

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 3 (615)
Март 2010 г.

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

Главный редактор В. Г. Себешев

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

Ответственный секретарь Н. В. Биткина

Адрес редакции:

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

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 21.04.10. Формат 70×108^{1/16}.
Усл. печ. л. 10,68+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 321.

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

Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2010

СОДЕРЖАНИЕ

**ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕР-
НЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Вохмянин И. Т., Неми-
ровский Ю. В.** Вторые
пределные состояния ци-
линдрических трехслойных
оболочек 3

**Лубягин А. В., Сав-
ков П. А., Криворо-
тов А. П.** Напряженно-де-
формированное состояние
пластической области, уп-
лотняемой расширяющим-
ся клином 13

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МА-
ТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

**Зырянова В. Н., Лытки-
на Е. В., Бердов Г. И.** По-
вышение механической
прочности и водостойкости
магнезиальных вяжущих
веществ при введении ми-
неральных наполнителей 21

**Горюнов И. И., Марты-
нов И. И.** Новое в техно-
логии приготовления бе-
тонной смеси на несортиро-
ванных заполнителях 27

**Шутова В. В., Ведяшки-
на Т. А., Ивинкина Т. И.,
Ревин В. В.** Получение
клеевых составов и мате-
риалов при использовании
культуральной жидкости
полисахаридсинтезирую-
щих микроорганизмов 31

**ЭКОНОМИКА И ОРГА-
НИЗАЦИЯ СТРОИТЕ-
ЛЬСТВА
АВТОМАТИЗАЦИЯ И
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИ-
ТЕЛЬНОГО ПРОИЗ-
ВОДСТВА**

Богатырева Т. В., Марьясов Р. С. Научное обоснование энергосберегающей технологии зимнего бетонирования буронабивных свай	38
Шадрина М. Н., Немчикова Л. А. Совершенствование технологии разработки обводненных месторождений нерудных строительных материалов и повышение качества строительного песка	52
Герасимов В. В., Кузнецов С. М., Коробова О. А., Михальченко О. Ю. Комплексный подход к оптимизации организационно-технологических решений в строительстве	61
Логанина В. И., Учаева Т. В. Применение системы статистического управления процессами с целью улучшения качества продукции	69
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Маклаков Д. В., Посохин В. Н., Фаттахов А. Р. К расчету бортовых отсосов. Сообщение 1	73
Костин В. И., Русских Е. Ю. Работа калориферных установок в режиме автоматического регулирования	80
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Каргаполов В. Д. Особенности строительства и эксплуатации автодорог в районах распространения крупнообломочных вечномерзлых грунтов	85
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Разницина Ю. Ф. История строительства деревянных элеваторов в России ...	91
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Дмитриева Т. Л. Алгоритм автоматизированного проектирования ферм минимального веса	98
Веригина Я. Ю. Развитие теоретических представлений о процессах измельчения материалов до тонкодисперсного состояния	106
Сенющенкова И. М. Аэрация городских овражно-балочных территорий	112

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.072:539.4

И. Т. ВОХМЯНИН, Ю. В. НЕМИРОВСКИЙ

ВТОРЫЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК*

Сформулирована и численными методами решена задача определения второго предельного состояния цилиндрической трехслойной оболочки на основе модели жесткопластического упрочняющегося тела. Определены зависимости и оценки второй предельной нагрузки от параметра оболочки с линейной аппроксимацией реальных диаграмм материалов.

Ключевые слова: предельное равновесие, нагрузка, жесткопластический материал, упрочнение, оболочка, диаграмма, прочность, продольно-поперечный изгиб.

В качестве эффективных конструктивных элементов цилиндрические оболочки используются при изготовлении и эксплуатации многих ответственных объектов: нефте- и газопроводов, нефтехранилищ, сосудов высокого давления в химической промышленности и ядерной энергетике. В процессе проектирования таких объектов необходимо решить задачу определения предельно допустимого уровня нагрузки при начальном нагружении и конечном нагружении с разрушением. В настоящей работе продолжены исследования предельных состояний¹, введено понятие второго предельного состояния и определены вторые предельные нагрузки жесткопластических упрочняющихся цилиндрических оболочек.

Рассмотрим в цилиндрической системе координат осесимметрично нагруженную трехслойную цилиндрическую оболочку радиуса R и длины L , выполненную из двух внешних изотропных однородных несущих слоев с толщинами δ^\pm (знак $(+)$ далее относится к величинам, характеризующим верхний слой, а знак $(-)$ — нижний) и среднего слоя (заполнителя) толщиной $2H$, выполненного из однородного легкого материала по сравнению с материалами несущих слоев. Примем предположения известной модели цилиндрической оболочки с мембранными несущими слоями [1].

Воспользуемся линейными уравнениями равновесия оболочки:

$$\frac{dn_1}{dx} = -\dot{f}_t, \quad \frac{dq_1}{dx} = \frac{n_2}{r} - \dot{f}_n, \quad \frac{dm_1}{dx} = \frac{q_1}{h} - m_0. \quad (1)$$

Здесь

$$n_i = N_i / N_0, \quad m_i = M_i / M_{00}, \quad q_1 = Q_1 / N_0, \quad m_0 = M_0 / N_0,$$

$$N_i = \sigma_i^+ \delta^+ + \sigma_i^- \delta^-, \quad M_i = H(\sigma_i^+ \delta^+ - \sigma_i^- \delta^-), \quad N_0 = \sigma_0 H,$$

$$M_{00} = \sigma_0 H^2, \quad n_i = s_i^+ h^+ + s_i^- h^-, \quad m_i = s_i^+ h^+ - s_i^- h^-,$$

$$h^\pm = \delta^\pm / H, \quad h = H / L, \quad s_i^\pm = \sigma_i^\pm / \sigma_0,$$

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-08-00253-а).

¹ Вохмянин И. Т., Немировский Ю. В. Несущая способность гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек // Прикладная механика. 1967. Т. 3. Вып. 3. С. 18–23.

$$\begin{aligned}
\dot{f}_t &= F_t L / N_0 = (p_1^+ + p_1^-) / h + (C_0^+ h^+ + C_0^- h^- + 2C_0^0) \alpha, \\
m_0 &= p_1^+ - p_1^- + (C_0^+ h^+ - C_0^- h^-), \quad p_1^\pm = q_i^\pm / \sigma_0 h, \\
\dot{f}_n &= F_n L / N_0 = p_n^+ + p_n^- + p_n + p_\omega + (B_0^+ h^+ + B_0^- h^- + 2B_0^0) r, \\
r &= R / L, \quad p_n^\pm = q_n^\pm / \sigma_{00}, \quad p_\omega = q_\omega / \sigma_{00} = \omega^2 R^2 \rho L / (3\sigma_0 H), \\
p_n &= q_n / \sigma_{00} = G(l_1 - x), \quad A_0^\pm = \rho^\pm \omega^2 R^2 / \sigma_0^\pm, \quad B_0^0 = \rho^0 \omega^2 R^2 / \sigma_0, \\
s_0^\pm &= \sigma_0^\pm / \sigma_0, \quad \sigma_{00} = \sigma_0 h, \quad B_0^\pm = A_0^\pm s_0^\pm, \quad C_0^\pm = \rho^\pm g R / \sigma_0, \\
C_0^0 &= \rho^0 g R / \sigma_0, \quad x = s / L, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad i = 1, 2,
\end{aligned}$$

где величины N_i и M_i — усилия и изгибающие моменты;

Q_1 — перерезывающая сила;

M_0 — интенсивность распределенного осевого момента;

q_i^\pm и q_n^\pm — интенсивности распределенных осевых и нормальных поверхностных сил;

ρ_0, ρ^\pm — плотности, ρ — плотность жидкости;

σ_i^\pm — напряжения в слоях, σ_0 и σ_0^\pm — пределы текучести материалов несущих слоев эталонной и проектируемой оболочек;

F_t, F_n — суммарные распределенные осевые и нормальное усилия;

g — ускорение свободного падения;

ω — угловая скорость вращения оболочки;

$\alpha = 1$ — при учете влияния собственного веса, $\alpha = 0$ — без учета его влияния;

s — осевая координата.

Кинематические соотношения Кирхгофа:

$$\varepsilon_1^\pm = \varepsilon_{01} \pm \kappa_1, \quad \varepsilon_2^\pm = \varepsilon_{02}. \quad (2)$$

Здесь

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{01} &= h \frac{du}{dx}, \quad \varepsilon_{02} = h \frac{w}{r}, \quad \kappa_i = H k_i, \quad \kappa_1 = h \frac{d\theta}{dx}, \\
\kappa_2 &= 0, \quad \theta = -h \frac{dw}{dx}, \quad u = \frac{U}{H}, \quad w = \frac{W}{H},
\end{aligned}$$

где ε_{0i} — деформации;

k_i — изменения кривизн;

W, U — нормальное и продольное осевое перемещения точек отсчетной поверхности; нормальные перемещения точек в отсчетной поверхности и срединных поверхностях несущих слоев, расположенные на одной нормали, одинаковы.

Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) воспользуемся моделью жесткопластического упрочняющегося материала. Предположим, что упругими деформациями можно пренебречь, а нагрузка начала деформирования равна предельной нагрузке идеального жесткопластического тела. При такой нагрузке начинается деформирование жесткопластического упрочняющегося тела в соответствии с теорией Генки — Ильюшина [2].

$$s_1^\pm = \frac{2s_u^\pm}{e_u^\pm \sqrt{3}} \left(\varepsilon_1^\pm + \frac{1}{2} \varepsilon_2^\pm \right), \quad s_2^\pm = \frac{2s_u^\pm}{e_u^\pm \sqrt{3}} \left(\varepsilon_2^\pm + \frac{1}{2} \varepsilon_1^\pm \right), \quad (3)$$

где $s_u^\pm = s_1^{\pm 2} - s_1^\pm s_2^\pm + s_2^{\pm 2}$, $e_u^\pm = \varepsilon_1^{\pm 2} + \varepsilon_1^\pm \varepsilon_2^\pm + \varepsilon_2^{\pm 2}$ и интенсивности напряжений s_u^\pm выражены через интенсивности деформаций e_u^\pm согласно диаграммам материалов слоев.

Реальные диаграммы материалов аппроксимируем в одном случае диаграммами с линейным упрочнением

$$s_u^\pm = s_0^\pm + c^\pm e_u^\pm, \quad c^\pm = (s_*^\pm - s_0^\pm) / e_*^\pm, \quad (4)$$

а в другом — диаграммами с квадратичным упрочнением

$$s_u^\pm = s_*^\pm \left[1 - \beta^\pm \left(1 - \frac{e_u^\pm}{e_*^\pm} \right)^2 \right], \quad \beta^\pm = \frac{s_*^\pm - s_0^\pm}{s_*^\pm}, \quad (5)$$

где в равенствах (4) s_0^\pm — пределы текучести;

e_*^\pm и s_*^\pm — предельно допустимые интенсивности деформаций и напряжений на реальных диаграммах материалов слоев оболочки.

Первое предельное состояние соответствует модели идеально-пластического тела ($s_u^\pm = s_0^\pm$) с амплитудой первой предельной нагрузки $p = p_0$. Далее рассматривается решение задачи при $p > p_0$. Амплитуда второй предельной нагрузки определяется из условия

$$\min_p \left\{ \max_{x_0 \leq x \leq 1} e_u^\pm = e_*^\pm, \max_{x_0 \leq x \leq 1} e_u^\mp = e_*^\mp \right\}. \quad (6)$$

Для оценки реальной нагрузки разрушения оболочки воспользуемся следующим ее свойством. Она заключена в пределах между двумя вторыми предельными нагрузками, соответственно определенными для оболочки с двумя диаграммами, ограничивающими реальную диаграмму на пластическом участке.

Если ввести новые переменные

$$z_1^\pm = s_1^\pm / s_u^\pm, \quad z_2^\pm = s_2^\pm / s_u^\pm, \quad (7)$$

то равенство $s_u^\pm = s_1^{\pm 2} - s_1^\pm s_2^\pm + s_2^{\pm 2}$ примет вид $z_1^{\pm 2} - z_1^\pm z_2^\pm + z_2^{\pm 2} = 1$ и оно будет тождественно удовлетворено при

$$z_1^\pm = \frac{2}{\sqrt{3}} \cos \left(\beta^\pm + \frac{\pi}{6} \right), \quad z_2^\pm = \frac{2}{\sqrt{3}} \cos \left(\beta^\pm - \frac{\pi}{6} \right),$$

т.е. с учетом обозначений (7)

$$s_1^\pm = \frac{2}{\sqrt{3}} s_u^\pm \cos \left(\beta^\pm + \frac{\pi}{6} \right), \quad s_2^\pm = \frac{2}{\sqrt{3}} s_u^\pm \cos \left(\beta^\pm - \frac{\pi}{6} \right). \quad (8)$$

Из уравнений (3) определим ε_1^\pm и ε_2^\pm :

$$\varepsilon_1^\pm = \frac{e_u^\pm}{s_u^\pm \sqrt{3}} (2s_1^\pm - s_2^\pm), \quad \varepsilon_2^\pm = \frac{e_u^\pm}{s_u^\pm \sqrt{3}} (2s_2^\pm - s_1^\pm), \quad (9)$$

где e_u^\pm выражается через s_u^\pm из уравнений (4)

$$e_u^\pm = \frac{(s_u^\pm - s_0^\pm) e_*^\pm}{s_*^\pm - s_0^\pm} \quad \text{или} \quad (5) \quad e_u^\pm = e_*^\pm \left(1 - \sqrt{\frac{s_*^\pm - s_u^\pm}{s_*^\pm - s_0^\pm}} \right). \quad (10)$$

Подставив равенства (8) для s_1^\pm и s_2^\pm в выражения (9), получим

$$\varepsilon_1^\pm = -\frac{2}{\sqrt{3}} e_u^\pm \sin \left(\beta^\pm - \frac{\pi}{6} \right), \quad \varepsilon_2^\pm = \frac{2}{\sqrt{3}} e_u^\pm \sin \left(\beta^\pm + \frac{\pi}{6} \right). \quad (11)$$

Если ввести обозначения

$$g^{\pm} = \frac{s_u^{\pm}}{s_0^{\pm}}, \quad \mu^{\pm} = \frac{(s_*^{\pm} - s_0^{\pm})\sqrt{3}}{6\varepsilon_*^{\pm}}, \quad 1 \leq g^{\pm} \leq g_*^{\pm}, \quad g_*^{\pm} = s_*^{\pm} / s_0^{\pm}, \quad (12)$$

то выражения (8) и (11) с учетом равенств (4) и (12) примут вид:

$$s_1^{\pm} = \frac{2}{\sqrt{3}} s_0^{\pm} g^{\pm} \cos\left(\beta^{\pm} + \frac{\pi}{6}\right), \quad s_2^{\pm} = \frac{2}{\sqrt{3}} s_0^{\pm} g^{\pm} \cos\left(\beta^{\pm} - \frac{\pi}{6}\right); \quad (13)$$

$$\varepsilon_1^{\pm} = -\frac{s_0^{\pm}}{3\mu^{\pm}} (g^{\pm} - 1) \sin\left(\beta^{\pm} - \frac{\pi}{6}\right), \quad \varepsilon_2^{\pm} = \frac{s_0^{\pm}}{3\mu^{\pm}} (g^{\pm} - 1) \sin\left(\beta^{\pm} + \frac{\pi}{6}\right). \quad (14)$$

Выражения для напряжений и деформаций в этом случае совпадают с выражениями для напряжений и скоростей деформаций в задаче вязко-пластического течения рассматриваемой оболочки [1, 3, 4].

В случае квадратичного упрочнения равенства (13) остаются без изменения, а выражения для деформаций, согласно равенствам (5), примут вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^{\pm} &= -\frac{2}{\sqrt{3}} e_*^{\pm} \left(1 - \sqrt{\frac{g_*^{\pm} - g^{\pm}}{g_*^{\pm} - 1}}\right) \sin\left(\beta^{\pm} - \frac{\pi}{6}\right), \\ \varepsilon_2^{\pm} &= -\frac{2}{\sqrt{3}} e_*^{\pm} \left(1 - \sqrt{\frac{g_*^{\pm} - g^{\pm}}{g_*^{\pm} - 1}}\right) \sin\left(\beta^{\pm} + \frac{\pi}{6}\right). \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, в случае квадратичного упрочнения определяющие соотношения (15) не совпадают с определяющими соотношениями вязко-пластического течения [1, 3, 4].

Из равенств (2) следуют уравнения совместности деформаций

$$2hr \frac{d^2 \varepsilon_2^{\pm}}{dx^2} = \varepsilon_1^{-} - \varepsilon_1^{+}, \quad \varepsilon_1^{+} + \varepsilon_1^{-} = 2h \frac{du}{dx}, \quad \varepsilon_2^{+} = \varepsilon_2^{-} = h \frac{w}{r}. \quad (16)$$

С помощью последнего равенства (16) и равенств (14) получим

$$g^{-} = 1 + s_{\mu}^{+} (g^{+} - 1) \sin(\beta^{+} + \pi/6) / (s_{\mu}^{-} \sin(\beta^{-} + \pi/6)), \quad (17)$$

где $s_{\mu}^{\pm} = s_0^{\pm} / (3\mu^{\pm})$.

На основании уравнений (1)–(2) и (16) с учетом равенства (17) нетрудно получить каноническую систему обыкновенных дифференциальных уравнений шестого порядка, которая при постоянных значениях h^{\pm} , f_{τ} , m_0 имеет вид

$$\frac{dy}{dx} = f, \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} f &= (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)^T, \quad f = (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6)^T; \\ y_1 &= g^{+}, \quad y_2 = \beta^{-}, \quad y_3 = \frac{d\beta^{+}}{dx}, \quad y_4 = \beta^{+}, \quad y_5 = q_1, \quad y_6 = u; \\ f_1 &= \frac{\sqrt{3}}{2s_0^{+} \cos(\beta^{+} + \pi/6)} \left[\dot{f}_{12} + \frac{2}{\sqrt{3}} s_0^{+} g^{+} \sin\left(\beta^{+} + \frac{\pi}{6}\right) \frac{d\beta^{+}}{dx} \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_2 &= \frac{\cos(\beta^- + \pi/6)}{G_{\beta m} \cos(\beta^+ + \pi/6) - g^- \sin(\beta^- + \pi/6)} \times \\
&\times \left[\frac{\sqrt{3} f_{22}}{2 s_0^- \cos(\beta^- + \pi/6)} - G_{gp} F_1 - G_{\beta p} \frac{d\beta^+}{dx} \right], \\
f_3 &= \frac{1}{A} ((\varepsilon_1^- - \varepsilon_1^+) / (2hr) - A_1), \quad f_4 = y_3 = \frac{d\beta^+}{dx}, \quad f_5 = \frac{n_2}{r} - f_n, \quad f_6 = \frac{\varepsilon_1^+ + \varepsilon_1^-}{2h}, \\
f_{11} &= -f_t, \quad f_{21} = \frac{q_1}{h} - m_0, \quad f_{12} = \frac{f_{11} + f_{21}}{2h^+}, \quad f_{22} = \frac{f_{11} - f_{21}}{2h^-}; \\
A &= \frac{s_0^+ [g^+ - \cos^2(\beta^+ + \pi/6)]}{3\mu^+ \cos(\beta^+ + \pi/6)}, \\
A_1 &= s_\mu^+ \{ \sin(\beta^+ + \pi/6) [A_{13} + \sqrt{3} A_{11} / (2s_0^+ \cos(\beta^+ + \pi/6))] + A_{12} \}, \\
A_{11} &= f_{1x} + (2/\sqrt{3}) s_0^+ y_3 (\sin(\beta^+ + \pi/6) f_1 + y_1 y_3 \cos(\beta^+ + \pi/6)), \\
A_{12} &= y_3 (2f_1 \cos(\beta^+ + \pi/6) - y_3 (y_1 - 1) \sin(\beta^+ + \pi/6)), \\
A_{13} &= f_1 y_3 \sin(\beta^+ + \pi/6) / \cos(\beta^+ + \pi/6); \\
G_{gp} &= s_\mu^+ \sin(\beta^+ + \pi/6) / (s_\mu^- \sin(\beta^- + \pi/6)), \\
G_{\beta p} &= s_\mu^+ (g^+ - 1) \cos(\beta^+ + \pi/6) / (s_\mu^- \sin(\beta^- + \pi/6)), \\
f_{12x} &= + \frac{1}{2h^+ h} \left(\frac{n_2}{r} - f_n \right), \\
G_{\beta m} &= s_\mu^+ (g^+ - 1) \sin(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) // (s_\mu^- \sin^2(\beta^- + \pi/6)).
\end{aligned}$$

Рассмотрим случай заделки краев оболочки, нагруженной равномерным давлением. Граничные условия вследствие симметрии задачи имеют вид:

$$w(0) = \theta(0) = 0; \quad \beta'^+(0) = \beta'_0; \quad g^+(0) = g_0^+; \quad u(0,5) = \theta(0,5) = 0. \quad (19)$$

На основании равенств (2), (11) и (17) граничные условия (19) можно записать в следующем виде:

$$\sin(\beta^\pm(0) + \pi/6) = 0; \quad g^+(0) = g_0^+; \quad u(0,5) = 0; \quad \theta(0) = \theta(0,5) = 0. \quad (20)$$

Последние два граничных условия преобразуем с помощью равенств (2), из которых следует выражение $\theta = -rd\varepsilon_2^+ / dx$ и

$$\frac{d\varepsilon_2^+}{dx} = s_\mu^+ \left[\frac{dg^+}{dx} \sin\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right) + (g^+ - 1) \cos\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right) \frac{d\beta^+}{dx} \right] = 0. \quad (21)$$

Из уравнения (21) с учетом равенства (18) для производной $dg^+ / dx = f_1$ получим выражения для производной β'^+ на краю оболочки $x = 0$

$$\beta'^+ = - \frac{f_1 \sin(\beta^+ + \pi/6)}{(g^+ - 1) \cos(\beta^+ + \pi/6)}. \quad (22)$$

Для исследования пластического деформирования упрочняющейся оболочки в условиях продольно-поперечного изгиба имеем систему из шести дифференциальных уравнений (18) шестого порядка и шести гра-

нических условий (20). Причем два последних граничных условия (20) следует заменить граничными условиями (21)–(22), выраженными через известные граничные значения переменных. Некоторые граничные значения переменных являются свободными параметрами в методе пристрелки численного решения поставленной краевой задачи.

