уровня и, что немаловажно, экономический ущерб.

Экономическое понимание снижения эффективности использования основных средств гидротехнических сооружений — это оценка убытков, потерянных прибылей вследствие наступления того или иного негативного события.

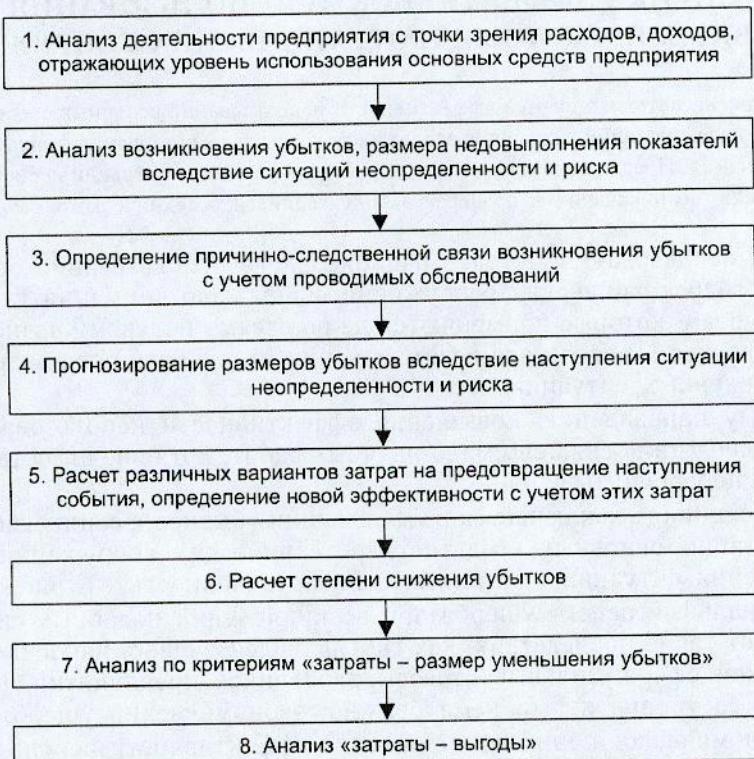
Сущность любой ситуации неопределенности и риска — критическое отклонение наиболее важных параметров, влияющих на жизнеспособность предприятия и организации. И именно контроль отклонений по наиболее главным техническим, экономическим и социальным параметрам может гарантировать своевременный учет опасности и повысить эффективность использования основных средств.

Важнейшим элементом является человеческий фактор. Наличие человека в системе управления, с одной стороны, дает возможность за счет использования внутренних резервов человека значительно повысить эффективность использования основных средств, но с другой — в силу человеческого фактора увеличивается и риск возникновения различных ситуаций. По оценкам специалистов, наибольший удельный вес в различных техногенных авариях и катастрофах имеют причины, связанные с неправильными действиями персонала. Эти действия вносят элемент риска даже в хорошо отлаженных производствах [1].

Значимость этого подхода обусловливается еще и тем, что износенность основных средств на предприятиях и, в частности, гидротехнических сооружениях повышается, а значит, риск увеличения убытков возрастает с каждым годом.

Любой экономический анализ, проводимый с целью повышения эффективности, начинается с наработки сценариев — мероприятий или групп мероприятий, направленных на повышение этой эффективности.

Для разработки рекомендаций по экономически эффективным мерам рационального использования основных средств предлагается комплексный экономический анализ, который включает в себя разработку следующих шагов (схема).



Логическая схема решения задачи повышения эффективности использования основных средств гидротехнических сооружений

Наибольший интерес представляет 4, 7 и 8-й шаг, так как прогнозированию данных ситуаций и экономическому обоснованию их последствий на сегодняшний день уделяется мало внимания в области эксплуатации ГТС.

**Первым шагом** в данной модели (этап 4) с целью облегчения прогнозирования и анализа все типы ситуаций разбиваются на ряд простых. Разберем данный этап на примере прогнозирования и ранжирования ситуаций неопределенности и риска на Новосибирском Шлюзе [2].

При анализе причин недовыполнения показателей ситуации классифицировали по трем группам.

I. *Причины возникновения ситуаций*: недостаточный уход; дефекты элементов оборудования; нарушение правил инструкций; перегрузка механизмов оборудования; попадание под затворы посторонних предметов; повреждение затворов и механизмов проходящими судами; прочие невыясненные.

II. *Виды оборудования*: устройство электроснабжения; электродвигатели и электромагниты; силовые кабели; путевые и конечные выключатели автоматики; приводы выключателей автоматики; контакты и реле

автоматики; срабатывание блокировок автоматики; контрольные кабели автоматики; гидроаппаратура автоматики; сельсинная сигнализация уровней и положений затворов; светофорная сигнализация; отказы и ложные срабатывания электрооборудования; перегрузка, ослабление тяговых органов; основные ворота и механизмы; затворы наполнения и опорожнения; прочее оборудование.

**III. Внешние:** снижение грузооборота перевозок водным транспортом; сдвиг фактической даты открытия навигации более чем на 3 дня от средней сложившейся в сторону более поздней; сдвиг фактической даты закрытия более чем на 3 дня от средней сложившейся в сторону более ранней.

**Вторым шагом** необходимо разделить ситуации по степени значимости. Ситуации, которые будут включены в первую группу, — это ситуации, сумма убытков в которых за предыдущий анализируемый период или прогнозируемая сумма убытков является максимальной, либо вероятность возникновения этих ситуаций максимальна за предыдущий либо прогнозируемый период:

$$F I = F_1 + F_2 + \dots + F_n, \quad (1)$$

$$F I \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $F I$  — сумма убытков по первой группе ситуаций, р.;

$F_1 + F_2 + \dots + F_n$  — соответственно размер убытков по первой, второй и так далее ситуациям, р.

Ситуации, отнесенные к первой группе, считаются приоритетными. Количество ситуаций в первой группе может меняться в зависимости от специфики эксплуатируемых основных средств.

Ко второй группе отнесем те ситуации, сумма убытков по которым была минимальной за предшествующий период или прогнозируемые убытки на перспективу невелики, либо вероятность возникновения подобного рода ситуаций минимальна по сравнению с первой группой:

$$F II = F_5 + F_6 + \dots + F_n, \quad (3)$$

$$F II \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $F II$  — сумма убытков по второй группе ситуаций, р.;

$F_5 + F_6 + \dots + F_n$  — размер убытка по каждой ситуации в группе, р.

При применении данных формул для Новосибирского Шлюза разбивка на группы осуществлялась так, как представлено в табл. 1.

**Третьим шагом** по степени ситуациям придаются веса в порядке ранжирования убытков.

Причем сумма всех рисков по всем группам равна единице

$$\sum W_i = 1. \quad (5)$$

При этом должно выполняться следующее условие:

$$\text{если } F_n \rightarrow \max, \text{ то } W_i \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\text{если } F_n \rightarrow \min, \text{ то } W_i \rightarrow \min. \quad (7)$$

Результат данного шага представлен в табл. 2.

При **четвертом шаге** для оценки вероятности наступления событий, относящихся к каждой группе, либо привлекаются эксперты — если это риски внешнего характера (гидрологические характеристики, стихийно-природные и т. д.), либо прогнозируется вероятность исходя из ретроспективы.

Таблица 1  
Веса рисков в каждой группе

Риск	Приоритет	Вес риска в данной группе
<i>По видам оборудования</i>		
Контакты и реле автоматики	1	0,3325
Прочее оборудование	1	0,1432
Путевые и конечные выключатели	1	0,1228
Отказы и ложные срабатывания	2	0,0824
Устройство электроснабжения	2	0,0795
Силовые кабели	2	0,0077
Приводы выключателей	2	0,0233
Срабатывание блокировок	2	0,0317
Гидроаппаратура	2	0,0455
Сельсинная сигнализация уровней и положений затворов	2	0,0195
Светофорная сигнализация	2	0,0293
Перегрузка, ослабление тяговых	2	0,0219
Основные ворота и механизмы	2	0,0498
Затворы наполнения и опорожнения	2	0,0110
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1</b>

По причинам

Дефекты элементов оборудования	1	0,5400
Недостаточный уход	1	0,2132
Прочие невыясненные	1	0,1677
Нарушение правил инструкций	2	0,0033
Перегрузка механизмов оборудования	2	0,0351
Попадание под затворы посторонних предметов	2	0,0098
Повреждение механизмов и затворов проходящими судами	2	0,0309
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1</b>

Таблица 2  
Веса рисков в каждой группе с учетом коэффициента значимости

Риск	Приоритет	Вес риска в данной группе
<i>По видам оборудования</i>		
Контакты и реле автоматики	1	0,3253
Прочее оборудование	1	0,3253
Путевые и конечные выключатели	1	0,3253
Отказы и ложные срабатывания	2	0,0021
Устройство электроснабжения	2	0,0021
Силовые кабели	2	0,0021
Приводы выключателей	2	0,0021
Срабатывание блокировок	2	0,0021
Гидроаппаратура	2	0,0021
Сельсинная сигнализация уровней и положений затворов	2	0,0021
Светофорная сигнализация	2	0,0021
Перегрузка, ослабление тяговых	2	0,0021
Основные ворота и механизмы	2	0,0021
Затворы наполнения и опорожнения	2	0,0021
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1</b>

По причинам

Дефекты элементов оборудования	1	0,3327
Недостаточный уход	1	0,3327
Прочие невыясненные	1	0,3327
Нарушение правил инструкций	2	0,0015
Перегрузка механизмов оборудования	2	0,0015
Попадание под затворы посторонних предметов	2	0,0015
Повреждение механизмов и затворов проходящими судами	2	0,0015
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1</b>

Эксперты оценивают вероятность наступления каждой простой прогнозируемой ситуации, или каждая простая ситуация получает свою вероятность в зависимости от сложившейся вероятности и от прогнозов, рассчитанных субъективными методами. То есть каждому событию  $Si$  будут соответствовать средние вероятности их наступления  $Yi$ . Если вероятность прогнозируется экспертами, то имеем

$$Si = Yi, \quad (8)$$

$$Y_i = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_m) / m, \quad (9)$$

где  $Y_i$  — средняя прогнозируемая вероятность каждого простого события;  $m$  — количество экспертов, чел.;  $Y_1 + Y_2 + \dots + Y_m$  — прогнозируемая вероятность простой ситуации каждым событием несколькими экспертами.

Если вероятность прогнозируется объективными методами, то могут использоваться либо:

- метод простого тренда,
- метод скользящей средней,
- средняя сложившаяся вероятность за предыдущие периоды.

Применяя ретроспективный анализ сложившихся вероятностей по данным видам ситуаций, используем метод простого тренда для прогноза вероятностей на следующий год (табл. 2).

**Пятый шаг** способствует после выставления вероятностей определению веса группы с наименьшим приоритетом.

Для этого применяют следующую формулу:

$$W_k = 2/(k(f+1)), \quad (10)$$

где  $k$  — номер группы с наименьшим приоритетом;

Таблица 3  
Балльные оценки наступления рисков

Риск	Вес риска в данной группе	Вероятность	Балл
Контакты и реле автоматики	0,3253	0,25	0,0813
Прочее оборудование	0,3253	0,17	0,0553
Путевые и конечные выключатели	0,3253	0,09	0,0293
Отказы и ложные срабатывания	0,0021	0,10	0,0002
Устройство электроснабжения	0,0021	0,10	0,0002
Силовые кабели	0,0021	0,01	0,0000
Приводы выключателей	0,0021	0,02	0,0000
Срабатывание блокировок	0,0021	0,02	0,0000
Гидроаппаратура	0,0021	0,05	0,0001
Сельсинная сигнализация уровней и положений затворов	0,0021	0,02	0,0000
Светофорная сигнализация	0,0021	0,04	0,0001
Перегрузка, ослабление тяговых	0,0021	0,03	0,0001
Основные ворота и механизмы	0,0021	0,08	0,0002
Затворы наполнения и опорожнения	0,0021	0,02	0,0000
Итого	1,0000	1,00	0,1669
Дефекты элементов оборудования	0,3327	0,53	0,1763
Недостаточный уход	0,3327	0,18	0,0599
Прочие невыясненные	0,3327	0,17	0,0566
Нарушение правил инструкций	0,0015	0,01	0,0000
Перегрузка механизмов оборудования	0,0015	0,06	0,0001
Попадание под затворы посторонних предметов	0,0015	0,02	0,0000
Повреждение механизмов и затворов проходящими судами	0,0015	0,03	0,0000
Итого	1,0000	1,00	0,2930

$f$  — соотношение весов первого и последнего приоритета:

$$f = W1 / W6. \quad (11)$$

Вычисляем вес ситуаций в первой группе:

$$W1 = Wk((k - 1)f + l - 1) / (k - 1), \quad (12)$$

где  $l$  — номер группы с большим приоритетом.

Определяем вес простых ситуаций в каждой приоритетной группе:

$$Wi = W1 / hi, \quad (13)$$

где  $hi$  — число ситуаций в группе.

Используя вероятностные оценки, полученные экспертами, можно найти балльные оценки вероятности наступления событий:

$$H = \sum Wi Yi, \quad (14)$$

где  $H$  — балльная оценка по всем событиям;

$Yi$  — вероятность наступления события.

Примем итоговые показатели за 100 баллов. Тогда значения рисков будут представлены в табл. 3.

Таким образом, видим три риска в обеих группах, которые заслуживают пристального внимания.

Остались неспрогнозированными внешние риски, которые носят в основном гидрологический характер. Эту группу рисков не рассматриваем, так как к этим ситуациям можно только подстраиваться. В отличие от них внутренние риски зависят от функционирования судопропускного сооружения, и поэтому на них есть возможность влияния и уменьшения.

После проведения данного анализа необходимо разработать ряд мероприятий (сценариев), направленных на снижение наиболее опасных с точки зрения приоритетности ситуаций (ситуаций с наибольшими убытками и с максимальной вероятностью наступления событий).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lichtenstein Benyamin M. G. How do «Resours bundles» develop and change in new ventures? A dynamic model and longitudinal exploration / Lichtenstein Benyamin M., Bergmann, Brush Candida G. // Entrepreneurship. Theory and Pract. — 2001. — № 3. — 25 с.
2. Декларация Безопасности Новосибирского Шлюза НРВПГ и С. — Новосибирск, 2007. — 171 с.

© Бик Ю. И., Поликарпова Я. Н., Чернышев П. С., 2007

Получено 15.02.07

# САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.003.1

Ю. А. ТАБУНЩИКОВ, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., Н. В. ШИЛКИН, доц. (Московский архитектурный институт)

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Рассматриваются экономические аспекты внедрения энергосберегающих мероприятий в зданиях. Сделана оценка влияния на срок окупаемости инвестиций в некоторые энергосберегающие мероприятия стоимости тепловой энергии. Приведены примеры расчета сроков окупаемости семи вариантов энергосберегающих мероприятий для многоэтажного жилого здания (использование ИТП, регулируемой системы отопления, регулируемой вентиляции). Показано влияние стоимости тепловой энергии и величины нормы дисконта на выбор одной из двух альтернативных возможностей использования денежных средств инвестора: использовать имеющиеся средства на энергосберегающие мероприятия или вложить их в так называемые портфельные инвестиции (различные виды «дачи взаймы» денежных средств под процент).

Проблема экономии энергии в современных зданиях, повышения их тепловой эффективности за счет внедрения энергосберегающих мероприятий может быть решена только при условии экономической привлекательности для инвесторов. Заинтересованность в дополнительных инвестициях в энергосберегающие мероприятия будет у инвестора лишь в том случае, если с достаточной уверенностью ему может быть гарантирован возврат этих инвестиций через небольшой промежуток времени (т.е. низкий срок окупаемости инвестиций) и достаточно привлекательный чистый доход за счет экономии энергии.

Переход национальной экономики на рыночные методы хозяйствования потребовал пересмотра ранее существовавших директивных методов экономических расчетов при обосновании инвестиционных проектов. К настоящему времени разработана методика технико-экономической оценки энергосберегающих мероприятий с учетом механизма дисконтирования и наращения (капитализации) поступающих в будущем доходов, необходимости достоверно прогнозировать динамику таких показателей, как инфляция, процентные и кредитные ставки и т.д. в течение всего срока эксплуатации энергосберегающего мероприятия.

В данной статье сделана оценка влияния на срок окупаемости инвестиций в некоторые энергосберегающие мероприятия такого важнейшего показателя, как стоимость тепловой энергии.

Экономическая эффективность инвестиций в энергосберегающие мероприятия находится в прямой зависимости от стоимости энергии. Очевидно, что чем выше стоимость энергии, тем быстрее окупаются технические решения, позволяющие снижать энергопотребление зданий. Поскольку энергосберегающие мероприятия в зданиях рассчитаны, как правило, на достаточно длительный период эксплуатации, важную роль для оценки экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия играет прогнозирование изменения стоимости энергии в период эксплуатации данного энергосберегающего мероприятия.

В настоящее время цены на тепловую энергию в России ниже мировых, и, по мнению специалистов, в ближайшее время эти цены должны вырасти. Существуют разные мнения об интенсивности роста цен: ряд специалистов считает, что цены на тепловую энергию должны достичь некоторого «мирового уровня», другие отмечают, что цена тепловой энер-

гии возрастет, но в любом случае будет ниже того же «мирового уровня». Здесь необходимо отметить, что само понятие «мирового уровня» цен на тепловую энергию не может быть определено. Поэтому можно рассматривать цену тепловой энергии конкретной страны (или нескольких географически близких стран со схожей экономикой).

Ниже приведены примеры расчета сроков окупаемости инвестиций в энергосберегающие мероприятия экспериментального объекта (многоэтажного жилого здания), расположенного в Москве, удельный расход тепловой энергии на отопление которого составляет  $102 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Для расчетов принимались: стоимость тепловой энергии в нашей стране в настоящее время, прогнозные цены на 2010 г., стоимость тепловой энергии в странах СНГ, Восточной и Западной Европы и США. Расчеты сроков окупаемости инвестиций в энергосберегающие мероприятия проведены в соответствии с методикой, изложенной в «Положении об экономическом стимулировании проектирования и строительства энергоэффективных зданий и выпуска для них энергосберегающей продукции» [1], введенном в действие распоряжением руководителя Департамента градостроительной политики, развития и реконструкции г. Москвы от 12 мая 2005 г. № 46.

При рассмотрении примеров следует учитывать, что точные значения стоимости оборудования, его монтажа, степень снижения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию возможно получить только при составлении сметы конкретных работ, детального расчета теплоэнергетических характеристик здания и уточнения их по результатам натурных испытаний. В связи с перечисленными факторами приводимые ниже примеры следует считать «упрощенными». Также при оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия следует учитывать, что методология проектирования энергоэффективного здания должна основываться на системном анализе здания как единой энергетической системы, а представление энергоэффективного здания как суммы независимых инновационных решений нарушает принципы системности и приводит к потере энергетической эффективности проекта. Из этого следует, что существенная экономия энергоресурсов может быть достигнута только при внедрении комплекса энергосберегающих мероприятий. Например, при устройстве в здании авторегулируемой (гигрорегулируемой) вентиляции экономия энергоресурсов может быть достигнута только в случае использования регулируемой системы отопления, поскольку при снижении теплопотерь за счет вентиляционного воздухообмена необходимо соответственно уменьшить теплоотдачу отопительных приборов; в противном случае возможен перегрев помещений. Примеры следует считать «упрощенными» также с учетом данного обстоятельства. Кроме того, современные технические решения, обеспечивающие экономию энергоресурсов, зачастую одновременно способствуют повышению качества микроклимата (качества среды обитания человека), т. е. повышению потребительских качеств здания, защите окружающей среды и т. д. В связи с этим при принятии окончательного решения об использовании тех или иных энергосберегающих мероприятий в здании, наряду с оценкой экономической эффективности, могут учитываться и другие соображения количественного и качественного характера.

Сроки окупаемости рассчитаны для инвестиций в следующие семь вариантов энергосберегающих мероприятий:

1. Устройство индивидуального теплового пункта (ИТП).
2. Устройство регулируемой системы отопления с терморегуляторами прямого действия на каждом отопительном приборе: на каждом трубопроводе, подводящем теплоноситель к радиатору, устанавливается радиаторный терморегулятор прямого действия с термоэлементом.

3. Устройство регулируемой системы отопления с терморегуляторами на каждом отопительном приборе с электрическим управлением: на каждом трубопроводе, подводящем теплоноситель к радиатору, устанавливается клапан с термоэлектрическим нормально открытым приводом, привод соединяется с электромеханическим комнатным термостатом.

4. Устройство авторегулируемой (гигрорегулируемой) системы вентиляции с естественным притоком через гигрорегулируемые приточные клапаны и с естественной вытяжкой через гигрорегулируемые вытяжные решетки, установленные в помещениях ванной комнаты и санузла.

5. То же, что и вариант 4, но энергосберегающие мероприятия внедряются на 10 зданиях указанной серии. В этом случае удельные единовременные дополнительные капитальные вложения (инвестиции) уменьшаются примерно на 30% за счет оптовых скидок на стоимость оборудования.

6. Устройство авторегулируемой (гигрорегулируемой) системы вентиляции с естественным притоком через гигрорегулируемые приточные клапаны и с механической вытяжкой из помещений кухни, ванной комнаты и санузла через гигрорегулируемые вытяжные решетки посредством центрального вытяжного вентилятора.

7. Устройство поквартирной механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты удалаемого воздуха. Компактный приточно-вытяжной агрегат с пластинчатым рекуперативным теплоутилизатором размещается в подшивном потолке туалета. Забор наружного воздуха осуществляется через отверстие в наружной стене или из остекленной лоджии. Приточные воздуховоды разводятся в жилые комнаты. Вытяжной воздух забирается из помещений кухни, ванной комнаты и санузла. Теплота удалаемого воздуха используется для подогрева приточного посредством пластинчатого рекуперативного теплоутилизатора.

Ежегодный средний дополнительный доход за счет экономии энергоресурсов в течение всего срока эксплуатации энергосберегающих мероприятий рассчитывался исходя из следующих значений стоимости тепловой энергии (в порядке возрастания):

— средняя стоимость тепловой энергии в России в первом квартале 2005 г. (источник — «Отчет об экономической деятельности ОАО РАО «ЕЭС России». I квартал 2005 г.»);

— прогнозируемая цена в России на 2010 г., вариант 1 (экстраполяционный прогноз на основе динамики роста цены тепловой энергии в России с 2000 г. по I кв. 2005 г.);

— прогнозируемая цена в России на 2010 г., вариант 2 (прогноз д-ра техн. наук В. Г. Гагарина [3]);

— средняя стоимость тепловой энергии в странах СНГ и Восточной Европы — нижняя граница (по данным НП «Российское теплоснабжение»);

— средняя стоимость тепловой энергии в странах СНГ и Восточной Европы — верхняя граница (по данным НП «Российское теплоснабжение»);

— средняя стоимость тепловой энергии в США в 2001 г. (по данным Energy Information Administration);

— средняя стоимость тепловой энергии в Европе (по данным д-ра техн. наук В. Г. Гагарина [3]);

— средняя стоимость тепловой энергии в странах Западной Европы — нижняя граница (по данным НП «Российское теплоснабжение»);

— средняя стоимость тепловой энергии в странах Западной Европы — верхняя граница (по данным НП «Российское теплоснабжение»).

Возможны два варианта использования потока поступающих в результате инвестиций доходов: дисконтирование (использование посту-

пающих доходов в качестве оборотных средств) и наращение (изъятие поступающих доходов из оборота и их реинвестирование). Соответствующие (бездисконные, с учетом дисконтирования и с учетом наращения) сроки окупаемости инвестиций в энергосберегающие мероприятия в зависимости от стоимости тепловой энергии, рассчитанные в соответствии с методикой, указанной в [1, 2], представлены в табл. 1–3.