В случае поперечного изгиба оболочки следует принять равенство $n_1 = 0$, вследствие которого и последних равенств (14), (16) для интенсивностей напряжений g^\pm получим выражения

$$g^+ = -\frac{a_2}{a_1}, \quad g^- = -\frac{h^+ s_0^+ g^+ \cos(\beta^+ + \pi/6)}{h^- s_0^- \cos(\beta^- + \pi/6)}, \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} a_1 &= s_\mu^+ s_0^- h^- \cos(\beta^- + \pi/6) \sin(\beta^+ + \pi/6) + \\ &+ s_\mu^- s_0^+ h^+ \cos(\beta^+ + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6); \\ a_2 &= s_0^- h^- [s_\mu^- \cos(\beta^- + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6) - \\ &- s_\mu^+ \cos(\beta^- + \pi/6) \sin(\beta^+ + \pi/6)]. \end{aligned}$$

На основании второго и третьего уравнений (1), а также уравнений (12) получим следующую систему дифференциальных уравнений пятого порядка:

$$\frac{dy}{dx} = f. \quad (24)$$

Здесь

$$\begin{aligned} f &= (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5), \quad \dot{f} = (\dot{f}_1, \dot{f}_2, \dot{f}_3, \dot{f}_4, \dot{f}_5), \\ y_1 &= \beta^-, \quad y_2 = \frac{d\beta^+}{dx}, \quad y_3 = \beta^+, \quad y_4 = q_1, \quad y_5 = u, \quad \dot{f}_1 = -\frac{F_{21}}{s_0^+ h^+ b_2 \cos(\beta^+ + \pi/6)}, \\ \dot{f}_2 &= \frac{1}{d_1} \left[\frac{(\varepsilon_1^- - \varepsilon_1^+)}{2hr} - d_2 \right], \quad \dot{f}_3 = y_2 = \frac{d\beta^+}{dx}, \quad \dot{f}_4 = \frac{n_2}{r} - \dot{f}_n, \quad \dot{f}_5 = \frac{(\varepsilon_1^+ + \varepsilon_1^-)}{2h}, \\ F_{21} &= \sqrt{3} q_1 / (4h) - F_{22} \frac{d\beta^+}{dx} - s_0^+ h^+ b_3 \cos(\beta^+ + \pi/6), \\ F_{22} &= s_0^+ h^+ [b_1 \cos(\beta^+ + \pi/6) - g^+ \sin(\beta^+ + \pi/6)], \quad \frac{dg^+}{dx} = b_1 \frac{d\beta^+}{dx} + b_2 \frac{d\beta^-}{dx_3}, \\ b_1 &= -\frac{1}{a_1} \{ g^+ [s_\mu^+ s_0^- h^- \cos(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) - \\ &- s_\mu^- s_0^+ h^+ \sin(\beta^+ + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6)] - \\ &- s_\mu^+ s_0^- h^- \cos(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) \}, \\ b_2 &= -\frac{1}{a_1} \{ g^+ [-s_\mu^+ s_0^- h^- \sin(\beta^+ + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6) + \\ &+ s_\mu^- s_0^+ h^+ \cos(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6)] - \\ &- s_\mu^- s_0^- h^- [\sin^2(\beta^- + \pi/6) - \cos^2(\beta^- + \pi/6)] + \\ &+ s_\mu^+ s_0^- h^- \sin(\beta^+ + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6) \}, \\ d_1 &= s_\mu^+ [(b_1 + c_1 b_2) \sin(\beta^+ + \pi/6) + (g^+ - 1) \cos(\beta^+ + \pi/6)], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_2 &= s_\mu^+ \{ [b_2 c_2 + b_{1x} y_2 + b_{2x} f_1] \sin(\beta^+ + \pi/6) + \\
&+ y_2 [2(b_1 y_2 + b_2 f_1) \cos(\beta^+ + \pi/6)] - (g^+ - 1) \sin(\beta^+ + \pi/6) y_2 \}, \quad c_1 = -c_3 F_{22}, \\
c_2 &= -s_0^+ c_3^2 F_{21} h^+ [b_{2x} \cos(\beta^+ + \pi/6) - b_2 y_2 \sin(\beta^+ + \pi/6)] + \\
&+ c_3 (\sqrt{3} f_{2x} / 4 - f_{22x} y_2), \quad c_3 = 1 / [s_0^+ h^+ b_2 \cos(\beta^+ + \pi/6)], \quad g_x^+ = b_1 y_2 + b_2 f_1, \\
b_{1x} &= -a_{1x} b_1 / a_1 + (1/a_1) \{ g^+ [s_\mu^+ s^- h^- (\sin(\beta^+ + \pi/6) \times \\
&\times \cos(\beta^- + \pi/6) y_2 + \cos(\beta^+ + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6) f_1] + \\
&+ s_\mu^- s^+ h^+ (\sin(\beta^- + \pi/6) \cos(\beta^+ + \pi/6) y_2 + \\
&+ \sin(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) f_1)] + s_\mu^+ s_0^- h^- (\sin(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) y_2 + \\
&+ \sin(\beta^- + \pi/6) \cos(\beta^+ + \pi/6) f_1) - \\
&- g_{1x} [s_\mu^+ s_0^- h^- \cos(\beta^- + \pi/6) \cos(\beta^+ + \pi/6) - \\
&- s_\mu^- s_0^+ h^+ \sin(\beta^- + \pi/6) \sin(\beta^+ + \pi/6)] \}, \\
b_{2x} &= -a_{1x} b_2 / a_1 + (1/a_1) \{ g^+ [s_\mu^+ s^- h^- (\cos(\beta^+ + \pi/6) \times \\
&\times \sin(\beta^- + \pi/6) y_2 + \sin(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) f_1] + \\
&+ s_\mu^- s^- h^- (\sin(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) y_2 + \cos(\beta^+ + \pi/6) \sin(\beta^- + \pi/6) f_1)] + \\
&+ 4 s_\mu^- s_0^- h^- (\cos(\beta^- + \pi/6) \sin(\beta^+ + \pi/6) f_1) - \\
&- s_\mu^+ s_0^- h^- (\sin(\beta^- + \pi/6) \cos(\beta^+ + \pi/6) y_2 + \\
&+ \sin(\beta^+ + \pi/6) \cos(\beta^- + \pi/6) f_1) + g_{1x} [s_\mu^+ s_0^- h^- \sin(\beta^- + \pi/6) \sin(\beta^+ + \pi/6) - \\
&- s_\mu^- s_0^+ h^+ \cos(\beta^- + \pi/6) \cos(\beta^+ + \pi/6)] \}.
\end{aligned}$$

После преобразования двух последних граничных условий (20) с помощью уравнения (21) и с учетом равенства (24) для производной g_x^+ получим

$$\frac{d\beta^+}{dx} = \frac{e_2}{e_1}, \quad (25)$$

где

$$\begin{aligned}
e_1 &= s_0^+ h^+ \left[g^+ (g^+ - 1) \cos\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right) + b_1 \sin\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right) \right] \times \\
&\times \cos\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right) - s_0^+ h^+ \left[\frac{b_1}{2} \sin\left(2\beta^+ + \frac{\pi}{3}\right) - g^+ \sin^2\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right) \right], \\
e_2 &= \frac{s_0^+}{2} (h^+ b_3 + h_x^+ g^+ - b_3 h^+) \sin\left(2\beta^+ + \frac{\pi}{3}\right) - \frac{\sqrt{3}}{4} f_{21} \sin\left(\beta^+ + \frac{\pi}{6}\right).
\end{aligned}$$

В результате для исследования пластического деформирования упругоняющейся оболочки в условиях поперечного изгиба имеем систему из пяти дифференциальных уравнений (24) пятого порядка и пяти граничных условий (20) (граничное условие для g^+ выпадает). Причем два последних граничных условия (20) следует заменить граничными условиями (21) и (25), выраженными через известные граничные значения переменных.

Для оболочки симметричного строения, когда величины со значками (\pm) равны, т.е. с одинаковыми несущими слоями, в условиях поперечного изгиба получим особое решение. В этом случае из условий

$$\dot{f}_\tau = 0, \quad n_1 = 0, \quad \varepsilon_2^+ = \varepsilon_2^- = \varepsilon_{02} \quad (26)$$

следуют равенства

$$g^+ = g^-, \quad \beta^- = \frac{2}{3}\pi - \beta^+. \quad (27)$$

Первое из равенств (27) использовано в работе Ю. Н. Работнова², второе при выполнении равенства (26) следует из условия, что деформации $\varepsilon^\pm = \varepsilon_{02}$ всегда одного знака.

Систему дифференциальных уравнений пятого порядка получим, исключив из системы уравнений (18) шестого порядка уравнение для переменной β^- , которую вместе с величиной g^- определим из равенств (27).

В примерах рассмотрена трехслойная оболочка с параметрами:

$$p_1^\pm = 0, \quad s_0^\pm = 1, \quad p_n^\pm = -0,333 \cdot 10^{-3} p, \quad \omega = 0, \quad h^\pm = 0,01, \quad x_0 = 0, \quad r = 0,4, \\ h = 0,01 + 0,02(i-1), \quad (i=1, 2, 3, 4, 5),$$

т.е. оба несущих слоя выполнены из стали.

Рассмотрим особое решение задачи продольно-поперечного изгиба с учетом равенств (27), сведенной к решению системы уравнений пятого порядка.

В силу симметрии задачи граничные условия в середине ($x=0$) и на краю оболочки имеют вид

$$\frac{d\beta^+}{dx}(0) = y_3(0) = 0, \quad q_1(0) = y_5(0) = 0, \quad u(0) = y_6(0) = 0, \\ w(0,5) = \frac{dw}{dy}(0,5) = 0. \quad (28)$$

Последние два граничных условия можно заменить условиями

$$\varepsilon_2^+(0,5) = \frac{d\varepsilon_2^+}{dy}(0,5) = 0, \quad (29)$$

где деформация $\varepsilon_2^+(0,5)$ и ее производная определены выражениями (11) и (21), причем входящие в них величины известны из решения задачи, если известны все начальные условия.

В середине оболочки имеем два неопределенных начальных условия $g^+(0)$ и $\beta^+(0)$, которыми воспользуемся как начальными параметрами метода пристрелки, чтобы удовлетворить двум последним граничным условиям (28). При этом все величины с учетом варьируемых значений начальных параметров известны для удовлетворения двух последних граничных условий (28) или (29).

В первом варианте параметры диаграммы с линейным упрочнением —

$$s_0^\pm = 1, \quad s_*^\pm = 2, \quad g_*^\pm = 2, \quad \varepsilon_*^\pm = 0,2,$$

во втором варианте параметры диаграммы с линейным упрочнением

$$s_0^\pm = 1,25, \quad s_*^\pm = 2,5, \quad g_*^\pm = 2, \quad \varepsilon_*^\pm = 0,2.$$

Реальная диаграмма на пластическом участке для малоуглеродистой стали заключена в полосу между этими двумя аппроксимирующими диа-

² Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с.

граммами жесткопластического упрочняющегося материала с параметрами в первом и втором вариантах. Следовательно, реальная вторая предельная нагрузка разрушения заключена в пределах $p_1 \leq p \leq p_2$, где p_1 и p_2 — вторые предельные нагрузки с первым и вторым вариантами параметров диаграмм соответственно.

Начальные задачи решены методом Фельберга³ с делением интервала $0 \leq x \leq 0,5$ на 8000 подинтервалов. Результаты вычислений приведены на рис. 1–4. На рис. 1 показаны кривые зависимости предельной нагрузки от параметра h для жесткопластической (1), жесткопластической упрочняющейся с первым вариантом параметров (2), жесткопластической упрочняющейся со вторым вариантом параметров (3) диаграмм оболочек. На рис. 2 приведены зависимости прогиба w_i от текущей координаты x , соответствующие параметрам h и предельным нагрузкам с первым вариантом параметров диаграммы, причем $w_1 = w$, $w_2 = 5w$, $w_i = 10w$ ($i = 3, 4, 5$). Зависимости интенсивностей напряжений $g^+ = g^- = g$ от текущей координаты даны на рис. 3 линиями g_i . Цена делений на рис. 2, 3 равна 0,05. Зависимости интенсивностей напряжений вблизи краев оболочки приведены на рис. 4 в увеличенном масштабе на малых интервалах от края ($x_1 = x - 0,45$, $0 \leq x_1 \leq 0,05$, цена делений 0,005 соответственно линиями g_1, g_2).

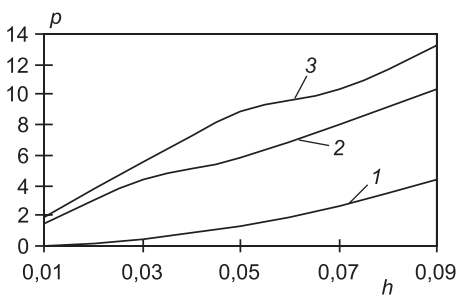


Рис. 1

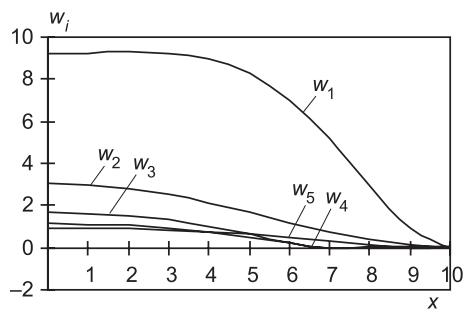


Рис. 2

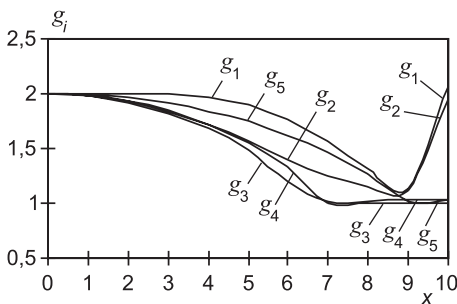


Рис. 3

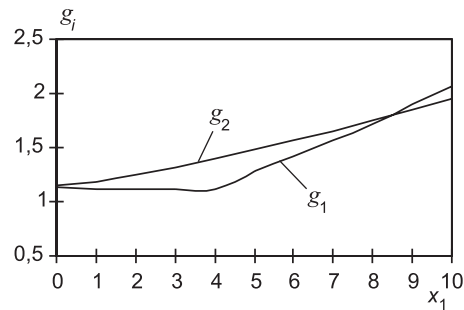


Рис. 4

Выводы. Для тонких оболочек ($i = 1, 2, 3$) вторая предельная нагрузка определена в полосе отклонения предельной нагрузки при верхней и нижней аппроксимациях с точностью 18...22 %, а для средних оболочек ($i = 4, 5$) — 22...32 %.

Прогибы тонких оболочек в предельном состоянии разрушения на порядок больше, чем для средних по толщине оболочек. Предельные состояния разрушения достигаются на краю для тонких оболочек и в середине для средних по толщине оболочек. Предельные состояния для тонких оболочек сопровождаются краевыми эффектами для интенсивностей напряжений.

³ Новиков Е. А. Явные методы для жестких систем. Новосибирск: Наука, 1997. 192 с.

Имеет место качественно одинаковый характер НДС вязкопластического течения [1] и предельного состояния разрушения цилиндрической оболочки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В о х м я н и н, И. Т. Квазистатические вязкопластические течения цилиндрических трехслойных оболочек [Текст] / И. Т. Вохмянин, Ю. В. Немировский // Численные методы решения задач теории упругости и пластичности: Тр. 21 Всерос. конф., Кемерово, 30 июня — 2 июля 2009 г. ; под ред. акад. В. М. Фомина. — Новосибирск: Параллель, 2009. — С. 57–66.
2. И л ь ю ш и н, А. А. Труды. 1935–1945 гг. Т. 1 [Текст] / А. А. Ильюшин. — М. : Физматлит, 2003. — С. 115–284.
3. П р а г е р, В. Введение в механику сплошной среды [Текст] / В. Прагер. — М. : ИЛ, 1968. — 312 с.
4. В о х м я н и н, И. Т. Квазистатические вязкопластические течения трехслойных круглых и кольцевых пластинок [Текст] / И. Т. Вохмянин, Ю. В. Немировский // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Ч. 1 : сб. тр. Междунар. конф. — Воронеж : Издат.-полиграф. центр Воронеж. ГУ, 2009. — С. 104–112.

*ВОХМЯНИН И. Т., д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: vokhmyanin@mbit.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*НЕМИРОВСКИЙ Ю. В., д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru
Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск*

Получено 19.01.10

Vokhmyanin I. T., doctor of physical and mathematical sciences, professor; E-mail: vokhmyanin@mbit.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Nemirovsky Yu. V., doctor of physical and mathematical sciences, professor; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru, Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics the Siberian Branch of Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

SECOND LIMITED STATE OF CYLINDRICAL THREE-LAYERED SHELLS

The task of second limited state three-layered cylindrical shell on basis of rigid-plastic hardening model of body is formulated and decided by numerical methods. Dependences and estimations of second limited loading from shell parameter with linear approximation real material diagrams are determinate.

Key words: limited equilibrium, load, rigid-plastic material, hardening, shell, diagram, durability, transversal-longitudinal bending.

REFERENCES

1. V o k h m y a n i n, I. T. Quazistatic viscose-plastic flaws of cylindrical three-layered shells [Text] / I. T. Vokhmyanin, Yu. V. Nemirovsky // Numerical methods deciding tasks of elasticity and plasticity theory: Proceeding 21 All-Russian konf., Kemerovo, 30 june — 2 july 2009; under akad. V. M. Fomin editing. — Novosibirsk: Parallel, 2009. — P. 57–66.
2. I l u y s h i n, A. A. Proceeding. 1935–1945. V. 1 [Text] / A. A. Iluyshin. — Moscow : Fizmatlit, 2003. — P. 115–284.
3. P r a g e r, V. Introduction in continuum mechanic [Text] / V. Prager. — Moscow : Publishing foreign literature, 1968. — 312 p.
4. V o k h m y a n i n, I. T. Quazistatic viscose-plastic flaws of three-layered round and circular plates [Text] / I. T. Vokhmyanin, Yu. V. Nemirovsky // Actual problems of applied mathematic, informatics and mechanic. P. 1 : Proceeding collection International conference. — Voronezh : Publishing-polygraph center of Voronezh State University, 2009. — P. 104–112.

УДК 624.131

А. В. ЛУБЯГИН, П. А. САВКОВ, А. П. КРИВОРОТОВ

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ, УПЛОТНЯЕМОЙ РАСШИРЯЮЩИМСЯ КЛИНОМ

Приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния уплотняющей пластической области, подверженной воздействию расширяющегося клина. Установлено, что в этом случае расчетная область приобретает свойства среды, неоднородной и анизотропной по деформируемости. Установлено существенное увеличение показателей деформируемости области, уплотняемой расширяющимся клином. Полученные результаты позволяют более обоснованно учитывать деформационные свойства геокомпонитных сред, а также грунтовых оснований и массивов с внедряемыми в них инородными телами.

Ключевые слова: пластическая модель основания, уплотнение клином, показатели уплотненной среды.

При нагнетании песчано-цементной смеси («раствора») методом высоконапорной инъекции происходит выдавливание частиц грунта в соседнее с нагнетаемым раствором области грунтового массива [1]. Это обстоятельство приводит к уплотнению грунта, окружающего линзу схватившегося раствора. Грунтовое основание приобретает при этом свойства геокомпозитной конструкции, в состав которой входят линзы затвердевшего раствора, окружающие их «рубашки» уплотненного грунта и естественный неуплотненный грунт [2]. Деформационные и прочностные свойства такого геокомпозитного материала оценивать без учета свойств уплотненной «рубашки» было бы некорректно. Поэтому исследование напряженно-деформированного состояния (н.д.с.) уплотняемого таким способом грунтового массива имеет большое практическое значение для совершенствования расчета смещений сооружений, выполняемых на усиленных таким образом грунтовых основаниях и во многих других случаях.

В связи с вышеизложенным, нами исследовано н.д.с. расчетной области при внедрении в нее клинообразного тела, имитирующего объем песчано-цементного раствора, внедряемого из вертикального инъектора. Размеры расчетной области — $1,0 \times 0,5$ м, характер закрепления ее по контуру показан на рис. 1. Расчетная область находится в условиях плоской деформации, ее поверхность пригружена постоянной равномерно распределенной нагрузкой $p = 300$ кН/м². Расчетная область дискретизирована треугольными конечными элементами (т.к.э.), изменение размеров которых учитывается в процессе деформируемости области за счет влияния расширяющегося клина. Расчетная область наделена свойствами упрочняющейся пластической среды с ее моделью, реализованной в программном комплексе (п.к.) *Plaxis* [3]. Собственный вес среды в расчетах не учитывался. Характерные значения модуля деформации E_{50}^{ref} и давлений p^{ref} по методике [3] приняты равными 19,4 и 0,3 МПа соответственно, а одометрический модуль $E_{oed}^{ref} = 10,8$ МПа при $\sigma_1^{ref} = 0,3$ МПа:

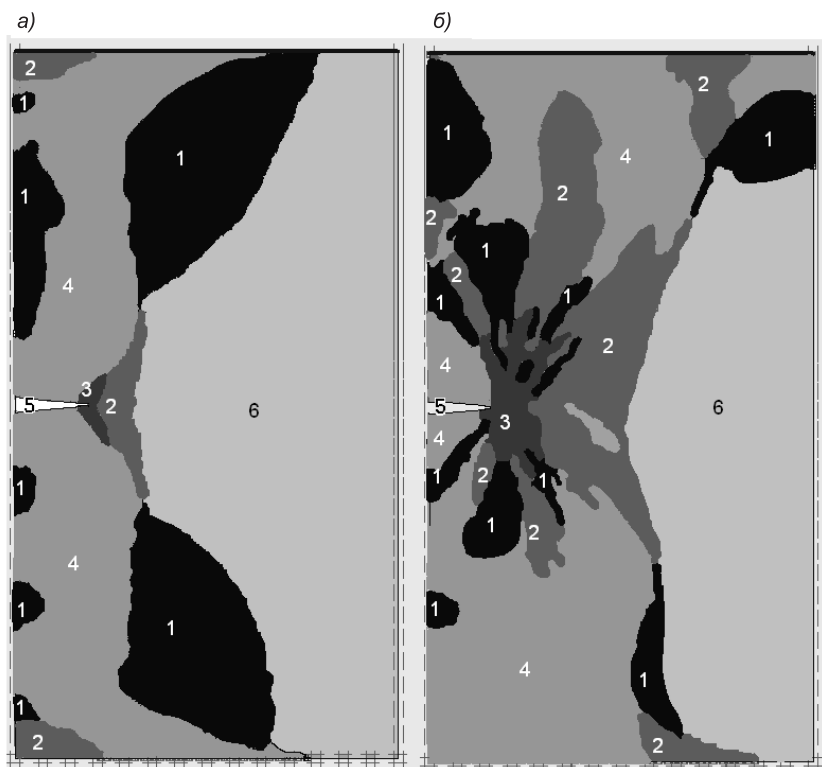


Рис. 1. Специфические области пластических деформаций (1-6) при давлениях со стороны клина $q_0 = 0,4 \text{ МН/м}^2$ (а) и $0,8 \text{ МН/м}^2$ (б)

$$p^{ref} = \sum_1^3 \sigma_i / 3,$$

где σ_i — главные напряжения, $i = 1, 2, 3$.

Начальные (исходные) размеры клина оценивались длиной $l = 0,10 \text{ м}$, размеры основания клина $t = 0,02 \text{ м}$. Клин расширялся воздействием внутренних гидростатических давлений $q = (500 \div 3000) \text{ кН/м}^2$.

Принята следующая схема нагружения расчетной области. На поверхности ее прикладывается нагрузка $p = 300 \text{ кН/м}^2$, создающая однородное н.д.с. расчетной области. Затем на поверхности клина прикладываются внутренние гидростатические давления q и от действующих дополнительных давлений $q_0 = q - p$ определяются вертикальные U_y и горизонтальные U_x перемещения точек расчетной области, относительные вертикальные ϵ_y , горизонтальные ϵ_x и сдвиговые ϵ_{xy} деформации, а также соответствующие им напряжения σ_y , σ_x и τ_{yx} .

Полученные таким образом сведения оказались достаточными для вычисления традиционных деформационных характеристик среды — модулей деформации E_y и E_x по вертикальному и горизонтальному направлениям и оценки степени изменения сжимаемости грунта в различных точках расчетной области при различной величине дополнительных (уплотняющих) давлений со стороны клина. Характер н.д.с. при увеличении дополнительных давлений со стороны граней клина не остается неизменным — изменяются размеры и очертания областей, подверженных различным видам пластических деформаций. На рис. 1 показано расположение этих областей при сравнительно малой и большой величине дополнительных давлений $q_0 = 400$ и 800 кН/м^2 . При малых давлениях q_0 над и под клином возникают области уплотнения, обусловленные совмест-

ным воздействием сдвиговых и объемных деформаций, соответствующих боковым поверхностям и «шапке» поверхности нагружения в принятой модели грунтовой среды (область 4). При давлении $q_0 = 200 \text{ кН/м}^2$ в средней части длины клина можно выделить область, идентичную «уплотненному ядру» под жестким штампом, где материал среды уплотняется лишь за счет объемных деформаций (область 1). Высота упомянутого «ядра» составляет около трети длины клина. С увеличением давлений $q_0 > 200 \text{ кН/м}^2$ «уплотненное ядро» исчезает и материал среды здесь уплотняется и за счет обжатия, и за счет сдвигов (область 4). Соседние области, примыкающие к области 4, уплотняются или только за счет объемных деформаций (область 1), или за счет деформаций сдвига (область 2), причем с возрастанием давлений q_0 размеры области 2 увеличиваются. Непосредственно у острия клина при давлениях $q_0 = 200$ или 400 кН/м^2 заметно появление тонкой полосы, соответствующей текучести материала, когда наступает предельное по прочности состояние, описываемое условием Кулона – Мора (область 3). Это явление можно сравнить с появлением зон текучести под гранями жесткого штампа. Большая по площади область 6 при малых давлениях q_0 еще находится в «упругом» состоянии, размеры этой области при увеличении давлений q_0 (рис. 1, б) уменьшаются, зато область текучести Кулона – Мора (область 3) существенно увеличивается, увеличиваются также и размеры области 2, упрочняющейся за счет только сдвигов. Область, расположенная над и под клином, пронизана полосами, где упрочнение обусловлено только сдвигами или только объемными деформациями.

Промежуточным значениям давления q_0 со стороны клина соответствуют признаки н.д.с. расчетной области с постепенно нарастающими особенностями, присущими случаю больших давлений $q_0 = 800 \text{ кН/м}^2$.