Таблица 1  
**Бездисконные сроки окупаемости инвестиций в энергосберегающие мероприятия в зависимости от стоимости тепловой энергии**

Энергосбе- регающие мероприятия	Стоимость 1 кВт·ч тепловой энергии, р.								
	0,31	0,49	0,57	0,77	1,03	1,08	1,43	1,72	2,15
Вариант 1	11,6 лет	8,3 лет	6,4 лет	4,8 лет	3,9 лет	3,6 лет	2,6 лет	2,2 лет	1,8 лет
Вариант 2	13,6 лет	9,7 лет	7,6 лет	5,7 лет	4,5 лет	4,3 лет	3,1 лет	2,6 лет	2,1 лет
Вариант 3	—	—	18,1 лет	13,4 лет	9,8 лет	9,4 лет	7,1 лет	5,9 лет	4,7 лет
Вариант 4	18,0 лет	11,5 лет	9,7 лет	7,0 лет	5,3 лет	5,0 лет	3,8 лет	3,2 лет	2,5 лет
Вариант 5	12,7 лет	8,1 лет	6,9 лет	4,9 лет	3,7 лет	3,6 лет	2,7 лет	2,2 лет	1,8 лет
Вариант 6	—	16,8 лет	14,4 лет	10,8 лет	8,2 лет	7,8 лет	5,8 лет	4,9 лет	3,9 лет
Вариант 7	—	—	19,0 лет	14,1 лет	10,7 лет	10,2 лет	7,7 лет	6,3 лет	5,1 лет

Таблица 2  
**Сроки окупаемости инвестиций в энергосберегающие мероприятия в зависимости от стоимости тепловой энергии с учетом дисконтирования поступающих доходов**

Энергосбе- регающие мероприятия	Стоимость 1 кВт·ч тепловой энергии, р.								
	0,31	0,49	0,57	0,77	1,03	1,08	1,43	1,72	2,15
Вариант 1	—	18,5 лет	10,9 лет	6,9 лет	5,1 лет	4,7 лет	3,2 лет	2,7 лет	2,1 лет
Вариант 2	—	—	14,8 лет	8,8 лет	6,3 лет	5,8 лет	3,9 лет	3,2 лет	2,5 лет
Вариант 3	—	—	—	—	—	—	12,8 лет	9,4 лет	6,7 лет
Вариант 4	—	—	—	12,6 лет	7,8 лет	7,4 лет	5,1 лет	4,0 лет	3,1 лет
Вариант 5	—	17,4 лет	12,1 лет	7,2 лет	4,9 лет	4,6 лет	3,3 лет	2,6 лет	2,1 лет
Вариант 6	—	—	—	—	17,9 лет	15,7 лет	9,2 лет	7,0 лет	5,3 лет
Вариант 7	—	—	—	—	—	—	15,3 лет	10,5 лет	7,5 лет

Таблица 3  
**Сроки окупаемости инвестиций в энергосберегающие мероприятия в зависимости от стоимости тепловой энергии с учетом наращения поступающих доходов**

Энергосбе- регающие мероприятия	Стоимость 1 кВт·ч тепловой энергии, р.								
	0,31	0,49	0,57	0,77	1,03	1,08	1,43	1,72	2,15
Вариант 1	8,1 лет	6,3 лет	5,2 лет	4,1 лет	3,4 лет	3,3 лет	2,5 лет	2,1 лет	1,8 лет
Вариант 2	9,0 лет	7,1 лет	5,9 лет	4,7 лет	3,9 лет	3,7 лет	2,8 лет	2,4 лет	2,0 лет
Вариант 3	15,0 лет	11,9 лет	10,9 лет	8,9 лет	7,2 лет	7,0 лет	5,6 лет	4,9 лет	4,1 лет
Вариант 4	10,8 лет	8,0 лет	7,1 лет	5,6 лет	4,4 лет	4,3 лет	3,4 лет	2,9 лет	2,4 лет
Вариант 5	8,6 лет	6,2 лет	5,5 лет	4,2 лет	3,3 лет	3,2 лет	2,5 лет	2,1 лет	1,7 лет
Вариант 6	13,8 лет	10,4 лет	9,4 лет	7,7 лет	6,3 лет	6,0 лет	4,8 лет	4,2 лет	3,5 лет
Вариант 7	16,1 лет	12,2 лет	11,2 лет	9,2 лет	7,6 лет	7,4 лет	6,0 лет	5,2 лет	4,3 лет

Результаты расчетов показали, что при существующей стоимости тепловой энергии бездисконный срок окупаемости инвестиций для вариантов 3, 6, 7 превышает срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий, а для вариантов 1, 2, 4 и 5 — более 10 лет, что даже по нормативам социалистической экономики не является экономически целесообразным. Срок окупаемости инвестиций с учетом дисконтирования во всех вариантах превышает срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий и свидетельствует об экономической нецелесообразности инвестиций. Срок окупаемости инвестиций с учетом наращения для варианта 7

тов 1, 2 и 5 меньше 10 лет и может рассматриваться в качестве экономически целесообразного.

При стоимости тепловой энергии, равной 0,77 р./кВт·ч, величины сроков окупаемости выглядят более привлекательными для инвестора. Бездисконный срок окупаемости инвестиций превышает 10 лет для вариантов 3, 6, 7, но в любом случае ниже срока эксплуатации энергосберегающих мероприятий; в остальных вариантах бездисконный срок окупаемости составляет от 4,8 до 7 лет. Срок окупаемости инвестиций с учетом дисконтирования для вариантов 3, 6 и 7 превышает срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий, а для варианта 4 составляет более 10 лет, что говорит об экономической нецелесообразности инвестиций; для вариантов 1, 2 и 5 — менее 10 лет, что говорит об экономической целесообразности этих вариантов. Срок окупаемости инвестиций с учетом наращения для всех вариантов составляет менее 10 лет (от 4,1 до 9,2 лет) и может рассматриваться в качестве экономически целесообразного.

При стоимости тепловой энергии, равной 2,15 р./кВт·ч, величины сроков окупаемости, безусловно, инициируют инвесторов на вложение средств в энергосберегающие мероприятия: максимальный бездисконный срок окупаемости не превышает 5,1 лет, срок окупаемости с учетом дисконтирования не превышает 7,5 лет, а с учетом наращения — 4,3 лет.

Важно отметить, что максимальный эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий может быть достигнут только в случае их массового применения. Примеры 4 и 5 иллюстрируют это обстоятельство. Пример 4 рассчитан для случая внедрения энергосберегающего мероприятия в одном здании, а пример 5 — для случая внедрения такого же энергосберегающего мероприятия в 10 зданиях. Общие единовременные дополнительные капитальные вложения (инвестиции) во втором случае уменьшаются примерно на 30% за счет оптовых скидок на стоимость оборудования. При этом чистый доход за счет экономии энергоресурсов за весь период эксплуатации энергосберегающих мероприятий возрастает, а срок окупаемости инвестиций уменьшается. При стоимости тепловой энергии 0,77 р./кВт·ч срок окупаемости с учетом дисконтирования для варианта 4 (одного здания) составляет 12,6 лет, а для варианта 5 (10 зданий) уменьшается до 7,2 лет.

На практике инвестор обычно имеет альтернативу: использовать имеющиеся средства на энергосберегающие мероприятия или вложить их в так называемые портфельные инвестиции (различные виды «дача взаймы» денежных средств под процент). Безусловно, что инвестор будет рассматривать оба варианта: рассчитывать доходность вложения имеющихся средств в энергосберегающие мероприятия или в «портфельные» инвестиции. Для сравнения вариантов инвестиций инвестор может использовать специальные номограммы (подробнее об этом см. [2]).

При норме дисконта, равной 10%, в случае дисконтирования поступающих промежуточных доходов инвестиции в средства энергосбережения будут менее предпочтительны, чем «портфельные» инвестиции, даже при стоимости тепловой энергии 2,15 р./кВт·ч. В случае наращения (капитализации) поступающих промежуточных доходов при существующей стоимости тепловой энергии инвестиции в средства энергосбережения также менее предпочтительны, чем «портфельные» инвестиции, но при росте стоимости тепловой энергии их привлекательность для инвестора увеличивается. Так, уже при стоимости 0,77 р./кВт·ч инвестиции в варианты 1, 2, 4 и 5 средств энергосбережения выгоднее инвестиций «портфельных».

С другой стороны, предпочтительность инвестиций в средства энергосбережения перед «портфельными» инвестициями возрастает не толь-

ко при росте стоимости тепловой энергии, но и при улучшении экономической ситуации в стране, приводящей к снижению нормы дисконта. В частности, при уменьшении нормы дисконта до 0,05 (5%) (что возможно при малой годовой инфляции, равной 2–3%) сроки службы энергосберегающих мероприятий будут равны соответственно 4,7 и 12,5 лет. В этом случае инвестиции в энергосберегающие мероприятия становятся целесообразными уже при относительно невысоких значениях стоимости тепловой энергии.

Следует при оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия учитывать такие обстоятельства:

1. Значительная экономия тепловой энергии может быть достигнута посредством практически беззатратных мероприятий, например, в общественных зданиях (учебных заведениях, офисах и т.п.) можно понижать температуру воздуха в ночное время, выходные и праздничные дни.

2. Существует понятие «потребительские качества здания», когда владельцы готовы дополнительно оплачивать энергосберегающие мероприятия, которые одновременно способствуют повышению качества микроклимата.

3. Вопросы теплоснабжения неразрывно связаны с вопросами электроснабжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение об экономическом стимулировании проектирования и строительства энергоэффективных зданий и выпуска для них энергосберегающей продукции ПЛ АВОК-7-2005.— М.: АВОК-ПРЕСС, 2005.
2. Дмитриев А. Н. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия/А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин.— М.: АВОК-ПРЕСС, 2005.
3. Гагарин В. Г. Экономические аспекты повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий в условиях рыночной экономики/В. Г. Гагарин// Светопрозрачные конструкции.— 2002.— № 3.— С. 2–5; № 4.— С. 50–58.

© Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В., 2007

Получено 19.03.07

УДК 697.9:624.191.94

**В. И. КОСТИН**, д-р техн. наук, проф., Е. А. САЛЬКОВ, асп. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)); И. В. ЛУГИН, канд. техн. наук, доц. (Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск)

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУХОРASПРЕДЕЛЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Проверена адекватность сетевой математической модели для расчетов воздухораспределения в системах вентиляции служебных помещений станций метрополитена. Определена степень взаимовлияния приточных и вытяжных систем вентиляции на станции метрополитена мелкого заложения.

В связи с интенсивным развитием метрополитенов и ростом пассажиропотока в них проблема вентиляции в служебных помещениях подземных станций становится все более актуальной как для штатных, так и для аварийных режимов работы вентиляции.

Основная особенность подземных служебных помещений станций метрополитенов – нахождение их в замкнутом пространстве. Станции

представляют собой 2-, 3-этажные сооружения, расположенные под землей на глубине 0,7–2 м от верха строительных конструкций до уровня земли (рис. 1).

Результатом подземного расположения (замкнутости пространства) является существенное взаимовлияние при совместной работе приточной и вытяжной систем вентиляции на одну группу помещений. Настройка вентиляции для создания требуемого воздухораспределения в одних помещениях станции неизбежно приводит к изменению расходов воздуха в соседних помещениях. Вследствие этого необходимо одновременно рассчитывать вентиляционные режимы во всех помещениях, что позволяет получить максимальную точность при расчетах воздухораспределения.

При этом в рассчитываемой схеме вентиляции число ветвей и независимых контуров может достигать нескольких сотен, для описания воздухораспределения в них требуется сотня алгебраических нелинейных уравнений. Совместное решение такого количества нелинейных уравнений без автоматизации вычислений затруднительно, а при многовариантных расчетах и невозможно. Поэтому исследование воздухораспределения в служебных помещениях станций метрополитена аналитическим способом требует создания сетевой математической модели систем вентиляции.

Рассчитать распределение воздуха в служебных помещениях станций и установить фактические режимы работы вентиляторов возможно решением систем нелинейных уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{u \in U_j^+} Q_u - \sum_{u \in U_j^-} Q_u = -Q_c, \quad j = S \\ \sum_{u \in U_j^+} Q_u - \sum_{u \in U_j^-} Q_u = 0, \quad j \neq S, T \\ \sum_{u \in U_j^+} Q_u - \sum_{u \in U_j^-} Q_u = Q_c, \quad j = T \end{array} \right\}, \quad (1)$$

$$\sum_Q |R_u \cdot Q_u^3| \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$P_u = R_u \cdot Q_u^2, \quad u \in U \setminus U_b, \quad (3)$$

$$P_u = a_u \cdot Q_u^2 + b_u \cdot Q_u + c_u, \quad u \in U_b, \quad (4)$$

$$P_u = \Delta P_E, \quad u \in U_b, \quad (5)$$

где  $U$  — множество ветвей вентиляционной сети;

$U_j^+$  — множество ветвей, входящих в узел  $j$ ;

$U_j^-$  — множество ветвей, выходящих из узла  $j$ ;

$S$  — источник сети;

$T$  — сток;



Рис. 1. Схема поперечного разреза станции метрополитена

I — помещение ручной кассы; II — кассовый зал; III — помещение охраны; IV — венткамера П-2; V — машинное помещение эскалатора; VI — венткамера Б-2; VII — тоннель от станции; VIII — тоннель к станции

- $Q_c$  — общий поток в сети;
- $U_v$  — множество ветвей с вентиляторами;
- $R_u, Q_u, P_u$  — соответственно аэродинамическое сопротивление, расход и депрессия ветви сети  $u \in U$ ;
- (1) и (2) — соответственно выражают первый закон сетей и принцип минимизации затрат;
- (3) — потери давления в ветви сети при турбулентном режиме движения воздуха;
- (4) — давление, развиваемое вентилятором — аппроксимирующее уравнение рабочей (находящейся) части аэродинамической характеристики вентилятора, обуславливающее собственное значение и направление действия естественной тяги для каждого участка;
- $a, b, c$  — коэффициенты полинома 2-й степени, описывающие аэродинамическую характеристику вентилятора;
- (5) — учет действия естественной тяги или дополнительной пожарной тепловой депрессии в виде вентилятора с постоянным давлением  $\Delta P_E$ .

Для решения поставленной задачи использован алгоритм и компьютерная программа для расчета естественного и оптимального воздухораспределения в сложных вентиляционных системах шахт и рудников, разработанная в ИГД СО РАН [1] и адаптированная для расчета систем вентиляции служебных помещений станций. Расчет воздухораспределения в программе осуществляется комбинированным методом Форда–Фалкерсона с кусочно-линейной аппроксимацией целевой функции. Кусочно-линейная аппроксимация не является ограничивающим фактором, так как любую функцию с требуемой точностью можно задать кусочно-линейными отрезками. Это гарантирует конечность метода при заданной точности расчета, что является его большим достоинством [2].

Созданная модель была апробирована на вентиляционной сети служебных помещений станции Новосибирского метрополитена.

Исходными данными для построения расчетной сетевой модели являются:

- аэродинамическое сопротивление участков сети;
- аэродинамические характеристики вентиляторов;
- разветвленность и протяженность трасс;
- геометрические размеры участков сети;
- топология систем вентиляции служебных помещений станции;
- параметры и состояние вентиляционных путей, участков воздухозабора и воздухораспределения вентиляционного оборудования;
- наличие утечек и перетечек воздуха.

Исследования режимов работы систем станционной вентиляции проводились на примере ст. «Октябрьская» Новосибирского метрополитена.

Как видно из рис. 2, вентиляционная система включает в себя большое количество разветвлений и связей между участками.

Приточные системы станций П1, П2, П3 и П4 — это разветвленные сети для подачи воздуха в служебные помещения и коридоры. Воздухозабор осуществляется из тоннеля, по которому поезда прибывают со станции «Речной вокзал». Системы В1, В2, В3 и В4 обслуживают те же служебные помещения, что и приточные системы, но удаление воздуха происходит в противоположный тоннель после станции, по ходу движения поезда, для исключения попадания отработанного воздуха на станцию.

При расчете аэродинамических сопротивлений движению воздуха по помещениям с различными типами отделки использованы данные [3]. Сопротивление вентиляционных систем, вентоборудования, а также местные сопротивления (сужения, расширения, повороты, разветвления и т.п.) рассчитаны с использованием данных [4]. Местные сопротивления переведены из вида «безразмерный коэффициент местного сопро-

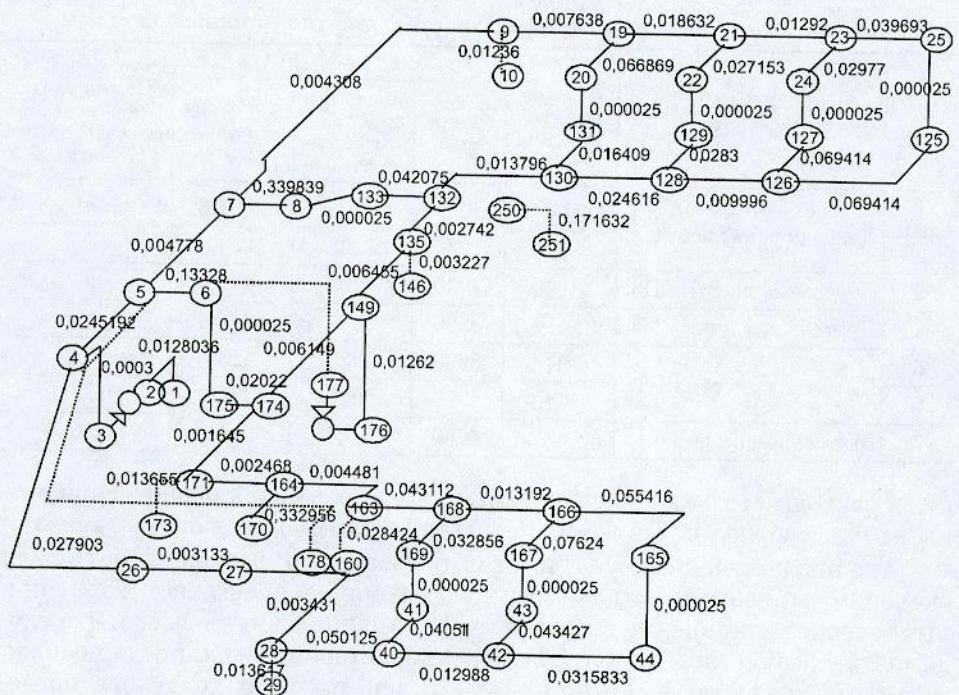


Рис. 2. Принципиальная схема сетевой модели фрагмента систем вентиляции служебных помещений в уровне кассового зала рабочего вестибюля станции «Октябрьская» Новосибирского метрополитена. Цифры — номера узлов и аэродинамическое сопротивление ветвей сети

тивления» к виду «аэродинамического сопротивления» с размерностью  $1k\mu = 9,81H \cdot c^2 / m^8$  при следующих параметрах внутреннего воздуха: температура  $18^\circ C$ ; атмосферное давление  $101325$  Па.

При исследовании систем вентиляции на сетевой математической модели определялись такие параметры:

- расход воздуха;
- направление движения воздуха;
- производительность и давление вентиляторов;
- потери давления по длине участка;
- давление в узлах сети;
- степень взаимосвязанности режимов работы и т.п.

При адаптации данной сетевой математической модели под специфические условия систем вентиляции было рассмотрено распределение воздуха по служебным помещениям станции и рассчитаны потери давления на каждом из участков. Определены основные участки, где потери давления в системах были наибольшими. Для приточных систем — это начальные участки на всасывании воздуха из тоннелей метрополитена и до вентилятора, при прохождении воздуха через фильтр и калорифер, а для вытяжных систем — это участки после вентиляторов, где отработанный воздух удаляется в тоннель, при прохождении через противопожарный клапан.

Для проверки точности расчетов и корректировки параметров сетевой математической модели вентиляционных систем служебных помещений станции совместно с лабораторией микроклимата Новосибирского метрополитена провели натурный эксперимент на станции «Октябрьская». Во время его проведения были включены все системы вентиляции в штатном режиме и закрыты двери во всех служебных помещениях станции. В процессе эксперимента сделаны замеры динамического давления в воздуховодах. На основе полученных результатов рассчитывались скоро-

### Расходы воздуха на исследуемых участках вентиляционной системы

№ замера	Исследуемая система	Сечение воздуховода, мм	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч			Невязка результатов математической модели и натурного эксперимента, %
			проектный	расчетный по математической модели	по натуральному эксперименту	
1	Приточная система П2	520×500	2075	2300	2091,6	9,1
2		Ø250	1230	1202	1206	-0,3
3	Приточная система П3	Ø250	1030	1400	1479,6	-5,7
4	Приточная система П4	800×250	5790	6480	6440,4	0,6
5	Вытяжная система В2	Ø315	3990	5220	4284	17,9
6		Ø315	3990	5220	4284	17,9
7	Вытяжная система В4	800×250	4540	6804	6221	8,6

сти и расходы воздуха на исследуемых участках и сравнивались с проектными и расчетными данными. Результаты измерений даны в таблице.

Анализ полученных результатов показал, что расхождение между экспериментальными и расчетными данными не превышает 18%, при этом среднее отклонение составляет 8%. Можно сделать вывод, что сходимость с результатами эксперимента удовлетворительна, предложенная модель адекватна и ее можно применять при расчетах воздухораспределения систем вентиляции подземных служебных помещений станций метрополитенов.

В ходе эксперимента проверены различные схемы включения систем вентиляции. Было выявлено, что системы вентиляции, работающие на одну группу помещений, оказывают существенное влияние друг на друга. Например, при отключении приточной системы производительность вытяжной системы, обслуживающей то же помещение, что и приточная, падает примерно на 35–50%. Аналогичные изменения наблюдались и в других помещениях, связанных с исследуемым, в пределах этажа. Это связано с тем, что системы вентиляции служебных помещений имеют значительное аэродинамическое сопротивление, и при включении только вытяжной системы (в этом случае приточная система работает как последовательное пассивное сопротивление) давления, развиваемого вытяжным вентилятором, недостаточно для создания требуемого расхода воздуха в помещениях.

При работе систем вентиляции в штатном режиме, т.е. при закрытых дверях в служебных помещениях станции, тоннельная вентиляция не оказывает существенного влияния на работу систем вентиляции помещений станции. Это связано с тем, что закрытые помещения практически аэродинамически изолированы. Тоннельная вентиляция оказывает влияние только на проветривание платформ, эскалаторных подъемов, кассовых залов и коридоров станции. Во время проведения натурного эксперимента на станции установлено, что при движении поезда по тоннелю поршневой эффект на системы вентиляции служебных помещений оказывал несущественное влияние, хотя наблюдалось движение воздуха в коридорах и переходах, примыкающих непосредственно к тоннелям. Это объясняется, во-первых, достаточно большим аэродинамическим сопротивлением вентиляционного оборудования, расположенного на путях движения воздуха; во-вторых, относительно большим линейным сопротивлением самих систем воздуховодов. Избыточного давления, созданного в тоннеле движущимся поездом, недостаточно для оказания существенного влияния на воздухораспределение в системах вентиляции служебных помещений станции и тем более его опрокидывания.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что разработанная сетевая математическая модель систем вентиляции является адекватной и применима к использованию для расчетов воздухораспределения в системах вентиляции служебных помещений станций метрополитенов.

Взаимное влияние систем приточной и вытяжной вентиляции, обслуживающих одну и ту же группу помещений, весьма существенно и составляет порядка 35–50%.

Тоннельная вентиляция не оказывает значимого влияния на работу систем вентиляции служебных помещений станций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. С. Об одном подходе к расчету воздухораспределения в рудничных вентиляционных сетях / А. С. Кузнецов, С. М. Лукин // Сб. ИГД СО РАН СССР.— Новосибирск, 1986.
2. Кузнецов А. С. О применении потоковых алгоритмов для расчета воздухораспределения в вентиляционных сетях / А. С. Кузнецов, С. М. Лукин // ФТПРПИ.— 1989.— № 5.
3. Рудничная вентиляция. Справочник / Под ред. К. З. Ушакова.— М.: Недра, 1988.— 440 с.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик; Под ред. М. О. Штейнберга.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1992.

© Костин В. И., Сальков Е. А., Лугин И. В., 2007

Получено 19.03.07

УДК 628.16.081.32

**М. А. ГОРДЕЕВ-БУРГВИЦ, канд. техн. наук, доц., И. А. МАКАРОВА, асп.**  
**(Московский государственный строительный университет)**

## УПРАВЛЕНИЕ УСТАНОВКОЙ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ В НАСЫПНЫХ ФИЛЬТРАХ

Приведены результаты исследования, связанные с поиском оптимальных вариантов использования оборудования путем согласования циклов работы фильтров с их переключением на регенерацию и выводом в резерв. Выявленные особенности работы системы сорбционной очистки позволяют определить оптимальную последовательность режимов эксплуатации каждого из параллельно включенных фильтров.

Непрерывное развитие систем водоснабжения и водоотведения в городском хозяйстве и различных отраслях промышленности, характеризующееся качественными изменениями технологий, сопровождается значительным усложнением управления технологического оборудования. При этом особенно возрастает количество логических операций, которые необходимо выполнять при осуществлении сорбционных процессов водообработки в насыпных фильтрах — аппаратах циклического действия. Поэтому в ходе решения задач их автоматизации поиск оптимальных вариантов использования оборудования приходится сочетать с целым рядом операций переключения [1], которые связаны с необходимостью согласования циклов работы отдельных аппаратов, работающих на один коллектор, в частности, с задачей замены оборудования при выводе адсорбера на регенерацию и в резерв [2, 3].

В зависимости от конкретных условий эксплуатации (например, от количества и состава обрабатываемой воды) установка очистки может состоять из переменного числа адсорбера с резервированием или без него.

Предметом нашего рассмотрения является типовая установка, состоящая из двух рабочих и двух резервных адсорбера, в которой протекает типовой процесс сорбции воды с низкотемпературной регенерацией сорбента (гранулированного активированного угля — ГАУ) водяным паром. Схема работы одного адсорбера (рис. 1) состоит в следующем. По трубопроводам Тр<sub>i</sub> ( $i = 1 - 4$ ) циркулируют потоки: по Тр-1 — исходная вода на очистку; по Тр-2 — водяной пар для регенерации ГАУ; по Тр-3 — очищенная вода к потребителю; по Тр-4 — конденсат, полученный при регенерации (если установка не функционирует, отводится неочищенная вода).

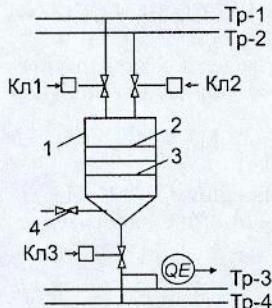


Рис. 1. Схема адсорбера циклического действия (насыпного фильтра)

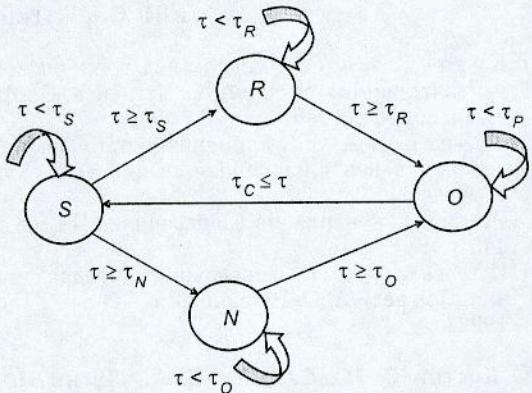


Рис. 2. Граф смены состояний технологической системы

Для получения информации о достижении предельного насыщения сорбента на выходе адсорбера установлен датчик качества  $QE_i$ , измеряющий концентрацию сорбата в очищенной воде. В качестве ограничений требуется выполнение соотношения  $C_t < C_{\text{доп}}$ , где  $C_t$  — текущее значение концентрации сорбата,  $C_{\text{доп}}$  — предельно допустимое значение концентрации, задаваемое технологическим регламентом. Каждой управляемой точке адсорбера соответствует свой исполнительный механизм с регулирующим органом — двухпозиционный клапан  $\text{Кл}_{ij}$  ( $i = 1 - 4$ ,  $j = 1 - 3$ ).

Каждый из адсорберов может находиться в одном из четырех состояний:

- состояние сорбции, т.е. очистки, сущность которой заключается в поглощении загрязнителя (сорбата) активированным углем (сорбентом), обозначим как  $S$ -состояние, а время адсорбции —  $\tau_S$ ;
- состояние регенерации, т.е. восстановления (десорбции), как  $R$ -состояние, а время регенерации  $\tau_R$ ;
- состояние неисправности  $N$ -состояние, соответственно время неисправности  $\tau_N$ ;
- состояние ожидания, т.е. готовности к работе, обозначим как  $O$ -состояние, время ожидания —  $\tau_O$ .

Первые два состояния адсорбера — рабочие, т.е. его функционирование заключается в периодическом переключении из  $S$ - в  $R$ -состояние и наоборот. Находясь в  $S$ -состоянии, активированный уголь адсорбера очищает поступающий в него поток загрязненной воды, а в  $R$ -состоянии сам очищается (десорбируется), т.е. регенерируется, и он снова готов к переходу в  $S$ -состояние.

При возникновении необходимости перехода адсорбера из  $S$ - в  $R$ -состояние раньше времени  $\tau_S$  следует считать, что в данном  $A_i$  аппарате возникла неисправность, т.е. адсорбер перешел в  $N$ -состояние. Отметим,

что неисправность заключается в загрязнении сорбента (больше допустимого) механическими примесями в результате продолжительной работы адсорбера, т.е. переход в это состояние предусматривается при разработке установки очистки путем введения указанных выше резервных аппаратов. Время ремонта адсорбера  $\tau_p$  задается технологическим регламентом.

Адсорбер может находиться в  $Q$ -состоянии, т.е. в состоянии готовности к переходу в  $S$ -состояние, в трех случаях:

- после регенерации, т.е. из  $R$ -состояния аппарат сначала переходит в  $Q$ -состояние и лишь через время  $\tau_c$  (время совместной работы четырех адсорбиров) — в  $S$ -состояние;

- после неисправности, т.е. из  $N$ -состояния аппарат переходит в  $Q$ -состояние;

- при пуске установки, т.е. начальное состояние адсорбера всегда есть  $Q$ -состояние.

С учетом изложенного в табл. 1 приведены разрешенные переходы аппарата из одного установившегося состояния в другое. В соответствии с технологическим регламентом функционирования адсорбера из всех 16 переходов разрешенными являются только 9.

Таблица 1

Текущее состояние	$S$	$S$	$S$	$R$	$R$	$O$	$O$	$N$	$N$
Новое состояние	$S$	$R$	$N$	$R$	$O$	$O$	$S$	$N$	$O$

Полученный граф смены состояний адсорбера показан на рис. 2, где множество состояний системы в данном случае является множеством усредненных времен  $A = (\tau_s, \tau_r, \tau_n, \tau_o, \tau_c, \tau_p)$ .

Для определения установившегося состояния  $A_i$  в рассматриваемый момент времени в системе логического управления можно использовать временную переменную от блока реального времени, значение которой вместе с показанием соответствующего датчика  $QE_i$  однозначно определяет текущее состояние аппарата. По окончании времени  $\tau_s$  адсорбер переходит из  $S$ - в  $R$ -состояние, а по окончании  $\tau_r$  — из  $R$ - в  $O$ -состояние. Время определяется совместной работой всех четырех аппаратов. Если прошло время  $\tau_n < \tau_s$ , а текущая концентрация сорбата больше допустимой (т.е.  $C_t \geq C_{\text{доп}}$ ), считается, что  $A_i$  переходит из  $S$ - в  $N$ -состояние. Времена  $\tau_o$  и  $\tau_p$  задаются технологическим регламентом с учетом требований надежности совместного функционирования адсорбиров. Кроме того, для элементов  $A$  имеют место следующие временные соотношения:  $\tau_{R\text{cp}} < \tau_{S\text{cp}}$ ;  $(\tau_{S\text{cp}} \approx 1,5 \tau_{R\text{cp}})$ ;  $\tau_{N\text{cp}} \leq \tau_{S\text{cp}}$ ;  $\tau_{O\text{cp}} = (\tau_{S\text{cp}} - \tau_{R\text{cp}})$ ;  $\tau_{N\text{cp}} \leq \tau_{S\text{cp}}$ . При этом адсорберы  $A_1$  и  $A_2$  считаются рабочими, а  $A_3$  и  $A_4$  — резервными, т.е. они подключаются при неисправности соответствующих рабочих аппаратов по принципу  $A_3$  вместо  $A_1$ ,  $A_4$  вместо  $A_2$  и наоборот. Таким образом, адсорберы  $A_i$  ( $i = 1 - 4$ ) являются попарно взаимозаменяемыми. Например, если  $A_2$  переходит из  $S$ - в  $N$ -состояние, его заменяет  $A_4$ , который переходит из  $O$ - в  $S$ -состояние и далее работает вместо него. После того как  $A_2$  перешел из  $N$ - в  $O$ -состояние, он становится резервным, т.е. находится в  $O$ -состоянии, пока  $A_4$  не перейдет в  $N$ -состояние и т.д.

Поскольку каждый из четырех одинаковых адсорбиров может находиться в одном из описанных выше четырех состояний, число всех состояний системы очистки воды равно 256. Это множество состояний можно разделить на два: множество технологически возможных и множество технологически невозможных состояний, где принадлежность состояния к соответствующему множеству обусловлена технологическим

регламентом процесса регенерации. В соответствии с этим можно отметить характерные особенности совместного функционирования системы, состоящей из четырех аппаратов.

1. В любой момент времени технологический процесс «очистка — регенерация» («адсорбция — десорбция») осуществляется двумя аппаратами, т.е. в рассматриваемый момент не более одного аппарата находится в *S*-состоянии и не более одного в *R*-состоянии; тем самым состояния системы (состояние системы будем обозначать четверкой идентификаторов состояний каждого аппарата типа *SSSO*, *RRRR*, *RSRR* и т.д.) относятся к классу технологически невозможных состояний.

2. В силу выбранного принципа по парной взаимозаменяемости разрешенным является совместное функционирование адсорберов, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Заменяемый адсорбер	$A_1$	$A_1$	$A_2$	$A_2$	$A_3$	$A_3$	$A_4$	$A_4$
Замещающий адсорбер	$A_2$	$A_4$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_4$	$A_1$	$A_3$

Иначе говоря, при нормальном функционировании установки, если, например,  $A_1$  находится в *S*-состоянии и должен перейти в *R*-состояние, то вместо него включается  $A_2$ , который переходит из *O*- в *S*-состояние. Если при этом  $A_2$  находится в *R*- или *N*-состоянии, данное состояние системы является предаварийным и вместо  $A_1$  в работу должен включиться  $A_4$ . Если при этом  $A_4$  не находится в *O*-состоянии (т.е. не готов к переходу в *S*-состояние), то данное состояние системы является аварией; тем самым состояния системы типа *SORO*, *ROSN* (и другие, обусловленные совместным функционированием  $A_1$  и  $A_3$ ;  $A_3$  и  $A_1$ ;  $A_2$  и  $A_4$ ;  $A_4$  и  $A_2$ ) также относятся к технически недопустимым состояниям.

3. Если оба заменяющих фильтра находятся в *O*-состоянии, то при замене предпочтение отдается рабочему адсорбера, т.е. если процесс находится в состоянии *OOSO*, он должен перейти в состояние *OSRO*, а не в *OORS* и т.д.

4. В любой момент времени не более трех  $A_i$  могут находиться в *N*- или *O*-состояниях. Поэтому технологически невозможные состояния *OOOO* и *NNNN* можно использовать для обозначения исходного и конечного (при нормальном останове) состояния системы очистки соответственно.

5. Для осуществления пуска и остановки рассматриваемой системы очистки сточных вод нет необходимости производить последовательность операций для ее перевода из рабочего состояния в нерабочее и наоборот.

Выявленные технологические особенности функционирования системы очистки позволяют перейти к формальному описанию каждого конкретного режима работы («Пуск», «Работа», «Останов»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рульнов А. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения / А. А. Рульнов, К. Ю. Евстафьев.— М.: Инфра-М, 2007.— 204 с.
2. Яковлев С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, В. Н. Калицун. —М.: Стройиздат, 1996.— 592 с.
3. Фрог Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко.— М.: МГУ, 1996.— 680 с.

© Гордеев-Бургвиц М. А., Макарова И. А., 2007

Получено 06.03.07

С. Ю. АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, проф., Б. М. ГРИШИН, д-р техн. наук, проф., С. И. БЛАЖКО, инж. (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

## ТЕХНОЛОГИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД КАК АЛЬТЕРНАТИВА СООРУЖЕНИЯМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Описана новая технология двухступенчатой физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, предусматривающая их последовательную коагуляционную обработку и глубокую доочистку методом каталитической деструкции. Доказана возможность интенсификации процесса хлопьеобразования перемешиванием сточных вод комбинированной крупнопузырчатой-мелкопузырчатой пневматической системой. Показана высокая эффективность хлорного железа при его использовании в качестве катализатора восстановления кислородосодержащих соединений хлора.

Сброс бытовых и промышленных сточных вод, отводимых с территории населенных пунктов в открытые водоемы, является существенным фактором, приводящим к ухудшению их состояния. Предотвращение дальнейшего развития процессов антропогенного загрязнения и эвтрофирования водных объектов требует решения весьма сложной и дорогостоящей проблемы повышения эффективности работы очистных сооружений. Актуальность этой проблемы связана не только с природоохранительными и рыбохозяйственными целями, но и с необходимостью преодоления больших трудностей, возникающих в процессе водоподготовки для питьевого и промышленного водоснабжения из загрязненных эвтрофированных водоемов. Повышение эффективности станций биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод за счет строительства дополнительных сооружений, работающих по традиционной схеме, требует вложения значительных капитальных затрат и, как правило, не может быть проведено из-за ограниченности финансовых возможностей. Это обстоятельство обуславливает необходимость применения принципиально новых технологических и конструктивных решений, не требующих для своей реализации проведения крупномасштабных строительных работ.

Основными сооружениями станций биологической очистки являются аэротенки. Опыт эксплуатации аэротенков показал, что значительное колебание расхода сточных вод, отводимых с территории небольших населенных пунктов, и концентраций содержащихся в них органических загрязнений (изменяющихся в пределах 20...150 мгБПК/л) не позволяют обеспечивать нормальную удельную нагрузку на активный ил. Колебание нагрузки на активный ил приводит к увеличению илового индекса, активный ил плохо осаждается во вторичных отстойниках и выносится из очистных сооружений. Кроме того, величины прироста активного ила и выноса его из вторичных отстойников соизмеримы, поэтому поддерживать заданную концентрацию взвешенного активного ила довольно сложно. Ситуация значительно усложняется крайней ненадежностью работы системы электроснабжения малых населенных пунктов. Кратковременные перебои в электроснабжении (более 3 ч) приводят к гибели активного ила. После этого в нормальный режим эксплуатации очистные сооружения могут быть выведены в течение нескольких недель пусконаладочных работ. Для повышения надежности работы канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов в Пензенском ГУАС была пред-

ложена новая технология двухступенчатой физико-химической очистки. Предложенная технология была реализована при реконструкции биологических очистных сооружений населенного пункта Пензенской области производительностью 200 м<sup>3</sup>/сут. Схема двухступенчатой физико-химической очистки хозяйствственно-бытовых сточных вод представлена на рисунке.

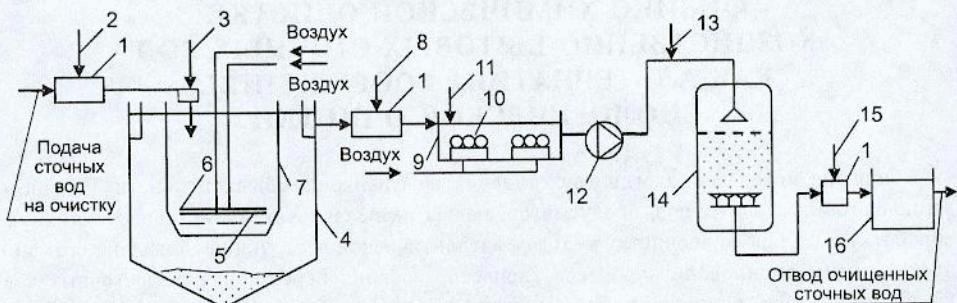


Схема двухступенчатой физико-химической очистки хозяйствственно-бытовых сточных вод  
 1 — смеситель; 2 — подача коагулянта (АКВА-АУРАТ-30); 3 — подача флокулянта (КП-555); 4 — отстойник; 5 — мелкопузырчатая система пневматического перемешивания; 6 — крупнопузырчатая система пневматического перемешивания; 7 — камера флокуляции; 8 — подача NaOCl (окислителя); 9 — камера каталитической деструкции загрязнений; 10 — система мелкопузырчатого пневматического перемешивания; 11 — подача катализатора FeCl<sub>3</sub>; 12 — насос; 13 — подача флокулянта (КП-555); 14 — фильтр; 15 — подача NaOCl (дезинфицирующего агента); 16 — контактная камера

С целью интенсификации процесса первичного отстаивания было предложено провести предварительную обработку сточных вод реагентами: коагулятом полиоксихлоридом алюминия «АКВА-АУРАТ-30» и флокулянтом — катионитовым сополимером акриламида КП-555. В процессе коагуляции и отстаивания сточные воды очищались от органических и минеральных примесей, находящихся в грубодисперсном и коллоидном состоянии, фосфатов и части растворенных органических соединений. Для интенсификации процесса хлопьеобразования камера флокуляции была оснащена мелкопузырчатыми и крупнопузырчатыми системами пневматического перемешивания. Эффект интенсификации хлопьеобразования при пневматическом перемешивании сточных вод может быть обеспечен одновременным протеканием по крайней мере четырех процессов [1]:

- 1) специфическое механическое перемешивание воды всплывающими пузырьками воздуха;
- 2) образование границы раздела фаз (газ — жидкость), обладающей избыточной поверхностной энергией;
- 3) десорбция (отдувка) из воды избыточных количеств углекислоты и других летучих соединений;
- 4) насыщение воды кислородом воздуха, приводящее к повышению уровня Eh и снижению электрохимических потенциалов содержащихся в воде примесей.

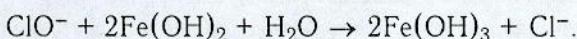
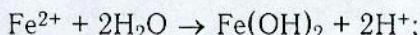
Крупнопузырчатая система пневматического перемешивания представляет собой ряд перфорированных труб с диаметром отверстий 4 мм.

Перфорированные трубы позволяют формировать пузырьки воздуха диаметром 12...20 мм. При всплытии таких пузырьков обеспечивается быстрое перемешивание всего объема камеры флокуляции — процесс макросмешения. В процессе макросмешения происходит равномерное распределение не микродисперсных частиц загрязнений, а элементов жидкости, имеющих различный состав. Размер этих элементов может быть ничтожно мал по сравнению с размерами камеры флокуляции, но велик по сравнению с размерами дисперсных частиц загрязнений. При таких условиях не происходит равномерного распределения концентра-

ций дисперсных частиц загрязнений и микрохлопьев коагулянта, определяющих скорость протекания процесса коагуляции.

Перемешивание сточных вод на микроуровне позволяет достичь мелкокапузырчатая система, представляющая собой ряд трубчатых мелкокапузырчатых аэраторов АКВА-ЛАЙН, которые формируют пузырьки воздуха диаметром 3...4 мм. В процессе всплыивания таких пузырьков воздуха поддерживаются локальные градиенты скоростей турбулентных пульсаций на уровне  $G = 2000 \text{ с}^{-1}$ , что обеспечивает перемешивание жидкости на микроуровне и интенсифицирует процесс хлопьеобразования [2]. Процессы коагулирования и отстаивания позволили обеспечить эффект очистки хозяйственно-бытовых сточных вод по показателям: БПК<sub>пол</sub> до 70–75%, взвешенным веществам до 80–85%, фосфатам до 95–97%, азоту аммонийному до 50–55%.

Удаление оставшихся растворенных органических веществ (в основном низкомолекулярных) и аммонийного азота было предложено осуществлять за счет проведения второй ступени физико-химической очистки сточных вод. На второй ступени физико-химической очистки предусматривалось каталитическое окисление загрязнений сточных вод. В качестве окислителя использовался раствор гипохлорита натрия, получаемый путем электролиза раствора поваренной соли. Гипохлорит натрия имеет незначительный окислительный потенциал, вследствие чего он способен разрушить только лишь легкоокисляемую часть органических загрязнений. Повысить окислительный потенциал гипохлорита натрия можно за счет использования катализатора восстановления активного хлора. В качестве катализатора используются соли металла переменной валентности, например  $\text{FeCl}_3$ . Присутствие в сточных водах ионов  $\text{Fe}^{3+}$  стимулирует образование радикалов  $\text{ClO}^{\cdot}$  и протекание следующих реакций [3]:



Активные радикалы  $\text{ClO}^{\cdot}$  способствуют образованию атомарного кислорода  $\text{O}^{\cdot}$  и  $\text{OH}^{\cdot}$ -радикалов:



Процесс идет по механизму развивающейся цепной реакции. Дальнейшему развитию цепи способствует процесс формирования радикалов  $\text{ClO}^{\cdot}$ :



Появление в сточных водах активных радикалов  $\text{ClO}^{\cdot}$ ,  $\text{OH}^{\cdot}$  и атомарного кислорода  $\text{O}^{\cdot}$ , обладающих повышенным окислительным потенциалом приводит к существенному увеличению эффекта их деструктивной очистки.

Сточные воды, прошедшие две ступени физико-химической очистки, осветлялись на напорном каркасно-засыпанном фильтре и обеззараживались. Использование второй ступени физико-химической очистки сточных вод позволило обеспечить снижение концентрации загрязнений по БПК<sub>пол</sub> на 80–85%, аммонийному азоту на 60–70%.

Таким образом, предложенная двухступенчатая схема физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод обеспечила их очистку до уровня, позволяющего рассматривать ее как альтернативу технологии биологической очистки. При одинаковой себестоимости процесса очистки сооружения физико-химической обработки сточных вод более

надежны в процессе эксплуатации в условиях нестационарности режима водоотведения, характерного для малых населенных пунктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брагинский А. Н. Перемешивание в жидких средах / А. Н. Брагинский, В. И. Бегачев.— Л.: Химия, 1984.
2. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами / Е. Д. Бабенков.— М.: Наука, 1977.
3. Краснобородько И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И. Г. Краснобородько.— Л.: Химия, 1988.

© Андреев С. Ю., Гришин Б. М., Блажко С. И., 2007

Получено 20.03.07

## СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.855.3

М. А. ЗАВЬЯЛОВ, канд. техн. наук (Сибирская государственная автомо-  
бильно-дорожная академия, г. Омск)

### ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Предложен термодинамический подход к описанию функционального состояния дорожного асфальтобетонного покрытия в течение всего жизненного цикла — от строительства до старения. Обоснована методика оценки функционального состояния дорожного асфальтобетонного покрытия с использованием энергетических критерии. В качестве интегрального параметра, характеризующего термодинамическое состояние дорожного покрытия, рассматривается величина удельной теплоемкости. Устанавливается зависимость термодинамических функций от интегрального параметра. Предложенный алгоритм вычисления значений термодинамических функций дает возможность диагностики состояния дорожного асфальтобетонного покрытия исходя из минимума базисных величин.

Процесс разрушения дорожного асфальтобетонного покрытия характеризуется тем, что в деформируемом слое зарождаются и накапливаются различного рода дефекты и повреждения. Особую важность приобретают исследования процесса разрушения на базе термодинамики, так как энергетические критерии по сравнению с силовыми и деформационными наиболее универсальны, интегрально характеризуют напряженно-деформированное состояние автомобильной дороги. В своей работе В. А. Королев отмечает [1]: «На основе следствий из первого закона термодинамики вытекает вывод о том, что ни количество работы, ни количество теплоты, ни параметры, их определяющие (в том числе тензоры напряжений и деформаций, температура, объем тела и т.д.), или их соотношения не могут быть приняты в качестве параметров повреждаемости и критериев разрушения тела, так как каждый из них в отдельности не является параметром, однозначно и интегрально характеризующим его состояние. В наиболее общем случае в качестве такого параметра должна быть принята удельная величина внутренней энергии или энтропия деформируемого тела. В некоторых частных случаях в качестве критериев могут быть выбраны и другие термодинамические функции состояния: энталпия, энер-

гия Гиббса, энергия Гельмгольца и другие, являющиеся производными от первообразной функции внутренней энергии».

В нашем случае, зная энергетический баланс дорожного покрытия после завершения строительства и оценив изменение его функционального состояния во времени, которое определяется значениями термодинамических функций, можно вычислить суммарное изменение энергетического баланса покрытия и, следовательно, назначить обоснованные сроки предстоящих ремонтов. Поэтому актуальным является создание методики, позволяющей обеспечить еще на этапе строительства долговечность и качество дорожных асфальтобетонных покрытий, а также дающей возможность эффективного прогнозирования и обоснования сроков их службы.

Продолжительность техногенных процессов, определяющих жизненный цикл дорожного асфальтобетонного покрытия во времени, можно разделить на три основных этапа: строительство покрытия; завершение строительства и начальная эксплуатация; последний этап — эксплуатация.

В рамках первого этапа имеют место необратимые процессы, приводящие к искусственному понижению энтропии. При строительстве материала покрытия необходимо рассматривать как объект, далекий от равновесия из-за необратимых неравновесных процессов. Вероятность того события, что асфальтобетонная смесь самопроизвольно станет дорожным покрытием с заданными технологическими параметрами, невелика и, чтобы достичь необходимого значения энтропии, необходимо понижать ее уровень. С точки зрения статистического подхода (закон возрастания энтропии — закон возрастания неупорядоченности) можно сделать вывод, что собственно процесс строительства — это движение системы от более вероятного состояния к менее вероятному, а процесс дальнейшего существования покрытия — движение от менее вероятного к более вероятному состоянию системы.

Механическая энергия, расходуемая на уплотнение смеси, затрачивается на преодоление напряжений сопротивления уплотнению, упорядочивание текстуры, изменение расстояния между частицами смеси, их перераспределение. Время утилизации полученной энергии совпадает с периодом релаксации асфальтобетонной смеси, определяемым интервалом времени, за которое напряжения в смеси при фиксированной деформации падают в заданное число раз. В случае реализации периода релаксации напряжений в асфальтобетонной смеси при каждом последующем нагружении смесь начинает деформироваться с начального момента контакта с уплотняющим телом, а не с запаздыванием. Запаздывание процесса деформирования происходит в том случае, когда время тратится на преодоление остаточных упругих напряжений, что имеет место при отсутствии реализации периода релаксации. Если период релаксации реализуется, то уменьшение величины абсолютной деформации при повторных нагрузжениях происходит по линейному закону, в противном случае этот процесс имеет нелинейную зависимость [2]. В результате работы, производимой уплотняющим телом (механическая энергия), изменяются параметры асфальтобетонной смеси, такие как плотность, угол внутреннего трения, сцепление, модуль упругости. При укатке, уплотнении смеси изменяется ее внутренняя энергия. Этим обусловлен рост модуля упругости и, как следствие, снижение приращений величины абсолютной деформации смеси при стабильных давлениях на уплотняемую поверхность.