Гидростатические давления q_0 приводят к увеличению начальных размеров щели. В табл. 1 показаны вертикальные U'_y и горизонтальные U'_x смещения граней клина при увеличении давлений q_0 . Как видно, смещения U'_x сравнительно невелики, в то время как вертикальные размеры щели существенно увеличиваются, и при давлениях $q_0 = 800 \text{ кН/м}^2$ толщина клина возрастает до 30 мм у острия и до 50 мм — у его основания (подобные размеры линз затвердевшего песчано-цементного раствора выявлены нами при обследовании качества уплотнения методом высоконапорной инъекции грунтового основания реконструируемого силосного корпуса в г. Рузаевке (Республика Мордовия)). Давления q_0 со стороны клина вызывают также подъем поверхности основания U_0 над клином и при $q_0 = 800 \text{ кН/м}^2$ — выдавливание верхней части расчетной области, так что повышение гидростатического давления q_0 более этой величины становится невозможным.

Представление о характере уплотнения расчетной области при увеличении размеров клина дают особенности очертания изолиний вертикальных U_y и горизонтальных U_x смещений точек области. Как видно (рис. 2), вертикальные смещения наиболее велики над и под гранями и незначительны за пределами вертикали, проходящей через острие клина. Горизонтальные смещения точек, принадлежащих упомянутой вертикали, имеют два симметрично расположенных локальных максимума, удаленных от острия клина на расстояние $\sim 1,5l$, и абсолютный максимум — у острия.

Таблица 1
Смещения точек поверхности клина U'_x , U'_y и точек поверхности расчетной области U_0

Давление q_0 , МН/м ²	U'_x , мм	U'_y , мм	U_0 , мм
0,2	0,3	1,3	0
0,4	1,4	4,2	0,2
0,6	3,6	9,1	1,2
0,7	6,0	15,4	2,0
0,8	6,2	16,1	2,5

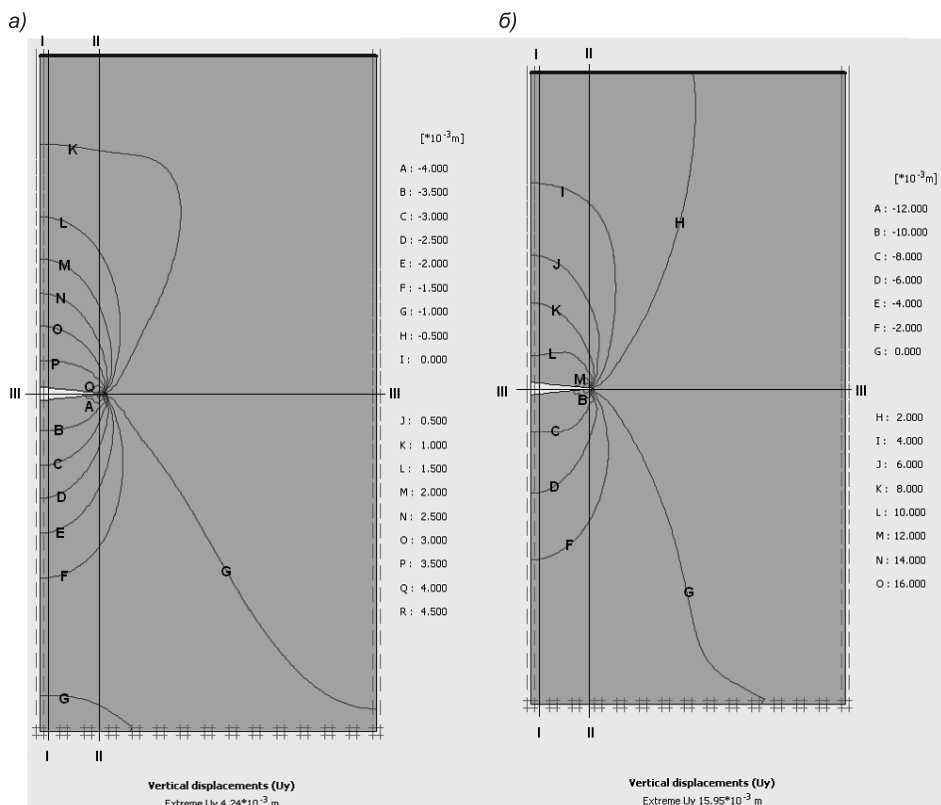


Рис. 2. Изолинии вертикальных U_y перемещений точек среды при давлениях $q_0 = 0,4 \text{ МН/м}^2$ (а) и $0,8 \text{ МН/м}^2$ (б)

Особенности распределения вертикальных напряжений σ_y при различных давлениях q_0 можно выявить по очертаниям их изолиний (рис. 3). Зона воздействия давлений q_0 увеличивается с возрастанием этих давлений. Вне этой зоны напряжения не увеличиваются и практически равны исходным напряжениям, вызванным внешней нагрузкой $p = 0,3 \text{ МН/м}^2$. Над и под клином возникают области концентрации напряжений σ_y . Наибольший градиент напряжений σ_y — у острия клина, перед острием клина — зоны разгрузки, где происходит уменьшение начальных напряжений $\sigma_y = 0,3 \text{ МПа}$ до $(0,04 \div 0,05) \text{ МПа}$.

Положение изолиний касательных напряжений τ_{yx} свидетельствует о наличии концентрированных зон сдвигов, расположенных симметрично по обе стороны клина на вертикали, близкой к той, которая проходит через острие клина.

По определенным расчетом значениям деформаций и напряжений на отдельных участках вдоль характерных осей I–I, II–II и III–III (см. рис. 2) вычислены традиционные характеристики сжимаемости грунта — «модули деформаций» E_y и E_x . Для условий плоской деформации среды при $\nu = 0,3$ они определяются зависимостями

$$E_y = (0,9\sigma_y - 0,39\sigma_x) / \epsilon_y, \quad (1)$$

$$E_x = (0,9\sigma_x - 0,39\sigma_y) / \epsilon_x, \quad (2)$$

где $\nu = 0,3$ — коэффициент Пуассона среды (для линейно деформируемой («упругой») среды).

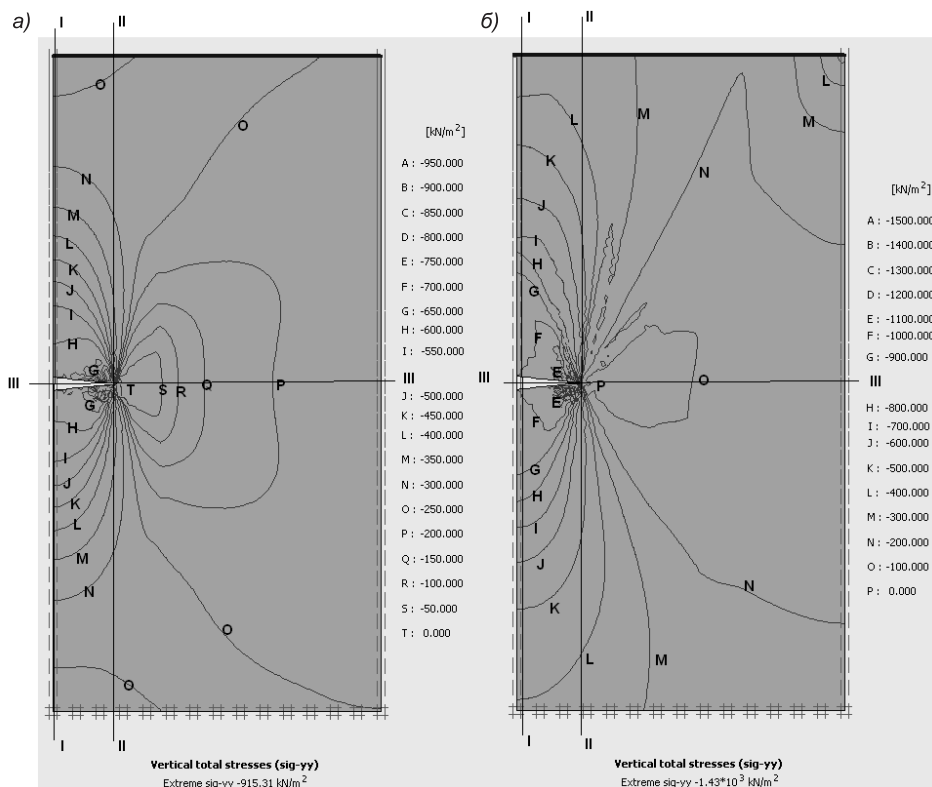


Рис. 3. Изолинии вертикальных напряжений σ_y в расчетной области при действии давлений $q_0 = 0,4 \text{ МН/м}^2$ (а) и $0,8 \text{ МН/м}^2$ (б)

Таблица 2

Изменение модуля деформации E_y среды, МПа, по мере удаления y/t от поверхности клина

Давление q_0 , МН/м^2	Вдоль оси I–I, y/t					Вдоль оси II–II, y/t				
	1	5	10	15	20	1	5	10	15	20
0,4	5,0	21,0	21,0	15,0	12,0	1,3	5,0	8,0	10,0	8,0
0,6	5,0	22,5	20,0	15,0	13,0	1,5	9,0	11,5	10,0	7,0
0,7	5,0	22,5	18,0	16,0	13,0	2,5	11,5	13,0	11,0	7,0
0,8	5,0	21,0	19,0	17,0	14,0	3,0	12,5	15,0	12,0	7,0

Особенности изменения этих показателей вдоль упомянутых осей видны из табл. 2. Как видно, при всех давлениях $q_0 \geq 0,4 \text{ МН/м}^2$ вдоль оси I–I происходит уплотнение среды, сопровождающееся значительным возрастанием модуля E_y ; максимальное уплотнение происходит на расстоянии $y = (0,5...1,0) \times l$ от поверхности клина, где $y = 0$. Начальное значение модуля $E_{0y} = 4 \text{ МПа}$ установлено по (1) при действии нагрузки $p = 300 \text{ кН/м}^2$ с использованием значений напряжений и деформаций, определенных по упомянутой выше методике, принятой в п.к. *Plaxis*.

Вдоль вертикальной оси II–II наблюдается аналогичная картина, хотя степень уплотнения среды при внедрении клина здесь заметно меньше, чем вдоль оси I–I. Степень уплотнения повышается с увеличением давлений q_0 . Обращают на себя внимание низкие значения показателя E_y вблизи острия клина, где происходит даже некоторое уменьшение начальных значений $E_{0y} = 4 \text{ МПа}$. Максимумы уплотнения среды вдоль оси II–II удалены в обе стороны клина на расстояние $y = 2l$,

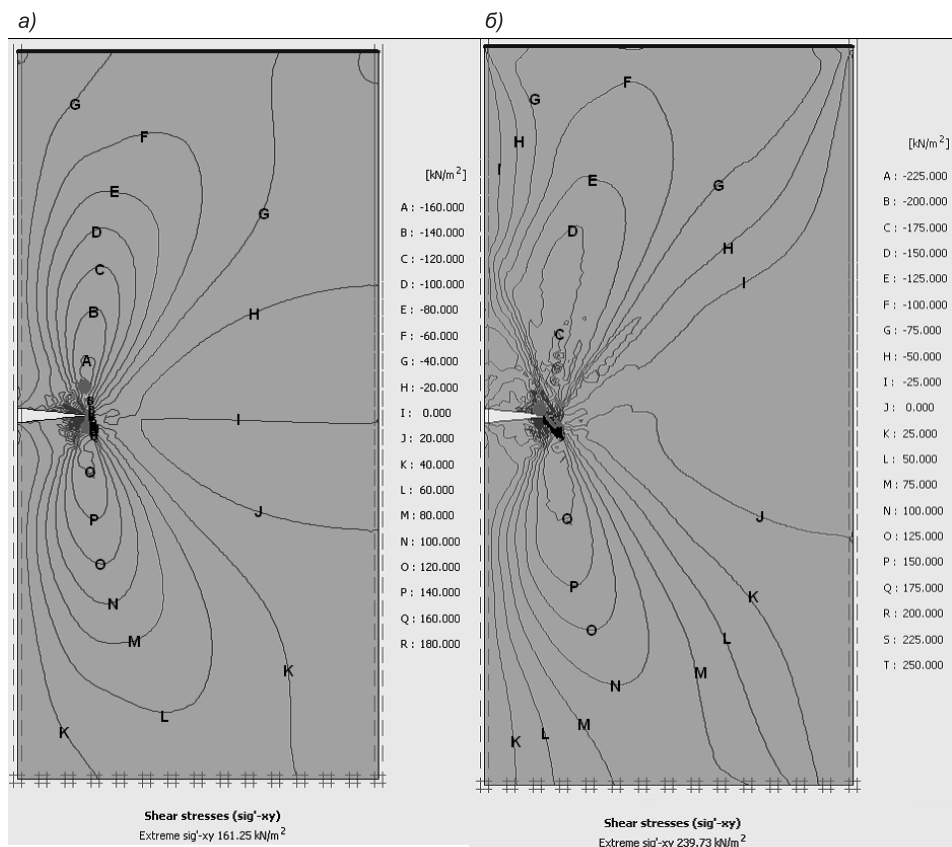


Рис. 4. Изолинии касательных напряжений τ_{xy} в расчетной области при действии давлений $q_0 = 0,4 \text{ МН/м}^2$ (а) и $0,8 \text{ МН/м}^2$ (б)

т.е. эффект уплотнения здесь распространяется на большее расстояние, чем вдоль оси I—I.

Вдоль оси III—III при действии дополнительных давлений q_0 наблюдается уменьшение начальных напряжений $\sigma_{0y} = 0,3 \text{ МПа}$, т.е. происходит разгрузка с уменьшением значений σ_y до $0,1 \text{ МПа}$. По мере удаления от острия клина степень уменьшения начальных напряжений σ_{0y} снижается; при давлениях $q_0 = 0,2 \text{ МН/м}^2$ зона разгрузки вдоль оси III—III простирается от острия клина примерно на $(1,5...2,0) l$, а при $q_0 = 0,8 \text{ МН/м}^2$ — до границ расчетной области, имея форму тупого клина с острием, касающемся острия внедряемого клина. Как известно, при разгрузке «модуль деформации» E_{uy} в $3\div 5$ раз превышает значения E_{0y} и сохраняет эти значения при повторном нагружении основания, например, при надстройке здания, так что в зоне разгрузки значения $E_{uy} = (3..5) \times E_{0y} = (3..5) \cdot 4 \text{ МПа}$.

Значения E_x , установленные по зависимости (2), при действии давлений q_0 у острия клина уменьшаются до значений $\sim 0,5 E_{0y}$, а по мере удаления от острия клина вдоль оси III—III увеличиваются до значений $E_x > 10 E_{0y}$, так что в горизонтальном направлении вдоль оси III—III среда почти не сжимается.

Выводы. При внедрении в упрочняющуюся пластическую среду практически несжимаемого клина (например, песчано-цементного раствора) в области его влияния возникает сложное напряженно-деформированное состояние с областями уплотнения за счет только обжатия материала среды или — только сдвигов, или — при совместном действии

обжатия и сдвигов. Перед острием клина среда находится в предельном состоянии Кулона – Мора. Размеры области предельного состояния увеличиваются по мере увеличения давлений со стороны клина.

При сложном напряженном состоянии в различных зонах уплотняемой области наблюдается различная степень уплотнения среды, перед клином возникает зона разгрузки.

При внедрении жесткого клина в упрочняющуюся пластическую среду, каковой являются нескальные природные грунты, над и под клином образуются области дополнительного неравномерного сжатия с максимальным уплотнением среды на расстоянии $(1...1,5) l$ в обе стороны от граней клина. Модули деформации уплотненного материала среды при этом увеличиваются в 4–5 раз по сравнению с их начальным значением.

Границы области уплотнения грунта вертикальными напряжениями проходят от острия клина примерно под углом 45° к вертикали, отделяя область уплотнения от области разгрузки, которая формируется перед клином.

Размеры области разгрузки зависят от величины дополнительного гидростатического давления q_0 , увеличивающего размеры клина: с увеличением этих давлений размеры области разгрузки увеличиваются. Модули деформации $E_{\text{из}}$ в этой области соответствуют фазе разгрузки грунта, поэтому сжимаемость его при повторном нагружении (например, при надстройке здания) будет в 3–5 раз меньше изначальной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. № 211909 РФ. Способ уплотнения грунта [Текст] / А. В. Лубягин, В. С. Миرون : Оpubл. 1997 ; Бюл. № 8.
2. О с и п о в, В. И. Уплотнение и армирование слабых грунтов методом «геокомпозит» [Текст] / В. И. Осипов, С. Д. Филимонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2002. — № 5. — С. 15–21.
3. Plaxis. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses : Руководство пользователя. Версия 8 [Текст]. — Нидерланды : Дельфтский технологический ун-т, 2002.

ЛУБЯГИН А. В., инж.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

САВКОВ П. А., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КРИВОРОТОВ А. П., д-р. техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 27.10.09

Lubyagin A. V., engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

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

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

STRESS-STRAIN STATE OF PLASTIC MEDIUM COMPRESSED BY EXPANDING WEDGE

The results of calculation of stress-strain state of compressing plastic medium subjected to the influence of expanding wedge are given. It is ascertained that in this case the calculated area obtained the qualities of the heterogeneous and anisotropic medium in straining. Essential indices increasing of area deforming compressed by expanding wedge is determined.

The obtained results allow to take into account strain properties of geocomposite media more well — founded as well as of soil footings and massives with foreign bodies introduced in them.

Key words: plastic model of footing, compressing by a wedge, compressed medium indices.

REFERENCES

1. Patent № 211909. The way of soil compressing [Text] / A. V. Lubyagin, V. S. Mironov : Edited 1997 ; Buleten N 8.
 2. Osipov, V. I. Compressing and reinforcing weak soils by the geocomposite method [Text] / V. I. Osipov, S. D. Filimonov // Footings foundations and Soil Mechanics. — 2002. — N 5. — P. 15–21.
 3. Plaxis. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. Instruction manual. Version 8 [Text]. — The Netherlands : Delft Technological University, 2002.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.51/55:666.941.2

В. Н. ЗЫРЯНОВА, Е. В. ЛЫТКИНА, Г. И. БЕРДОВ

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВВЕДЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Рассмотрены энергетические критерии для определения состава минеральных наполнителей, используемых для повышения механической прочности и водостойкости магнезиальных вяжущих веществ. Их оптимальная добавка зависит от дисперсности материала. Введение волластонита или диопсида с удельной поверхностью 2000...3500 см²/г обеспечивает существенные повышения механической прочности и водостойкости магнезиальных вяжущих веществ.

Ключевые слова: магнезиальные вяжущие вещества, минеральные наполнители, механическая прочность, водостойкость, диопсид, волластонит, микрокремнезем, известняк.

Потребность в вяжущих строительных материалах в настоящее время велика и трудно удовлетворить ее только за счет широко применяемого портландцемента. Поэтому целесообразно в малоэтажном жилищном и сельскохозяйственном строительстве использовать более дешевые вяжущие вещества. Таковыми могут быть магнезиальные и композиционные магнезиальные вяжущие, полученные из местного сырья и магнийсодержащих техногенных отходов.

Магнезиальные вяжущие вещества являются активным компонентом строительных композиционных материалов: магнезиальных растворов, штукатурок, ксилолитовых масс, искусственного мрамора, пеномагнезита, декоративных облицовочных плит.

Традиционные магнезиальные вяжущие вещества, такие как каустический магнезит или доломит, обладают рядом несомненных достоинств. Они имеют нейтральный химический состав продуктов твердения, достаточно высокую механическую прочность. Вместе с тем для них характерна низкая водостойкость и усадочные явления при твердении, что ограничивает их применение.

Большую актуальность представляет создание водостойких композиционных магнезиальных вяжущих материалов с вовлечением в производство как местных техногенных, так и природных силикатов магния. В результате целенаправленного управления процессами гидратации и оксхлоридообразования формирования водостойких кристаллизационных структур в системе MgO–MgCl₂–силикат Mg возможно получение композиционных магнезиальных вяжущих материалов с одновременным повышением прочности, водостойкости и улучшением других эксплуатационных характеристик.

Для повышения водостойкости и уменьшения усадки при твердении в состав магнезиальных вяжущих вводят минеральные добавки (наполнители). К их числу относят природные силикаты магния, такие как волластонит, диопсид, цеолиты, а также известняк, микрокремнезем, доменные гранулированные шлаки, зола ТЭЦ и т.д. [1].

В композиционном материале, образующемся при введении в магнезиальное вяжущее минеральных добавок, положительное действие наполнителей на механическую прочность может быть обусловлено торможением развития микротрещин и армированием структуры при игольчатой форме частиц наполнителя. С этой точки зрения важно определение оптимальной концентрации наполнителя и использование в качестве такого материала, имеющего игольчатую форму частиц.

В композиционном материале можно выделить три основных элемента структуры, которые определяют его механическую прочность: частицы твердого наполнителя, связующее вещество и контактную зону между ними. Разрушение будет происходить по наиболее слабым элементам структуры. Природные минеральные наполнители отличаются, как правило, высокой прочностью. Наиболее вероятно, что слабым местом структуры композиционного материала будет контактная зона или связующее вещество.

При введении минерального наполнителя энергетическое воздействие его поверхности будет оказывать существенное влияние как на контактную зону, так и на само связующее вещество, в результате чего состав продуктов гидратации и их свойства могут существенно изменяться [1].

Энергетическое действие минеральных добавок во многом зависит от энергии их кристаллических решеток. Величина энергии кристаллической решетки определяет такие свойства соединений, как способность к образованию прочных гетерополярных кристаллических решеток, механическую прочность, термическую стойкость, способность к растворению в воде [2, 3], а также взаимодействие с вяжущими веществами.

Важными термодинамическими характеристиками веществ являются также энтальпия образования и энтропия. Обычно эти свойства относят к одному молю вещества, однако при сопоставлении свойств веществ, у некоторых молярная масса сильно различается, целесообразнее использовать удельные значения величин.

В качестве критериев оценки эффективности микронаполнителей могут быть рассмотрены такие их характеристики, как удельные энтальпии образования соединений, энергия кристаллической решетки и энтропия (табл. 1).

Близкими к MgO значениям удельной энтальпии образования, энергии кристаллической решетки и энтропии обладают волластонит, диоп-

Таблица 1

Удельные термодинамические свойства веществ

Соединения	Энтальпия образования, кДж/г	Энергия решетки, кДж/г	Энтропия, Дж/г·К
MgO	15,05	95,7	0,67
CaO	11,35	60,7	0,71
$CaCO_3$ (кальцит)	12,1	—	0,93
SiO_2	15,18	216,2	0,70
$CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ диопсид	14,80	154,3	0,66
$CaO \cdot 2SiO_2$ волластонит	14,10	—	0,71
$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ серпентинит	15,61	—	0,83
Al_2O_3	16,42	36,27	0,50

сид. Эти материалы, а также CaCO_3 и микрокремнезем исследованы в качестве наполнителей магниальных вяжущих веществ.

В данной работе при исследовании композиционных вяжущих веществ в качестве добавок использовали диопсид, волластонит, измельченный известняк, микрокремнезем.

Для затворения смесей брали раствор хлорида магния с плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$. Соотношение $\text{MgO}:\text{MgCl}_2$ в тесте принималось таким, чтобы нормальная густота (НГ) теста была примерно одинаковой и равной 48...52 %, что соответствует синтезу стабильных гидроксхлоридов магния. Из теста формовались образцы $2 \times 2 \times 2 \text{ см}$, которые твердели на воздухе и в воде в течение 1, 7, 28 и более суток. После этого образцы испытывались для определения предела прочности при сжатии, плотности и водостойкости.

В работе использовался измельченный волластонит Синюхинского месторождения (рудник «Веселый», Республика Алтай). Его химический состав, мас. %: 53,4 SiO_2 ; 34,7 CaO ; 0,3 MgO ; 3,1 Al_2O_3 ; 2,4 Fe_2O_3 , Δm — 6,4. Удельная поверхность порошка составляла $3550 \text{ см}^2/\text{г}$, среднеобъемный размер частиц был равен 28,8 мкм. Величины, характеризующие дисперсность материалов, определены методом лазерной гранулометрии [4].

Диопсид представлял собой измельченную породу из отходов Алданского месторождения флогопитовых руд. Химический состав диопсида, мас. %: 50,3 SiO_2 ; 24,6 CaO ; 15,6 MgO ; 3,4 Al_2O_3 ; 5,8 Fe_2O_3 ; 0,3 R_2O . Его удельная поверхность составляла $2090 \text{ см}^2/\text{г}$, среднеобъемный размер частиц — 38,6 мкм.