Изменение энтропии происходит в результате процессов внутри системы (производство энтропии) и на границе с внешней средой (поток энтропии). Производство энтропии в соответствии со вторым началом термодинамики неотрицательно. И. Пригожин утверждает [3], что «на поток энтропии второе начало не налагает никаких условий». Если поток

энтропии отрицательный, то отдельные процессы развития системы могут проходить при общем понижении энтропии. Согласно традиционным трактовкам это означает, что в ходе развития системы неупорядоченность будет уменьшаться за счет оттока энтропии. Поскольку приращение энтропии, обусловленное изменениями внутри системы, никогда не имеет отрицательного значения, то уменьшение энтропии системы в процессе строительства происходит за счет того, что поток энтропии имеет отрицательный знак. Отрицательный поток энтропии создается искусственно за счет совершающей работы по уплотнению и объясняется уменьшением объема асфальтобетонной смеси в процессе уплотнения, упорядочиванием формируемой текстуры, остыванием смеси.

Мерой рационального применения технологических операций и окончания строительства является условие достижения асфальтобетонным покрытием неравновесного стационарного состояния [4]. При этом необратимые процессы, играющие здесь конструктивную роль, обеспечивают уменьшение энтропии, вероятно, путем самоорганизации диссипативных структур. Косвенно, процессы второго этапа наблюдались исследователями уже много лет назад, так, например, А. М. Богуславский, описывая явления, происходящие после процесса строительства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей, указывает [5]: «...с течением времени плотность покрытия из таких смесей хотя и увеличивается (что характеризуется некоторым увеличением объемного веса образцов из покрытия), но незначительно».

Третий этап, эксплуатация покрытия, характеризуется необратимыми процессами, определяющими увеличение энтропии, т. е. увеличение хаоса и разрушение внутренних структурных связей. Закон сохранения энергии имеет место при любых температурных и эксплуатационных режимах дорожного покрытия, следовательно, часть кинетической энергии транспортного средства преобразуется при контакте с дорожным покрытием в тепловую энергию. Тепловая энергия в свою очередь реализуется во внутреннюю энергию дорожного покрытия и на совершение работы по его деформации [6]. С течением времени внутренняя энергия, растратчиваясь на упругопластичные восстановительные процессы, начинает убывать. И здесь наряду с восстановительными процессами, интенсивностью и грузонапряженностью движения значительное влияние на уменьшение запасов внутренней энергии оказывает перепад внешних температур.

В силу второго закона термодинамики дополнительная внутренняя энергия, получаемая дорожным покрытием вследствие его контакта с транспортным средством, всегда меньше той диссипативной работы, которую совершает над покрытием автомобильной дороги транспортное средство. По этой причине в процессе эксплуатации дорожного покрытия первоначальный уровень его внутренней энергии постепенно иссякает, несмотря на регулярную подпитку со стороны транспортных средств и температурных колебаний, расходуясь на компенсационную работу по восстановлению упругопластичных деформаций, возникающих опять же в результате контакта с транспортным средством и температурных колебаний.

При старении дорожного покрытия, а следовательно, и убывании величины свободной энергии коэффициент диссипативности (равный отношению количества контактной теплоты к величине работы, совершающей над поверхностью покрытия в результате трения) возрастает [7]. Диструкционные процессы, сопровождающие старение дорожного покрытия, приводят к изменению его удельной теплоемкости (здесь учитывается эволюция материала дорожного покрытия в процессе эксплуатации). Поэтому, несмотря на увеличение коэффициента диссипативности, эффективность теплообмена системы «дорожное покрытие — транспортное

средство» по мере старения покрытия снижается. В результате уменьшается интенсивность подпитки внутренней и свободной энергии дорожного покрытия, ухудшается кумуляция тепловой энергии и, в конечном счете, снижается уровень термодинамических потенциалов Гиббса, характеризующих энергетический баланс дорожного покрытия.

Рассматривая процесс строительства автомобильной дороги с учетом техногенеза, приходим к необходимости для оценки эксплуатационных качеств дорожного покрытия определять значения термодинамических потенциалов его материала [8]. За начальное значение внутренней энергии дорожного покрытия примем суммарную работу, которую совершают над покрытием при строительстве. Значение внутренней энергии остается постоянным или незначительно увеличивается до тех пор, пока покрытие сохраняет за счет начального потенциала упругие свойства. Момент начала потери упругих свойств характеризуется снижением величины внутренней энергии дорожного асфальтобетонного покрытия. Определение же суммарной работы при строительстве покрытия и его эксплуатации в зависимости от категории дороги представляется вполне реальным.

Исходя из ранее принятой гипотезы [9] о том, что вариации энтропии на заключительных стадиях этапов строительства дорожного покрытия и его эксплуатации равны по модулю, можем сделать вывод, что полное разрушение материала дорожного покрытия наступает при выполнении этого условия (равенства). Следовательно, оценив вариацию энтропии в заданный момент времени, можно определить энергетический уровень других термодинамических потенциалов, а также судить о степени износа и старения дорожного асфальтобетонного покрытия.

Действительно, если рассматривать дорожное покрытие как термодинамическую, инженерно-геологическую систему, то его состояние вполне характеризуется такими термодинамическими функциями, как:  $G$  — энергия Гиббса;  $F$  — энергия Гельмгольца, или свободная энергия;  $H$  — энталпия;  $U$  — внутренняя энергия;  $S$  — энтропия. Эти функции связаны следующими соотношениями:

$$G = F + pV, \quad (1)$$

$$F = U - TS, \quad (2)$$

$$H = U + pV, \quad (3)$$

где  $T$  — температура,  $p$  — давление,  $V$  — объем.

Указанные термодинамические функции согласно таблице сводки формул, приведенной в работе [10], выражаются через величину  $z$ , называемую интегралом состояний, или фазовым интегралом.

В частности,

$$F = -kT\ln z, \quad (4)$$

$$U = kT^2 \frac{\partial(\ln z)}{\partial T}, \quad (5)$$

$$S = k \left[ \ln z + T \frac{\partial(\ln z)}{\partial T} \right], \quad (6)$$

где  $k$  — постоянная Больцмана.

Из трех термодинамических функций, определяемых по формулам (4)–(6), достаточно найти выражение через  $z$  любых двух, третью функцию можно определить по формуле (2). Величина удельной теплоемкости также определяется через фазовый интеграл  $z$ .

$$C_{\tau} = \frac{kT}{\mu} \left[ 2 \frac{\partial(\ln z)}{\partial T} + T \frac{\partial^2(\ln z)}{\partial T^2} \right], \quad (7)$$

где  $C_{\tau}$  — удельная теплоемкость;  
 $\mu$  — молекулярная масса материала.

Однако вычисление значения  $z$  весьма трудоемко, а в ряде случаев и проблематично, поэтому решим обратную задачу. Выразим величину фазового интеграла  $z$  через принятый нами базисный параметр — удельную теплоемкость  $C_{\tau}$ .

Для этого рассмотрим формулу (7) как обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка

$$T^2 \frac{d^2(\ln z)}{dT^2} + 2T \frac{d(\ln z)}{dT} = \frac{C_{\tau}\mu}{k}. \quad (8)$$

Дифференциальное уравнение (8) допускает понижение порядка, решая его, получим общее решение в виде

$$\ln z = \frac{C_{\tau}\mu}{k} \ln T - \frac{C_1}{T} + C_2, \quad (9)$$

где  $C_1, C_2$  — постоянные интегрирования.

Воспользовавшись этим решением, а также выражением

$$\frac{\partial(\ln z)}{\partial T} = \frac{C_{\tau}\mu}{k} \frac{1}{T} + \frac{C_1}{T^2}, \quad (10)$$

получаем в результате дифференцирования общего решения (9), определим по формулам (4)–(6) выражения термодинамических функций  $F, U$  и  $S$

$$F = -C_{\tau}\mu T \ln T + kC_1 - kTC_2, \quad (11)$$

$$U = C_{\tau}\mu T + kC_1, \quad (12)$$

$$S = C_{\tau}\mu(1 + \ln T) + kC_2. \quad (13)$$

Решим теперь задачу Коши. Найдем исходя из начальных условий

$$\ln z \Big|_{T=T_0} = 0; \quad \frac{\partial(\ln z)}{\partial T} \Big|_{T=T_0} = 0, \quad (14)$$

значения постоянных интегрирования  $C_1$  и  $C_2$ .

Подставляя начальные условия (14) в уравнения (9) и (10), получим

$$C_1 = -\frac{C_{\tau}^0\mu T_0}{k}; \quad (15)$$

$$C_2 = -\frac{C_{\tau}^0\mu}{k}(1 + \ln T_0), \quad (16)$$

где  $C_{\tau}^0$  — начальное значение величины  $C_{\tau}$  при  $T=T_0$ .

Тогда частное решение приобретает следующий вид:

$$\ln z = \frac{C_{\tau}\mu}{k} \ln T + \frac{C_{\tau}^0\mu}{k} \left( \frac{T_0}{T} - 1 - \ln T_0 \right), \quad (17)$$

выражения термодинамических функций можно представить в форме

$$F = -\mu T \left[ C_{\tau} \ln T + C_{\tau}^0 \left( \frac{T_0}{T} - 1 - \ln T_0 \right) \right], \quad (18)$$

$$U = \mu(C_{\tau}T - C_{\tau}^0T_0), \quad (19)$$

$$S = \mu [C_r(1 + \ln T) - C_r^0(1 + \ln T_0)] \quad (20)$$

Следует заметить, что при выборе начальных условий (14) исходим из принципа энергетического постоянства дорожного покрытия, соответствующего этапу завершения его строительства, когда  $z=1$ , а изменение фазового состояния  $\frac{\partial(\ln z)}{\partial T}$  на этом этапе, характеризующемся температурой дорожного покрытия  $T_0$ , равно нулю.

Рассматриваемый подход дает возможность аналитическими методами оценивать функциональное состояние дорожного покрытия при наличии корреляционных зависимостей между величиной удельной теплоемкости и параметрами, характеризующими историю автомобильной дороги, такими как возраст покрытия, интенсивность и грузонапряженность движения. Необходимо отметить, что понимание необратимых термодинамических процессов, происходящих при эксплуатации покрытия, помогает осуществить мониторинг и прогнозирование срока службы покрытия в любой момент времени. Возможность назначения обоснованных сроков ремонта позволяет обеспечить долговечность дорожного асфальтобетонного покрытия и получить существенный экономический эффект для дорожно-эксплуатационных служб и для дорожной отрасли в целом. На любом этапе существования покрытия можно провести экспериментальное определение его термодинамических свойств и, используя полученные зависимости функционального состояния, сделать заключение о сроках дальнейшей работоспособности покрытия и предстоящих ремонтах. Это позволит дорожным службам и администрации города заблаговременно планировать и включать соответствующую строку расхода в будущий бюджет. Также, используя вышеуказанное равенство вариаций энтропии, возможно еще при завершении этапа строительства обосновать пределы долговечности покрытия, исходя из уровня внутренней энергии и показателей динамики изменения энтропии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев В. А. Термодинамика грунтов / В. А. Королев. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 168 с.
2. Завьялов М. А. Энергетическая функция процесса уплотнения асфальтобетонной смеси / М. А. Завьялов // Строительные и дорожные машины. — 2003. — № 3. — С. 19–21.
3. Пригожин И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени / И. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: КомКнига, 2005. — 232 с.
4. Завьялов М. А. Термодинамические аспекты устройства и старения асфальтобетонных покрытий / М. А. Завьялов // Вестник СибАДИ. — 2005. — Вып. 2. — С. 61–62.
5. Богуславский А. М. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А. М. Богуславский. — М.: Высшая школа, 1965. — 115 с.
6. Завьялов М. А. Энергетический баланс дорожного покрытия / М. А. Завьялов, А. М. Завьялов // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 6. — С. 61–64.
7. Завьялов М. А. Коэффициент диссипативности системы «дорожное покрытие — транспортное средство» / М. А. Завьялов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2006. — № 1. — 81 с.
8. Завьялов М. А. Алгоритм определения термодинамических потенциалов дорожной одежды / М. А. Завьялов, А. М. Завьялов // Строительные материалы. — 2006. — № 1. — С. 50–51.
9. Завьялов М. А. Зависимость межремонтных сроков службы асфальтобетонного покрытия от вариации энтропии в процессе строительства / М. А. Завьялов, А. М. Завьялов // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 9. — С. 70–73.
10. Базаров И. П. Термодинамика / И. П. Базаров. — М.: Высш. шк., 1991. — 376 с.

© Завьялов М. А., 2007

Получено после доработки 14.12.06

В. А. УТКИН, канд. техн. наук, доц., Г. М. КАДИСОВ, д-р техн. наук, проф.  
(Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск)

## О МЕТОДАХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСЧЕТА БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВ С МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛИТОЙ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Дается обоснование для представления плитно-ребристого пролетного строения с многослойной плитой проезжей части в качестве тонкостенной оболочки с приведенными к срединной плоскости упругими постоянными.

Приводится описание методов пространственного расчета, позволяющих оценить напряженно-деформированное состояние таких конструкций и результаты расчета. Сделан сравнительный анализ напряженного состояния восьмиребристого пролетного строения с деревоплитой проезжей части из перекрестных досок на нагрузку НК-80, полученного разными методами. Отмечены незначительные отклонения результатов расчета друг от друга, что позволило рекомендовать приведенные методы как для исследования, так и проектирования рассматриваемых конструкций.

Конструкция плитно-ребристого пролетного строения из клееной древесины [1, 2] содержит ребра (балки) прямоугольного сечения, включенную в совместную работу с ребрами деревоплиту проезжей части из нескольких слоев перекрестных досок, ориентированных ортогонально друг к другу, и диафрагм. В одном случае доски плиты расположены под углом  $45^\circ$  к продольной оси ребер, в другом – под углом  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . Ребра, деревоплита и диафрагмы жестко связаны между собой на основе kleевых соединений. Необходимо также отметить, что многослойная плита проезжей части сама по себе составлена из элементов, обладающих ярко выраженной анизотропией, и ее участие в совместной работе с ребрами не определено.

Анализ существующих методов пространственного расчета многоребристых пролетных строений мостов показывает, что до настоящего времени не предложено методики расчета таких конструкций из анизотропных материалов. Вместе с тем в инженерной практике нашла широкое применение теория напряженно-деформированного состояния анизотропных пластинок, разработанная С. Г. Лехницким [3] для расчета тонких плит. Согласно этой теории тонкая плита, составленная из упругих анизотропных слоев, склеенных или спаянных между собой, рассматривается как однородная и ортотропная пластина с приведенными модулями упругости, деформируемая усилиями, действующими в ее срединной поверхности.

Теоретические разработки С. Г. Лехницкого, предназначенные для пластинок из авиационной фанеры и дельта-древесины с толщиной отдельных слоев 10–15 мм, были применены для исследования напряженно-деформированного состояния многослойных моделей из перекрестных досок деревоплит. Результаты исследования были подтверждены экспериментальными данными [4]. Это позволило в дальнейшем определить участие их в совместной работе с ребрами. В итоге появилась возможность представления пролетного строения, составленного из клеенных балок постоянного прямоугольного сечения и жестко связанной с ними многослойной деревоплиты, в виде системы жестко соединенных между собой плитных элементов.

В практике известны два основных способа пространственного расчета плитно-ребристых систем, основанных на точных решениях теории уп-

ругости для плоского напряженного состояния и изгиба пластинон с применением ординарных тригонометрических рядов. Это метод сил [5] и метод перемещений [6]. В большинстве случаев предпочтение отдается методу перемещений, система канонических уравнений которого содержит меньшее число неизвестных. В работе [7] методом перемещений решен ряд задач о динамике и устойчивости складчатых систем.

В методе перемещений линии пересечения срединных плоскостей горизонтальных и вертикальных пластинон называются узловыми линиями. С каждой узловой линией связаны четыре функции перемещений (поворот вокруг узловой линии, два поперечных взаимно ортогональных перемещения и одно продольное). Три первые функции представлены ординарными тригонометрическими рядами по синусам, четвертая — по косинусам.

$$\begin{aligned}\Theta_j(x) &= \sum Z_1^{(n)} \cdot \sin n\pi x/l; \quad w_j(x) = \sum Z_2^{(n)} \cdot \sin n\pi x/l; \\ V_j(x) &= \sum Z_3^{(n)} \cdot \sin n\pi x/l; \quad u_j(x) = \sum Z_4^{(n)} \cdot \cos n\pi x/l.\end{aligned}\quad (1)$$

За основные неизвестные принимаются коэффициенты рядов. Суммарность коэффициентов  $n$ -х членов всех рядов составляет вектор амплитуд перемещений  $n$ -й гармоники. Внешняя нагрузка, предполагаемая действующей на узловой линии, также представлена тригонометрическими рядами, коэффициенты  $n$ -х членов которых составляют матрицу-столбец  $\mathbf{R}^{(n)}$ .

Каноническая система уравнений представляет собой систему раздельных матричных уравнений:

$$\mathbf{R}^{(n)} \cdot \mathbf{Z}^{(n)} + \mathbf{R}_F^{(n)} = 0, \quad (2)$$

где  $\mathbf{R}^{(n)}$  — матрица амплитуд реакций упругой системы при ее деформировании вдоль пролета по синусу (косинусу)  $n$ -й гармоники. Матрица  $\mathbf{R}^{(n)}$  определяется как сумма реакций отдельных пластинон

$$\mathbf{R}^{(n)} = \sum \mathbf{D}_i^T \cdot \mathbf{\Pi}_i^T \cdot \mathbf{T}_i^{(n)T} \cdot \mathbf{R}_i^{(n)} \cdot \mathbf{T}_i^{(n)} \cdot \mathbf{\Pi}_i \cdot \mathbf{D}_i, \quad (3)$$

где  $\mathbf{D}_i$  — информационная матрица  $i$ -го элемента;  
 $\mathbf{\Pi}_i$  — матрица перехода к осям элемента в локальной системе координат;  
 $\mathbf{T}_i^{(n)}$  — матрица перехода к осям элемента в местной системе координат;  
 $\mathbf{R}_i^{(n)}$  — матрица амплитуд реакций в связях элемента в местной системе координат. Элементы матриц реакций  $\mathbf{R}_i^{(n)}$  находятся на основе решения уравнений плоской задачи и задачи изгиба анизотропных пластинон [3].

После решения системы канонических уравнений можно определить амплитуды внутренних усилий  $S^{(n)}$  в каждом элементе. Усилия (напряжения) вычисляются суммированием тригонометрических рядов

$$S(x) = \sum S^{(n)} \cdot \sin n\pi x/l. \quad (4)$$

Число членов ряда  $n_k$  выбирают таким, чтобы обеспечить точность определяемых величин. Этот метод был положен в основу исследования напряженно-деформированного состояния рассматриваемых в статье систем [8].

В современной инженерной практике широкое применение получил метод конечных элементов [9], который позволяет произвести расчет конструкции любой степени сложности и может служить эталоном в оценке точности любого другого метода.

Рассматриваемая конструкция многоребристого пролетного строения в соответствии с правилами метода конечных элементов может быть представлена в виде пересекающихся плоскостей с разделением их на двухмерные четырехугольные элементы (рис. 1). При выполнении расче-

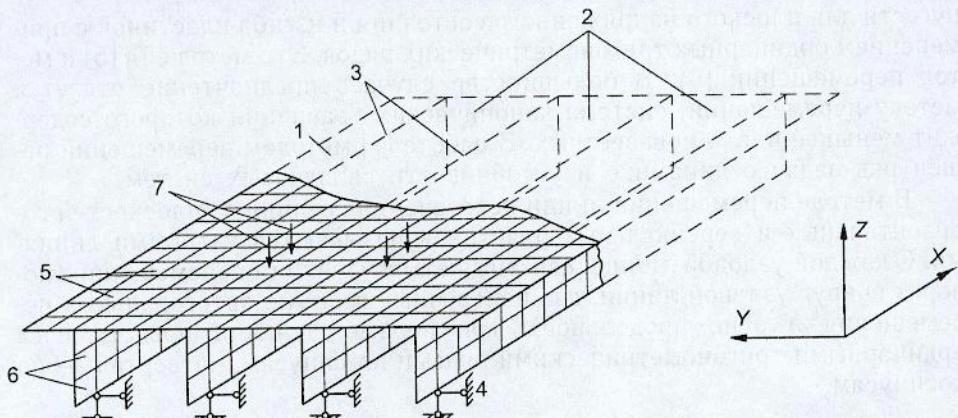


Рис. 1. Расчетная схема пролетного строения по месту конечных элементов  
1 — базовая плоскость плиты; 2 — базовые плоскости ребер; 3 — узловые линии; 4 — граничные условия; 5 — конечные элементы плиты; 6 — конечные элементы ребер; 7 — нагрузка на элемент

та посредством вычислительного комплекса *COSMOS/M* в качестве конечного элемента можно использовать четырехузловой многослойный четырехугольный элемент оболочки с возможностью учета мембранных и изгибающих сил *SHELL4L*. При этом комплекс позволяет учитывать до 50 слоев. Каждому слою могут быть назначены различные изотропные или ортотропные свойства материала. Для представления ортотропных по  $i$ -м и  $j$ -м направлениям материала необходимо задать модули упругости для двух направлений и коэффициенты Пуассона для двух плоскостей при условии  $\mu_{ij}/E_i = \mu_{ji}/E_j$ . Результаты расчета в виде перемещений и напряжений узлов модели могут быть представлены в виде таблиц и графических форм.

Для сравнения был выполнен расчет пролетного строения  $l = 15,0$  м, содержащего восемь kleеных балок  $20 \times 120 \times 1500$  см и деревоплиту  $16,5 \times 1040 \times 1500$  см из пяти ортогональных слоев перекрестных досок, уложенных под углом  $45^\circ$  к продольной оси пролетного строения, на нагрузку НК-80, установленную в заданное положение (рис. 2). Толщина kleеної деревоплиты  $5 \times 3,3$  см; нормативные упругие постоянные древесины балок:  $E_z = 1 \cdot 10^4$  МПа,  $E_x = E_y = 4 \cdot 10^2$  МПа,  $G_{xz} = 5 \cdot 10^2$  МПа; нормативные упругие постоянные перекрестной деревоплиты:  $E_z = E_x = 1,659755 \cdot 10^3$ ,  $\mu = 0,02$ .

На рис. 3 в качестве примера для сравнения приведены эпюры нормальных напряжений  $\sigma_x$  в сечении по середине пролета наиболее нагруженных балок (на рис. 2 эта область выделена сечением  $m-m$ ). Пунктирной кривой обозначены напряжения, определенные по расчетной схеме метода перемещений для плитно-ребристых систем с учетом допущений С. Г. Лехницкого, сплошной линией — напряжения, определенные методом конечных элементов с учетом анизотропных свойств материала каждого слоя многослойной конструкции. Масштабное и численное сопоставления величин напряжений, вычисленных этими методами, свидетельствуют о незначительной разнице в значениях напряжений и о полном совпадении характера распределения их в ребрах. Обращает на себя внимание участок приложения к плите нагрузки от колеса НК-80 в 40 см от оси балки Б2 (на рис. 3 сосредоточенная сила показана стрелкой). Отмеченная здесь разница в числовых значениях может быть объяснена уровнем приложения силового воздействия: в расчетной схеме метода перемещений — это срединная поверхность плиты, в расчетной схеме МКЭ — верхняя поверхность плиты. При этом численные значения напряжений, посчитанные для срединной поверхности плиты, в обо-

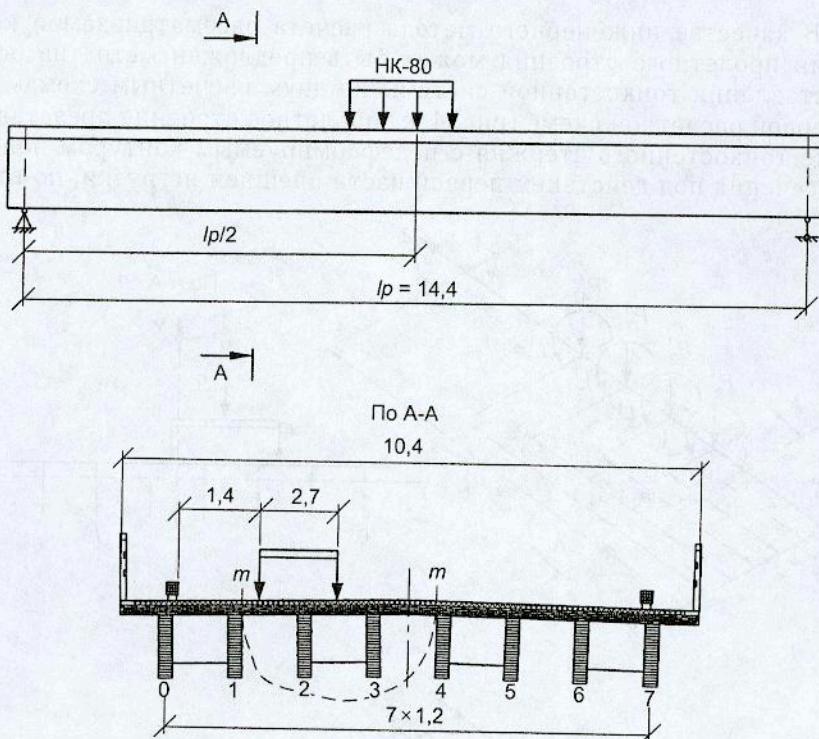


Рис. 2. Схема пролетного строения (исходные данные)

их случаях мало отличаются друг от друга на всем участке  $m-m$  плиты. Отметим, что приведенные соотношения в напряжениях для узлов трех панелей наиболее нагруженного срединного сечения характерны для всех сечений пролетного строения.