Порошок известняка, полученный от АО «Искитимский известняковый карьер» (Новосибирская область), имел состав, мас. %: 0,5 SiO_2 ; 54,7 CaO ; 0,5 MgO ; 0,2 Al_2O_3 ; 0,1 Fe_2O_3 , Δm — 40,4. Его удельная поверхность составляла $6440 \text{ см}^2/\text{г}$, среднеобъемный размер зерен был равен 8,7 мкм.

Микрокремнезем, образующийся в производстве элементарного кремния и полученный от ОАО «Кузнецкие ферросплавы», имел химический состав, мас. %: 94,0 SiO_2 ; 0,08 CaO ; 0,3 MgO ; 0,1 Al_2O_3 ; 0,02 Fe_2O_3 , Δm — 1,5. Его удельная поверхность составляла $6600 \text{ см}^2/\text{г}$, среднеобъемный размер частиц был равен 7,9 мкм. Таким образом, известняк и микрокремнезем были значительно более мелкодисперсными, чем диопсид и волластонит.

Композиционные магниальные вяжущие готовились следующим образом: MgO и добавки смешивались в соотношениях 20:80, 30:70, 40:60, 60:40, 70:30, 80:20 % и затворялись раствором хлорида магния. Результаты испытаний приведены в табл. 2–5. В таблицах указан состав вяжущих, плотность образцов после твердения в течение 28 сут на воздухе. Для оценки упрочняющего действия минеральных наполнителей при твердении на воздухе приведено отношение прочности опытных образцов

Таблица 2

Свойства образцов магниального вяжущего, содержащего волластонит

Содержание MgO , мас. %	Содержание волластонита, мас. %	Средняя плотность, г/см^3	Относительная прочность при сжатии, МПа, при твердении			
			на воздухе, $R_{\text{оп}}/R_{\text{конт}}$		в воде, $R_{\text{вода}}/R_{\text{возд}}$	
			28 сут	60 сут	28 сут	90 сут
80	20	1,52	1,79	1,16	0,83	1,42
60	40	1,48	1,70	1,16	0,87	1,92
40	60	1,79	2,64	1,41	0,59	1,55
20	80	1,82	2,70	3,14	1,28	0,79

($R_{оп}$) к аналогичному значению прочности контрольных (бездобавочных) образцов. Для оценки изменения водостойкости при введении минеральных наполнителей в таблицах указаны отношения значений прочности при сжатии образцов в воде и образцов того же состава, твердевших такое же время на воздухе ($R_{возд}$). Это отношение $R_{вод}/R_{возд}$, в сущности, и представляет коэффициент водостойкости составов.

Введение волластонита в количестве 60...80 мас. % приводит к увеличению прочности и водостойкости вяжущего (табл. 2).

Следует отметить, что после длительного хранения в воде (90 сут) образцы композиционного магнезиального вяжущего, содержащего волластонит, не утрачивают прочность, а в ряде случаев увеличивают ее. Это может быть обусловлено образованием более прочных структур твердения вследствие действия адсорбционного поля добавки в процессе гидратации MgO , а также некоторым проявлением вяжущих свойств волластонита в рассмотренных условиях.

Таким образом, использование измельченного волластонита позволяет получить композиционное магнезиальное вяжущее, обладающее высокой механической прочностью и водостойкостью. При этом существенно уменьшается усадка образцов при твердении. Оптимальная дозировка волластонита составляет 60...80 % при его удельной поверхности 3000...4000 $см^2/г$. Коэффициент водостойкости в среднем равен $K_p = 0,8...1,1$.

Введение в состав магнезиального вяжущего диопсида в количестве 60...80 % приводит к возрастанию средней плотности образцов до 2,0...2,1 $г/см^3$ и прочности (см. табл. 3).

Таблица 3

Свойства образцов магнезиального вяжущего, содержащего диопсид

Содержание MgO , мас. %	Содержание диопсида, мас. %	Средняя плотность, $г/см^3$	Относительная прочность при сжатии, МПа, при твердении			
			на воздухе, $R_{оп}/R_{конт}$		в воде, $R_{вода}/R_{возд}$	
			28 сут	60 сут	28 сут	90 сут
80	20	1,30	0,85	0,54	0,53	1,60
60	40	1,70	1,47	0,82	0,53	1,67
40	60	1,80	1,47	0,93	0,62	1,65
20	80	2,10	2,17	1,36	0,60	1,33

Введение диопсида обеспечивает увеличение прочности продуктов твердения магнезиального вяжущего. Оптимальная добавка диопсида, как и в случае волластонита, составляет 60...80 %. Наличие диопсида в составе композиционного магнезиального вяжущего способствует повышению водостойкости образцов. После 90 сут пребывания в воде их прочность снижается незначительно. Коэффициент водостойкости в среднем равен $K_p = 0,66...0,75$.

Свойства магнезиальных вяжущих, содержащих в качестве тонкодисперсного наполнителя известняк, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Свойства образцов магнезиального вяжущего, содержащего известняк

Содержание MgO , мас. %	Содержание известняка, мас. %	Средняя плотность, $г/см^3$	Относительная прочность при сжатии, МПа, при твердении			
			на воздухе, $R_{оп}/R_{конт}$		в воде, $R_{вода}/R_{возд}$	
			28 сут	60 сут	28 сут	90 сут
80	20	1,10	0,81	2,20	0,28	0,04
60	40	1,12	1,17	2,71	0,31	0,07
40	60	1,16	1,38	2,38	0,66	0,11
20	80	1,43	0,47	1,84	2,08	0,20

При содержании известняка 80 % и более значение прочности при сжатии достаточно низкое — ниже, чем у магнезиального вяжущего без добавок. Однако по мере уменьшения количества добавки до 40 мас.% прочность образцов в возрасте 28 и 60 сут твердения увеличивается. Вместе с тем, эти значения прочности много ниже, чем в случае когда в качестве наполнителей используются волластонит и диопсид. По-видимому, оптимальная добавка известняка составляет около 40 мас.%. Значения прочности при твердении в воде заметно ниже соответствующих значений после твердения на воздухе, т.е. водостойкость таких образцов невысока. В случае введения известняка концентрация добавки, обеспечивающая наиболее высокое значение прочности (40 мас.%), примерно в 2 раза меньше оптимальной концентрации волластонита. Межфазное взаимодействие частиц минерального наполнителя с жидкостью затворения и продуктами гидратации развивается на поверхности частиц добавки. Так как удельная поверхность частиц известняка ($6440 \text{ см}^2/\text{г}$) почти в 2 раза больше удельной поверхности порошка волластонита ($3550 \text{ см}^2/\text{г}$), то равная величина суммарной поверхности частиц в случае известняка будет достигаться при вдвое меньшей их концентрации, что и фиксируется по результатам взаимодействия, определяющего прочность композиционного магнезиального вяжущего.

Свойства композиционных магнезиальных вяжущих веществ, содержащих микрокремнезем, приведены в табл. 5.

При твердении в воде образцы с содержанием микрокремнезема начали растрескиваться и рассыпаться на 7...10 сут. Но при твердении на воздухе образцы показали достаточно высокую прочность.

Низкая водостойкость образцов, содержащих микрокремнезем, возможно, обусловлена образованием гидросиликатов и геля кремнекислоты при длительном воздействии с водой, что сопровождается увеличением объема.

Таким образом, формирование прочных водостойких структур в композиционном магнезиальном вяжущем определяется природой и активностью микронаполнителя, формированием при гидратационном твердении преимущественно водостойких гидроксохлоридов магнезия. Эффективность действия веществ, составляющих микронаполнитель, определяется близостью их удельной энтальпии образования, энтропии, энергии кристаллической решетки к аналогичным характеристикам оксида магнезия. К числу эффективных микронаполнителей композиционных вяжущих веществ относятся диопсид, волластонит. Влияние микронаполнителей на свойства композиционного вяжущего обусловлено их кристаллохимической природой и дисперсностью. При среднеобъемном размере зерен заполнителя, равном 30...40 мкм (волластонит, диопсид), оптимальная концентрация его составляет 70...80 мас.%. При среднеобъемном размере зерен 10 мкм и менее (известняковая мука, микрокремнезем) оптимальная концентрация заполнителя снижается до 40 мас.%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верещагин, В. И. Водостойкие смешанные магнезиальные вяжущие [Текст] / В. И. Верещагин, В. Н. Смирнская, С. В. Эрдман // Стекло и керамика. — 1997. — № 11. — С. 33–37.

Таблица 5

Свойства образцов магнезиального вяжущего, содержащего микрокремнезем

Содержание MgO, мас. %	Содержание микрокремнезема, мас. %	Средняя плотность, г/см ³	Прочность при сжатии при твердении на воздухе, МПа, через	
			28 сут	60 сут
80	20	1,10	0,94	1,84
60	40	1,12	1,60	1,82
40	60	1,16	1,70	2,14
20	80	1,43	1,89	0,63

2. Ферсман, А. Е. Геохимия [Текст] / А. Е. Ферсман. — Л. : Госхимтехиздат, 1933. — Т. 1. — 216 с.
3. Ферсман, А. Е. Геохимия [Текст] / А. Е. Ферсман. — Л. : ОНТИХимтеорет, 1937. — Т. 3. — 194 с.
4. Бердов, Г. И. Контроль дисперсности керамических порошков методом лазерной гранулометрии [Текст] / Г. И. Бердов, В. А. Лиенко, П. М. Плетнев, Н. Г. Ефанова // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 8. — С. 44–46.

ЗЫРЯНОВА В. Н., канд. техн. наук, доц.; E-mail: VNZyr@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

БЕРДОВ Г. И., д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки и техники РФ

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 11.01.10

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

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

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

INCREASE OF MECHANICAL DURABILITY AND WATER RESISTANCE MAGNESIAL KNITTING SUBSTANCES AT INTRODUCTION MINERAL FILLERS

Power criteria of definition of structure of the mineral fillers used for increase of mechanical durability and water resistance magnesial of knitting substances are considered. Their optimum additive depends on dispersion of a material. Introduction wollastonite or diopside with a specific surface of 2000–3500 sm^2/g provides essential increases of mechanical durability and water resistance magnesial knitting substances.

Key words: magnesial knitting substances, mineral filler, mechanical durability, water resistance, diopside, wollastonite, silica fume, limestone.

REFERENCES

1. Vereschagin, V. I. Waterproof mixed magnesial knitting [Text] / V. I. Vereschagin, V. N. Smirenskaja, S. V. Erdman // Glass and ceramics. — 1997. — N 11. — P. 33–37.
2. Fersman, A. E. Geochemistry [Text] / A. E. Fersman. — Leningrad : Stachemtech-publish, 1933. — Т. 1. — 216 p.
3. Fersman, A. E. Geochemistry [Text] / A. E. Fersman. — Leningrad : ONTICHimteoret, 1937. — Т. 3. — 194 p.
4. Berdov, G. I. The control of dispersion of ceramic powders a method laser granulometrii [Text] / G. I. Berdov, V. A. Lienko, P. M. Pletnev, N. G. Efanova // Refractory and technical ceramics. — 2004. — N 8. — P. 44–46.

УДК 666.903:691.32

И. И. ГОРЮНОВ, И. И. МАРТЫНОВ

НОВОЕ В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА НЕСОРТИРОВАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Предложена новая технологическая схема приготовления бетонной смеси на несортированных заполнителях, позволяющая получать низкомарочный бетон (до марки 300) для обеспечения нужд строительства на различных строительных объектах и на начальном этапе строительства избавляться от необходимости возведения гравийно-сортировочного хозяйства, что уменьшает материальные и транспортные затраты.

Ключевые слова: технологическая схема, приготовление бетонной смеси, использование несортированных заполнителей, способ автоматической коррекции.

В настоящее время для приготовления бетонной смеси в условиях пионерного строительства вынужденно приходится использовать несортированный заполнитель с местных месторождений и в этом случае для гарантированного получения бетона заданной марки требуется большой перерасход цемента, что существенно увеличивает общие материальные затраты. Подход к постановке решения подобной задачи стал возможен с появлением в последнее время технических средств оперативного контроля качества заполнителей, а также прогноза контроля качества заполнителей, добываемых из определенного месторождения.

В качестве основного параметра для оценки качества несортированного заполнителя предлагается использовать прогнозируемый гранулометрический состав, т.е. совокупность данных о заполнителе, полученных непосредственно на месторождении. Сбор этих данных стал возможен с появлением современных средств для проведения геофизических исследований, в частности георадаров серии «Лоза». Их использование является наиболее совершенной техникой получения разрезов грунта, не требующей бурения или раскопок (используется всего одна реперная (опорная) скважина) [1, 2]. Таким образом, после первичной обработки результатов появляется возможность составить геологическую карту месторождения, дающую представление о номинальных свойствах заполнителя (крупность фракций, наличие песчаных линз и т.д.). Также георадар позволяет получать информацию об уровне грунтовых вод, на основе которой можно сделать прогноз теоретической влажности заполнителя [2]. На основе полученных с месторождения данных появляется возможность разработки новой технологической схемы приготовления бетонной смеси на несортированных заполнителях.

Оператор бетоносмесительного узла имеет прямую связь с месторождением заполнителей, на котором было произведено георадарное обследование и картирование, тем самым управляя поставками заполнителя определенной фракции для приготовления требуемой производством мар-

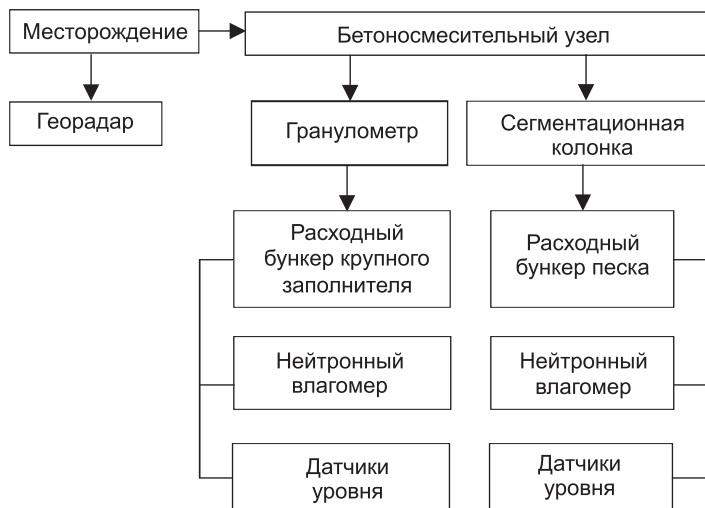


Рис. 1. Структурная блок-схема процесса определения и контроля состава и свойств несортированных заполнителей

ки бетона. Подобная схема позволяет получать низкомарочный бетон (до марки 300) для обеспечения нужд пионерного строительства на различных строительных объектах.

На рис. 1 схематично изображен процесс определения и контроля состава и свойств несортированных заполнителей. Непосредственно на месторождении, где производится добыча заполнителей для приготовления бетонной смеси, установлен георадар, который дает представление о номинальных свойствах заполнителя (крупность фракций, наличие песчаных линз и т.д.) и информацию об уровне грунтовых вод, на основе которой можно сделать прогноз теоретической влажности заполнителя. Затем грунт транспортируется непосредственно на бетоносмесительный узел (БСУ), где производится более точное определение свойств заполнителей при помощи соответствующих приборов [2, 3].

Для расширения диапазонаготавливаемых марок бетона с использованием вышеуказанного метода разработан способ автоматической коррекции состава бетонной смеси. Он обеспечивает возможность приготовления бетонной смеси на несортированном заполнителе при наличии одной корректирующей фракции — песка (предварительный контур коррекции), обеспечивая при этом повышение точности соблюдения заданной рецептуры смеси и снижение коэффициента вариации прочности готовых изделий в среднем на 8...10 %, что позволит на 10...12 %

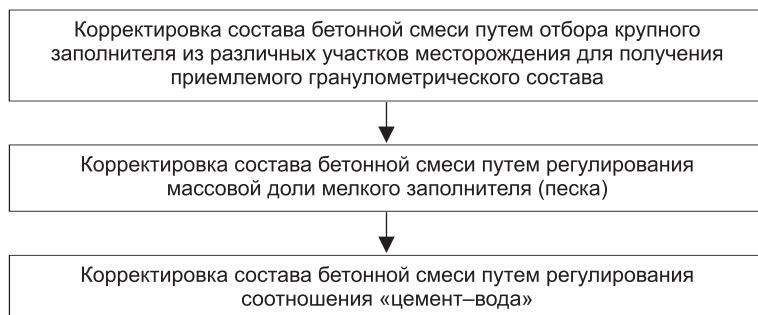


Рис. 2. Основные этапы последовательной коррективной коррекции состава бетонной смеси

снизить нормативный расход цемента на приготовление 1 м³ бетонной смеси¹ [4].

Предлагается реализовать модель последовательной поэтапной корректировки состава бетонной смеси, изображенную на рис. 2.

Первый этап корректировки будет заключаться в отборе крупного заполнителя из различных участков месторождения (согласно полученной геологической карте) для получения требуемых свойств заполнителя (крупность, пустотность и т.д.) Затем после транспортировки заполнителя на БСУ возможен второй этап корректировки, имеющий своей целью компенсировать не удовлетворяющие рецептуре бетона свойства крупного заполнителя путем регулирования массовой доли мелкого заполнителя (песка). И наконец, для окончательной корректировки состава бетонной смеси возможен третий этап, предусматривающий регулирование соотношения «цемент — вода».

Таким образом, предложенная технологическая схема также позволяет на начальном этапе строительства избавиться от необходимости возведения гравийно-сортировочного хозяйства, что влечет за собой колоссальное уменьшение материальных и транспортных затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынов, И. И. Прогноз качества заполнителей бетонной смеси на месторождениях при помощи георадарного метода [Текст] / И. И. Мартынов // Сб. науч. докл. науч.-практич. конф. «Научно-техническое творчество молодежи — путь к обществу, основанному на знаниях». — М.: МГСУ, 2009.
2. Беркут, А. И. Аппаратурное и информационное обеспечение технологии приготовления товарного бетона на несортированных заполнителях [Текст] / А. И. Беркут, И. И. Мартынов // Технологии бетонов. — 2007. — № 3.
3. Беркут, А. И. Исследование технологического процесса контроля гранулометрического состава и влажности сыпучих материалов [Текст] / А. И. Беркут, И. И. Мартынов // Сб. науч. тр. — М.: МГСУ, 2006.
4. Дорф, В. А. АСУ ТП приготовления бетона: обзор. информ. [Текст] / В. А. Дорф, В. А. Славущкий, А. И. Беркут. — М.: Информэнерго, 1983.

ГОРЮНОВ И. И., канд. техн. наук., проф.

Московский государственный строительный университет

МАРТЫНОВ И. И., асп.; E-mail: silverbeard@yandex.ru

Московский государственный строительный университет

Получено после доработки 29.12.09

Goryunov I. I., candidate of technical sciences, professor, Moscow State Civil University, Russia

Martynov I. I., post-graduate student; E-mail: silverbeard@yandex.ru, Moscow State Civil University, Russia

NEW IN TECHNOLOGY OF CONCRETE MIX PREPARATION ON NOT SORTED AGGREGATES

The new technological scheme of concrete mix preparation on not sorted aggregates is offered. Such scheme allows obtaining a low-grade concrete (up to 300 quality class) for maintenance of primary construction needs on various building sites and allows to get rid of necessity of gravel-sorting facility building on the early stage of the construction project that involves enormous reduction of material and transport expenses.

¹ Рульников А. А., Беркут А. И., Гревнин Д. А., Лукьяненко С. С. Способ автоматической коррекции состава бетонной смеси. М.: ВЗИСИ, 1990.

Key words: process scheme, concrete mix preparation, usage of non sorted aggregates, method of automatic correction.

REFERENCES

1. Martynov, I. I. The quality forecast of concrete mix aggregates on the deposits by means of georadar method [Text] / I. I. Martynov // Collection of scientific papers of workshop conference «Sci-tech creativity of youth — the way to knowledge society». — Moscow : MSBU, 2009.
 2. Berkut, A. I. The technology of production of the concrete with multiple-size aggregates [Text] / A. I. Berkut, I. I. Martynov // Concrete technologies magazine. — 2007. — N 3.
 3. Berkut, A. I. Research of technological control process of granulometric composition and humidity of loose materials [Text] / A. I. Berkut, I. I. Martynov // Collection of scientific papers of professorship. — Moscow : MSBU, 2006.
 4. Dorf, V. A. Automatic control system of production technology of concrete preparation : Background information / V. A. Dorf, V. A. Slavutsky, A. I. Berkut. — Moscow : Informenergo, 1983.
-

УДК 691.58:668.3

В. В. ШУТОВА, Т. А. ВЕДЯШКИНА, Т. И. ИВИНКИНА, В. В. РЕВИН

**ПОЛУЧЕНИЕ КЛЕЕВЫХ СОСТАВОВ И МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ
ПОЛИСАХАРИДСИНТЕЗИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ**

Получены клеевые композиции на основе культуральной жидкости бактерии *Leuconostoc mesenteroides*, выращенной на питательной среде, содержащей в качестве источника сахарозы мелассу, которую можно использовать и как основной компонент биоклея и как связующее для производства древесных композиционных материалов. При использовании клеевой композиции, полученной в результате культивирования *L. mesenteroides*, в качестве связующего для прессования материалов их прочность при изгибе составила 17,7 МПа.

Ключевые слова: декстран, *Leuconostoc mesenteroides*, биоклей, биопластик, меласса, древесно-стружечные плиты, клеевая композиция.

Клеевые соединения находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В настоящее время объем производства клеев составляет более 2 млн т в год, из них основная доля приходится на синтетические разновидности. Известно, что синтетические клеи, используемые в промышленности и строительстве, являются экологически небезопасными, а производство клеев биологического происхождения сокращается за счет дороговизны и применения их компонентов в качестве пищевого сырья, а также из-за низкой водо- и биостойкости клеевых соединений. Благодаря развитию биотехнологии, в настоящее время существует возможность расширения производства клеевых композиций биологического происхождения, получаемых посредством микробиологического синтеза [1]. Их можно использовать и как основной компонент биоклея, и как связующее для производства древесных композиционных материалов.

Данная работа посвящена разработке технологии получения клеевых композиций на основе культуральной жидкости бактерии *Leuconostoc mesenteroides*, продуцирующей полисахарид декстран, выращенной на питательной среде, содержащей в качестве источника сахарозы мелассу. Меласса является наиболее важным (по количеству и составу) побочным продуктом свеклосахарного производства (содержит до 50 % сахарозы, а также минеральные вещества и микроэлементы). Молекулы нативного декстрана состоят из цепей, содержащих 10000–20000 глюкозных единиц и более, что соответствует молекулярной массе в несколько десятков миллионов. В зависимости от качества мелассы можно получить от 18 до 48 г/л декстрана при исходной концентрации сахара в среде для бактерии 17,5 % [2].

При получении биоклеев следует проводить модификацию полимера, составляющего клеевую основу, различными химическими веществами. С помощью модификаторов регулируют вязкость клея, адгезию к различным поверхностям, стойкость при воздействии повышенных температур

и т.д. Этот путь улучшения свойств клеевых составов является более простым, чем создание клеев с использованием новых полимеров.

Улучшение свойств полимеров может быть достигнуто путем введения пластификаторов — веществ, изменяющих вязкость и увеличивающих гибкость макромолекул. В связи с этим были изготовлены и изучены свойства клеевых композиций из культуральной жидкости, полученной при росте *Leuconoctoc mesenteroides* СФ-4 на мелассных средах, а также клеев на основе химически модифицированной культуральной жидкости.

Использование культуральной жидкости, полученной при культивировании *L. mesenteroides* в среде на основе мелассы, в качестве основного компонента биоклея нецелесообразно. При однократном нанесении культуральной жидкости, содержащей 40 г/л, склеивания не происходило. При двукратном нанесении адгезия соединяемых поверхностей достигала 160 кПа. Концентрирование культуральной жидкости упариванием позволило увеличить содержание декстрана в 2 раза. В результате использования ее в качестве биоклея приклеиваемость возросла до 180 кПа, но бумага при высыхании клея становилась жесткой и ломалась при изгибе. Для повышения вязкости в культуральную жидкость добавляли карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) в концентрации от 0,5 до 2 %. При выполнении исследований в качестве прототипа использовали культуральную жидкость микроорганизма без модификации.

У клеевых композиций определяли органолептические и физико-механические показатели. Было установлено, что все исследуемые биоклеи имели темно-коричневый цвет с запахом жженого сахара, присущим мелассе. Клеевые композиции имели вязкотекучую консистенцию при комнатной температуре. Время практического высыхания (определяемое по стандартной методике по картону) варьировалось в пределах 40...45 мин. Было установлено, что при хранении не происходило изменения вязкости или расслоения клея и образования гнилостного запаха, что характеризует соответствующую жизнеспособность клея и возможность его длительного хранения.

Таблица 1
**Зависимость
адгезионной прочности
от концентрации КМЦ
в клеевой композиции**

Содержание КМЦ в биоклее, %	Адгезия по полоске бумаги, кПа
0 (контроль)	—
0,5	29
1	78
1,5	98
2	127

Выявлено, что прочность склеивания в значительной степени зависит от концентрации КМЦ в клеевой композиции (табл. 1). При склеивании крафт-бумаги контрольным вариантом наблюдалось расслоение по клеевому шву. Оптимальный показатель прочности склеивания был получен при добавлении в биоклей 2 % КМЦ (прочность соединения достигла 127 кПа), при этом разрыв при испытании клеевого шва происходил по волокнам бумаги.

Повышение адгезии биоклеев на основе технического декстрана с добавлением КМЦ к различным поверхностям в данном случае можно объяснить следующим. В литературных источниках высказывается предположение, что присутствие большого числа отрицательно заряженных гидроксильных групп остатков глюкозы на декстране, по-видимому, обуславливает образование разветвленной структуры, взаимодействующей со склеиваемыми поверхностями [3]. Добавление КМЦ, которая, по сути, является модифицированной целлюлозой, т.е. полимером глюкозы, в свою очередь приводит к образованию дополнительных связей, что сильно повышает прочность клеевого соединения. Кроме того, известно, что КМЦ используется в бумажной промышленности для проклеивания бумажной массы и получения более плотной, структурированной бумаги. Следует отметить, что водный раствор КМЦ в исследуемых концентрациях бумагу не склеивает.

Для увеличения адгезивных свойств использовали химическую модификацию культуральной жидкости при содержании декстрана в ней 18...25 г/л. Чтобы повысить концентрацию полисахарида до 56...65 г/л, ее подвергали упариванию. Клеевые композиции готовили при комнатной температуре без нагревания. Получены различные варианты клеевых композиций, где количество добавленного гидроксида натрия (%) составило: 1) контроль; 2) 0,4; 3) 0,8; 4) 1,6; 5) 4,0...4,6 (на одну гидроксильную группу декстрана приходился 1 моль гидроксида натрия); 6) 4,6; дополнительно было внесено 11,6 % карбоната натрия и 20 % хлоруксусной кислоты. Во все клеевые композиции в качестве пластификатора и антисептиков внесли по 1 % глицерина, буры, борной кислоты.

Первые четыре варианта имели одинаковый темно-коричневый цвет и запах жженой карамели, обусловленные мелассой. Консистенция клеевых композиций изменялась при добавлении модификатора — гидроксида натрия, который способствовал повышению вязкости культуральной жидкости. Вариант с добавлением хлоруксусной кислоты отличался более светлым цветом, густой консистенцией и кисловатым запахом. При этом добавление хлоруксусной кислоты способствовало осветлению мелассы. Известно, что меласса (помимо сахаров) содержит несахара, к которым относятся красящие вещества, альдегиды, эфиры, органические кислоты. Кислый запах обусловлен хлоруксусной кислотой, а более густая, вязкая консистенция — появлением Na-карбоксиметилдекстрана.

Результаты исследования свойств клеев приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства клеевых композиций

Варианты модификации	pH	Масса клевого слоя, г	Адгезионная прочность по полоске бумаги, кПа	Время высыхания, мин	Клеящая способность по полоске ткани, Н/м
Контроль	7,0	9,3	80	15–18	1600
0,4 % NaOH	7,5	9,5	110	18–20	1900
0,8 % NaOH	7,9	9,6	120	19–20	2300
1,6 % NaOH	8,5	9,9	140	19–21	2400
4,0–4,6 % NaOH	9,1	9,6	150	20–21	2700
Обработка 4,6 % NaOH и хлоруксусной кислотой	3,6	9,8	170	15–17	2600

При увеличении концентрации модификатора от 7,0 до 9,1 pH клеевых композиций возрастал. При этом добавление хлоруксусной кислоты резко снижало pH клея до 3,6 за счет дополнительных водородных ионов. Адгезия клеевых композиций зависит от массы клеевого слоя и не зависит от количества вводимого модификатора (см. табл. 2). По внешнему виду поверхность бумаги с равномерно нанесенным слоем клея была пластичной. Нанесение клея в большем количестве (от 9,3 до 9,9 г) приводит к увеличению времени, необходимого для высушивания образца, и к его повышенному расходу, что экономически невыгодно.

Во всех случаях определяли прочность склеивания биоклея при использовании крафт-бумаги. Контрольный вариант показал адгезионную прочность, равную 80 кПа, при этом разрушение происходило по клеевому шву. Видно, что на клеящую способность модифицирующий компонент оказывает значительное влияние. Прослеживалась четкая зависимость прочности клеевого соединения от концентрации гидроксида натрия. Добавление данного модификатора даже в небольшой концентрации (0,4 %) повысило адгезионную прочность до 110 кПа, а разрушение при этом происходило уже по волокнам бумаги. Увеличение количества

NaOH приводило к повышению адгезии. Лучший результат показала проба с хлоруксусной кислотой и карбонатом натрия. Значение адгезионной прочности было выше, чем при использовании только гидроксида натрия, и составило 170 кПа (что почти в 2 раза выше прототипа).

Химизм процесса модификации объясняется, видимо, взаимодействием декстрана со щелочью, что приводит к образованию натриевой соли. Поскольку клеящие свойства культуральной жидкости увеличиваются с повышением концентрации гидроксида натрия, можно предположить, что происходит модификация декстрана и клеток *L. mesenteroides*. Известно, что при повышении pH растворов полисахаридов резко увеличивается вязкость. Щелочной декстран под действием хлорацетата натрия в результате карбоксиметилирования превращается в Na-карбоксиметилдекстран [4]. Увеличение разрушающего усилия в шестой пробе косвенно свидетельствует о том, что образовался натрий-карбоксиметилдекстран, хотя, вероятно, реакция прошла не полностью, поскольку повышение было невысоким.

При испытаниях клеевых композиций в соединениях полосок ткани зависимость адгезионной прочности от концентрации гидроксида натрия, используемого для модификации, выражена сильнее. Вероятно, это связано с тем, что ткань пропитывалась клеями, образуя достаточный прочный клеевой слой. В результате даже при большой нагрузке клеевой шов не разрывался.

В следующей серии экспериментальных исследований определяли зависимость адгезионной прочности при склеивании образцов крафт-бумаги от режимов температур. При этом склеенные образцы вначале выдерживали в течение 5, 10, 15 мин при температурах 30, 60 и 90 °С, затем при комнатной температуре 24 ч и потом определяли физико-механические характеристики (табл. 3).

При температуре 30 °С максимальное значение прочности составило 160 кПа при концентрации NaOH 4,6 % и выдержке 10 мин. Лучший результат соответствует склеиванию при температуре 60 °С и выдержке 10 мин, при этом прочность составила 200 кПа при концентрации NaOH 4,6 %. Склеивание наблюдалось также при температуре 90 °С, причем зависимость адгезионной прочности от концентрации гидроксида натрия сохранялась.

При разработке составов биоклеев необходимо учитывать их долговечность, так как при хранении клеевые композиции подвергаются воздействию неблагоприятных условий окружающей среды (влажность, температура), микроорганизмов, в результате чего могут ухудшаться их характери-

Таблица 3

Определение адгезии (кПа) по полоске бумаги при выдержке при различных температурах

Варианты модификации	Температура при склеивании, °С								
	30			60			90		
	Время выдержки, мин								
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Контроль	70	110	70	90	80	60	90	80	70
0,4 % NaOH	100	100	90	130	140	110	130	130	100
0,8 % NaOH	120	120	100	130	140	110	140	140	120
1,6 % NaOH	140	130	110	160	170	140	150	160	140
4,0–4,6 % NaOH	150	160	130	200	200	150	190	190	150
Обработка 4,6 % NaOH и хлоруксусной кислотой	130	140	100	160	180	100	170	150	120

Таблица 4

Определение физико-механических характеристик клеев после твердения в течение 21 сут

Варианты модификации	Адгезия по полоске бумаги, кПа	Время высыхания, мин
Прототип	100 ± 9	16–18
0,4 % NaOH	120 ± 5	17–19
0,8 % NaOH	140 ± 5	16–18
1,6 % NaOH	160 ± 10	19–20
4,6 % NaOH	180 ± 4	19–21
Обработка 4,6 % NaOH и хлоруксусной кислотой	190 ± 11	17–19

стики. В этой связи были проведены специальные испытания, которые заключались в выдерживании биоклеев при комнатной температуре в течение 21 сут и определении адгезионной прочности (табл. 4).

В результате хранения наблюдается увеличение прочности до максимального значения — 190 кПа при обработке культуральной жидкости хлоруксусной кислотой. В вариантах, модифицированных гидроксидом натрия, адгезия также повысилась от 120 до 180 кПа. При этом время практического высыхания оставалось неизменным и составляло 16...21 мин.

Таким образом, при модификации культуральной жидкости *L. mesenteroides*, содержащей декстран, гидроксидом натрия и хлоруксусной кислотой самые высокие значения разрушающего усилия по полоске бумаги и ткани были получены при использовании 4,6 % гидроксида натрия, а также при последующей обработке этого варианта хлоруксусной кислотой. Значение адгезионной прочности при склеивании бумаги составило 150 кПа (4,6 % NaOH) и 170 кПа (хлоруксусная кислота), по ткани — 2700 Н/м (4,6 % NaOH) и 2600 Н/м (хлоруксусная кислота). Клеящие свойства биоклея при воздействии повышенных температур практически не ухудшаются. Наилучшее значение разрушающего усилия показал вариант, выдержанный при температуре 60 °С в течение 10 мин. Выдерживание модифицированных клеевых композиций в течение 21 сут при комнатной температуре несколько увеличило адгезионную прочность по полоске бумаги, которая составила 190 кПа при обработке гидроксидом натрия и хлоруксусной кислотой.

Биологические клеевые композиции также можно получать при культивировании *Leuconostoc mesenteroides* на средах, содержащих, кроме мелассы, такие отходы пищевой промышленности, как послеспиртовая барда и молочная сыворотка. Выращивание проводили в течение 72 ч на питательной среде, содержащей отходы в соотношении меласса : барда : сыворотка — 1,5:1:2,5 соответственно (концентрация сахарозы в среде 17,5 %). Содержание декстрана составило порядка 28,4 г/л. Полученная культуральная жидкость была использована для замены токсичных для здоровья человека фенолформальдегидных смол, используемых при производстве древесно-стружечных плит. Пресс-массу получали смешиванием 70 г сосновых опилок со 100 мл биоклея, высушивали до влажности

Таблица 5

Влияние температуры и давления прессования на физико-механические свойства композиционных материалов со связующим на основе декстрана, полученных при прессовании в течение 20 мин

Температура, °С	Давление, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Плотность, кг/м³
100	10	13,6 ± 0,7	1026,4 ± 51,3
	12	15,8 ± 0,8	1107,7 ± 55,4
	14	14,3 ± 0,7	1029,8 ± 51,5
120	10	14,2 ± 0,7	1120,0 ± 56,0
	12	16,5 ± 0,8	1130,1 ± 56,5
	14	15,0 ± 0,8	1126,3 ± 56,3
140	10	16,8 ± 0,8	1174,6 ± 58,7
	12	17,2 ± 0,9	1226,3 ± 61,3
	14	17,7 ± 0,9	1246,8 ± 62,3
160	10	9,2 ± 0,5	1083,4 ± 54,2
	12	10,0 ± 0,5	1125,9 ± 56,3
	14	9,6 ± 0,5	1119,2 ± 55,0

10...12 % и подвергали прессованию при давлении от 10 до 14 МПа и температуре от 100 до 160 °С.

У опытных образцов плит были определены плотность и предел прочности при изгибе. Анализ результатов (табл. 5) показывает, что наибольшая прочность была зафиксирована в случае использования при прессовании давления 14 МПа и температуры 140 °С. Это, возможно, объясняется тем, что в данных условиях происходят изменения, охватывающие все компоненты древесины, в том числе и лигнин — наблюдается его частичная деструкция. При увеличении температуры до 160 °С плиты имели запах жженого дерева, темный цвет и наблюдалось расслоение материала.

Плотность биопластиков составила от 1026 до 1246 кг/м³ и удовлетворяла требованиям стандарта (800...1200 кг/м³).

Таким образом, можно утверждать, что полученные клеевые композиции можно использовать для склеивания бумаги и изготовления древесно-стружечных прессованных композиционных материалов, где они выполняют роль связующего элемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К а д и м а л и е в, Д. А. Мицелиальные отходы производства пенициллина как компоненты клея [Текст] / Д. А. Кадималиев, В. В. Ревин, А. К. Ватолин, В. М. Грошев, М. В. Бычков // Антибиотики и химиотерапия. — 2002. — Т. 47, № 12. — С. 3–5.
2. В е д я ш к и н а, Т. А. Оптимизация условий синтеза декстрана при выращивании бактерий *Leuconostoc mesenteroides* на мелассе [Текст] / Т. А. Ведяшкина, В. В. Ревин, И. Н. Гоготов // Прикладная биохимия и микробиология. — 2005. — Т. 41, № 4. — С. 409–413.
3. К и н л о к, Э. Адгезия и адгезивы [Текст] / Э. Кинлок. — М.: Мир, 1991. — 484 с.
4. Я м а ш к и н, С. А. Клеевые композиции на основе модифицированного полусинтетического декстрана [Текст] / С. А. Ямашкин, В. В. Ревин, Е. А. Дуцева // Наука и инновации в Республике Мордовия: матер. III респ. науч.-практ. конф.: Ч. 2. Саранск, 25–26 дек. 2003 г. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. — С. 13–15.

ШУТОВА В. В., канд. биол. наук, доц.

Мордовский государственный университет, г. Саранск

ВЕДЯШКИНА Т. А., канд. биол. наук, ст. препод.

Мордовский государственный университет, г. Саранск

ИВИНКИНА Т. И., асп.

Мордовский государственный университет, г. Саранск

РЕВИН В. В., д-р биол. наук, проф.

Мордовский государственный университет, г. Саранск

Получено 13.10.09

Shutova V. V., candidate of biological sciences, assistant professor, Mordov State University, Republic Mordovia, Saransk, Russia

Vedyashkina T. A., candidate of biological sciences, Mordov State University, Republic Mordovia, Saransk, Russia

Ivinkina T. I., post-graduate student, Mordov State University, Republic Mordovia, Saransk, Russia

Revin V. V., doctor of biological sciences, professor, Mordov State University, Republic Mordovia, Saransk, Russia

RECEPTION OF GLUTINOUS COMPOSITIONS BY USE OF *LEUCONOSTOC MESENTEROIDES* BROTH

In this research have been received glutinous compositions on a basis culture fluid of bacterium *Leuconostoc mesenteroides*, grown up on a nutrient medium solution, containing molasses as a source of sucrose. Durability at a bend has made 17,7 MPa at use of the

glutinous composition received as a result fermentation *L. mesenteroides* as binding for the pressed composite materials.

Key words: dextran, *Leuconostoc mesenteroides*, bioglue, bioplastics, molasses, wood-shaving plates, glutinous compositions.

REFERENCES

1. Cadimaliev, D. A. Mycelium wastes of penicillin production as glue components [Text] / D. A. Cadimaliev, V. V. Revin, A. K. Vatolin, V. M. Groshev and M. V. Bychkov // Antibiotiki and chymioterapiya. — 2002. — Vol. 47, N 12. — P. 3–5.
 2. Vedyashkina, T. A. Optimizing the Conditions of Dextran Synthesis by the Bacterium *Leuconostoc mesenteroides* Grown in a Molasses-Containing Medium [Text] / T. A. Vedyashkina, V. V. Revin and I. N. Gogotov // Applied Biochemistry and Microbiology. — 2005. — Vol. 41, N 4. — P. 409–413.
 3. Cinlok, A. Adhesion and adhesive [Text] / A. Cinlok. — M. : Mir, 1991. — 484 p.
 4. Yamashkin, S. A. Glutinous compositions on the basis of modified semisynthetic dextran [Text] / S. A. Yamashkin, V. V. Revin and E. A. Dutceva // Science and innovations in Republic Mordovia. Chap. 2. Saransk : publishing house of the Mordovian university, 2004. — P. 13–15.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 693.547:624.131

Т. В. БОГАТЫРЕВА, Р. С. МАРЬЯСОВ

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

Обоснована энергосберегающая технология зимнего бетонирования буронабивных свай на примере типового куста из двух буронабивных свай с описанием физической и математической моделей и численной реализации математической модели. Рассмотрены управляемые температурные режимы тепловой обработки бетона (управляемый температурный режим прогрева бетона в оптимальном температурном диапазоне и управляемый температурный режим разогрева и остывания бетона), а также два альтернативных метода прогрева бетона (электрическими нагревательными проводами и электродный прогрев).

Ключевые слова: бетон, зимнее бетонирование, буронабивные сваи, температурные режимы, математическое моделирование, прогноз температурного поля и глубины промерзания грунта, численная аппроксимация дифференциальных уравнений теплопроводности, прочность бетона.

Решение задачи, обозначенной в заглавии статьи, рассмотрим на примере типового куста из двух буронабивных свай в соответствии с расчетной схемой рис. 1.

Цель решения данной задачи — научное обоснование такой технологии зимнего бетонирования буронабивных свай ($A < 2 \cdot R_{\text{ТВ}}$) с рассмотрением двух альтернативных методов прогрева бетона свай (*традиционного* температурного режима с изотермическим выдерживанием бетона и *управляемого* температурного режима тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне) и двух альтернативных способов прогрева бетона (электрическими нагревательными проводами (ЭНП) и электродный прогрев (ЭП)), которые гарантировано позволяют контролировать выполнение нормативных температурных ограничений [1] при существенном (до 40 %) энергосбережении за счет полезного использования тепловой инерции бетона и естественного тепла, аккумулированного в талой части окружающего грунтового массива.

Физическая постановка задачи. Две буронабивные сваи являются типовым кустом, если расстояние между сваями $A < 2 \cdot R_{\text{ТВ}}$, где $R_{\text{ТВ}}$ — радиус теплового влияния прогреваемого бетона буронабивной сваи на окружающий грунт. Прогноз температурного поля и глубины промерзания несвязного или связного грунта основания на момент бурения скважин и начала бетонирования осуществляется: а) для несвязного грунта с помощью алгоритма численной реализации классической задачи Стефана, разрабо-

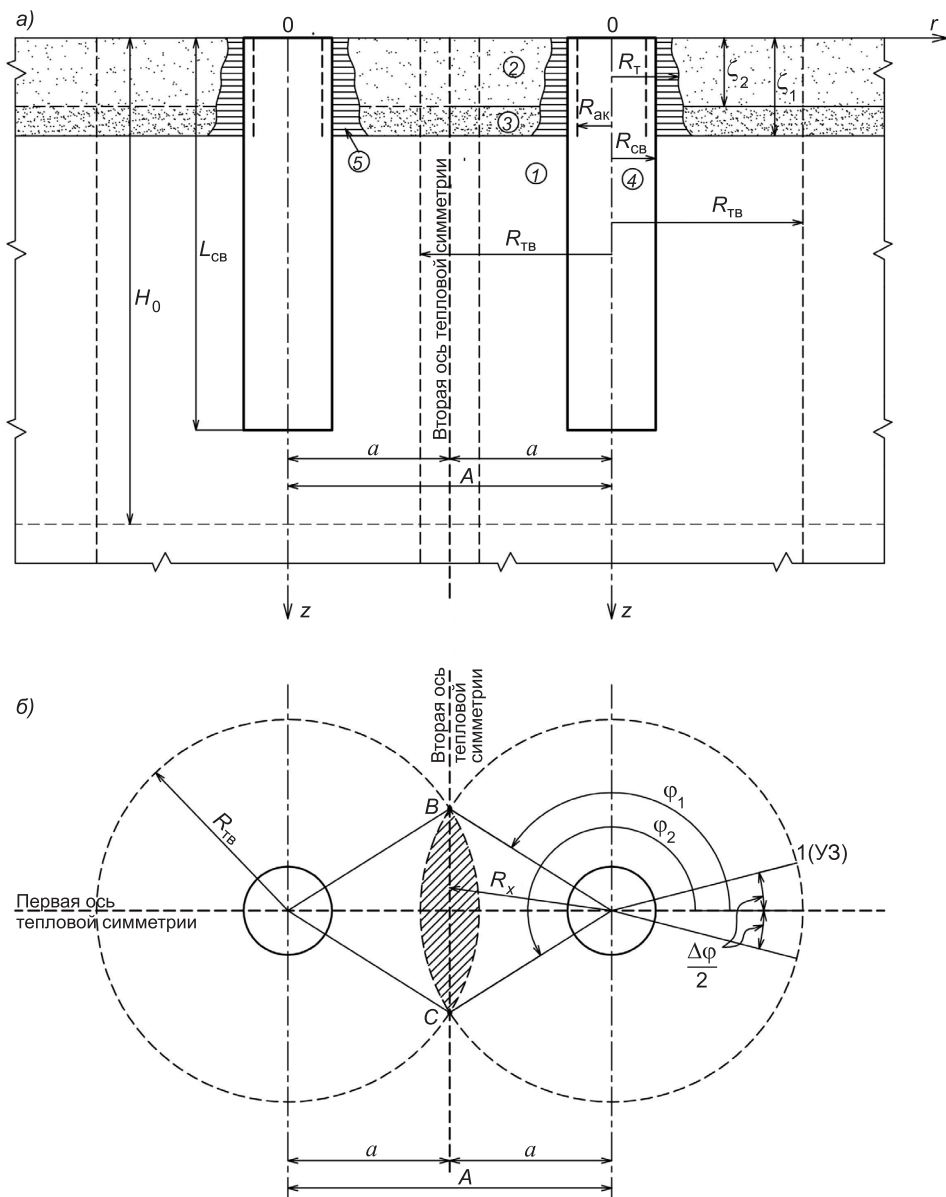


Рис. 1. Расчетная схема типового куста из двух буронабивных свай: а — вертикальный разрез по первой оси тепловой симметрии; б — вид сверху

1 — талый несвязный или талый связный грунт; 2 — мерзлый несвязный или мерзлый связный грунт при его температуре $t_2 < -5^\circ\text{C}$; 3 — мерзлый связный грунт в температурном диапазоне $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$; 4 — бетон буронабивной сваи; 5 — оттаявший мерзлый грунт от теплового воздействия прогреваемого бетона буронабивных свай

танного Ю. А. Поповым [2]; б) для связных грунтов с помощью алгоритма численной адаптации задачи Стефана к связным грунта, разработанного Ю. А. Поповым и Ю. В. Луневым [3]. Результаты решения задачи прогноза температурного поля и глубины промерзания грунта основания являются начальным условием для решаемой в данной статье задачи: $t_{1,2}(z, \tau = 0) = \psi(z)$, где индекс «1» обозначает талый грунт, а индекс «2» — мерзлый. При этом в процессе решения задачи со связным грунтом основания будет показана необходимость дифференциации мерзлого связного грунта при его температуре $t_2 < -5^\circ\text{C}$ и мерзлого связного грунта в температурном диапазоне $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$ с введением индекса «3».

Вполне оправданным и расчетно подтвержденным является допущение о том, что за время бурения скважин, укладки бетонной смеси и выдерживания бетона буронабивных свай изменение глубины *сезонного промерзания* грунта $\zeta_1(\tau_1 = T_1)$ является несущественным, где τ_1 и T_1 — соответственно текущее время, ч, и продолжительность, ч, зимнего периода года от его начала до момента начала бетонирования, при которых решается одномерная задача прогноза температурного поля и глубины сезонного промерзания грунта на момент начала бетонирования. По указанной причине в соответствии с расчетной схемой рис. 1 фазовые процессы в грунте основания учитываются только при оттаивании мерзлого грунта в *радиальном направлении* от теплового воздействия прогреваемого бетона буронабивных свай, при этом

а) радиус границы оттаивания обозначим $R(z, \tau)$, где $\tau \in T_2$, а T_2 — время выдерживания бетона буронабивных свай, ч;

б) в соответствии с общепринятым составом и последовательностью операций технологического процесса зимнего бетонирования буронабивных свай, если на момент начала бетонирования глубина сезонного промерзания грунта менее 1,5 м; но на момент, когда разница отметок поверхности уложенной бетонной смеси и поверхности грунта основания достигает 1,5 м, устанавливают арматурный каркас с вертикально уложенными и закрепленными на нем ЭНП снаружи арматурного каркаса или со струнным электродом, закрепленным на геометрической оси этого каркаса;

в) если глубина сезонного промерзания грунта более 1,5 м, устанавливают арматурный каркас, длина которого равна глубине сезонного промерзания грунта;

г) в случае, если общепринятая длина арматурного каркаса ($L_{ак} = 1,5 \text{ м} \vee L_{ак} = \zeta_1$) не позволяет обеспечить набор бетоном требуемой прочности в заданные в ППР сроки, то рассматриваются варианты увеличения длины арматурного каркаса до его максимально возможной длины ($L_{ак} = L_{св}$).