Таким образом, положенные в основу исследования [8] допущения С. Г. Лехницкого о приведении тонкой плиты из упругих анизотропных слоев к однородной пластинке с ортотропными свойствами подтверждаются также результатами расчета рассматриваемой конструкции высокоточным методом конечных элементов.

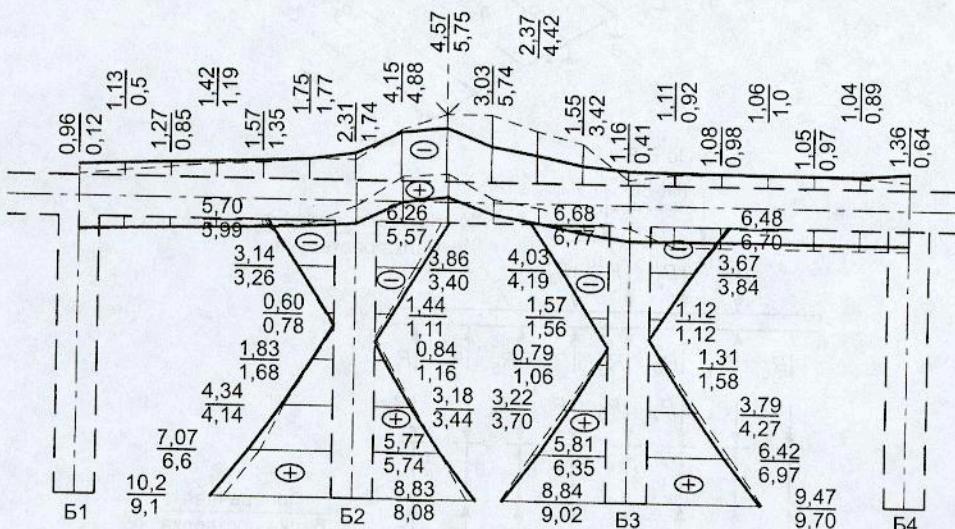


Рис. 3. Эпюры нормальных напряжений  $\sigma_x$  на наружной поверхности сечения пролетного строения в середине пролета на участках балок 1-2-3-4, МПа (в числителе приведены данные МКЭ, в знаменателе — данные метода перемещений)

В качестве инженерного метода расчета рассматриваемой конструкции пролетного строения может быть предложен метод на основе представления тонкостенной системы по двум расчетным схемам [10]. По первой расчетной схеме (рис. 4, а) пролетное строение представлено в виде тонкостенного стержня с недеформируемым контуром поперечного сечения под действием первой части внешней нагрузки, по второй

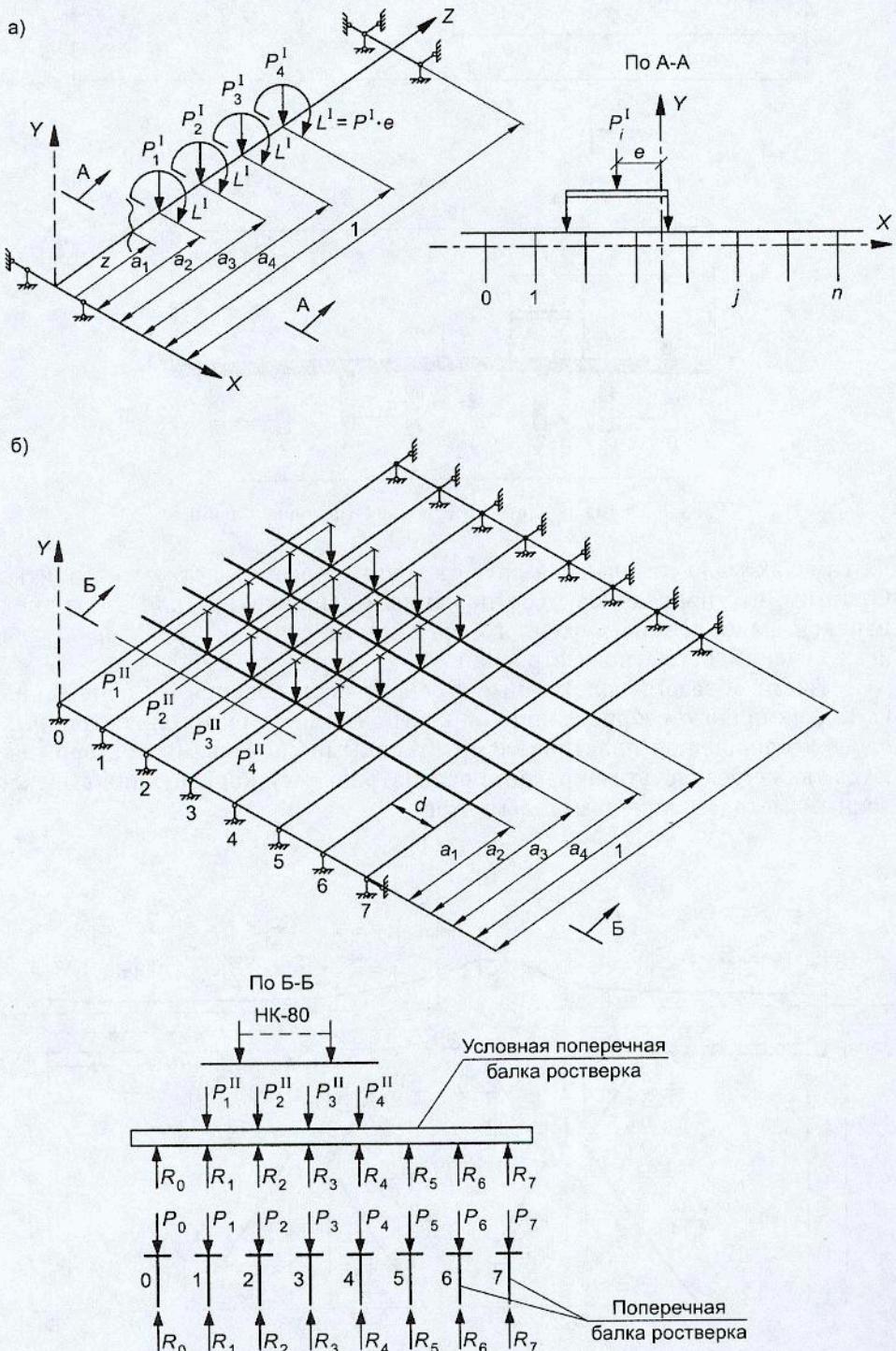


Рис. 4. Расчетная схема пролетного строения по методу двух расчетных схем  
а — жесткий тонкостенный стержень (брус) — 1-я схема; б — балочный ростверк — 2-я схема

расчетной схеме (рис. 4, б) — в виде балочного ростверка из балок таврового сечения и связанный с ними условной поперечной балки приведенной жесткости в месте приложения второй части нагрузки. Причем внешняя нагрузка разделяется между расчетными схемами на две части пропорционально влиянию на секториальную жесткость поперечного сечения горизонтальной плиты и вертикальных ребер. Полученные аналитические зависимости позволяют с высокой степенью точности оценить напряженно-деформированное состояние пролетного строения в зависимости от изменений конструктивных форм отдельных элементов при проектировании. Расчет может быть выполнен с использованием программных комплексов типа *Mathcad* и др.

На рис. 5 приведены эпюры распределения нормальных напряжений  $\sigma_x$  в точках срединной поверхности участка *m-m* поперечного сечения (см. рис. 2) пролетного строения в середине пролета от расчетной нагрузки НК-80. Как видно из сравнения, численные значения напряжений, полученные тремя разными способами, мало отличаются друг от друга, а характер распределения напряжений совпадает.

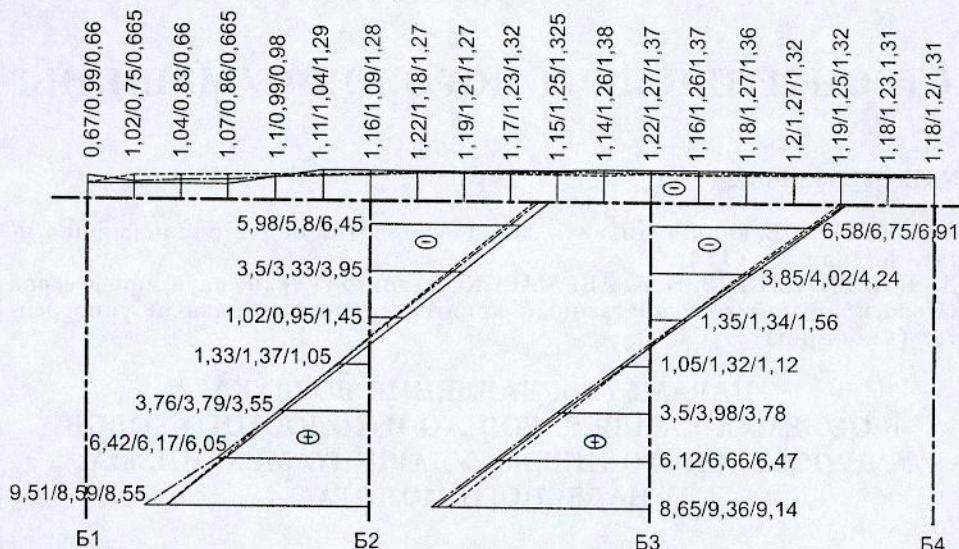


Рис. 5. Эпюры нормальных напряжений  $\sigma_x$  на срединной поверхности сечения пролетного строения в середине пролета на участке балок 1-2-3-4, МПа (первое значение ординат — данные МКЭ, второе — данные метода перемещений, третье — данные метода двух расчетных схем)

Таким образом, рассмотренные выше способы пространственного расчета могут служить инструментом для исследования и проектирования многоребристых пролетных строений из клееной древесины с многослойной плитой проезжей части.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. RU 220 4644 С2, МПК7 Е01 Д 2/00, 2/04 РФ. Дощато-клееное пролетное строение / В. А. Уткин, В. И. Пузиков, П. Н. Кобзев. — Заявл. 23.05.2001; Опубл. 20.05.2003.
2. Пат. RU 2258 110 С1, МПК7 Е01 Д 2/04. Дощато-клееное пролетное строение / В. А. Уткин, Г. М. Кадисов (RU). — Заявл. 26.11. 2003; Опубл. 10.08. 2005.
3. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки / С. Г. Лехницкий. — М.: Гостехиздат, 1957. — 464 с.
4. Уткин В. А. К вопросу об исследовании перекрестной деревоплиты пролетного строения из клееной древесины / В. А. Уткин, П. Н. Кобзев // Вестник СибАДИ. — Омск: Изд. Дом «ЛЕО», 2004. — Вып. 1. — С. 36–41.
5. Улицкий Б. Е. Пространственные расчеты мостов / Б. Е. Улицкий, А. А. Потапкин и др. — М.: Транспорт, 1967.

6. Александров А. В. Метод перемещений для расчета плитно-балочных конструкций//А. В. Александров//Труды МИИТ.— М.: Трансжелдориздат, 1963.— Вып. 174.
7. Кадисов Г. М. Динамика складчатых систем при подвижных нагрузках//Г. М. Кадисов.— Омск: СибАДИ, 1997.— 178 с.
8. Уткин В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния ребристого пролетного строения из клееной древесины//В. А. Уткин, П. Н. Кобзев//Изв. вузов. Строительство.— 2005.— № 10.— С. 94–100.
9. Елизаров С. В. Современные методы расчета инженерных конструкций на железнодорожном транспорте. Метод конечных элементов и программа COSMOS/M: Учебное пособие//С. В. Елизаров, А. В. Бенин, О. Д. Тананайко.— СПб., 2002.
10. Уткин В. А. О совместной работе многоребристых балочных автодорожных пролетных строений с деформируемым контуром на действие изгиба и кручения// В. А. Уткин//Изв. вузов. Строительство и архитектура.— 1971.— № 11.— С. 142–148.

© Уткин В. А., Кадисов Г. М., 2007

Получено 09.01.07

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001.24

А. А. КУТУМОВ, канд. техн. наук, доц. (Рубцовский индустримальный институт, филиал АлтГТУ);  
Д. Э. АБРАМЕНКОВ, Э. А. АБРАМЕНКОВ, доктора техн. наук, профессора (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))

### ПАРАМЕТРЫ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ОБЪЕМАХ КАМЕР РАБОЧЕГО И ХОЛОСТОГО ХОДОВ ДРОССЕЛЬНОГО ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА НАВЕСНОГО МОЛОТА

Рассматриваются параметры давления и объема в камерах рабочего и холостого ходов дроссельного пневмоударного механизма с центральной воздухоподводящей трубкой навесного пневмомолота.

При исследовании новых пневмоударных механизмов навесных машин представляют интерес баро- и термодинамические параметры рабочего цикла, знания о которых могут способствовать усовершенствованию механизма.

В данной работе рассматриваются параметры температуры и удельной энтропии дроссельного пневмоударного механизма навесного пневмомолота [1, 2] с центральной подвижной воздухоподводящей трубкой ДПУМ(Т) и предкамерой сетевого воздуха, содержащей средства формирования импульса ударника в виде камер наддува, средства выпуска — постоянно открытые дроссели, средства выпуска — каналы выпуска отработавшего воздуха. Расчетная схема представлена на рис. 1. Любое положение центральной воздухоподводящей трубы в радиальном направлении не изменяет площадь сечения дросселя выпуска в камеру рабочего хода  $\omega_p$  ( $A-A$ ). При математическом описании принято дополнительное допущение, не меняющее принципиальной физической картины процесса, но упрощающее ее описание: трубка в осевом положении не подвижна.

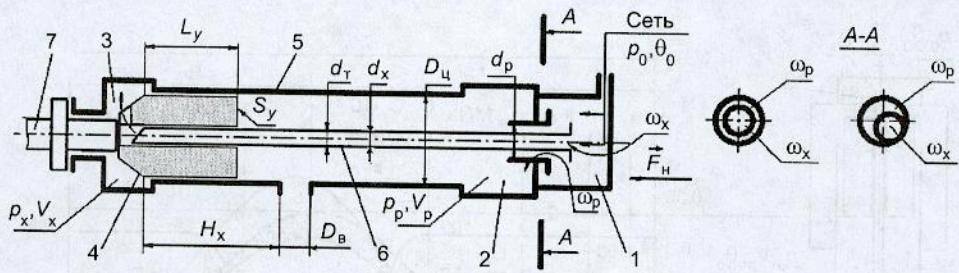


Рис. 1. Расчетная схема ДПУМ(Т)

1 — предкамера; 2 — камера рабочего хода; 3 — камера холостого хода; 4 — ударник; 5 — корпус; 6 — трубка; 7 — инструмент

Система уравнений, описывающая процесс, представлена в работах [3, 4]. В результате решения получены зависимости:

- давления воздуха  $p_i = p(t)$ ;
- объема камеры  $V_i = V(t)$ ;
- расхода воздуха  $G_i = G(t)$ ;
- температуры и удельных теплоемкостей:

$$\theta_i = \theta(t), \quad c_{p_i} = c_p(t), \quad c_{V_i} = c_V(t);$$

— удельной энтропии процесса  $S_i = S(t)$ ;

— показателя процесса  $n_i = n(t)$ ,

где  $p_i$  — давление воздуха в камере с объемом  $V_i$ ;

$\theta_i$  — температура воздуха в камере;

$c_{p_i}, c_{V_i}$  — удельные теплоемкости воздуха в камерах соответственно при  $p \neq \text{const}$  и  $V \neq \text{const}$ ;

$S_i$  — удельная энтропия процесса в камере;

$t$  — время;

$n_{p,x}$  — показатель процесса для камер рабочего и холостого ходов.

Графическое представление полученных зависимостей приведено на рис. 2, 3. Здесь указанные зависимости совмещены с графиком пути

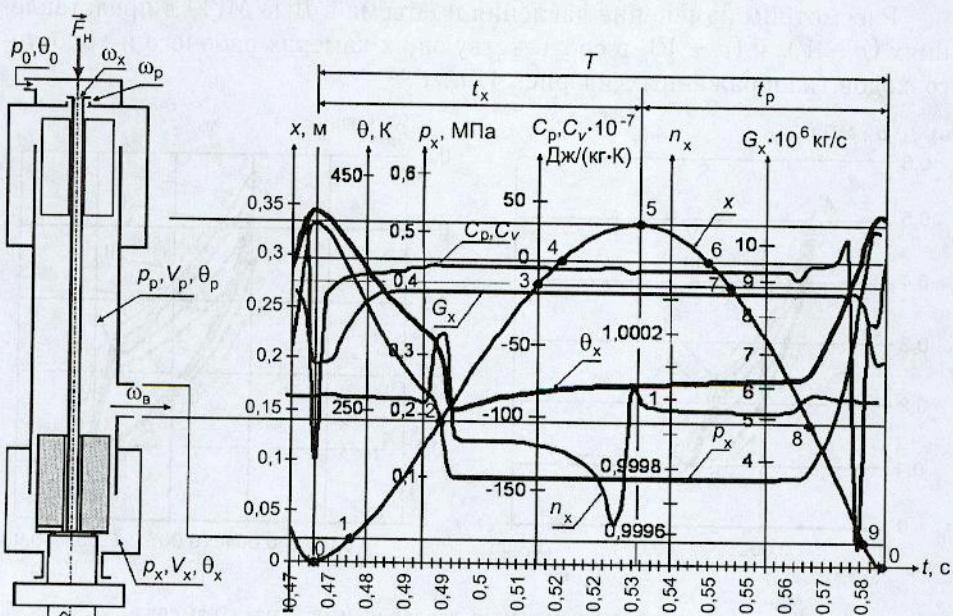


Рис. 2. Баро- и термодинамика рабочих процессов в ДПУМ(Т) в камере холостого хода

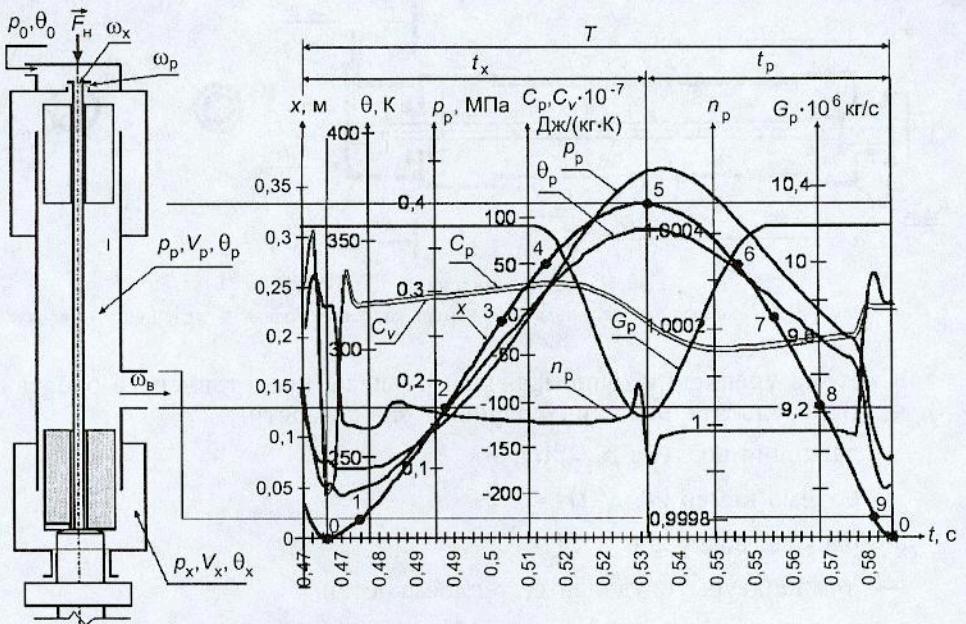


Рис. 3. Баро- и термодинамика рабочих процессов в ДПУМ(Т) в камере рабочего хода

движения ударника (зависимость  $x = x(t)$ ) и принципиальной схемой ДПУМ(Т) с отметками его характерных участков движения. Зависимость  $x = x(t)$  является также взаимоконтролирующей для других параметров, изменяющихся во времени. Представленные машинные осциллограммы соответствуют условиям:

$$p_0 = 0,6 \text{ МПа}; \quad \alpha = \omega_x V_p (\omega_p V_x)^{-1} = 6; \quad \lambda = 7.$$

Отметим, что для ДПУМ(Т) графическое представление функции  $x_y = x(t)$  является весьма важным, поскольку суммарный объем камер рабочего хода сохранялся и выполнялось условие  $V_p / V_x = \lambda = \text{const}$ .

Рассмотрим изменение давления и объема в ДПУМ(Т) в представлениях  $(p - V)_p$  и  $(p - V)_x$  в соответствующих камерах рабочего и холостого ходов, изображенных на рис. 4, а, б.

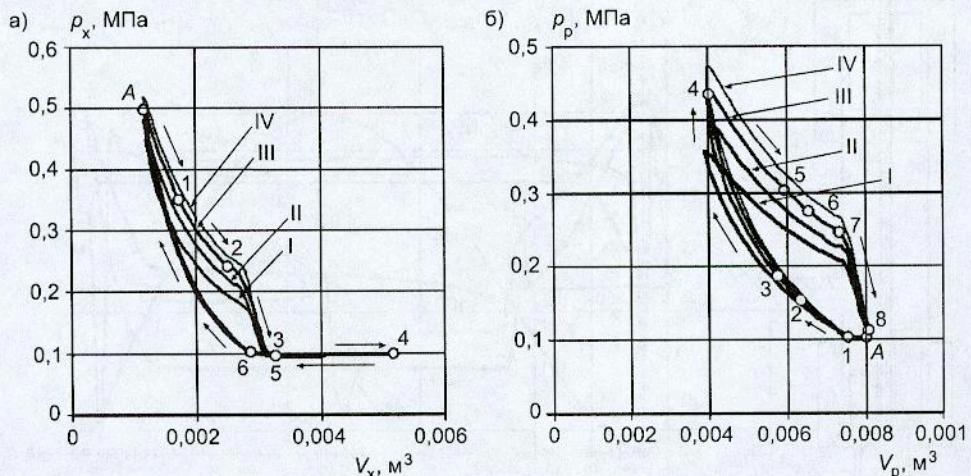


Рис. 4. Параметры изменения давления и объема в камерах  
а — холостого хода; б — рабочего хода; I —  $p_0 = 0,4 \text{ МПа}$ ; II —  $p_0 = 0,5 \text{ МПа}$ ; III —  $p_0 = 0,6 \text{ МПа}$ ;  
IV —  $p_0 = 0,7 \text{ МПа}$

Точка  $A$  соответствует концу рабочего и началу холостого хода ударника, т.е. периоду соударения ( $V_x = \min V_x \equiv \text{const}$ ) при  $p_x = \max p_x = 0,505 \text{ МПа}$ , при этом давление в камере рабочего хода минимальное и равное атмосферному  $p_p = p_a = 0,1 \text{ МПа}$  (рис. 4,  $a$ ). После соударения с инструментом ударник получает дополнительно к импульсу давления также импульс отскока, благодаря которому он движется ускоренно, обусловливая при этом более резкое расширение воздуха в камере холостого хода. При движении ударника после соударения (участок  $A-1-2$ ) объем  $V_x$  возрастает, давление из-за расширения воздуха уменьшается до  $p_x = 0,228 \text{ МПа}$  в точке 2, соответствующей началу открытия выпускного канала, с проходным сечением  $\omega_b$ .

В это время в камере рабочего хода на участке  $A-1$  (рис. 4,  $b$ ) происходит закрытие выпускного канала, с проходным сечением  $\omega_b$ , и начинается рост давления  $p_p$  с одновременным уменьшением объема  $V_p$  (участок  $1-2-3-4$ ). Сжатие этого объема продолжается до точки 4, соответствующей максимальному перемещению ударника, окончанию холостого хода и началу рабочего. Давление здесь возрастает до  $p_p = 0,437 \text{ МПа}$ . В камере холостого хода (рис. 4,  $a$ ) в это время происходит открытие выпускного канала (точка 2), давление резко падает и становится равным атмосферному к моменту полного открытия выпускного канала в точке 3. Эта тенденция остается постоянной на участке  $3-4-5$  до тех пор, пока не начнется закрытие выпускного канала при рабочем ходе ударника в точке 5. После закрытия выпускного канала в точке 6 начинается сжатие отсеченного объема  $V_x$  с одновременным ростом давления в камере холостого хода до максимального  $p_x = \max p_x = 0,505 \text{ МПа}$  в точке  $A$ . Далее происходит удар по инструменту и процесс повторяется. В камере рабочего хода (рис. 4,  $b$ , точка 4) движение ударника обусловливает увеличение объема  $V_p$  с одновременным расширением воздуха. Давление  $p_p$  при этом начинает постепенно снижаться (участок  $4-5-6-7$ ) до  $p_p = 0,24 \text{ МПа}$ , затем в момент открытия ударником выпускного канала (точка 7) резко падает до  $p_p = 0,11 \text{ МПа}$  в точке 8. Далее ударник наносит удар по инструменту и с точки  $A$  процесс повторяется.

Из рассмотренных результатов исследования ДПУМ(Т) следует, что для рациональных соотношений  $V_p/V_x$ ,  $\omega_p/\omega_x$  при давлении воздуха в сети от  $p_0 = 0,4 \text{ МПа}$  до  $p_0 = 0,7 \text{ МПа}$  (через  $0,1 \text{ МПа}$ ) процессы изменения давления в представлениях  $(p - V)_x$  и  $(p - V)_p$  как для камер холостого хода, так и рабочего хода являются подобными, т.е. их тенденции изменения близки к процессам, происходящим при  $p_0 = 0,6 \text{ МПа}$ , что подтверждается численными исследованиями при физико-математическом моделировании рабочего процесса в камерах ДПУМ(Т).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2062692 РФ. Пневматический молоток с дроссельным воздухораспределением//Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, В. Ф. Корчаков.— Опубл. 1996; Бюл. № 8.
2. Пат. № 2256545 РФ. Пневматический молот с дроссельным воздухораспределением//Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, А. А. Кутумов и др.— Опубл. 2005; Бюл. № 20.
3. Абраменков Д. Э. Пневматический механизм ударного действия с продувкой и форсажем камеры рабочего хода//Д. Э. Абраменков, Э. А. Абраменков, А. А. Кутумов и др.//Изв. вузов. Строительство.— 2004.— № 9.— С. 74–82.
4. Абраменков Э. А. Типоразмерный ряд навесных пневматических молотов с дроссельным воздухораспределением для разработки мерзлых грунтов//Э. А. Абраменков, А. А. Кутумов, Д. Э. Абраменков и др.//Изв. вузов. Строительство.— 2005.— № 11–12.— С. 78–84.

© Кутумов А. А., Абраменков Д. Э., Абраменков Э. А., 2007

Получено 05.12.06

# **НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ**

**УДК 711.2:6 (571.51)**

**А. Д. ШУНДРИН, канд. архит., доц. (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))**

## **ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ КРАСНОЯРСКОГО ПРИАНГАРЬЯ (ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ АСПЕКТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ)**

Рассматриваются территориально-планировочные и экологические вопросы градостроительного формирования Красноярского Приангарья в связи с развитием промышленно-хозяйственной деятельности. Характеризуются крупноплощадные (макротерриториальные) аспекты организации района. Выявляются особенности и проблемы, связанные с формированием промышленных узлов, обосновывается необходимость эколого-градостроительных (урбоэкологических) исследований района в связи с освоением сырьевых и энергетических ресурсов Среднесибирского плоскогорья, Верхоленья и Якутии, формированием магистральной железнодорожной и газонефтетранспортной системы в восточном направлении.

В современных геополитических условиях Россия нуждается в развитии и совершенствовании своей территориальной промышленно-хозяйственной и расселенческой структуры. Отказ государства от наступательной стратегии в социально-экономическом развитии восточных районов, упрощенные представления о регулирующей роли свободного рынка в размещении производительных сил и расселении отрицательно сказываются на ресурсно-осваиваемых территориях Севера, Сибири и Дальнего Востока. Их новое промышленно-хозяйственное освоение требует пересмотра позиций постсоветского периода 1991–2000 гг., организующих усилий государства, увеличенных капиталовложений в социальную сферу осваиваемых районов [1]. В обосновании и совершенствовании политики стратегического прорыва возникает необходимость выработки новой парадигмы развития, основанной на укреплении российской государственности, нацеленной на завоевание Россией лидирующего положения в мировом сообществе [2]. Особая роль принадлежит новым магистральным транспортным связям как условию, способствующему экономической интеграции регионов страны, элементу национальной безопасности, активному структурообразующему фактору развития экономики и расселения. Важнейшей задачей становится поэтапное сооружение Северо-Сибирской железнодорожной магистрали (СевСиб), которая пройдет от Сургута через Среднее Приобье и Нижнее Приангарье на соединение с Байкало-Амурской железнодорожной магистралью (БАМ) [3]. Значительное развитие при этом должен получить район нижнего течения р. Ангары (Красноярское или Нижнее Приангарье), территория которого занимает стыковое экономико-географическое положение между нефтегазоносным севером Западной Сибири и зоной хозяйственного освоения БАМа [4].

Формируемый Приангарский промышленный район располагается в средней части Красноярского края, в его состав входят семь административных районов (Енисейский, Казачинский, Пирровский, Северо-Енисейский, Мотыгинский, Богучанский и Кежемский) общей площадью 272,4 тыс. км<sup>2</sup>

(около 12% всей территории края). Освоение района на первых исторических этапах было связано с транспортно-географическим значением Енисея, Ангары, Илима и верхнего течения р. Лены. На этих речных путях в начале XVII в. были основаны первые восточно-сибирские города и остроги. Вслед за пушным промыслом и земледелием здесь раньше, чем в других районах Восточной Сибири, началась добыча полезных ископаемых: соли, железной руды, золота. С прокладкой в середине XVIII в. на юге Восточной Сибири Московского гужевого тракта, и особенно в начале XX в., в связи с проведением транссибирской железной дороги, экономические связи сместились к югу от рассматриваемой территории. В 20–30-е гг. XX в. в связи с разработкой проблем освоения ресурсов Ангары в Нижнем Приангарье проводились изыскания по выявлению полезных ископаемых, уточнению запасов лесного фонда, изучались условия проведения дорог и промышленного строительства [5]. Реализация крупных проектов энергопромышленного развития Восточной Сибири во второй половине 50-х гг., а также в 60–70-е гг. XX в. проводилась со стороны южной части Ангаро-Енисейского региона; районы Приангарья, входящие в Иркутскую область, развивались в это время быстрее, чем более северные районы Красноярского Приангарья. Тем не менее строительство железной дороги Ачинск — Абалаково способствовало формированию в этот период крупного лесопромышленного узла в районе г. Лесосибирска.

В настоящее время Красноярское Приангарье представляет собой район пионерного освоения. Основными отраслями специализации здесь являются лесная и деревообрабатывающая промышленность, на долю которых приходится 80% всей валовой продукции. Дальнейшее промышленно-хозяйственное освоение района связано с развитием энергетики, эксплуатацией минеральных и лесных ресурсов. Эти направления хозяйственной деятельности имеют основное районаобразующее значение, служат условием для развития существующих поселений и возникновения новых городов и поселков [6]. В соответствии со схемой гидротехнического освоения Ангары в 1976 г. в районе было начато строительство Богучанской ГЭС (мощность 4,0 млн кВт, среднегодовая выработка электроэнергии 17,7 млрд кВт·ч). Наряду с Богучанской ГЭС по проработкам Ленинградского филиала Гидропроекта в пределах района было запланировано сооружение Средне-Енисейской ГЭС (мощность 5,7 млн кВт, среднегодовая выработка электроэнергии 35,3 млрд кВт·ч). Для обеспечения строительства этого гидроузла в районе г. Лесосибирска была создана региональная производственная база.

Общий характер территориально-планировочной организации и связанную с этим специфику формирования градостроительных образований разного уровня в пределах района задают его крупноплощадные (макротERRиториальные) природно-ландшафтные характеристики, а также создаваемая в этой ситуации система региональных транспортных связей. В природно-ландшафтном отношении Красноярское Приангарье делится на две существенно различные части, граница между которыми проходит по Енисею. Западная левобережная часть, являющаяся восточной окраиной Западно-Сибирской низменности, носит равнинный характер, покрыта лишийниково-кустарниковыми сосновыми борами, ельниками, кедрами и березняками. Густая сеть достаточно глубоких речных долин хорошо дренирует территорию. Поэтому поверхность здесь менее заболочена, чем в других частях Западно-Сибирской низменности. Другая более значительная по площади территория расположена в правобережье Енисея в пределах Среднесибирского плоскогорья. Вдоль всей этой территории, вытянутой в широтном направлении, простирается долина р. Ангары с долинами ее притоков. Орографически выделяется Енисейский кряж (отметки вершин 800–900 м), покрытый темнохвойной тайгой. Южнее и

восточнее кряжа плоскогорные пространства покрыты преимущественно лишайниково-брусличными и разнотравно-брусличными сосняками и в меньшей степени темнохвойными лесами.

Важнейшие антропогенные преобразования природно-ландшафтной структуры Нижнего Приангарья будут связаны с образованием водохранилищ Богучанской и Средне-Енисейской ГЭС, а также прокладкой железных дорог с дополняющей их автодорожной сетью. В широтном направлении через всю территорию по правобережью Ангара пройдет участок СевСиба, к которому присоединятся меридиональные железнодорожные линии Ачинск — Абалаково, Решеты — Богучаны, Тайшет — Братск — Усть-Илимск. Для освоения северных районов Красноярского края в 1960-е г. рассматривалось проведение железной дороги по правобережью Енисея на планировавшуюся Осиновскую ГЭС и далее к Норильску [7]. Помимо обеспечения экономических связей с Енисейским Севером, данная меридиональная магистраль позволяет вовлечь в эксплуатацию богатую по природным ресурсам правобережную часть Среднего и Нижнего Енисея, приступить к промышленному освоению расположенного на севере края крупнейшего Тунгусского каменноугольного бассейна. Имелось также предложение о строительстве железнодорожной ветки Лесосибирск — Красноярск, позволяющей улучшить внутрикраевые транспортно-экономические связи [8]. В композиционно-планировочном решении промышленного района выделяются две основные пространственные оси: вдоль Енисея и железной дороги Ачинск — Лесосибирск; вдоль Ангара и магистрали СевСиба. Главным планировочным узлом и функционально-распределительным центром, расположенным на пересечении этих двух направлений, выступает г. Лесосибирск (население 76,0 тыс. человек). В восточной части района функцию дополнительного центра берет на себя г. Кодинск (население 14,7 тыс. человек). В сочетании с проектируемой транспортной сетью Гипрогором было проведено функциональное зонирование всей территории с выделением зон, связанных с характером хозяйственной деятельности (рис. 1).

Развитие Лесосибирского промышленного узла обусловлено его удобным положением на берегу Енисея ниже устья Ангара, к бассейну которого

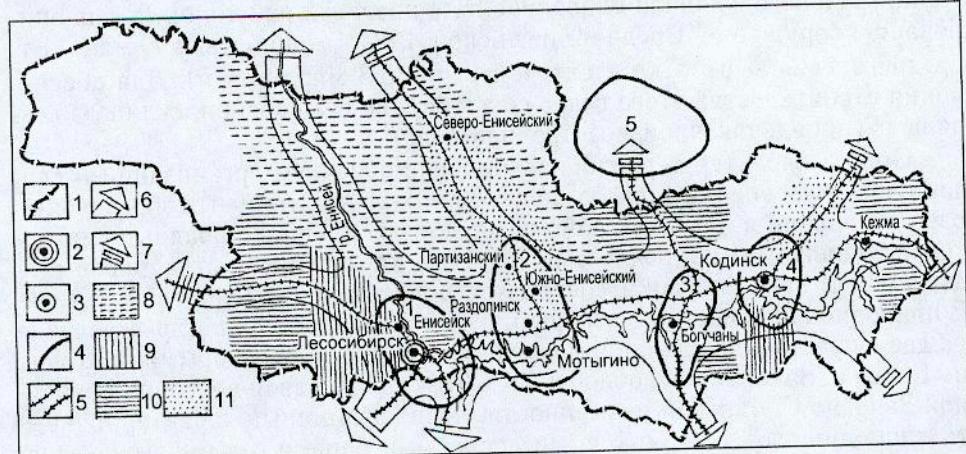


Рис. 1. Территориально-пространственная организация Приангарского промышленного района Красноярского края (на базе разработок ЦНИИПградостроительства, Гипрогора, Красноярскгражданпроекта, предложений институтов СО РАН)

1 — границы промышленного района; 2 — главный планировочный центр; 3 — дополнительный планировочный центр; 4 — промышленные узлы (1 — Лесосибирский; 2 — Мотыгинский; 3 — Богучанский; 4 — Кодинский; 5 — Юрубченский); 5 — перспективные и существующие железные дороги; 6 — главные планировочные оси; 7 — перспективные планировочные оси; 8 — зона промышленных лесозаготовок; 9 — зона развития сельского хозяйства; 10 — охраняемые территории, зоны отдыха, лесные заповедники; 11 — зоны горнодобывающей промышленности

рой тяготеют важнейшие массивы экспортной древесины. Строительство лесопильно-деревообрабатывающих предприятий началось здесь в начале 1950-х гг. Однако их развитие долгое время тормозилось вариантом подтопления большинства строительных площадок (включая г. Енисейск) водохранилищем Осиновской ГЭС, напорный проектный уровень которой был установлен Гидропроектом в пределах отметок 80–85 м. Лишь после принятия в 1964 г. решения о снижении указанного уровня до отметки 75 м появилась возможность расширения промышленного и жилищно-гражданского строительства.

Вопросы расселения в Лесосибирском промузле неоднократно рассматривались ЛенНИИПградостроительства, Гипрогором и Красноярскгражданпроектом. В основу разработок была положена идея создания на месте небольших поселков единого благоустроенного города [9]. Для организации селитебной зоны г. Лесосибирска выбрана Ново-Маклаковская площадка, расположенная в 40 км ниже устья Ангары на первой и второй надпойменных террасах левого берега Енисея. С севера и с юга площадка ограничена территориями деревообрабатывающих комбинатов (ЛДК № 1 и № 2), на западе — железной дорогой. В указанных границах площадь территории составляет 1000 га; фронт выхода к реке — 2 км. Резервы для развития города имеются только в западном направлении, за линией железной дороги. Для расселения трудящихся перспективных энерго- и водоемких производств, планировавшихся после строительства Средне-Енисейской ГЭС, Гипрогором была рекомендована Абалаковская площадка, расположенная поблизости от плотины на берегу водохранилища. Площадка обеспечивает формирование города с 200–300-тысячным населением (рис. 2).

С концентрацией промышленных предприятий высокого класса санитарной вредности в северной промзоне г. Лесосибирска возрастает опасность высокого уровня загрязнения атмосферы. В этой связи расположенный к северу от г. Лесосибирска пос. Ново-Енисейск должен быть перенесен на другую площадку. Чрезмерная концентрация промышленности имеет отрицательное значение также и для самого Лесосибирска, располагающегося на низких отметках енисейской долины перед плотиной Средне-Енисейской ГЭС. В период характерных для этого района зимних антициклонов повышенная концентрация вредных примесей в приземном слое воздуха будет усугубляться наличием незамерзающей акватории ниже створа плотины, способствующей образованию тумана и смога. Наряду с этим встает проблема очистки промышленных и хозяйствственно-бытовых сточных вод, сбрасываемых в Енисей. При недостаточно эффективной их очистке можно ожидать загрязнения источника водоснабжения г. Енисейска, расположенного в 25 км от Лесосибирска ниже по течению Енисея.

Город Енисейск (население 21,6 тыс. человек) занимает особое положение в системе расселения Лесосибирского промышленного узла. Возникнув как острог в 1619 г., Енисейск сыграл выдающуюся роль в хозяйственном освоении всей Восточной Сибири. До настоящего времени он сохранил черты облика старого сибирского города. Площадка Енисейска неоднократно рассматривалась для расселения трудящихся, занятых в производствах северной промзоны Лесосибирска. Однако при всестороннем рассмотрении вопроса эта площадка была отклонена в связи с возможностью подтопления водохранилищем Осиновской ГЭС, а также возможным неблагоприятным санитарно-гигиеническим состоянием воздушного бассейна города; имея низкие отметки территории, он может подвергаться задымлению со стороны северной промзоны Лесосибирска при юго-западных ветрах (рис. 2). В связи с этим целесообразно ограничить размеры г. Енисейска существующими границами. При проведении реконструкции его застройки и увеличении плотности за-

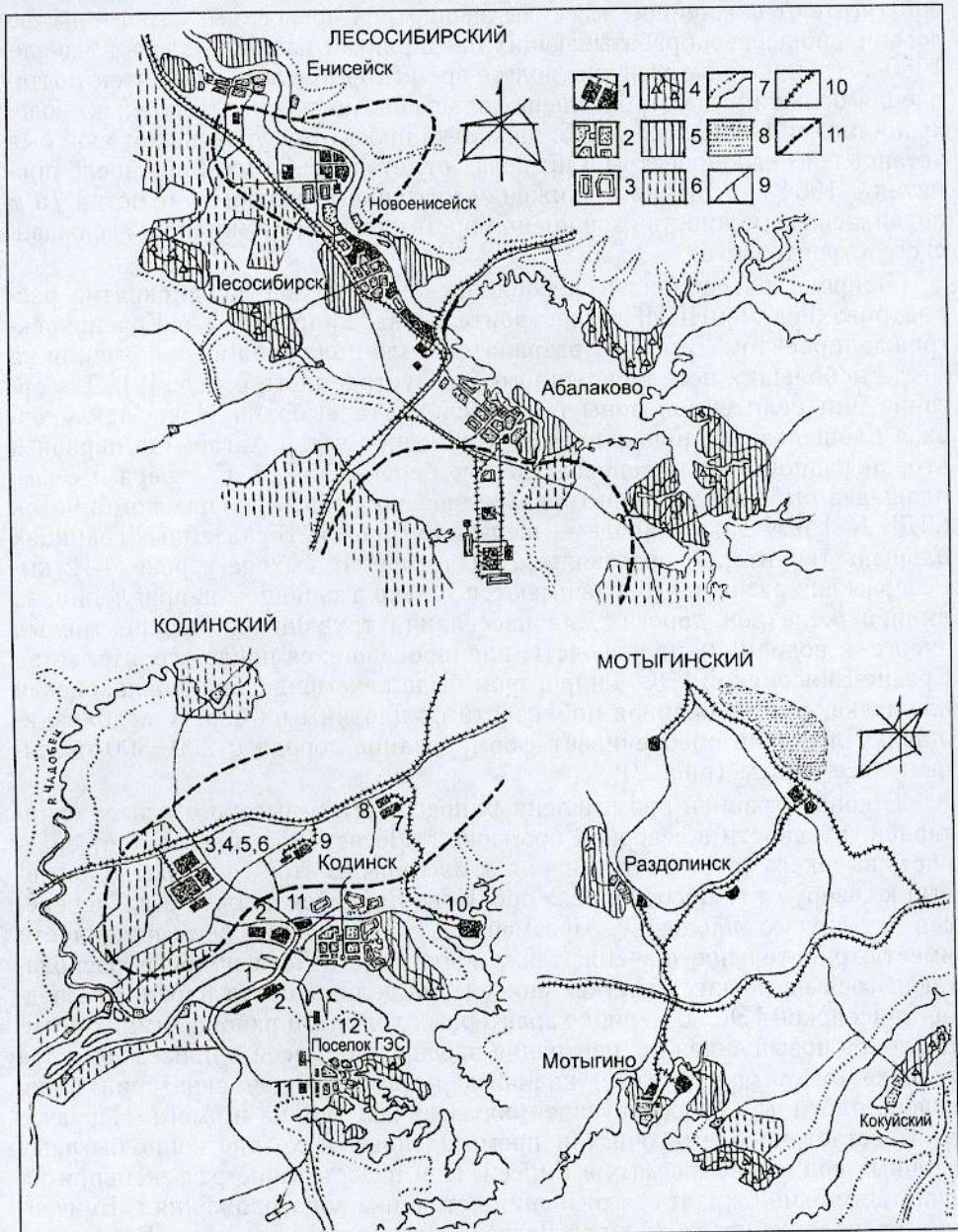


Рис. 2. Организация промышленных узлов (по разработкам ЛенНИИПградостроительства, Гипрогора, Красноярскгражданпроекта)

1 — промышленные и коммунально-хозяйственные территории; 2 — селитебные зоны; 3 — резервные территории; 4 — территории организации длительного отдыха; 5 — зоны кратковременного отдыха; 6 — сельскохозяйственные территории; 7 — водоохраные и нерестовые полосы вдоль рек и водоемов; 8 — месторождение меди; 9 — автодороги; 10 — железные дороги; 11 — границы санитарно-защитных зон.

#### Объекты Кодинского промышленного узла

1 — Богучанская ГЭС; 2 — стройбаза Богучанской ГЭС; 3 — Средне-Ангарский ЛПК; 4 — целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК); 5 — гидролизный завод; 6 — лесопильный комбинат; 7 — глиномаземный завод; 8 — алюминиевый завод; 9 — Тагарский железорудный ГОК; 10 — лесоперевалочная база; 11 — местная промышленность и коммунально-складская зона; 12 — очистные сооружения

счет многоэтажного строительства площадка селитебной зоны может вместить 30–40 тыс. человек. Город может формироваться в качестве административного, культурно-общественного центра, а также как «город-музей» и распределительный пункт туристских маршрутов по Нижнему Приангарью.

В организации групповой системы поселений Лесосибирского промузла намечено создание нового рабочего поселка Ново-Ангарска, что связано с промышленным освоением Горевского свинцово-цинкового месторождения, расположенного на левом берегу Ангары в 38 км от устья. Здесь ведется строительство защитной дамбы, рудника и горнообогатительной фабрики. Генеральный план Ново-Ангарска разработан институтом Сибцветметпроект. Перспективная численность населения поселка составит 12 тыс. человек. Поселок разместится на берегу Ангары в 5 км к востоку от рудника и обогатительной фабрики.

Формирование Мотыгинского промышленного узла связано с освоением минерально-сырьевых ресурсов в прилегающем районе и промышленной лесоэксплуатацией. Строительство СевСиба связет этот промузел с Лесосибирским промузлом на западе и с Кодинским на востоке. При прохождении в дальнейшем через его территорию железной дороги на север Красноярского края (Северо-Енисейская магистраль) Мотыгинский промузел получит выгодное экономико-географическое положение на стыке двух железнодорожных магистралей и водного пути по Ангаре. Для развития райцентра Мотыгино (население 8,5 тыс. человек) выбрана площадка к северо-западу от его старой застройки. Производственным поселением Мотыгинского промузла выступает рабочий поселок Раздолинск (население 3,5 тыс. человек). Перспективы его развития связаны с освоением группы месторождений (магнезиты, тальк, железная руда), расположенных к северу от него на расстояниях 20–25 км. Для обслуживания горнодобывающих производств в Раздолинске развивается местная ремонтно-механическая база и создаются предприятия социально-бытовой сферы. Среди населенных пунктов горнорудной и золотодобывающей промышленности в пределах Мотыгинского промузла выделяются поселки Южно-Енисейский и Партизанский с населением 1,3 и 1,5 тыс. человек. Первый развивается как пункт сосредоточения механических мастерских по ремонту горнодобывающей техники, развитие второго связано с расселением промышленно-производственного персонала осваиваемого Татарского месторождения бокситов. С освоением Кокуйского угольного месторождения, расположенного в 28 км к востоку от Мотыгино, возникает новый рабочий поселок Кокуйский. Его селитебная территория разместится на берегу Ангары в 10 км к северо-западу от угольного разреза (рис. 2).

Богучанский промышленный узел формируется в южной части Приангарского промышленного района на левобережье Ангары в районе железной дороги Решеты — Богучаны. В основе его развития лежит создание предприятий по механической и химико-механической переработке древесины, в состав которых войдут также лесозаготовительные предприятия и лесоперевалочные базы. Центральное положение в промузле занимает старинное село Богучаны (население 5,2 тыс. человек) — административный центр одноименного района. С развитием промышленного узла, прохождением железнодорожной трассы Решеты — Богучаны через мостовой переход на правый берег Ангары на соединение в Северо-Сибирской магистралью с. Богучаны получит новое развитие. Строительство г. Новые Богучаны ведется к западу от сложившейся застройки села, численность его населения планируется до 50 тыс. человек. Общая численность населения Богучанского промузла на перспективу составит порядка 70–80 тыс. человек, из них городское население — 63–68 тыс. человек.

Кодинский промышленный узел располагается на р. Ангаре в 460 км от ее впадения в Енисей. Формирование узла связано с созданием Богучанской ГЭС. Первоначальный вариант планировочной структуры Кодинского промузла был разработан Гипрогором в проекте планировки Анга-

ро-Енисейского промышленного района в 1967 г. По этому варианту новый город предполагалось разместить в районе Кодинского створа Богучанской ГЭС. Более детальный анализ вариантов взаимного размещения промышленности и селитбы по Кодинскому промузлу был осуществлен Гипрогором в проекте Богучанского промышленного района (в границах Богучанского и Кежемского административных районов) в 1971 г. [10]. В результате этих проработок был принят вариант правобережного размещения промышленности с созданием единого города на правом берегу в верхнем бьефе гидроузла. Между тем левобережный подход железнодорожной линии Решеты — Богучаны и автодороги от Братска обеспечивал возведение плотины ГЭС со стороны левого берега Ангары. В этой связи по левому берегу рядом с плотиной была создана стройбаза Богучанской ГЭС, а южнее плотины в 10 км от нее была выбрана площадка для поселка гидростроителей (поселок ГЭС).