Искусственный объемно-распределенный источник тепла $[\text{Вт}/\text{м}^3]$ рассчитывается по формуле

$$W_{\text{энп}} = \frac{q_l \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot R_{ак} \cdot L_{ак} \cdot \Delta r}, \quad (1)$$

где q_l — линейный источник тепла от ЭНП, $\text{Вт}/\text{м}$;

L — общая длина ЭНП, найденная теплотехническим расчетом, м;

$R_{ак}$ — радиус арматурного каркаса, м;

Δr — шаг численного интегрирования по оси r ;

$$W_{\text{эп}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot U^2}{\rho(\tau) \cdot \left[\frac{\pi \cdot D_{св}^2}{4} \right] \cdot \ln(R_{ак} / d)}, \quad (2)$$

где U — напряжение тока, В;

$\rho(\tau)$ — изменяющееся во времени удельное электрическое сопротивление бетона, $\text{Ом} \cdot \text{м}$;

$D_{св}$ — диаметр свай, м;

d — диаметр струнного электрода, м.

В соответствии с расчетной схемой рис. 1 рассмотрим в качестве общего случая *связный* грунт, окружающий буронабивные сваи. Заметим, что если грунт *несвязный*, то задачу прогноза температурного поля и глубины сезонного промерзания грунта на момент бурения скважин и на-

чала укладки бетонной смеси можно решать по схеме учета фазовых процессов, в данном случае *оттаивания несвязанной влаги в связных грунтах*, что адекватно решению задачи для несвязного грунта. Что касается связных грунтов, то 85...90 % связанной части влаги в связных грунтах замерзает в температурном диапазоне $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$, а при количественной оценке тепловыделения (теглопоглощения) при фазовых переходах в формулах, связанных с расчетом объемной теплоемкости связных грунтов, учитывающим теплоту фазовых переходов, необходимо перейти к понятию «*эффективная теплоемкость связного грунта*»:

а) при прямой и обратной прогонке по вертикальной оси z

$$C_{\text{эф}}^{n+1/3} = C_2 + abs \left[\frac{i_{\text{л}}^{n+1/3} - i_{\text{л}}^n}{t_{i,j,k}^{n+1/3} - t_{i,j,k}^n} \right] \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{св}}^{n+1/3} \cdot \rho_2; \quad (3)$$

б) при прогонках по координатной оси центрального угла ϕ

$$C_{\text{эф}}^{n+2/3} = C_2 + abs \left[\frac{i_{\text{л}}^{n+2/3} - i_{\text{л}}^{n+1/3}}{t_{i,j,k}^{n+2/3} - t_{i,j,k}^{n+1/3}} \right] \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{св}}^{n+2/3} \cdot \rho_2; \quad (4)$$

в) при прогонках по координатной оси r

$$C_{\text{эф}}^{n+1} = C_2 + abs \left[\frac{i_{\text{л}}^{n+1} - i_{\text{л}}^{n+2/3}}{t_{i,j,k}^{n+1} - t_{i,j,k}^{n+2/3}} \right] \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{св}}^{n+1} \cdot \rho_2, \quad (5)$$

где $i_{\text{л}}$ и $\omega_{\text{св}}$ — соответственно льдистость и влажность за счет незамерзшей связанной части влаги в связных грунтах в долях единицы, рассчитываются с помощью соответствующих уравнений регрессии, аппроксимирующих результаты экспериментальных исследований З. А. Нерсесовой [4];

ε — удельная теплота фазовых переходов, Вт·ч/кг.

Объемно-распределенный сток тепла фазового типа при оттаивании в радиальном направлении связных грунтов при их температуре $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$, приведенный к размерности [град./ч], рассчитывается по формулам:

а) при прямой и обратной прогонке по вертикальной оси z

$$\omega_{\text{ф}}^{n+1/3} = -abs \left[\frac{i_{\text{л}}^{n+1/3} - i_{\text{л}}^n}{\Delta\tau} \right] \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{св}}^{n+1/3} \cdot \rho_2 / C_{\text{эф}}^{n+1/3}; \quad (6)$$

б) при прогонках по координатной оси центрального угла ϕ

$$\omega_{\text{ф}}^{n+2/3} = -abs \left[\frac{i_{\text{л}}^{n+2/3} - i_{\text{л}}^{n+1/3}}{\Delta\tau} \right] \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{св}}^{n+2/3} \cdot \rho_2 / C_{\text{эф}}^{n+2/3}; \quad (7)$$

в) при прогонках по координатной оси r

$$\omega_{\text{ф}}^{n+1} = -abs \left[\frac{i_{\text{л}}^{n+1} - i_{\text{л}}^{n+2/3}}{\Delta\tau} \right] \cdot \varepsilon \cdot \omega_{\text{св}}^{n+1} \cdot \rho_2 / C_{\text{эф}}^{n+1}. \quad (8)$$

До последнего времени при нетрадиционном методе решения научно-технических задач проблемы зимнего бетонирования монолитных строительных конструкций обосновывалась и численно реализовывалась математическая модель динамики температурного поля в бетоне, рассчитывалась средневзвешенная по объему конструкции температура бетона (среднеобъемная температура) и уже с учетом ее величины определялось *интегральное* нарастание прочности бетона. При постановке задачи в

данной статье авторы сочли, что первичной все-таки должна быть количественная оценка процесса нарастания прочности бетона с синхронным расчетом *во всех узлах объемной координатной сетки* сначала температуры бетона на очередном шаге по времени внешнего цикла ($\Delta\tau$) и уже с учетом величины этой температуры — количественная оценка процесса нарастания прочности бетона. Заметим также, что если при прежнем подходе с помощью масштабного температурного поля можно было оценить перегретые или недогретые участки продольных и поперечных сечений конструкций, то с помощью масштабного прочностного поля можно установить участки сечений, в пределах которых бетон не набрал требуемой прочности.

Трехмерная математическая модель динамики температурного и прочностного поля в бетоне типового куста из двух буронабивных свай в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}
 1. \frac{\partial t_6(z, \varphi, r, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_6}{C_6} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_6(z, \varphi, r, \tau)}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 t_6(z, \varphi, r, \tau)}{\partial \varphi^2} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\partial^2 t_6(z, \varphi, r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_6(z, \varphi, r, \tau)}{\partial r} \right] + \omega_{\text{ЭКЗ}}(\tau) + \omega_{\text{ИСК}}(\tau), \\
 &z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{CB}} \wedge \tau \in T_2; \\
 2. \frac{\partial t_{1,2}(z, \varphi, r, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_{1,2}}{C_{1,2}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_{1,2}(z, \varphi, r, \tau)}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 t_{1,2}(z, \varphi, r, \tau)}{\partial \varphi^2} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\partial^2 t_{1,2}(z, \varphi, r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_{1,2}(z, \varphi, r, \tau)}{\partial r} \right], \\
 &\{z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{TB}}) \wedge \tau \in T_2\} \wedge \\
 &\wedge \{z \in (L_{\text{CB}}, H_0) \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{TB}} \wedge \tau \in T_2\} \wedge \\
 &\wedge \{t_1(z, \varphi, r, \tau) > 0^\circ \text{C} \wedge t_2(z, \varphi, r, \tau) < -5^\circ \text{C}\}; \\
 3. \frac{\partial t_3(z, \varphi, r, \tau)}{\partial \tau} &= \frac{\lambda_2}{C_{\text{эф}}} \cdot \left[\frac{\partial^2 t_3(z, \varphi, r, \tau)}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 t_3(z, \varphi, r, \tau)}{\partial \varphi^2} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\partial^2 t_3(z, \varphi, r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t_3(z, \varphi, r, \tau)}{\partial r} \right] - \omega_{\text{ф}}, \\
 &\{z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{TB}}) \wedge \tau \in T_2\} \wedge \\
 &\wedge \{z \in (L_{\text{CB}}, H_0) \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{TB}} \wedge \tau \in T_2\} \wedge \{Gr = 5 \wedge t_3 \in (0, -5^\circ \text{C})\}; \\
 4. -\lambda_6 \frac{\partial t_6(z=0, \varphi, r \in R_{\text{CB}}, \tau \in T_2)}{\partial z} &= K_{\text{пр}} \cdot [t_6(z=0, \varphi, r \in R_{\text{CB}}, \tau) - \theta], \\
 &\varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{TB}} \wedge \tau \in T_2; \\
 5. -\lambda_{1,2} \frac{\partial t_{1,2}(z=0, \varphi, r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{TB}}), \tau)}{\partial z} &= \alpha \cdot [t_{1,2}(z=0, \varphi, r, \tau) - \theta], \\
 &\{[\varphi \leq \varphi_1 \vee \varphi \geq \varphi_2] \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{TB}}) \wedge \tau \in T_2\} \wedge \\
 &\wedge \{[\varphi_1 < \varphi < \varphi_2] \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_x) \wedge \tau \in T_2\}; \\
 6. \frac{\partial t_6(z, \varphi = 0 \vee \varphi = 2 \cdot \pi, r, \tau)}{\partial \varphi} &= 0, \quad z \in L_{\text{CB}}, \quad r \in R_{\text{CB}};
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
& 7. \frac{\partial t_{1,2}(z, \varphi = 0 \vee \varphi = 2 \cdot \pi, r, \tau)}{\partial \varphi} = 0, \\
& \quad [z \in L_{\text{CB}} \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{TB}})] \wedge [z \in (L_{\text{CB}}, H_0) \wedge r \in R_{\text{TB}}]; \\
& 8. \frac{\partial t_{1,2}(z, \varphi, r \geq R_{\text{TB}}, \tau)}{\partial r} = 0, \quad z \in H_0 \wedge (\varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_1); \\
& 9. \frac{\partial t_0(z, \varphi, r = 0, \tau)}{\partial r} = 0, \quad [z \in L_{\text{CB}}, \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_1, r = 0, \tau]; \\
& 10. \frac{\partial t_{1,2}(z, \varphi, r = 0, \tau)}{\partial r} = 0, \quad [z \in (L_{\text{CB}}, H_0), \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_1, r = 0, \tau]; \\
& 11. \frac{\partial t_0(z, \varphi, r = R_x, \tau)}{\partial r} = 0, \quad [z \in L_{\text{CB}} \wedge (\varphi_1 < \varphi < \varphi_2) \wedge r = R_x], \\
& \quad R_x = \frac{A}{\cos(\varphi_x)} + \Delta r, \quad \text{если } \varphi_1 \leq \varphi \leq \pi, \text{ то } \varphi_x = \pi - \varphi; \\
& \quad \text{если } \pi < \varphi \leq \varphi_2, \text{ то } \varphi_x = \varphi - \pi; \\
& 12. \frac{\partial t_{1,2}(z, \varphi, r = R_x, \tau)}{\partial r} = 0, \quad z \in (L_{\text{CB}}, H_0) \wedge (\varphi_1 < \varphi < \varphi_2) \wedge r = R_x, \\
& \quad R_x = \frac{A}{\cos(\varphi_x)} + \Delta r, \quad \text{если } \varphi_1 \leq \varphi \leq \pi, \text{ то } \varphi_x = \pi - \varphi; \\
& \quad \text{если } \pi < \varphi \leq \varphi_2, \text{ то } \varphi_x = \varphi - \pi; \\
& 13. -\lambda_6 \frac{\partial t_0[z, \varphi, r \in (R_{\text{CB}} - \Delta r, R_{\text{CB}}), \tau]}{\partial r} + \\
& \quad + \lambda_2 \frac{\partial t_{2,3}[z, \varphi, r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{CB}} + \Delta r), \tau]}{\partial r} = \varepsilon \cdot \omega_{\text{HCB}} \cdot \rho_2 \cdot \frac{dR_{\text{T}}(z, \tau)}{d\tau}, \\
& \quad [z \in \zeta_1 \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{CB}} + \Delta r)]; \\
& 14. -\lambda_1 \frac{\partial t_1[z, \varphi, r = R_{\text{T}}(z, \tau), \tau]}{\partial r} + \lambda_2 \frac{\partial t_{2,3}[z, \varphi, r = R_{\text{T}}(z, \tau), \tau]}{\partial r} = \\
& \quad = \varepsilon \cdot \omega_{\text{HCB}} \cdot \rho_2 \cdot \frac{dR_{\text{T}}(z, \tau)}{d\tau}, \quad \{z \in (\zeta_2, \zeta_1) \wedge r \in [R_{\text{CB}} + \Delta r, R_{\text{T}}(z, \tau)]\}; \\
& 15. -\lambda_6 \frac{\partial t_0(z, \varphi, r = R_{\text{CB}}, \tau)}{\partial r} + \lambda_1 \frac{\partial t_1(z, \varphi, r = R_{\text{CB}}, \tau)}{\partial r} = 0, \\
& \quad z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge \tau \in T_2; \\
& 16. t_1(z = H_0, \varphi, r, \tau) = \text{const} = t^*, \quad \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{TB}} \wedge \tau \in T_2; \\
& 17. t_0(z, \varphi, r, \tau = 0) = t_{0\text{C}}, \quad z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{CB}}; \\
& 18. R(z, \varphi, r, \tau = 0) = 0, \quad z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{CB}}; \\
& 19. R^{\tau+\Delta\tau}(z, \varphi, r, \tau) = R^{\tau}(z, \varphi, r, \tau) + \Delta R(z, \varphi, r, \tau), \\
& \quad z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{CB}} \wedge \tau \in T_2; \\
& 20. t_{1,2,3}(z, \varphi, r, \tau = 0) = \psi(z), \quad \{z \in L_{\text{CB}} \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in (R_{\text{CB}}, R_{\text{TB}}) \wedge \tau \in T_2\} \wedge \\
& \quad \wedge \{z \in (L_{\text{CB}}, H_0) \wedge \varphi \in 2 \cdot \pi \wedge r \in R_{\text{TB}} \wedge \tau \in T_2\};
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
& 21. \left\{ \begin{aligned} & [N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ив}})] \wedge (j = s_1 \vee j \in s_1), \\ & [N = 0, \tau \in (T_p + T_{\text{ив}}, T_p + T_{\text{ив}} + T_{\text{ост}})]; \end{aligned} \right. \\
& 22. \left\{ \begin{aligned} & [N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ив}}), \\ & p = 2 \cdot k, k = 1, 2, \dots, S] \wedge (j = s_1 \vee j \in s_1), \\ & [N = 0, \tau \in (T_p + T_{\text{yp}}, T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{ост}}), \\ & p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, S] \wedge (j = s_1 \vee j \in s_1); \end{aligned} \right. \\
& 23. \left\{ \begin{aligned} & \left[\left[N = M, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t_6}{\partial \tau} < \left(\frac{\partial t_6}{\partial \tau} \right)_{\max} \right] \wedge (j = s_1 \vee j \in s_1), \right. \\ & \left. \left[N = M - \Delta M, \tau \in T_p \wedge \frac{\partial t_6}{\partial \tau} \geq \left(\frac{\partial t_6}{\partial \tau} \right)_{\max} \right] \wedge (j = s_1 \vee j \in s_1); \right. \\ & N = 0, \tau \in [(T_p + T_{\text{yp}}), (T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{ост}})] \wedge \text{abs} \left(\frac{\partial t_6}{\partial \tau} \right) < \left(\frac{\partial t_6}{\partial \tau} \right)_{\max}, \\ & N = M - \Delta M, \tau \in [(T_p + T_{\text{yp}}), \\ & (T_p + T_{\text{yp}} + T_{\text{ост}})] \wedge \text{abs} \left(\frac{\partial t_6}{\partial \tau} \right) \geq \left(\frac{\partial t_6}{\partial \tau} \right)_{\max} \wedge (j = s_1 \vee j \in s_1). \end{aligned} \right. \quad (9)
\end{aligned}$$

Здесь λ_6, C_6, ρ_6 — теплофизические и тепломеханические характеристики бетона буронабивных свай: коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость, плотность бетона;

характеристики окружающего грунта: с индексом «1» — талый несвязный и талый связный грунты; с индексом «2» — мерзлый несвязный и мерзлый связный грунты — при его температуре $t_2 < -5^\circ\text{C}$; с индексом «3» — мерзлый связный грунт в температурном диапазоне $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$;

ζ_1 и H_0 — соответственно глубина сезонного промерзания грунта основания и глубина нулевой амплитуды годовых колебаний температуры грунта, м;

t^* — температура грунта на глубине $z = H_0$; Gr = 1 и Gr = 5 — признак соответственно несвязного и связного грунтов основания.

К основным элементам математической модели (9) относятся: (9.1) — трехмерное дифференциальное уравнение теплопроводности бетона в цилиндрической системе координат с двумя объемно-распределенными источниками тепла в размерности [град./ч] (источники тепла экзотермического типа и искусственный при прогревном выдерживании бетона; (9.2) — дифференциальное уравнение теплопроводности талого несвязного и связного грунтов, а также *мерзлого несвязного и мерзлого связного грунтов при его температуре $t_2 < -5^\circ\text{C}$* ; (9.3) — дифференциальное уравнение теплопроводности *мерзлого связного грунта в температурном диапазоне $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$* ; (9.4) и (9.5) — ГУ III рода соответственно на утепленной поверхности буронабивной сваи и на неутепленной поверхности окружающего грунтового массива; (9.6) и (9.7) — граничные условия на первой оси тепловой симметрии соответственно для бетона буронабивной сваи и нижерасположенного грунта основания; (9.8) — ГУ на границе зоны теплового влияния прогреваемого бетона буронабивной сваи на прилегающий грунт; (9.9) и (9.10) — условия соответственно на геометрической оси буронабивной сваи и на ее продолжении в грунте под буронабивной свайей; (9.11) и (9.12) — граничные условия на *второй оси тепловой симметрии* соответственно для бетона

бурунабивных свай и нижерасположенного грунта основания; (9.13), (9.14) — классические граничные условия Стефана для расчета динамики границы оттаивания несвязного грунта или несвязанной части влаги в связных грунтах соответственно *на первом и последующих шагах по Δr* при $k \geq s_3$; (9.15) — ГУ IV рода (условие теплового примыкания цилиндрической поверхности бурунабивных свай к окружающему грунту); (9.16) — ГУ I рода снизу (на глубине нулевой амплитуды годовых колебаний температуры грунта); (9.17) и (9.18) — начальные условия для бетона бурунабивных свай; (9.19) — математическая формализация процесса нарастания прочности бетона бурунабивных свай; (9.20) — начальное условие для грунта основания на момент начала бетонирования; (9.21) — алгоритмический диспетчер, «управляющий» традиционным температурным режимом тепловой обработки бетона с его изотермическим выдерживанием; (9.22) и (9.23) — алгоритмические диспетчеры, «управляющие» соответственно *тепловой обработкой бетона* в оптимальном температурном диапазоне, а также ступенчатым температурным режимом *разогрева и остывания бетона*.

Численная аппроксимация трехмерных дифференциальных уравнений (9.1)–(9.3) выполнена по абсолютно устойчивой и абсолютно сходимой неявной разностной схеме *дробных шагов*, которая для трехмерной математической модели (9) на примере (9.1) может быть представлена в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{t_{i,j,k}^{n+1/3} - t_{i,j,k}^n}{\frac{1}{3} \cdot \Delta \tau} &= \frac{\lambda_6}{C_6} \cdot \left[\Lambda_{zz}(t_{i,j,k}^{n+1/3}) + \frac{1}{r^2} \cdot \Lambda_{\varphi\varphi}(t_{i,j,k}^n) + \Lambda_{rr}(t_{i,j,k}^n) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{r} \cdot \frac{t_{i,j,k+1}^n - t_{i,j,k-1}^n}{2 \cdot \Delta r} \right] + \omega_{\text{ЭКЗ}}^{n+1/3} + \omega_{\text{ИСК}}^{n+1/3}, \\ \frac{t_{i,j,k}^{n+2/3} - t_{i,j,k}^{n+1/3}}{\frac{1}{3} \cdot \Delta \tau} &= \frac{\lambda_6}{C_6} \cdot \left[\Lambda_{zz}(t_{i,j,k}^{n+2/3}) + \frac{1}{r^2} \cdot \Lambda_{\varphi\varphi}(t_{i,j,k}^{n+1/3}) + \Lambda_{rr}(t_{i,j,k}^{n+1/3}) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{r} \cdot \frac{t_{i,j,k+1}^{n+1/3} - t_{i,j,k-1}^{n+1/3}}{2 \cdot \Delta r} \right] + \omega_{\text{ЭКЗ}}^{n+2/3} + \omega_{\text{ИСК}}^{n+2/3}, \\ \frac{t_{i,j,k}^{n+1} - t_{i,j,k}^{n+2/3}}{\frac{1}{3} \cdot \Delta \tau} &= \frac{\lambda_6}{C_6} \cdot \left[\Lambda_{zz}(t_{i,j,k}^{n+1}) + \frac{1}{r^2} \cdot \Lambda_{\varphi\varphi}(t_{i,j,k}^{n+2/3}) + \Lambda_{rr}(t_{i,j,k}^{n+2/3}) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{r} \cdot \frac{t_{i,j,k+1}^{n+2/3} - t_{i,j,k-1}^{n+2/3}}{2 \cdot \Delta r} \right] + \omega_{\text{ЭКЗ}}^{n+1} + \omega_{\text{ИСК}}^{n+1}, \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где Λ_{zz} , $\Lambda_{\varphi\varphi}$ и Λ_{rr} — центрально-разностные операторы:

$$\left. \begin{aligned} \Lambda_{zz}[t_{i,j,k}] &= t_{i+1,j,k} - 2 \cdot t_{i,j,k} + t_{i-1,j,k} / \Delta z^2; \\ \Lambda_{\varphi\varphi}[t_{i,j,k}] &= t_{i,j+1,k} - 2 \cdot t_{i,j,k} + t_{i,j-1,k} / \Delta \varphi^2; \\ \Lambda_{rr}[t_{i,j,k}] &= t_{i,j,k+1} - 2 \cdot t_{i,j,k} + t_{i,j,k-1} / \Delta r^2; \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Введем обозначения: $R_z = \lambda_6 \cdot \Delta \tau / (3 \cdot C_6 \cdot \Delta z^2)$; $R_\varphi = \lambda_6 \cdot \Delta \tau / (3 \cdot C_6 \cdot r^2 \cdot \Delta \varphi^2)$; $R_r = \lambda_6 \cdot \Delta \tau / (3 \cdot C_6 \cdot \Delta r^2)$; $RR_r = \lambda_6 \cdot \Delta \tau / (6 \cdot C_6 \cdot r \cdot \Delta r)$.