Перспективное развитие промышленности в Кодинском промузле в целом определяет преимущественное освоение правобережных территорий. По проработкам Гипробума, выполненным в начале 1980-х гг., здесь намечалось создание лесопромышленного комплекса (Средне-Ангарский ЛПК) мощностью 6,2 млн м<sup>3</sup> перерабатываемой древесины в год. В качестве сырьевой базы были выделены лесные массивы от бассейна р. Чадобец (правый приток Ангары) до границ Красноярского Приангарья с Иркутской областью. Правобережная территория перспективна также для развития горнорудных производств. Здесь имеется ряд месторождений Средне-Ангарского железорудного бассейна, среди которых выделяется Тагарское месторождение, расположенное в 12 км к северу от створа гидроузла. На его базе предусматривается строительство горнообогатительного комбината мощностью 7,5 млн т руды в год. В результате изысканий под промышленное строительство на правом берегу в нижнем бьефе ГЭС была намечена Чадобецкая площадка площадью 800 га. Последнее окончательно определило вариант размещения нового города (г. Кодинск) на правом берегу в районе створа ГЭС. Площадка благоприятна по комплексу инженерно-строительных, микроклиматических и санитарно-гигиенических условий. Территориальные резервы площадки позволяют формировать здесь город до 200–250 тыс. жителей. Взаимоотношение промышленных предприятий, размещаемых на Чадобецкой площадке, с селитебной территорией г. Кодинска позволяет организовать единую санитарно-защитную зону с учетом господствующих направлений ветров. Создается также объединенная система очистки сточных вод, сброс которых будет осуществляться в буферный водоем, устраиваемый на р. Огойзо (левый приток р. Чадобец). Удаленность поселка ГЭС от промышленных предприятий и его хорошее ландшафтное окружение создают здесь достаточно благоприятные экологические условия. Однако развитие поселка ограничено в связи с большим расстоянием от него до мест приложения труда. В перспективе в поселке будет проживать 14–15 тыс. человек, из которых с эксплуатацией ГЭС и функционированием строительной базы будут связаны 6–8 тыс. человек.

В 200 км к востоку от г. Кодинска расположено старинное русское село Кежма, возникшее в середине XVII столетия. Райцентр Кежма, выносимый из зоны затопления водохранилища Богучанской ГЭС, запроектирован как административно-культурный центр Кежемского района. Основными градо- и районаобразующими факторами села станут предприятия лесозаготовительной промышленности, Верхне-Ангарский химлесхоз и Кежемский лесхоз, а также предприятия пищевой и местной промышленности. Численность населения села на первую очередь строительства составляет 6,5 тыс. человек, на расчетный срок — 7,5 тыс. человек [11].

Эколого-градостроительная направленность освоения Нижнеангарского промышленного района в целом дифференцируется по иерархически взаимосвязанным территориально-пространственным уровням его организации, начиная с охвата всей территории и до различных локальных участков. Соответствующим образом распределяется и соотносится с элементами формируемой среды комплекс природных условий района. В медико-географическом отношении Красноярское Приангарье относится к прекомфортным территориям — достаточно благоприятным для жизни людей; затраты на благоустройство среды обитания превышают здесь нормативные на 5–10%. Правда, встречаются гипокомфортные участки (затраты выше нормативных на 15–20% и более) и дискомфортные (малопригодные для оседлого заселения пришлым населением) [12].

В число территориальных эколого-градостроительных проблем освоения Приангарского промышленного района входит довольно сложный комплекс инженерных вопросов. Территория характеризуется островным распространением многолетнемерзлых пород, глубоким сезонным промерзанием грунтов и развитием криогенных процессов. Создание Богучанского и Средне-Енисейского водохранилищ приведет к резкому изменению мерзлотных условий в их береговой зоне, что осложнит экологические и инженерно-строительные вопросы [13]. С этими вопросами тесно соотносятся задачи водоснабжения и канализации населенных пунктов. Основными поверхностными водоисточниками здесь являются Енисей, Ангара и их притоки. Однако высокая вероятность загрязнения поверхностных вод побуждает вести детальную разведку подземных водоисточников.

Новые тенденции энергопромышленного развития Северо-Востока Российской Федерации связаны с освоением каменноугольных и нефтегазовых месторождений Средне-Сибирского плоскогорья, Верхоленья и Якутии, с формированием магистральной газонефтетранспортной системы в восточном направлении [14]. Прохождение перспективных трасс параллельно Северо-Сибирской железнодорожной магистрали расширяет возможности промышленно-хозяйственного и градостроительного развития Красноярского Приангарья. Важнейшее значение имеет открытие в Восточной Сибири крупных и гигантских месторождений нефти и газа в древнейших докембрийских осадках. С севера к Приангарскому промышленному району примыкает крупнейшее Юрубченское газонефтяное месторождение, выявленное в бассейне левых притоков Подкаменной Тунгуски — рек Камо и Тайга. Предполагается, что при его разработке за сравнительно короткий срок (около 10 лет) можно поднять уровень добычи нефти в России до 100 млн т и попутного газа до 16 млрд м<sup>3</sup> [15]. Формирование Юрубченского промышленного узла потребует обеспечения с ним авто- и железнодорожной связи со стороны Богучан (см. рис. 1).

Новые задачи промышленно-хозяйственного освоения территорий должны быть обеспечены высокой научной проработанностью возникающих в связи с этим градостроительных и урбэкологических вопросов и проблем. Зона влияния СевСиба, приобретая общность в хозяйственных связях, получает и определенное единство в характере формирующегося расселения. Однако эта зона имеет выраженное природно-ландшафтное различие в западно-сибирской и восточно-сибирской своих частях. Последнее обусловливает особенности эколого-градостроительного подхода к формированию в этих двух территориальных частях поселений и их систем. Кроме того, включенность Красноярского Приангарья в систему развивающихся меридиональных экономических связей «север — юг» определяет необходимость проработки общих эколого-территориальных направлений градостроительства, осмысленных соотносительно с широтной зональностью, природно-ландшафтной и медико-географической спецификой крупных частей всего Ангаро-Енисейского региона Восточной

Сибири. Относительно этого в Красноярском Приангарье должны быть выявлены и зафиксированы свои территориальные особенности градостроительного развития. Экологическая направленность освоения ресурсных районов в целом призвана обеспечивать современные и будущие задачи общества, она напрямую связана со стабильностью и безопасностью российского социума. Вновь формируемая полоса расселения и хозяйственной деятельности в зоне «СевСиб — БАМ» должна соединить экологические цели развития с задачами территориальной обороноспособности страны [16].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов В. П. Минерально-сырьевой комплекс в стратегии социально-экономического развития восточных и северных районов России//В. П. Орлов // Минерально-сырьевые ресурсы России. Экономика и управление.— 2005.— № 4.— С. 29–34.
2. Кулькина Т. Б. Стратегический прорыв: возможности и перспективы (социально-политический аспект проблемы): Автореф. дис. ... канд. полит. наук / Т. Б. Кулькина.— М.: Ин-т соц.-полит. исслед. РАН, 2005.— 25 с.
3. Суслов В. И. Транспорт Сибири: проблемы и перспективы//В. И. Суслов, А. Г. Коржубаев, В. Ю. Малов // Регион: экономика и социология.— 2004.— № 4.— С. 119–135.
4. Наймарк Н. И. Программа комплексной организации территории и расселения//Н. И. Наймарк // Нижнее Приангарье: социально-экономическое развитие региона.— Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН, 1993.— С. 165–180.
5. Александров И. Г. Ангаро-Енисейская проблема//И. Г. Александров; Под общ. ред. И. Т. Смилги.— М.: Сов. Азия, 1932.— С. 7–15.
6. Бандман М. К. Нижнее Приангарье: логика разработки и основные положения концепции программы освоения региона//М. К. Бандман, В. В. Воробьева, В. Д. Ионова и др.— Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН, 1996.— 232 с.
7. Васильев Н. П. Новые железные дороги в Восточной Сибири на 1960–1980 гг. и перспективы создания Северо-Енисейской магистрали//Н. П. Васильев // Вопросы развития транспорта Иркутской области: Тез. докл.— Иркутск: СО АН СССР. Вост.-Сиб. филиал, 1960.— С. 61–64.
8. Малиновская М. А. Транспортный комплекс Нижнего Приангарья: перспективы развития//М. А. Малиновская, В. Я. Ткаченко // Регион: экономика и социология.— 1996.— № 2.— С. 66–83.
9. Кузнецов Л. Ф. Проект районной планировки Приангарского промышленного района Красноярского края. Поясн. зап. Т. 2: Проектная организация территории и основы инженерного оборудования / Л. Ф. Кузнецов, Л. Г. Смирнова, З. М. Ноинская, А. Б. Шишов.— М.: Гипрогор, 1981.
10. Мелик-Пашаев А. И. Основные положения планировки Богучанского промышленного района (Красноярский край)//А. И. Мелик-Пашаев, А. В. Доценко, Е. Н. Перцик, И. Г. Иванов и др.— М.: Гипрогор, 1973.
11. Дум С. С. Генеральный план-проект детальной планировки первой очереди строительства райцентра Кежма. Поясн. зап./С. С. Дум, А. Н. Зализняк, В. Ф. Бакошко и др.— Красноярскгражданпроект, 1980.
12. Прохоров Б. Б. Медико-географические аспекты долгосрочного развития хозяйства Ангаро-Енисейского региона//Б. Б. Прохоров // Изв. СО АН СССР. Сер. обществ. наук.— 1973.— Вып. 3.— № 11.— С. 44–55.
13. Бурматова О. П. Стратегия природоохранной деятельности в программе освоения Нижнего Приангарья//О. П. Бурматова // Регион: экономика и социология.— 1994.— № 4.— С. 92–109.
14. Суслов В. И. Энергетические транспортные пути и транспортная инфраструктура в Сибири и на Дальнем Востоке//В. И. Суслов, А. Г. Коржубаев // Эко.— 2005.— № 8.— С. 47–67.
15. Трофимук А. А. Концепция создания крупнейших баз газодобычи в Восточной Сибири//А. А. Трофимук; Отв. ред. Н. Л. Добрецов.— Новосибирск: Ин-т геологии, геофизики и минералогии СО РАН, 1994.— 192 с.
16. Антушин С. С. Военная безопасность как фактор стабильности российского общества (социально-философский анализ): Автореф. дис. ... д-ра филос. наук / С. С. Антушин.— М., 2005.— 44 с.

© Шундрин А. Д., 2007

Получено 14.02.07

Н. С. САПРЫКИНА, канд. архит., доц. (Ярославский государственный технический университет)

## ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ КЛУБНЫХ ЗДАНИЙ ЯРОСЛАВЛЯ (послевоенное десятилетие)

На примере конкретных проектных разработок и построек клубов излагаются особенности проектирования клубов, домов и дворцов культуры в г. Ярославле (послевоенное десятилетие). Рассматриваются этапы преобразования их планировочных программ, архитектурных решений в свете стилистических и идеологических установок времени.

В первое послевоенное десятилетие по всей стране продолжалось активное строительство клубов, домов и дворцов культуры. В большинстве своем они возводились по индивидуальным проектам, но и сюда частично стала проникать типизация. Появились первые типовые проекты клубов, кинотеатров. При этом общие тенденции украшательства и некритического заимствования в той или иной степени отразились и на их решениях, призванных воплотить наиболее прогрессивные достижения своего времени и способствовать внедрению индустриальных методов строительства. Почти все проекты зданий данного времени характеризуются компактностью и осевой симметрией объемно-планировочных построений, использованием портиков с колоннами и мощных фронтонов. Став своего рода законом, эта композиционная схема применялась порой даже вне зависимости от конкретной градостроительной ситуации, специфического состава помещений и других индивидуальных особенностей. Как правило, клубные здания являлись активными градообразующими элементами застройки не только отдельных улиц, площадей, кварталов, но и целых городских районов.

Клуб Ярославского паровозоремонтного (ЯПРЗ), а теперь электровозоремонтного завода (ЯЭРЗ) — нетипичный представитель клубных зданий, построенных в послевоенное десятилетие. Это объясняется историей его строительства и дальнейшими реконструкциями [1]. Первая часть здания, предназначенная для клуба железнодорожников Ярославского узла и рабочих завода, была построена еще в 1928–1932 гг. Новый объем в конструктивистском стиле с гладкими стенами, ленточными окнами и простыми карнизами был пристроен к старому зданию столовой и сдан в эксплуатацию с непостроенным крылом зрительного зала. Такое механическое соединение двух совершенно разных по архитектуре зданий не получило гармоничной композиции, а отсутствие зала стало существенным недостатком эксплуатации. Поэтому в послевоенный период было принято решение о его реконструкции с модернизацией облика.

В 1951 г. проектной организацией «Дорпроект» создается технический проект клуба, предусматривающий снос столовой и строительство нового блока со зрительным залом [2]. Весьма непростой задачей явился поиск нового образа сооружения и формирование цельной парадной композиции. Конструктивистское планировочное решение, задачей которого было создание удобной функциональной схемы с четким зонированием и выявление функций во внешней оболочке, не укладывалось в рамки современных монументализированных образов с традиционными симметричными объемно-пространственными построенными, отвлечеными от функциональных процессов. Конфликт архитектуры, формируемой на разных принципах «изнутри — наружу» и «снаружи — внутрь», имеет здесь яркое воплощение, которое так и не удалось полностью преодолеть.

Было спроектировано несколько вариантов фасадов, прежде чем удалось создать приемлемое архитектурное решение, отвечающее новым идеологическим установкам.

Во многом определяющим моментом при расстановке акцентов в архитектурно-художественном решении здания явилось его градостроительное положение — ориентация по отношению к главным магистралям и железнодорожным путям, наличие зеленого партера и парка около здания. Располагаясь на открытом возвышенном месте, на 3–3,5 м выше улицы, здание клуба потребовало устройства на откосе парадной лестницы, ведущей к главному входу в здание, несколько заглубленному по отношению к выступающему клубному корпусу. Главный вход имеет сложное оформление в виде четырехколонного портика и треугольного фронтона со стилизованным картушем с советской символикой в виде серпа и молота. Торец клубного корпуса, выдвинутый по отношению к объему с главным входом, оформлен на его подобии, но в несколько упрощенном варианте. Четыре пилястры упрощенного портика с треугольным фронтоном подчеркивают симметричность торцевого фасада, который flankируется двумя одноэтажными уступами. Несложный карниз является основным пластическим элементом, присутствующим на каждом из фасадов. Боковые фасады решены ритмическим рядом крупных прямоугольных окон, а на северном фасаде зрительской части нет оконных проемов. Его фронтальная проекция обыграна отвлеченным декоративным элементом — рельефной аркой с замковым камнем на сдвоенных пилястрах, раскрепованных антаблементом. Он подчеркивает ось симметрии возвышающегося объема, вносит характер архаичности в прямоугольное очертание элементов здания, перекликается с декоративными элементами главного фасада. Вот такая «смесь» архитектурной стилистики в большей степени отражает противоречия, которые существовали на протяжении нескольких десятилетий в советской архитектуре и которые неотвратимо приблизили обратный «процесс» преобразований (рис. 1).

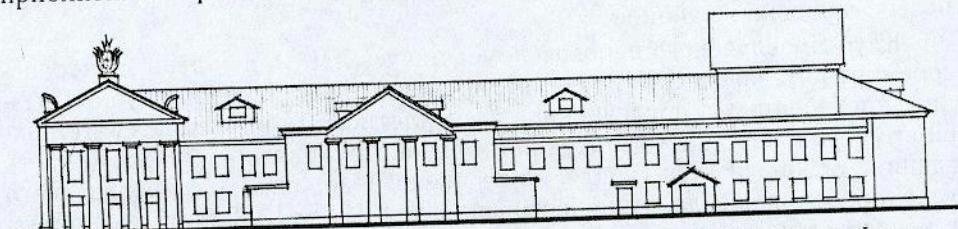


Рис. 1. Клуб ЯПРЗ (ЯЭРЗ), Суздальское шоссе, 1. 1928–1932, 1951 гг. Фасад

Говоря о планировочном решении здания, надо отметить его рациональность и продуманность. Разделенные центральной входной группой два основных блока клуба (зрительский и клубный) могут работать при необходимости самостоятельно, независимо друг от друга, чему способствует также отдельный вход-тамбур с гардеробом в клубную часть. В клубе ЯПРЗ предусмотрен большой набор помещений. Это — зрительный зал на 596 мест, два спортзала разных габаритов, танцевальный зал, библиотека, буфет, музей, кружковые, игровые комнаты, а также весь необходимый набор служебных, хозяйственных и вспомогательных помещений. Интерьеры богаты лепными украшениями, тематическими барельефами, выполненными в духе «сталинского ампира», различными элементами и аксессуарами «в стиле». В процессе эксплуатации здание претерпело значительные изменения, связанные с меняющимися требованиями времени. В 1969–1970 гг. была проведена вторая реконструкция клуба, наложив свой отпечаток времени на архитектурное сооружение [3].

Дом культуры завода «Резинотехника» расположен за Волгой в однотипном микрорайоне предприятия и является главным градообразующим

щим элементом селитебной застройки (рис. 2). Здание выстроено по типовому проекту, разработанному АКП ВЦСПС, реализация которого продолжалась в течение пяти лет с 1951 по 1956 г. Ориентированное главным фасадом на улицу Спартаковскую, оно отступает от красной линии застройки в парковую зону. Здание состоит из двух частей: прямоугольной и П-образной конфигурации в плане, «нанизанных» последовательно на главную композиционную ось. П-образная в плане часть



Рис. 2. Дом культуры завода «Резинотехника», ул. Спартаковская.  
1951–1956 гг. Общий вид здания

здания, обращенная своими крыльями на центральную магистраль микрорайона,— это главный элемент композиции, определяющий парадно-официальный фасад Дома культуры. Парадный дворик перед главным входом в здание, ограниченный с боков его крыльями, представляет собой классический курдонер, вход в который «обозначен» мощным десятиколонным портиком дорического ордера. Преувеличенный масштаб колоннады, flankiruemoy глухими торцами крыльев с небольшими пластическими элементами (фронтончиками, рельефными «досками»), создает впечатление монументальности, «значимости» здания по отношению к другим элементам градостроительной структуры. Классическое осевое объемно-планировочное построение подчеркнуто также оформлением фасада центрального заглубленного объема, «читающегося» вторым планом сквозь массивную «ограду». Своеобразная «пирамида» многообразных по величине и конфигурации проемов в разном обрамлении расположена по центру его симметрии. Она зафиксирована с двух сторон двумя рядами симметричных пилонов, заканчивающихся треугольными малым рельефным и большим фронтонами. Пространство стены между ними равномерно перфорировано небольшими круглыми проемами в наличниках. Боковые фасады оформлены метрическим рядом пилястр дорического ордера и оконных проемов.

Внутреннее пространство здания строится по простой линейной схеме, характерной для классических театрально-зрелищных зданий. Через центрально расположенный вход попадаешь последовательно в вестибюль, распределительное фойе клуба с двумя лестницами, далее в центральное двухсветное фойе и зрительный зал на 600 мест со сценой, окруженный с двух сторон библиотекой, кафе-буфетом и помещениями вспомогательного назначения. Два выступающих, flankирующих крыла вмещают в себя служебные, кружковые помещения на первом этаже и два зала — на втором. Дополнительно по второму этажу (над зоной вес-

тибюля и гардероба и по двум сторонам от зрительного зала) размещены читальня, кружковые, игровые и другие помещения. Двухсветное фойе, выполняющее одновременно функцию танцевального зала, фланкируется балюстрадой балконов и высокими на два этажа колоннами композитного ордера с элементами советской символики. Интерьер зрительного зала обильно украшен декоративными элементами. Это и венчающий богатый карниз с элементами растительного орнамента; наличники и сандрики входных дверей, проема сцены; кессоны; украшения лож в виде портиков; тяжеловесные бронзовые люстры и другое, что продиктовано общей стилистикой сооружения и органично вписывается в его образ.

Вписанное в жесткую симметричную схему планировочное решение не могло обойтись без недостатков. К ним относится, прежде всего, недостаток кружковых помещений, наличие проходных помещений не общего назначения, неосвещенные коридоры, невозможность самостоятельного раздельного функционирования зрелищной и кружковой зон Дома культуры. Все это явилось следствием тех возросших противоречий в архитектуре, формирующихся на протяжении двух десятилетий, которые отразились на первых типовых проектах, призванных воплотить все самое прогрессивное и лучшее.

Еще одним примером типового решения клуба является Дом культуры строителей. За основу проектного решения был взят типовой проект архитектора К. Бартошевича, который был доработан и привязан к центральной части квартала по ул. Б. Даниловской (ул. Кудрявцева) ярославским архитектором В. П. Азовым [4]. В целом своим объемно-пространственным решением здание представляет характерный пример архитектуры послевоенного десятилетия. П-образной симметричной конфигурации в плане, оно развернуто своими крыльями к парковой зоне с цветниками и площадками для спортивных игр и отдыха и образует небольшой внутренний дворик, который по проекту должен был представлять своеобразную террасу, огражденную колоннадой. Главный фасад здания формируется основным прямоугольным объемом, оформленным в центральной части парадным шестиколонным портиком композитного ордера на всю высоту здания, поддерживающего мощный треугольный фронтон. Тимпан фронтона был украшен крупным барельефом на тему «Народ, культура и оплот», а на фризе размещена рельефная надпись — название сооружения. С целью повышения выразительности и презентабельности здания его главный фасад дополнительно «обогащен» мощной балюстрадой, ограждающей балкон второго этажа над входом. По обе стороны от балкона в крайнем интерколумнии размещены полуцилиндрические ниши с рельефными наличниками, в которых установлены скульптуры женщины и мужчины — строителей, символизирующих ведомственную принадлежность клуба. Три центральных простенка заполнены большими проемами дверей на уровне первого этажа и высокими витражами на втором этаже, подчеркивая симметричность решения, его парадный вход (рис. 3). Чтобы создать определенную «паузу» в застройке и подчеркнуть значимость здания, оно отодвинуто от красной линии на 19 метров. А благодаря двум крайним жилым домам, размещенным на красной линии застройки улицы и фланкирующим общественное здание, образуется парадный курдонер с благоустроенной площадью, выходящей на улицу Б. Даниловская.

Планировочное решение клубного здания подразумевает единое комплексное функционирование сооружения без разделения его на клубную и зрительскую части. В его составе предусмотрены зрительный зал на 320 мест, кружковые помещения, кафе, библиотека, детский и физкультурный сектор общей вместимостью 258 человек, а также административные, обслуживающие и вспомогательные помещения. В ходе строи-

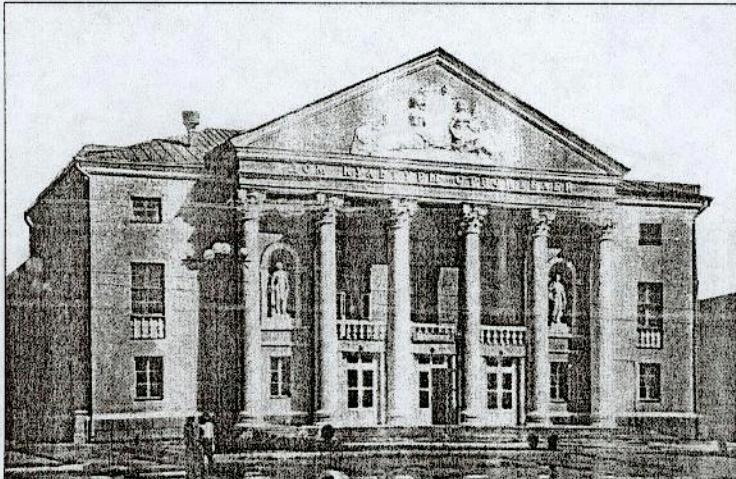


Рис. 3. Дом культуры строителей, ул. Б. Даниловская (Кудрявцева, 28). 1956–1959 гг. Архитекторы К. Бартошевич, В. П. Азов. Общий вид здания (фото из фондов ГАЯО)

тельства в 1956–1959 гг. проект Дома культуры неизбежно изменялся. Брались за основу более совершенные конструкции, упрощались его декоративно-пластические элементы. В основном изменения коснулись дворового фасада (не построена колоннада) и внутреннего убранства здания (уменьшено количество лепных изделий).

Таким же типичным решением отличается и здание Дома культуры железнодорожников, построенное в 1956 г. на привокзальной площади, также претерпевшее значительные упрощения в ходе строительства [5]. Уже готовый «декоративный убор» сбивался с главного фасада здания, приближая его образ к новым стандартам времени, декларирующим «устранение излишеств». Расположенное на пересечении двух улиц — Чехова и Павлика Морозова, оно оформляет угол и завершает архитектурный ансамбль площади. Симметричная осевая композиция компактного объема строится на принципах вышерассмотренных примеров. Главный фасад, оформленный классическим восьмиколонным портиком с прямоугольными колоннами, с балюстрадой и треугольным полуфронтоном, смотрится строго и монументально (рис. 4). Крупные витражи и дверной проем центральной входной группы, вертикальный ряд небольших прямоугольных окон на фланкирующих портик глухих поверхностях стен, несложный рельефный карниз и три накладных рельефа в виде гирлянд с лирами под витражами — составляют исчерпывающий набор его элементов. Прерванная посередине горизонталь основания фронтона предопределена размещением длинной рельефной надписи — названия клуба, которая начинается на плоскости фронтона и спускается на фриз. Очень выразительно решен «парковый» фасад клубного здания. Он имеет трехчастную структуру, центр которой акцентирован полукруглой ротондой лестничной клетки с балконом. Массивные квадратные в плане колонны на два этажа по периметру остекленной полукруглой части здания составляют основу ритмометрического построения фасада. Брутальность колонн разбивает балюстрада — ограждение балкона, выглядящая на общем фоне ажурно и легко. Декоративные мотивы гармонично отзываются на фланкирующих линейных плоскостях стен, поддерживают общее пластическое решение. Боковые фасады менее выразительны, являются нейтральным заполнением между противолежащими основными фасадами.