Тогда уравнение (9.1) может быть представлено в виде:

$$A_1 \cdot t_{i+1,j,k}^{n+1/3} - C_1 \cdot t_{i,j,k}^{n+1/3} + B_1 \cdot t_{i-1,j,k}^{n+1/3} = -F_\phi^n - F_r^n - Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+1/3} - Q_{\text{ИСК}}^{n+1/3}, \quad (12)$$

где $A_1 = B_1 = R_z$; $C_1 = 1 + 2 \cdot R_z$; $F_\phi^n = a_1 \cdot t_{i,j+1,k}^n - c_1 \cdot t_{i,j,k}^n + b_1 \cdot t_{i,j-1,k}^n$;

$$\begin{aligned} F_r^n &= a_{11} \cdot t_{i,j,k+1}^n - c_{11} \cdot t_{i,j,k}^n + b_{11} \cdot t_{i,j,k-1}^n; \quad a_1 = b_1 = 2 \cdot R_\phi; \quad c_1 = 2 \cdot R_\phi - 1; \\ a_{11} &= R_r + RR_r; \quad b_{11} = R_r - RR_r; \quad c_{11} = 2 \cdot R_r; \\ A_2 \cdot t_{i,j+1,k}^{n+2/3} - C_2 \cdot t_{i,j,k}^{n+2/3} + B_2 \cdot t_{i,j-1,k}^{n+2/3} &= -F_z^{n+1/3} - F_r^n - Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+2/3} - Q_{\text{ИСК}}^{n+2/3}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $A_2 = B_2 = R_\phi$; $C_2 = 1 + 2 \cdot R_\phi$; $F_z^{n+1/3} = a_2 \cdot t_{i+1,j,k}^{n+1/3} - c_2 \cdot t_{i,j,k}^{n+1/3} + b_2 \cdot t_{i-1,j,k}^{n+1/3}$;

$$\begin{aligned} F_r^n &= a_{22} \cdot t_{i,j,k+1}^n - c_{22} \cdot t_{i,j,k}^n + b_{22} \cdot t_{i,j,k-1}^n; \quad a_2 = b_2 = 2 \cdot R_z; \quad c_2 = 2 \cdot R_z - 1; \\ a_{22} &= R_r + RR_r; \quad b_{22} = R_r - RR_r; \quad c_{22} = 2 \cdot R_z; \\ A_3 \cdot t_{i,j,k+1}^{n+1} - C_3 \cdot t_{i,j,k}^{n+1} + B_3 \cdot t_{i,j-1,k}^{n+1} &= -F_z^{n+1/3} - F_\phi^{n+2/3} - Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+1} - Q_{\text{ИСК}}^{n+1}, \end{aligned} \quad (14)$$

где $A_3 = R_r + RR_r$; $B_3 = R_r - RR_r$; $C_3 = 1 + 2 \cdot R_r$;

$$\begin{aligned} F_z^{n+1/3} &= a_3 \cdot t_{i+1,j,k}^{n+1/3} - c_3 \cdot t_{i,j,k}^{n+1/3} + b_3 \cdot t_{i-1,j,k}^{n+1/3}; \\ F_\phi^{n+2/3} &= a_{33} \cdot t_{i,j+1,k}^{n+2/3} - c_{33} \cdot t_{i,j,k}^{n+2/3} + b_{33} \cdot t_{i,j-1,k}^{n+2/3}; \\ a_3 &= b_3 = R_z; \quad c_3 = 2 \cdot R_z; \quad a_{33} = b_{33} = R_\phi; \quad c_{22} = 2 \cdot R_\phi - 1. \end{aligned}$$

Здесь $Q_{\text{ЭКЗ}}$ и $Q_{\text{ИСК}}$ — объемно-распределенный источник тепла соответственно экзотермического типа и искусственный источник тепла, приведенные к размерности [град.], необходимой при выводе прогоночных коэффициентов.

Как известно, решение (12)–(14) соответственно имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} t_{i,j,k}^{n+1/3} &= \alpha_{i,j,k} \cdot t_{i+1,j,k}^{n+1/3} + \beta_{i,j,k} \\ t_{i,j,k}^{n+2/3} &= \delta_{i,j,k} \cdot t_{i+1,j,k}^{n+2/3} + \gamma_{i,j,k} \\ t_{i,j,k}^{n+1} &= \rho_{i,j,k} \cdot t_{i+1,j,k}^{n+1} + \psi_{i,j,k} \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

При этом прогоночные коэффициенты в (15) рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{i,j,k} &= \frac{A_1}{C_1 - B_1 \cdot \alpha_{i-1,j,k}} \\ \beta_{i,j,k} &= \frac{B_1 \cdot \beta_{i-1,j,k} + F_\phi^n + F_r^n + Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+1/3} + Q_{\text{ИСК}}^{n+1/3}}{C_1 - B_1 \cdot \alpha_{i-1,j,k}} \\ \delta_{i,j,k} &= \frac{A_2}{C_2 - B_2 \cdot \delta_{i,j-1,k}} \\ \gamma_{i,j,k} &= \frac{B_2 \cdot \gamma_{i,j-1,k} + F_z^{n+1/3} + F_r^n + Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+2/3} + Q_{\text{ИСК}}^{n+2/3}}{C_2 - B_2 \cdot \delta_{i,j-1,k}} \\ \rho_{i,j,k} &= \frac{A_3}{C_3 - B_3 \cdot \rho_{i,j,k-1}} \\ \psi_{i,j,k} &= \frac{B_3 \cdot \psi_{i,j,k-1} + F_z^{n+1/3} + F_\phi^{n+2/3} + Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+1} + Q_{\text{ИСК}}^{n+1}}{C_3 - B_3 \cdot \rho_{i,j,k-1}} \end{aligned} \right\}; \quad (16)$$

Заметим, что при численной аппроксимации дифференциальных уравнений (9.2) и (9.3) прогоночные коэффициенты могут быть рассчитаны по формулам (16) с учетом того, что:

для талого несвязного и талого связного грунтов, а также для мерзлого связного грунта при его температуре $t_2 < -5^\circ\text{C}$ $Q_{\text{экз}} = Q_{\text{иск}} = 0$;

для мерзлого связного в температурном диапазоне $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$: $Q_{\text{экз}} = Q_{\text{иск}} = 0 \wedge \text{abs}(\omega_\phi) > 0$.

Что касается численной аппроксимации дифференциальных уравнений (9.2) и (9.3), то:

а) при численной аппроксимации (9.2) «выключаются» (приравниваются к нулю) объемно-распределенные источники тепла $Q_{\text{экз}}$ и $Q_{\text{иск}}$;

б) при численной аппроксимации (9.3) при «выключенных» источниках тепла $Q_{\text{экз}}$ и $Q_{\text{иск}}$ включается сток тепла фазового типа — Q_ϕ (со знаком «минус»).

Заметим также, что источник тепла $Q_{\text{экз}}$ и $Q_{\text{иск}}$, а также сток тепла Q_ϕ приведены к размерности [град.] по схеме: непосредственно объемно-распределенный источник (сток) тепла W [Вт/м³] $\rightarrow [\omega = W/C, \text{град./ч}] \rightarrow [Q = \omega \cdot 1/3 \cdot \Delta\tau, \text{град.}]$.

Заметим также, что для численной реализации математической модели (9) необходимо ввести дифференциацию *геометрических* и *численных* понятий границ циклов в соответствии с рис. 2 и таблицей.

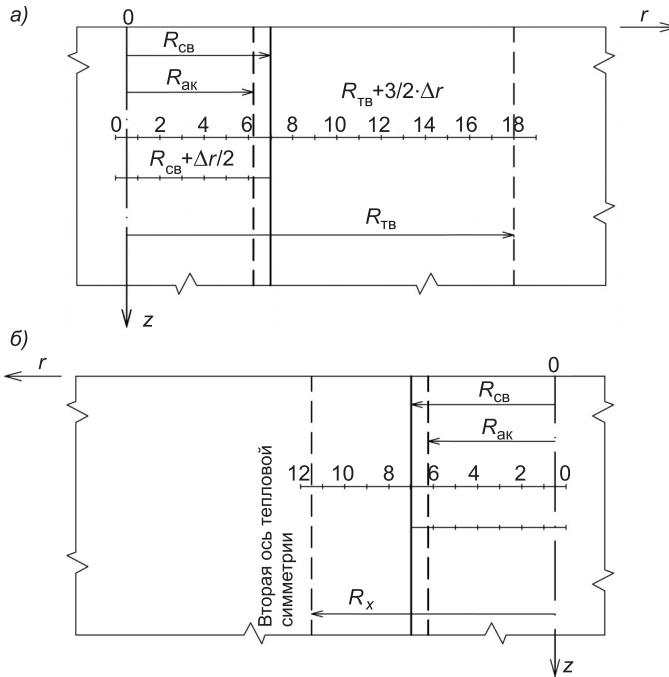


Рис. 2. Правая (а) и левая (б) части правой буронабивной сваи в составе типового куста из двух буронабивных свай (см. рис. 1)

Параметры и границы внешнего и внутренних циклов: внешний цикл по $\Delta\tau$: n — параметр циклов; $N = \text{ROUND}(T_2/\Delta\tau)$ — граница циклов; внутренний цикл по Δz : i — параметр циклов; границы циклов: $m_1 = \text{ROUND}(\zeta_1/\Delta\tau)$; $m_2 = \text{ROUND}(L_{\text{ак}}/\Delta\tau)$; $m_3 = \text{ROUND}(L_{\text{св}}/\Delta\tau)$; $m_4 = \text{ROUND}(H_0/\Delta\tau)$; внутренний цикл по $\Delta\phi$: j — параметр циклов; границы циклов: границы хорды BC : $u_1 = \text{ROUND}[(\phi_1 + \Delta\phi/2)/\Delta\phi] \wedge u_2 = \text{ROUND}[(\phi_2 + \Delta\phi/2)/\Delta\phi]$; $u_3 = \text{ROUND}[(2\pi + \Delta\phi/2)/\Delta\phi]$; $u_4 = \text{ROUND}[(\pi + \Delta\phi/2)/\Delta\phi]$; внутренний цикл по Δr : k — параметр циклов;

Геометрические и численные понятия границ циклов

Геометрические	Численные
$R_{ак}$ — расстояние от геометрической оси буронабивной сваи до наружной стороны арматурного каркаса	$R_{ак} + \Delta r$ — слева и справа от $R_{ак}$ по $\Delta r/2$
$R_{св}$ — расстояние от геометрической оси буронабивной сваи до ее цилиндрической поверхности на контакте с грунтом	$R_{св} + \Delta r/2$ — слева от геометрической оси буронабивной сваи $\Delta r/2$
$R_{тв}$ — расстояние от геометрической оси буронабивной сваи до границы зоны теплового влияния бетона сваи на окружающий грунт	$R_{тв} + 3/2 \cdot \Delta r$ — слева от геометрической оси буронабивной сваи $\Delta r/2$ и справа от границы зоны теплового влияния сваи на окружающий грунт Δr
$\varphi \in 2\pi$ — центральный угол от $\varphi = 0$ до $\varphi = 2\pi$	$\varphi \in [(2\pi - \Delta\varphi), (2\pi + \Delta\varphi)]$ — необходимое условие для соблюдения первой оси тепловой симметрии (см. рис. 1)

лов; границы циклов: при $\varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_1$: $s_1 = \text{ROUND}[(R_{тв} + 3/2 \cdot \Delta r)/\Delta r]$; при $\varphi_2 > \varphi > \varphi_1$: $s_x = \text{ROUND}(R_x/\Delta r)$, где $R_x = A/\cos(\varphi_x) + \Delta r/2$; если $\varphi_1 < \varphi \leq \pi$, то $\varphi_x = \pi - \varphi$; если $\pi < \varphi < \varphi_2$, то $\varphi_x = \varphi - \pi$; $s_2 = \text{ROUND}[(R_{ак} + \Delta r)/\Delta r]$; $s_3 = \text{ROUND}[(R_{св} + \Delta r/2)/\Delta r]$; для определения границы $R_{т}(z, \tau)$: описать и ввести $R = R_{св} + 1$ м и затем $s_4 = \text{ROUND}(R/\Delta r)$.

При традиционном температурном режиме с изотермическим выдерживанием бетона искусственный объемно-распределенный источник тепла «работает» непрерывно со следующей координатной привязкой:

$$\left. \begin{aligned} &\text{«Включение» } W_{\text{эпп}}: \{N = M, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ив}}) \wedge j = s_1\} \\ &\text{«Выключение» } W_{\text{эпп}}: \{N = 0, \tau \in (T_p + T_{\text{ив}}, T_p + T_{\text{ив}} + T_{\text{ост}})\} \\ &\text{«Включение» } W_{\text{эп}}: \{N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ив}}) \wedge j \in s_1\} \\ &\text{«Выключение» } W_{\text{эп}}: \{N = 0, \tau \in (T_p + T_{\text{ив}}, T_p + T_{\text{ив}} + T_{\text{ост}})\} \end{aligned} \right\}. \quad (17)$$

В соответствии с рис. 3 область действия искусственного объемно-распределенного источника тепла как во времени, так и в координатной привязке при управляемом температурном режиме тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} &\text{«Включение» } W_{\text{эпп}}: \left\{ \begin{aligned} &N = M, \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ур}}) \wedge p = 2 \cdot k, \\ &k = 1, 2, \dots, s \wedge j = s_1 \end{aligned} \right\} \\ &\text{«Выключение» } W_{\text{эпп}}: \left\{ \begin{aligned} &N = 0, \tau \in (T_p + T_{\text{ур}}, T_p + T_{\text{ур}} + T_{\text{ост}}) \vee \tau \in \\ &\in (T_p, T_p + T_{\text{ур}}) \wedge p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \right\} \\ &\text{«Включение» } W_{\text{эп}}: \left\{ \begin{aligned} &N = M, \tau \in T_p \wedge \tau \in (T_p, T_p + T_{\text{ур}}) \wedge p = 2 \cdot k, \\ &k = 1, 2, \dots, s \wedge j \in s_1 \end{aligned} \right\} \\ &\text{«Выключение» } W_{\text{эп}}: \left\{ \begin{aligned} &N = 0, \tau \in (T_p + T_{\text{ур}}, T_p + T_{\text{ур}} + T_{\text{ост}}) \vee \tau \in \\ &\in (T_p, T_p + T_{\text{ур}}) \wedge p = 2 \cdot k - 1, k = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\}. \quad (18)$$

Численная аппроксимация граничных условий

ГУ III рода сверху для утепленной поверхности буронабивной сваи ($z = 0$, $\varphi \in 2\pi$, $r \in R_{св}$)

$$t_{i=0,j,k}^{n+1/3} = \alpha_{i=0,j,k} \cdot t_{i=1,j,k}^{n+1/3} + \beta_{i=0,j,k}, \quad (19)$$

$$\text{где } \alpha_{i=0,j,k} = D_1 / (D_1 + 1); \beta_{i=0,j,k} = \theta / (D_1 + 1); D_1 = \frac{\lambda_{\text{б}}}{\Delta z} \left[\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} \right]. \quad (20)$$

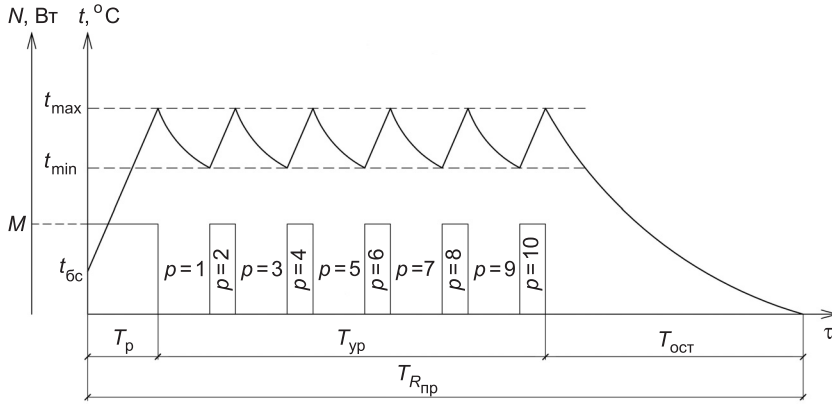


Рис. 3. Схема управляемого температурного режима тепловой обработки бетона в оптимальном температурном диапазоне

ГУ III рода сверху для неутепленной поверхности окружающего грунтового массива [$z = 0$, $\varphi \in 2\pi$, $r \in (R_{\text{св}}, R_{\text{тв}})$] аппроксимируется по формуле (19) при

$$\alpha_{i=0,j,k} = D_2 / (D_2 + 1); \beta_{i=0,j,k} = \theta / (D_2 + 1); D_1 = \frac{\lambda_{1,2}}{\Delta z} \cdot \frac{1}{\alpha}. \quad (21)$$

ГУ I рода снизу ($z \in H_0$, $\varphi \in 2\pi$, $r \in R_{\text{тв}}$) реализуется в виде

$$t_{i=m_4,j,k}^{n+1/3} = t^*. \quad (22)$$

ГУ на геометрической оси буронабивной сваи ($z \in L_{\text{св}}$, $\varphi \in 2\pi$, $r = 0$) и на продолжении этой оси в грунте основания [$z \in (L_{\text{св}}, H_0)$, $\varphi \in 2\pi$, $r = 0$]:

а) буронабивная свая

$$t_{i,j,k=0}^{n+1} = \rho_{i,j,k=0} \cdot t_{i,j,k=1}^{n+1} + \psi_{i,j,k=0}, \quad (23)$$

где $\rho_{i,j,k=0} = 1$; $\psi_{i,j,k=0} = 0$;

$$t_{i,j,k=1}^{n+1} = \rho_{i,j,k=1} \cdot t_{i,j,k=2}^{n+1} + \psi_{i,j,k=1}, \quad (24)$$

где

$$\rho_{i,j,k=0} = A_3 / (C_3 - B_3); \psi_{i,j,k=0} = (F_z^{n+1/3} + F_\varphi^{n+2/3} + Q_{\text{экз}}^{n+1} + Q_{\text{иск}}^{n+1}) / (C_3 - B_3);$$

б) нижерасположенный грунтовой массив [$z \in (L_{\text{св}}, H_0)$, $\varphi \in 2\pi$, $r = 0$], с использованием формул (23) и (24):

$$\rho_{i,j,k=0} = 1; \psi_{i,j,k=0} = 0; \rho_{i,j,k=1} = A_3 / (C_3 - B_3);$$

$$\psi_{i,j,k=0} = (F_z^{n+1/3} + F_\varphi^{n+2/3}) / (C_3 - B_3).$$

ГУ на границе зоны теплового влияния буронабивных свай на окружающий грунт ($z \in H_0$, $\varphi \in 2\pi$, $r \geq R_{\text{тв}}$) имеет вид

$$t_{i,j,k=s_1}^{n+1} = t_{i,j,k=s_1-1}^{n+1}, \quad (25)$$

откуда $\rho_{i,j,k=s_1} = 1$; $\psi_{i,j,k=s_1} = 0$; $\rho_{i,j,k=s_1-1} = A_3 / (C_3 - B_3 \cdot \rho_{i,j,k=s_1-2})$;

$$\psi_{i,j,k=s_1-1} = (B_3 \cdot \psi_{i,j,k=s_1-2} + F_z^{n+1/3} + F_\varphi^{n+2/3}) / (C_3 - B_3 \cdot \rho_{i,j,k=s_1-2}).$$

ГУ на первой оси тепловой симметрии ($\varphi = 0 \vee \varphi \in 2\pi$):

а) буронабивная свая ($z \in L_{\text{св}}$, $r \in R_{\text{тв}}$); ввиду $t_{i,j=0,k}^{n+2/3} = t_{i,j=1,k}^{n+2/3}$ (см. рис. 1)

имеем:

$$\delta_{i,j=0,k} = 1; \gamma_{i,j=0,k} = 0; \delta_{i,j=1,k} = A_2 / (C_2 - B_2);$$

$$\gamma_{i,j=1,k} = (F_z^{n+1/3} + F_r^n + Q_{\text{ЭКЗ}}^{n+2/3} + Q_{\text{ИСК}}^{n+2/3}) / (C_2 - B_2),$$

где $A_2 = R_r + RR_r$; $B_2 = R_r - RR_r$; $C_2 = 2 \cdot R_z + 1$; $R_r = (\lambda_6 \cdot \Delta\tau) / (2 \cdot C_6 \cdot \Delta r^2)$; $RR_r = \lambda_6 \cdot \Delta\tau / (4 \cdot C_6 \cdot r \cdot \Delta r)$; $F_z^{n+1/3} = a_2 \cdot t_{i+1,j,k}^{n+1/3} - c_2 \cdot t_{i,j,k}^{n+1/3} + b_2 \cdot t_{i-1,j,k}^{n+1/3}$; $a_2 = b_2 = R_z$; $c_2 = 2 \cdot R_z - 1$; $R_z = \lambda_6 \cdot \Delta\tau / (2 \cdot C_6 \cdot \Delta z^2)$;

б) *окружающий грунтовый массив* $\{z \in L_{\text{св}}, r \in (R_{\text{св}}, R_{\text{тв}})\} \wedge \{z \in (L_{\text{св}}, H_0), r \in R_{\text{тв}}\}$:

талый несвязный или талый связный грунт, а также мерзлый связный грунт при температуре $t_2 < -5^\circ\text{C}$:

$$\delta_{i,j=1,k} A_2 / (C_2 - B_2); \gamma_{i,j=1,k} (F_z^{n+1/3} + F_r^n) / (C_2 - B_2);$$

$$R_r = \lambda_{1,2} \cdot \Delta\tau / (2 \cdot C_{1,2} \cdot \Delta r^2); RR_r = \lambda_{1,2} \cdot \Delta\tau / (4 \cdot C_{1,2} \cdot r \cdot \Delta r);$$

$$R_z = \lambda_{1,2} \cdot \Delta\tau / (2 \cdot C_{1,2} \cdot \Delta z^2);$$

мерзлый связный грунт при температуре $t_3 \in (0, -5^\circ\text{C})$

$$\delta_{i,j=1,k} A_2 / (C_2 - B_2); \gamma_{i,j=1,k} (F_z^{n+1/3} + F_r^n - Q_{\text{ф}}^{n+2/3}) / (C_2 - B_2);$$

$$R_r = \lambda_2 \cdot \Delta\tau / (2 \cdot C_{\text{эф}} \cdot \Delta r^2); RR_r = \lambda_2 \cdot \Delta\tau / (4 \cdot C_{\text{эф}} \cdot r \cdot \Delta r);$$

$$R_z = \lambda_2 \cdot \Delta\tau / (2 \cdot C_{\text{эф}} \cdot \Delta z^2).$$

Очередность прогонок при численной аппроксимации математической модели (9):

1) прямая (с расчетом прогоночных коэффициентов $\alpha_{i,j,k}$ и $\beta_{i,j,k}$) и обратная (с расчетом температуры $t_{i,j,k}^{n+1/3}$) прогонки по оси z ;

2) прямая (с расчетом прогоночных коэффициентов $\delta_{i,j,k}$ и $\gamma_{i,j,k}$) и обратная (с расчетом температуры $t_{i,j,k}^{n+2/3}$) прогонки по оси ϕ ;

3) прямая (с расчетом прогоночных коэффициентов $\rho_{i,j,k}$ и $\psi_{i,j,k}$) и обратная (с расчетом температуры $t_{i,j,k}^{n+1}$) прогонки по оси ϕ .

Разработанный алгоритм реализован на объектно-ориентированном языке C++ в среде C++ Builder.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 3.03.01–87*. Несущие и ограждающие конструкции [Текст] / Госстрой России. — М. : ФГУП ЦПП, 2004. — 192 с.
2. Попов, Ю. А. Гидромеханизация в Северной строительной-климатической зоне [Текст] / Ю. А. Попов, Д. В. Рощупкин, Т. И. Пеняскин. — Л. : Стройиздат, 1982. — 224 с.
3. Попов, Ю. А. Постановка классической задачи Стефана для промерзающих (протаивающих) связных грунтов [Текст] / Ю. А. Попов, Т. В. Завалишина (Богатырева), Г. Г. Турантаев и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 10. — С. 107–112.
4. Цытович, Н. А. Механика мерзлых грунтов [Текст] / Н. А. Цытович. — М. : Высшая школа, 1973. — 448 с.

БОГАТЫРЕВА Т. В., канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МАРЬЯСОВ Р. С., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 15.01.10

Bogatyreva T. V., candidate of technical sciences, assistant professor,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Maryasov R. S., post-graduate student,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

SCIENTIFIC RATIONALE ENERGY SAVING TECHNOLOGIES WINTER CONCRETING BORED PILES

Energy-saving technology is substantiated winter concreting bored piles on the examples of the types of bush two bored piles with a description of the physical and mathematical models and numerical implementation of the mathematical model. Considered controlled temperature regimes of thermal treatment of concrete (temperature-controlled warm-up concrete in the optimal temperature range and controlled temperature conditions of heating and cooling of the concrete), as well as two alternative methods of heating the concrete (electrical heating wires and electrode heating).

Key words: concrete, winter concreting, heat treatment of concrete, temperature regimes, automatic temperature control of concrete, concrete strength.

REFERENCES

1. SNiP 3.03.01–87*. Bearing and enclosing structures [Text] / State Building in Russia. — Moscow : Federal State Unitary Enterprise LAC, 2004. — 192 p.
2. Popov, Yu. A. Hydromechanization North construction-climatic zone [Text] / Yu. A. Popov, D. V. Roshchupkin, T. I. Penyaskin. — Leningrad : Stroyizdat, 1982. — 224 p.
3. Popov, Yu. A. Formulation of the classical Stefan problem for freezing (thawing) cohesive soils [Text] / Yu. A. Popov, T. V. Zavalishina (Bogatyreva), G. G. Turantsev et al. // News of Higher Educational Institutions. Construction — 2004. — N 10. — P. 107–112.
4. Tsytoich, N. A. Mechanics of frozen ground [Text] / N. A. Tsytoich. — Moscow : Higher School, 1973. — 448 p.