Планировочная схема представляет собой смешанную функциональную схему зрелищной и клубной зон. В ее основе лежит перпендикуляр-



Рис. 4. Дом культуры железнодорожников. 1952–1956 гг. Общий вид здания  
(фото из фондов ГАЯО)

ное пересечение осевой линии основного входа с парадной лестницей с распределительным коридором, объединяющим две равноценные части здания. На первом этаже расположены вестибюль с гардеробом, фойе, буфет, музей, танцклассы, административные и обслуживающие помещения. На втором — фойе с рекреациями и большой зал на 400 мест, с двух сторон от зала — кружковые и вспомогательные помещения. На третьем этаже — кружковые помещения, малый зал и библиотека, при этом две противолежащие части изолированы между собой за счет второго света зала и фойе. Интерьеры здания претерпели меньшие изменения и представляют собой достаточно пышный убор в неоклассическом стиле. Мощные колонны дорического ордера перед лестницей, балюстрада балкона, колонны композитного ордера на пьедестале на втором этаже, лепные украшения зала с тематикой по искусству, декоративные решетки, люстры — все это ярко отражает особенности советской архитектуры послевоенного времени, стремление к пышности форм, дворцовому убранству зданий. Конечно, это вело к удорожанию, увеличению сроков строительства, снижало уровень индустриальности сооружения, что пытались визуально преодолеть за счет физического устранения внешнего декора, но что осталось в сущности проектного решения здания, которое приобрело только некоторую противоречивость своего образа в связи со «случайным» упразднением его элементов.

Таким образом, представленные примеры построек середины 1950-х гг. ярко свидетельствуют о том, что тенденции традиционализма прочно заняли свои доминирующие позиции в послевоенное десятилетие в архитектуре клубных зданий Ярославля. Схожие функциональные программы облекались в классические формы зданий с симметричными объемно-пространственными и фронтальными композициями, широко использовалась ордерная композиция. Гораздо чаще, чем раньше, в композициях фасадов стали использоваться образно-символические элементы и детали, отражающие ведомственную принадлежность клубного здания. Широко применялась скульптура, высокие и низкие рельефы, отдельно стоящие статуи — как средства конкретизации идеи предназначения сооружения. При этом традиционализм распространился не только на построение фасадов, но и на схему композиции здания в целом, подчиняя ее своим закономерностям. Подобные архитектурные решения все чаще

вступали в конфликт с особенностями эксплуатации зданий, новыми конструкциями и материалами, а также индустриальными способами ведения строительных работ. Это неизбежно привело к качественно новым решениям клубных зданий в последующее десятилетие.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы Государственного архива Ярославской области, ф. Р-846, оп. 2т., д. 16.
2. Материалы Государственного архива Ярославской области, ф. Р-872, оп. 4т., т. 1, д. 2.
3. Музей-архив Ярославского электровозоремонтного завода.
4. Материалы Государственного архива Ярославской области, ф. Р-872, оп. 4т., т. 1, д. 137.
5. Материалы Государственного архива Ярославской области, ф. Р-846, оп. 2т., д. 62.

© Сапрыкина Н. С., 2007

Получено 26.12.06

## В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.011.2

О. А. МИХАЙЛЕНКО, канд. техн. наук (Рубцовский индустриальный институт Алтайского государственного технического университета)

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ УЗЛОВ ДЕРЕВОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ БЕЗРАСКОСНОЙ ФЕРМЫ

Экспериментально и численными методами исследовано сложное напряженно-деформированное состояние опорных и коньковых узлов деревометаллической безраскосной фермы с kleenym верхним поясом. Приводятся результаты численного моделирования эксперимента с учетом реальной анизотропии древесины. Сопоставлены результаты эксперимента и численного моделирования.

В работе [1] авторы указывали, что одной из возможных причин многочисленных отказов опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм с kleenymi верхними поясами являются опасные концентраторы скалывающих и нормальных напряжений, возникающих в древесине. Совместное действие этих напряжений в сочетании с неблагоприятными условиями эксплуатации (влажность и температура) зачастую и приводит к расслоению kleenых верхних поясов в узлах традиционных конструкций. Этот факт был подтвержден многочисленными расчетами численных моделей с учетом анизотропии древесины.

В работах [2, 3] были предложены новые конструктивные решения аналогичных узлов с применением шайб с переменной изгибной жесткостью, использование которых позволяет избавиться от опасных концентраторов напряжений. Для экспериментального подтверждения целесообразности их использования были проведены исследования работы предлагаемых узлов ферм на моделях пролетом 3,0 м. Деревянные элементы верхнего пояса модели были выполнены из сосновых досок 50×380 мм, предварительно подвергнутых атмосферной и камерной сушке и соответствующей острожке.

Для снижения влияния на упругие и прочностные свойства древесины перепада влажности деревянные элементы были обработаны лаком. Для измерения относительных деформаций  $\varepsilon$  в древесине у нагруженных

торцов, в опорных и коньковом узлах, по пластям досок с двух сторон были наклеены тензорезисторы с базой 20 мм. Для строгой фиксации усилий в узлах использовали стальные детали с валиковыми шарнирами. Усилия распора в экспериментальной ферме воспринимались стальной затяжкой. В узлах были применены универсальные детали, позволяющие использовать в ходе эксперимента различные варианты заменяемых шайб. Для контроля усилия распора на стальную затяжку с двух сторон были наклеены тензорезисторы.

В опорных узлах использовали следующие варианты шайб (рис. 1): традиционный сварной башмак, жесткий штамп, шайбы (переменной изгибной жесткости) разной толщины с передачей усилий через два и четыре ребра. Конструкции шайб были приняты в соответствии с результатами разработок [1–3]. В коньковом узле исследовалось НДС древесины под шайбами с разной переменной изгибной жесткостью. Благодаря такому планированию эксперимента имелась возможность посредством хода одного загружения исследовать НДС древесины у нагруженных торцов сразу под 4 вариантами шайб: двумя типами шайб в опорных узлах и двумя — в коньковом узле.

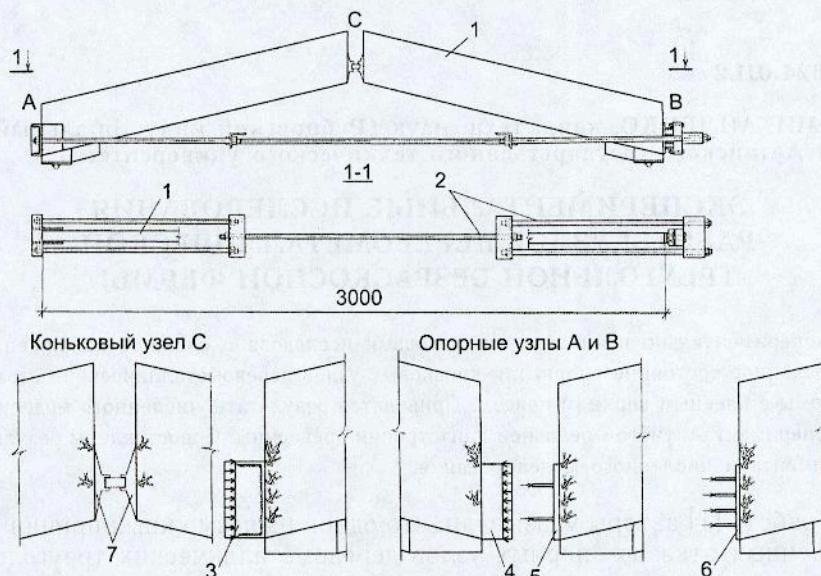


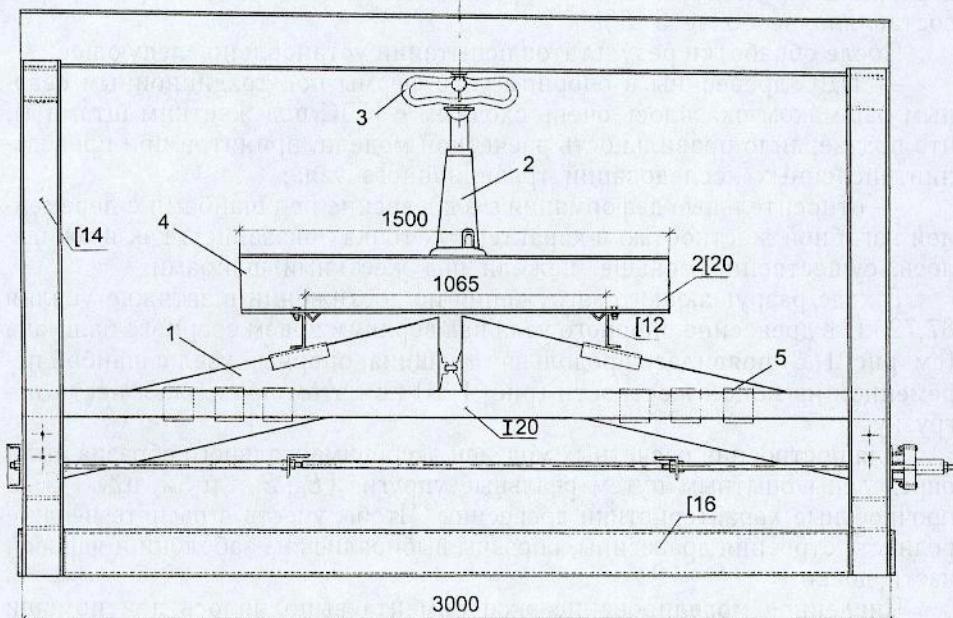
Рис. 1. Экспериментальная деревометаллическая треугольная безраскосная ферма-образец

1 — деревянные элементы; 2 — элементы затяжки; 3 — сварной башмак; 4 — жесткий штамп; 5 — шайбы с передачей усилий распора через два и 6 — через четыре ребра; 7 — шайбы с различной изгибной жесткостью

Для проведения экспериментальных исследований была использована испытательная установка (рис. 2, а). Нагружающая сила через траверсу создавалась посредством гидравлического домкрата с контролем усилия по динамометру. Для закрепления фермы из плоскости изгиба использовались стальные элементы двутаврового сечения, снабженные деревянными брусками, непосредственно контактировавшими с деревянными поясами испытуемой модели. Для снижения влияния на ход эксперимента трения деревянные пояса и бруски были обернуты целлофановой пленкой, между слоями которой наносилось антифрикционное масло.

В соответствии с рекомендациями на проведение испытаний [4, 5], в ходе эксперимента (рис. 2, б), нагрузка и разгрузка выполнялись ступенями 3 кН/мин с выдерживанием постоянной ее величины в течение 5 мин. Максимальная нагрузка при загружениях составляла 33–36 кН.

а)



б)

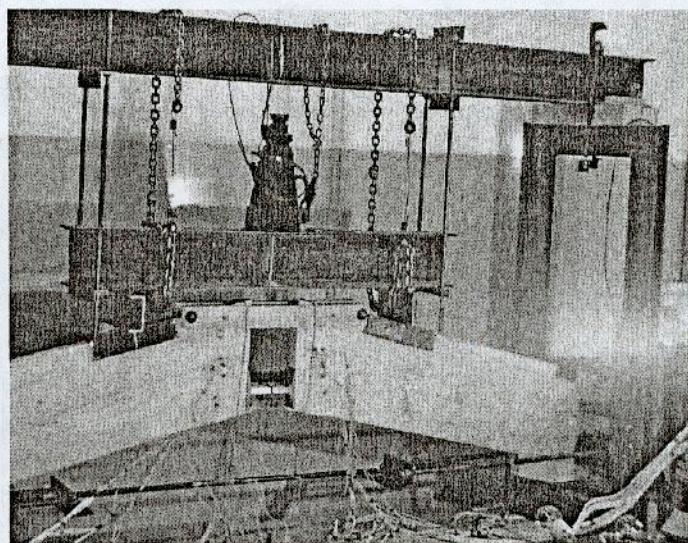
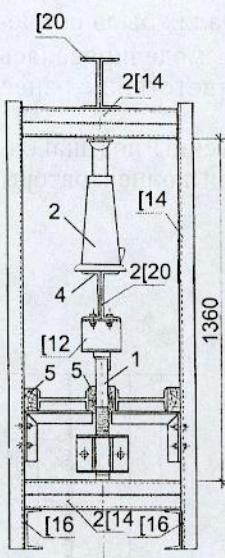


Рис. 2. Испытание фермы

а — испытательная установка (1 — экспериментальная ферма; 2 — гидравлический домкрат; 3 — динамометр; 4 — нагружающая траверса; 5 — деревянные бруски для раскрепления конструкции из плоскости); б — фрагмент испытания

В качестве регистрирующего устройства была использована микропроцессорная многоканальная тензометрическая система ММТС-64.01, изготовленная ФГУП СибНИА им. С. А. Чаплыгина (г. Новосибирск), которая одновременно снимала и фиксировала показания с 64 тензорезисторов, расположенных на конструкции, в начале и в конце каждой ступени нагрузки и разгрузки. По показаниям датчиков программой тензосистемы автоматически строились графики нагружения и разгрузки.

После каждого испытания и снятия показаний с тензодатчиков в опорных узлах производилась смена шайб. Повторение эксперимента проводилось после «отдыха» конструкции. Выполнялись также повторные загружения фермы с одними и теми же вариантами шайб при смене

деревянных элементов. При этом различие в показаниях тензорезисторов составляло не более 3–5%.

После обработки результатов испытаний установлено следующее:

— НДС древесины в опорном узле фермы под традиционным сварным башмаком оказалось очень сходным с НДС под жестким штампом, что подтвердило правильность расчетной модели, принятой при проведении численных исследований традиционного узла;

— относительные деформации  $\varepsilon$  в древесине под шайбами с переменной изгибной жесткостью в характерных точках оказались, как и ожидалось, существенно меньше, нежели под жесткими шайбами.

В ходе разрушающего загружения по достижении в затяжке усилия 87,72 кН в древесине опорного узла над верхним краем сварного башмака (см. рис. 1, 3) появилась продольная трещина; опорный узел с шайбой переменной изгибной жесткости (рис. 1, 5) при этом продолжал нести нагрузку.

Для построения расчетных моделей экспериментального образца были определены опытным путем реальные упругие ( $E_0, E_{90}, \mu_{0.90}, \mu_{90.0}, G$ ) и прочностные характеристики древесины. Чтобы учесть в расчете неоднородность строения древесины, образцы выбирались из заболони и ядровой части доски.

Численное моделирование эксперимента выполнялось при помощи ВК «Мираж». Расчетные модели и методика расчета были приняты по аналогии с моделями [2]. В линейной постановке решались плоские задачи теории упругости. Сетка КЭ в опорном и коньковом узлах была сгущена и составляла  $5 \times 5$  мм. Древесина в расчетной схеме моделировалась как упругий неоднородный ортотропный материал в соответствии с ранее полученными упругими характеристиками [6].

В результате расчета выявлены картины НДС древесины под шайбами, а именно: 1) под краями жесткого штампа возникали концентраторы

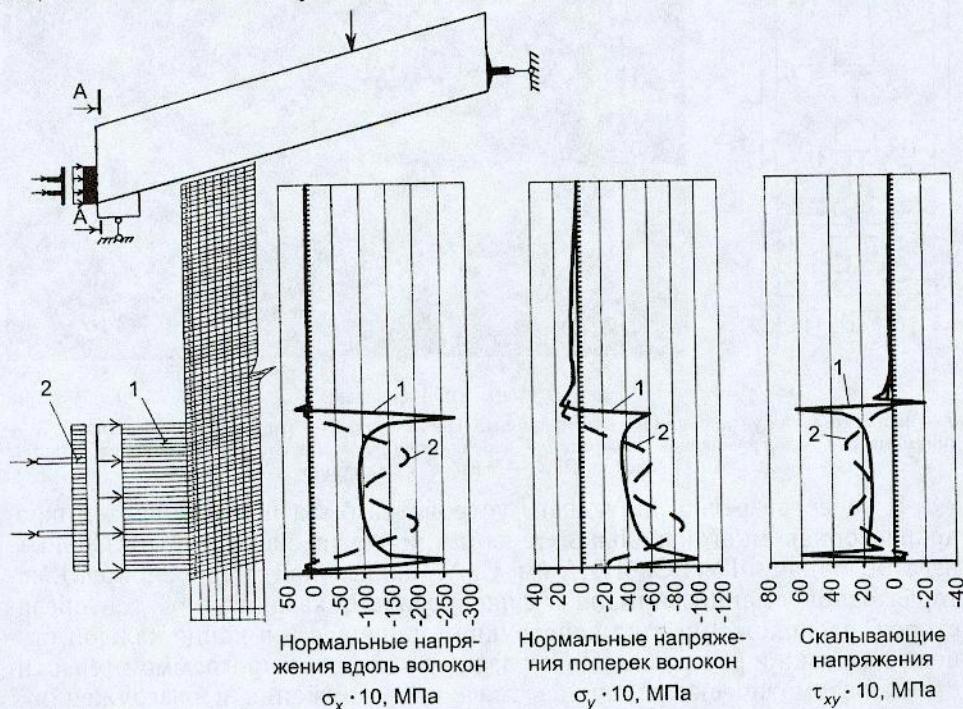


Рис. 3. Расчетная схема фермы и напряжения в древесине в сечении А-А на расстоянии 2,5 мм от торца опорных узлов под шайбами (1 — жесткий штамп; 2 — шайба переменной изгибной жесткости с передачей усилий через два ребра) при усилии распора 87,72 кН, разрушающем для древесины под сварным башмаком

напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ ; 2) в узлах с шайбами, работающими с передачей усилий через два и четыре ребра, максимальные напряжения  $\sigma_x$  возникали под ребрами и в целом все компоненты напряжений носили более равномерный характер, нежели НДС древесины под жестким штампом. Использование шайбы толщиной большей  $1/10$  ее длины приводило к возникновению в древесине под краями шайбы концентраторов напряжений.

Было проведено сопоставление результатов экспериментальных ( $\varepsilon_0, \varepsilon_{90}, \varepsilon_{45}$ ) и численных ( $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ ) исследований, разница между ними в среднем составила около 10%.

Для моделей опорных узлов с жестким штампом и шайбой, работающей с передачей усилий через два ребра, был проведен расчет при усилии в затяжке  $H = 87,72$  кН (разрушающем для древесины под сварным башмаком). Скалывающее напряжение в древесине у верхнего края под жестким штампом  $\tau_{xy} = 6,2$  МПа достигало предела прочности на скальвание (рис. 3). При этом скальвающее напряжение в древесине под шайбой с двумя ребрами составляло всего  $\tau_{xy} = 0,9$  МПа.

Таким образом, в результате исследований подтверждено, что использование в узлах шайб с переменной изгибной жесткостью позволяет избавиться от концентраторов напряжений в древесине и тем самым повысить прочность узлов по сравнению с их традиционными аналогами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

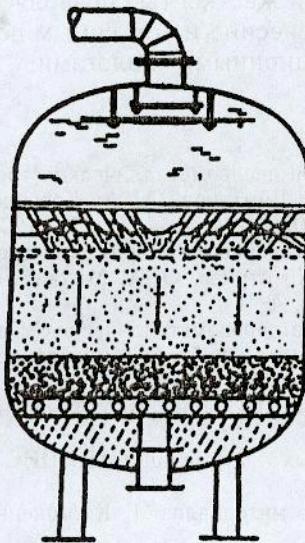
1. Дмитриев П. А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм (Сообщение 1) // П. А. Дмитриев, А. А. Кращук, О. А. Михайленко // Изв. вузов. Строительство. — 2002. — № 11. — С. 116–120.
2. Дмитриев П. А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм (Сообщение 2) // П. А. Дмитриев, О. А. Михайленко // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 1. — С. 4–9.
3. Дмитриев П. А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм (Сообщение 3) // П. А. Дмитриев, О. А. Михайленко, Р. Б. Орлович // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 11. — С. 10–15.
4. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко). — М.: Стройиздат, 1976. — 28 с.
5. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко). — М.: Стройиздат, 1981. — 40 с.
6. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. — М.: Лесная промышленность, 1978. — 224 с.

© Михайленко О. А., 2007

Получено 06.02.07

## ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

При строительстве новых, расширении или реконструкции действующих фильтровальных сооружений для очистки природных, оборотных или сточных вод возникает необходимость повышения их производительности. На кафедре водоснабжения и водоотведения НГАСУ (Сибстрин) разработаны новые принципы интенсификации работы скорых зернистых фильтров, позволяющие увеличить производительность существующих фильтров с минимальными затратами и без замены зернистой загрузки.



Первый принцип основан на изменении геометрии и структуры верхнего слоя зернистой загрузки, состоящего из наиболее мелких зерен. Такой принцип несложно осуществить, например, за счет системы наклонных лотков, расположаемых над загрузкой, нижняя часть которых частично погружена в верхний слой зернистой загрузки. Как показали опыты, проведенные на реальной воде р. Обь на действующих водопроводных очистных сооружениях, производительность существующего скорого фильтра повышается на 30–40%. На данную конструкцию фильтра с наклонными лотками получен патент на изобретение (Пат. РФ № 2096066, 1997 г.) (рисунок).

В зависимости от качества очищаемой воды и требований к очищенной, а также вида и параметров зернистой загрузки действующих фильтров мы можем дать рекомендации по внедрению предлагаемых высокопроизводительных фильтров на базе существующих или разработать чертежи новых фильтров, а также выполнить пусконаладочные работы.

Разработчик: О. Г. ГИРИКОВ, канд. техн. науки, доц. (НГАСУ (Сибстрин)).

Патентообладатель — Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); Олег Георгиевич Гириков.

630008, ул. Ленинградская, 113; тел./факс (8-383) 266-40-37; 266-39-70.

## ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ (исправленные и дополненные)

1. К рукописи, представляемой в редакцию, необходимо приложить:

— сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи из расчета 550 рублей за 1 журнальную страницу объема статьи (включая иллюстрации, таблицы и список литературы) за подпись автора или руководителя представляющей статью организации. 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;  
— аннотацию, кратко излагающую основное содержание рукописи, объемом до 0,3 страницы текста;  
— название статьи и фамилии авторов на английском языке.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах с приложением ее записи на диске 3,5" или CD (3", 5"). Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Суг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Число знаков в строке — до 70, строк на странице — до 38. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

- Порядок оформления титульной части статьи (см. в нашем журнале):
  - индекс УДК;
  - инициалы, фамилии, ученые степени и звания авторов (звания в негосударственных академиях наук не указывать); наименование учреждения, в котором работают авторы;
  - название статьи;
  - аннотация.
- На полях рукописи простым карандашом указываются места рисунков и таблиц.
- Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи). Приводятся точные почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов.

3. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах Corel Draw или Microsoft Word, записанных с расширением \*.cdr (предпочтительно) или \*.doc, фотографии — TIFF или JREG. Надписи и цифры набрать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше чем 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, а фото присыпать в оригинале. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4. На обратной стороне каждой из них простым карандашом проставляются порядковый номер и фамилии авторов. Подписи к иллюстрациям печатаются на отдельном листе.

4. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

5. 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) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв: *U* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв *l*, *e*, *i* (цифра), *p* 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 вrostостепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

6. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052—78 (CH 528—80).

7. Библиографический указатель под названием «Список литературы» помещается в конце статьи. Источники располагаются в нем в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу (номера источников в списке) в тексте заключаются в квадратные скобки. Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-03 и ГОСТ 7.80-2000. В список литературы вносятся только те работы, которые опубликованы в печати.

Примеры оформления можно найти на INTERNET-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу <http://www.sibstrin.ru/izv.html>

8. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже опубликовавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

9. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указывается 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 момент получения редакцией ее окончательного текста.

10. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высыпаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. Корректура статей авторам не предоставляется.

11. Гонорар за опубликованные статьи не выплачивается.

12. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

## ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2007 г.  
на НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# «СТРОИТЕЛЬСТВО»

МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
АССОЦИАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ СНГ  
НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
(Сибстрин)

Издается с марта 1958 года

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов строительных вузов и факультетов, работников соответствующих научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал строительных организаций и предприятий.

Объем журнала до 10 печатных листов

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

### В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ:

статьи о результатах научных исследований, сообщения о передовом отечественном и зарубежном опыте в строительстве, работы по автоматике и автоматизации производственных процессов, материалы международных научных конференций и совещаний, отдельные разделы докторских диссертаций, материалы о внедрении в производство законченных научных работ, а также обзорные статьи, статьи научно-методического характера, предложения по расчету и проектированию строительных конструкций и инженерных сооружений.

Каталожная цена за 6 месяцев — 480 р.

Цена отдельного номера — 80 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами РОСПЕЧАТЬ и отделениями связи. Индекс 70377.

Журнал издается Новосибирским государственным архитектурно-строительным университетом (Сибстрин).

Адрес редакции: 630008, Новосибирск, 8, Ленинградская, 113,  
тел./факс (8-383) 266-28-59; e-mail: izvuz\_str@sibstrin.ru