УДК 624.132.3

М. Н. ШАДРИНА, Л. А. НЕМЧИКОВА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ ОБВОДНЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕСКА**

Разработана расчетная схема попеременно-двухсторонней технологии намыва штабеля с целью осреднения гранулометрического состава нерудных строительных материалов. С использованием метода В. А. Мелентьева разработаны физическая и математическая модели роста отметок пляжа намыва при переключении направления подачи гидро-смеси, а также модель процесса фракционирования грунта по длине штабеля с учетом этих переключений. Проведены исследования по ступенчатой установке конического грохота при гидромеханизированной укладке в штабель песка и песчано-гравийной смеси. Изучено влияние абразивного износа рабочего колеса грунтонасосов на работу земснаряда при гидромеханизированной укладке в штабель песка и песчано-гравийной смеси. Рассчитаны оптимальные сроки службы рабочих колес грунтонасосов по нескольким инвестиционным проектам.

Ключевые слова: попеременно-двухсторонняя схема намыва, нерудные строительные материалы, имитационное моделирование, гидромеханизация, режим и оптимизация режима регулирования высоты конического грохота, абразивный износ рабочего колеса, оптимизация срока службы рабочего колеса.

При намыве штабелей способом гидромеханизации необходимо учитывать процесс продольного фракционирования укладываемого материала, а также, что продольное фракционирование может быть как положительным (при необходимости отгрузки продукции с разным модулем крупности по требованию потребителя), так и отрицательным (при отгрузке продукции с осредненным по объему штабеля гранулометрическим составом). Поэтому в первом случае технологические изменения при намыве штабеля не требуются. Во втором случае потребитель прибегает к дополнительным технологическим операциям по осреднению гранулометрического состава нерудных строительных материалов (НСМ), уложенных в штабель, например, к перемещениям экскаватора вдоль штабеля при загрузке автосамосвалов с дальнейшей выгрузкой материала в бункеры-усреднители на складах предприятий стройиндустрии.

Очевидно, что, во-первых, конечным результатом таких технологических решений трудно управлять, во-вторых, их реализация приводит к существенному удорожанию конечного продукта. Все это обуславливает актуальность задачи разработки технологии намыва штабелей с осреднением гранулометрического состава укладываемого материала [1]. С целью решения задачи повышения качества строительного песка предложена попеременно-двухсторонняя схема намыва штабеля, при которой крупнофракционные слои НСМ перекрываются мелкофракционными и наоборот. При отгрузке продукции потребителю осреднение гранулометрического состава НСМ осуществляется вертикальным движением ковша экскаватора. Для практической реализации такой технологии с помощью имитационного моделирования разработан достаточно достовер-

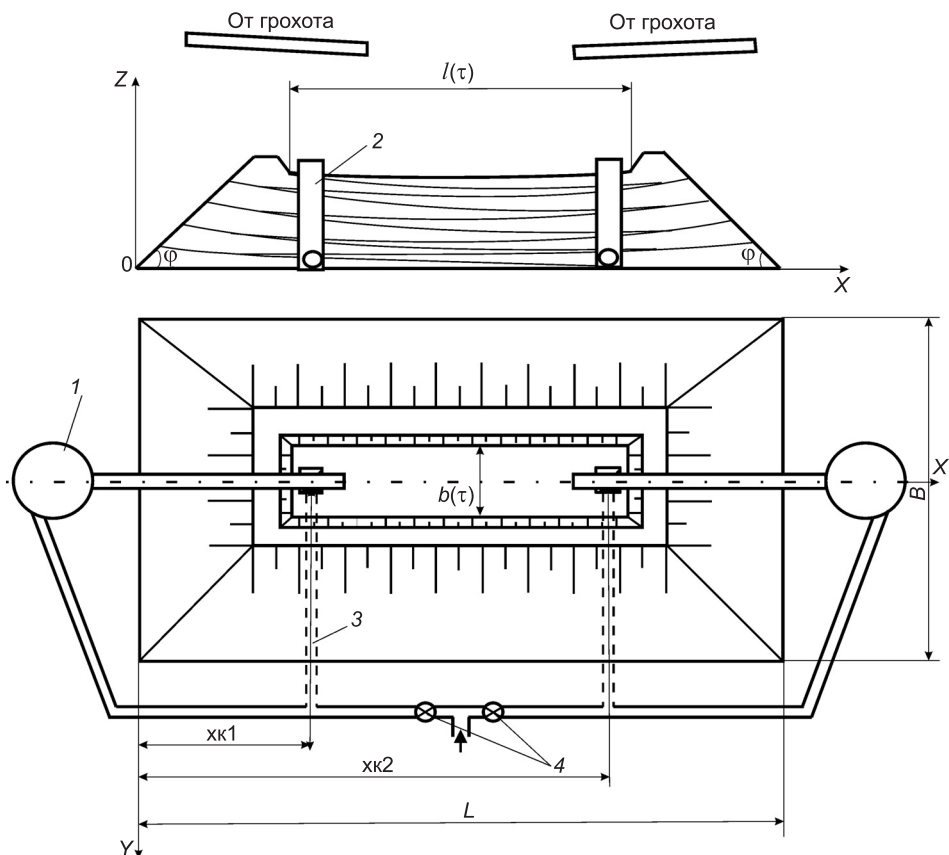


Рис. 1. Расчетная схема штабеля, намываемого по переменнo-двухсторонней технологии: B и L — соответственно ширина и длина основания штабеля в плане; $b(z)$ и $l(z)$ — переменные по координате z соответственно ширина и длина верха штабеля в плане; φ — угол откоса

ный метод расчетного обоснования временного режима смены направления намыва штабеля, путем переключения потока гидросмеси на один из двух конических грохотов (КГ).

Расчетная схема штабеля, намываемого по предлагаемой технологии, показана на рис. 1.

Гидросмесь от земснаряда подается по береговому трубопроводу к тройнику, позволяющему переключать подачу к левому или правому коническому грохоту (КГ). Рабочим водосбросным колодцем является дальний от КГ, в который подается исходная гидросмесь. Ближний колодец перекрывается шандорами. В КГ большая часть фракций $d > 5$ мм отводится от штабеля. Часть полезных фракций (обычно от 5 до 15 %) $0,16 \leq d \leq 5$ мм теряется с крупными фракциями, с которыми отводится и часть мелких фракций $d < 0,16$ мм. В результате в штабель поступает грунт, гранулометрический состав которого отличается от гранулометрического состава исходного продукта, поступающего в КГ. После каждой очередной смены направления подачи гидросмеси меняются места зоны намыва крупно- и мелкофракционного грунта, а в каждой точке штабеля меняется темп роста отложений. В зависимости от частоты переключения направления подачи гидросмеси формируются чередующиеся по высоте штабеля слои мелких и крупных фракций. Рассчитывается такая частота переключения направления подачи гидросмеси, при которой осредненный гранулометрический состав уложенного материала мало отличается в пределах всего штабеля.

Вместе с тем необходимо рассмотреть вопрос о характере фракционирования грунтовой массы вдоль штабеля. Наиболее проверенным является метод расчета процесса фракционирования, предложенный В. А. Мелентьевым [2]. Рассмотрим этот метод применительно к расчетной схеме рис. 1. Расстояние от места выпуска до центра рассеивания s -й фракции описывается зависимостью

$$X_{d_s} = \left[0,01 \sum_{d=d_s}^{d=\max} P'_s \right] \cdot L_{\text{пн}}(\tau), \quad (1)$$

где X_{d_s} — расстояние от верха бокового откоса со стороны выпуска гидросмеси на временном шаге i до центра рассеивания s -й фракции, м;

$\sum_{d=d_s}^{d=\max} P'_s$ — содержание в поступающем в штабель грунте всех фракций крупнее d_s , в мас. %.

Задачей расчетов является нахождение такого режима смены направлений намыва, при котором осредненный по высоте штабеля гранулометрический состав уложенных НСМ *относительно однороден в пределах всего штабеля*.

Следует отметить, что ось Y на рис. 1 будет в дальнейшем использована для расчета объема намываемого материала на очередном шаге переключения направления намыва. Это объясняется тем, что в направлении оси Y гранулометрический состав уложенного грунта не изменяется. Бульдозер, возводя попутное обвалование, перемещается параллельно оси Y , не искажая процесс продольного (вдоль оси X) фракционирования.

В общем (укрупненном) виде математическая модель попеременно-двухсторонней технологии намыва штабеля состоит из отдельных ключевых уравнений и формул с их геометрической привязкой:

$$\left. \begin{aligned} &1) \begin{aligned} b(\tau, x) &= B - 2h(\tau, x) \operatorname{ctg} \varphi - 2b_d, \\ l(\tau) &= L - (\Delta H_{x_1} + \Delta H_{x_2}) \operatorname{ctg} \varphi - 2b_d, \\ S_{UP}(b(\tau, x)) &= b(\tau = 0, x) = B; \inf(l(\tau, x)) = b(\tau = T, x), \\ S_{UP}(l(\tau)) &= l(\tau = 0) = L; \inf(l(\tau)) = l(\tau = T); \\ \tau &\in T; x \in L; Z \in H, \\ (\rightarrow) x_0 &= x / l(\tau), (\leftarrow) x_0 = (l(\tau) - x) / l(\tau), \\ x_1 &= L - \Delta H_{x_1} \cdot \operatorname{ctg} \varphi - b_d, \\ x_2 &= L - \Delta H_{x_2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi - b_d; \end{aligned} \\ &2) \begin{aligned} X_{d_s} &= \left[0,01 \sum_{d=d_s}^{d=\max} P'_s \right] L_{\text{пн}}(\tau), \\ (\rightarrow) L_{\text{пн}}(\tau) &= L'_{\text{пн}}(\tau) = l(\tau) - Z_{\kappa_2}(\tau) \operatorname{ctg} \varphi, \\ (\leftarrow) L_{\text{пн}}(\tau) &= L''_{\text{пн}}(\tau) = l(\tau) - Z_{\kappa_1}(\tau) \operatorname{ctg} \varphi; \end{aligned} \\ &3) \begin{aligned} i &\in M; j \in N; M = \operatorname{ROUND}(T / \Delta x), \\ N &= \operatorname{ROUND}(L / \Delta x), \\ (\rightarrow) NN(\tau) &= \operatorname{ROUND}(L'_{\text{пн}}(\tau) / \Delta x), \\ (\leftarrow) NN(\tau) &= \operatorname{ROUND}(L''_{\text{пн}}(\tau) / \Delta x), \\ (\rightarrow) j_1 &= \operatorname{ROUND}((\Delta H_{x_1} \cdot \operatorname{ctg} \varphi + b_d) / \Delta x), \end{aligned} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned}
j_2 &= \text{ROUND}((\Delta H_{X_1} \cdot \text{ctg}\varphi + b_d) / \Delta x + NN(\tau)), \\
(\leftarrow)j_1 &= \text{ROUND}((\Delta H_{X_1} \cdot \text{ctg}\varphi + b_d) / \Delta x + NN(\tau)), \\
j_2 &= \text{ROUND}((\Delta H_{X_1} \cdot \text{ctg}\varphi + b_d) / \Delta x); \\
4) Q_{\text{шт}} &= Q_{\Gamma}^{\Phi} \left[S_{\Phi} \left(1 - \frac{P'_{d>5} + P'_{0,16 \leq d \leq 5} + P''_{0,16 \leq d \leq 5} + P'_{d<0,16} + P''_{d<0,16}}{100} \right) \right]; \\
5) W_{\text{сут}} &= 24 K_{\text{ирв}} \cdot Q_{\text{шт}} = \Delta H_{\text{ср}} \cdot b(\tau, x)_{\text{ср}} \cdot l(\tau)_{\text{ср}}; \\
6) q_{Sx} &= q_{S0} (1 - x_0); \\
7) I_{\text{ср}}(\tau) &= \left[\sum_{j=j_1}^{j=j_2} (\Delta h(i, j) - \Delta h(i, j-1)) / \Delta x \right] / (j_2 - j_1); \\
8) \Delta H_{\text{ср}} &= \left[\sum_{j=j_1}^{j=j_2} (\Delta h(i, j) - \Delta h(i, j-1)) \right] / (j_2 - j_1)
\end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где i, j — параметры циклов соответственно по τ и x ;

S — номер стандартной фракции в ряду: 0,1; 0,16; 0,25; 0,5; 1, 2, 3 и 5 мм;

$h(\tau, x)$ — переменная во времени и по координате x отметка пляжа намыва, м;

X_{ds} — координата (от $x = 0$) центра рассеивания s -й фракции;

$I_{\text{ср}}$ — средний уклон пляжа намыва;

$Q_{\text{шт}}$ — поступление грунта в штабель, м³/ч;

$W_{\text{сут}}$ — суточный прирост объема штабеля, м³;

$L'_{\text{пн}}(\tau)$ и $L''_{\text{пн}}(\tau)$ — текущая длина пляжа намыва при направлениях соответственно (\rightarrow) и (\leftarrow), м;

T — полное время намыва штабеля в часах чистой работы земснаряда, ч;

$Z_{K_1}(\tau)$ и $Z_{K_2}(\tau)$ — текущие отметки пляжа намыва в месте расположения соответственно первого и второго водосбросных колодцев, м;

$Z(\tau, x)$ — текущая отметка пляжа намыва на координате x , м;

b_d — расстояние от бокового откоса, необходимое для работы бульдозера в процессе устройства обвалования, м;

$I_{\text{ср}}(\tau)$ — фактический осредненный уклон пляжа намыва на момент времени τ ;

$\Delta H_{\text{ср}}(\tau)$ — осредненный по x прирост отметки пляжа намыва за один шаг интегрирования $\Delta\tau$;

j_1, j_2 — соответственно начальный и конечный параметры внутреннего цикла по Δx на расчетный момент времени;

ΔH_{X_1} и ΔH_{X_2} — изменяющиеся во времени отметки пляжа намыва соответственно в начале и в конце $l(\tau)$;

q_{S0} — удельный расход твердого, кг/(м²·с);

$\rho_{\text{ск}}$ — плотность скелета отложений, кг/м³;

$I_{\text{ср}}$ — средний (установившийся) уклон поверхности отложений, определяемый по формуле В. А. Мелентьева.

Разработан программный продукт «Штабель-усреднитель», работа которого осуществляется в диалоговом режиме (рис. 2). С помощью данного программного продукта возможен расчет:

1) гранулометрического состава грунта, поступающего в штабель, а также осредненного гранулометрического состава грунта, уложенного в штабель;

2) расстояния от места выпуска гидросмеси до центров рассеивания стандартных фракций грунта;

3) полного времени намыва штабеля;

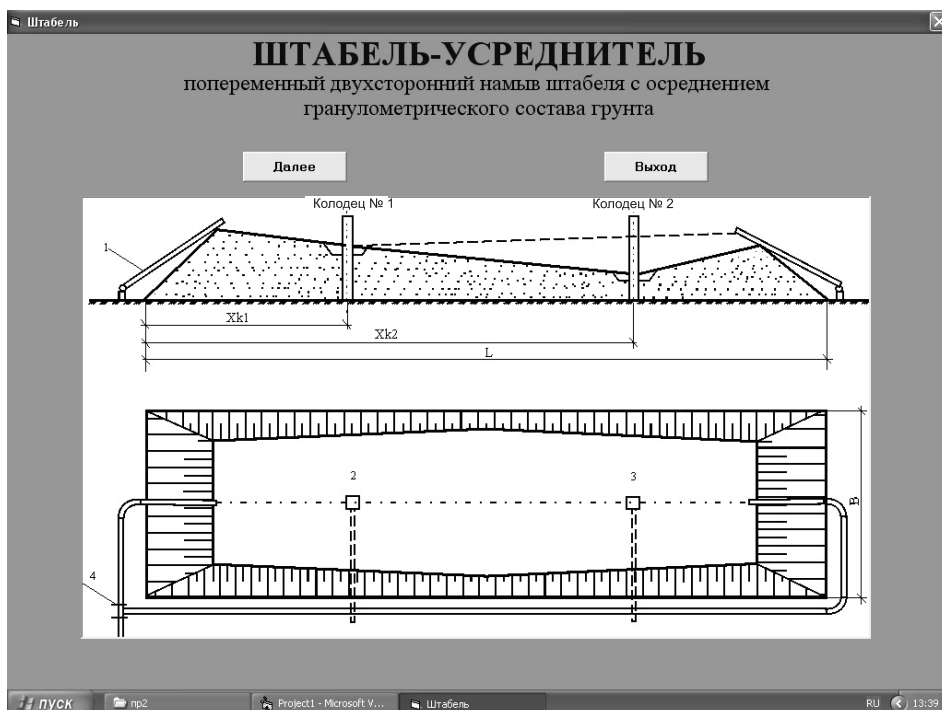


Рис. 2. Главная форма программного продукта «Штабель-усреднитель»

4) времени смены направлений намыва, при котором осредненный по высоте штабеля гранулометрический состав уложенных НСМ относительно однороден в пределах всего штабеля.

Назначение и область применения программного продукта — гидромеханизация работ в строительстве, расчет времени и параметров намыва штабеля — по переменной двухсторонней технологии с осреднением гранулометрического состава грунта.

Анализ положения дел в отечественной гидромеханизации показывает, что недопонимание механизмов, определяющих выработку земснарядов, нередко приводит к большим финансовым потерям. При общепринятой установке конических грохотов сразу на полную высоту намываемого штабеля значительная часть напора грунтонасосов земснарядов расходуется на излишний подъем гидросмеси в конический грохот (по опыту работы треста «Уралгидромеханизация» среднемесячная выработка земснарядов по грунту снижается на 12...15 %). Проведены исследования по переменной установке КГ по мере намыва штабеля для условий гидромеханизированной добычи песка на Марусинском месторождении в Новосибирской области.

Намывается штабель в соответствии со схемой рис. 3.

Грунтонасос (ГН) работает в штатной ситуации на нормативной или отличной от нормативной плотности гидросмеси.

Варианты расчетов:

вариант 1: установка КГ сразу на полную высоту; превышение выпуска КГ над уровнем воды в забое постоянно;

вариант 2: две ступени установки КГ;

вариант 3: три ступени установки КГ.

Разработанный алгоритм реализации математической модели процесса намыва штабеля при регулируемой высоте КГ предусматривает в каждом из трех вариантов установки КГ:

1) расчет расхода грунтового насоса с подсоединенной трубопроводной сетью и пересчет этого расхода на грунтопроизводительность зем-

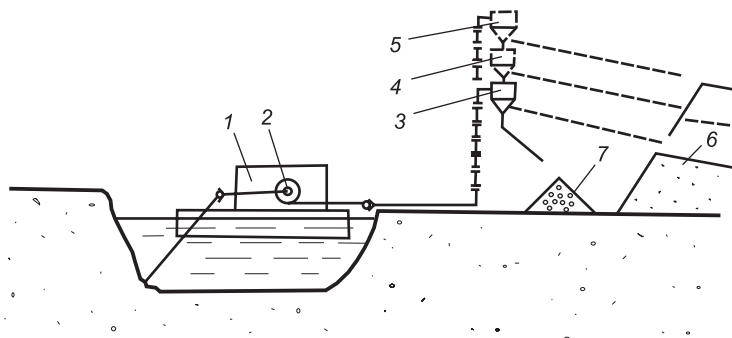


Рис. 3. Схема гидромеханизированного комплекса при добыче и укладке в штабель песка и песчано-гравийной смеси

1 — земснаряд; 2 — грунтонасос земснаряда; 3, 4, 5 — положения КГ (при трехступенчатой регулировке высоты его установки); 6 — намываемый штабель; 7 — склад гравия

снаряда при полной реализации кавитационного запаса ГН (если он имеется);

2) расчет величины подачи грунта в штабель с учетом потерь фракций как в коническом грохоте, так и с отработанной водой;

3) расчет количества часов чистой работы земснаряда при заполнении емкости штабеля в каждом варианте;

4) суммирование времени работы земснаряда при полном заполнении емкости штабеля;

5) сравнение результатов расчетов с базовым вариантом (установка КГ сразу на полную высоту).

Полученные результаты подтвердили: использование регулируемого по высоте КГ в две ступени дает эффект увеличения часовой выработки земснарядов (в среднем за время намыва всего штабеля) на 8 %, а в три ступени — на 11 %. Регулируемый режим установки конического грохота позволяет уменьшить общие и удельные энергозатраты на намыв штабеля, что, в свою очередь, приводит к снижению себестоимости продукта. При этом повышается эффективность гидромеханизированного способа добычи и укладки в штабель НСМ за счет увеличения сезонной выработки земснарядов при сохранении высокого качества получаемой продукции.

Как известно, главным механизмом земснарядов является грунтонасос. При этом режим работы ГН определяется с помощью масштабных графиков основных рабочих характеристик его гидравлической системы: напорной, кавитационной, вакуумметрической, гидравлической и характеристикой КПД.

Напорная характеристика и характеристика КПД существенно зависят от степени абразивного износа рабочего колеса (РК) грунтонасосов. По мере износа РК имеет место конгруэнтное снижение напорной характеристики, что, в свою очередь, обуславливает выраженную динамику координат рабочей точки гидравлической системы ГН по схеме рис. 4.

В современных условиях с учетом указанных обстоятельств ставятся задачи:

1) обоснование оптимального срока эксплуатации РК грунтонасосов, после превышения которого возросшие текущие затраты превышают получаемую прибыль;

2) при общепринятой продолжительности срока службы рабочих колес грунтонасосов из обычной стали (300 ч чистой работы земснарядов) обоснование экономической эффективности применения рабочих колес

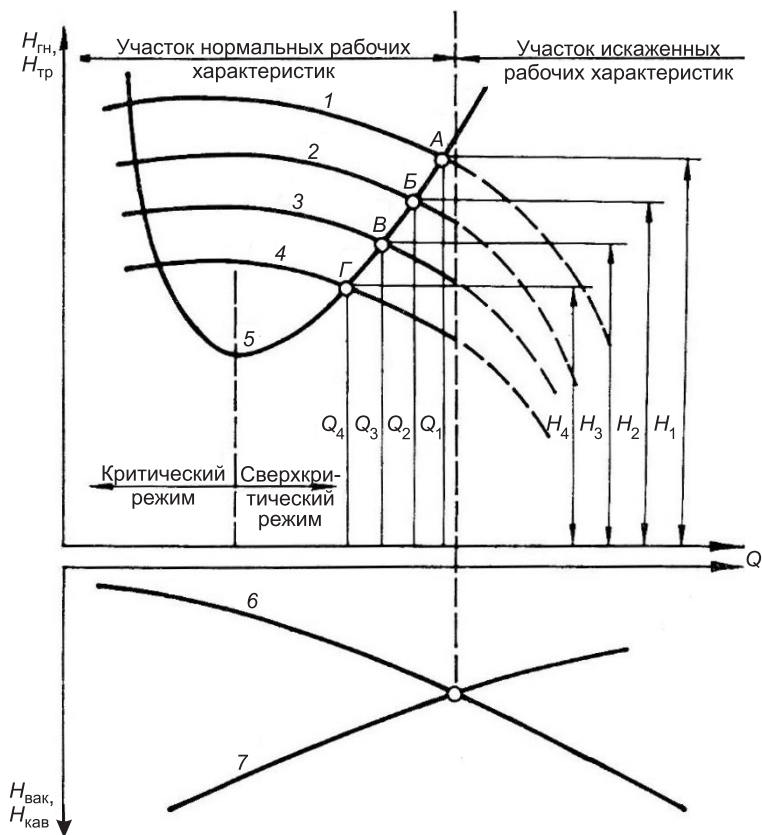


Рис. 4. Схема изменения координат рабочей точки гидравлической системы грунтонасоса

1, 2, 3, 4 — напорные характеристики грунтонасоса соответственно при новом рабочем колесе ($\tau_1 = 0$), а также при его эксплуатации в течение времени τ_1 , τ_2 и τ_3 ; 5, 6, 7 — гидравлическая, вакуумметрическая, кавитационная характеристика трубопровода соответственно

из износостойкой стали, во-первых, с вариантным рассмотрением предельного срока их службы 500, 700, 1000 и 1500 ч чистой работы земснаряда, во-вторых, с оптимизацией срока службы РК в каждом инвестиционном проекте.

Условия работы КГ на параметры гидротранспорта влияния не оказывают, в то время как качество обогащения песка в КГ существенно зависит от скорости входа гидросмеси в него. А так как уменьшение расхода гидросмеси в транспортной системе автоматически приводит к уменьшению величины центробежной силы при закручивании потока, то существенно возрастают потери песка с гравием (потери полезных фракций (0,16...5 мм) в КГ возрастают с 9 % при новом РК до 50 % при изношенном).

Разработанный алгоритм имитационного моделирования динамики координат рабочей точки грунтонасосов по мере абразивного износа их рабочего колеса реализован на алгоритмическом языке и включает блоки формирования баз данных по грунту карьерной залежи, по грунтонасосу, по гидротранспортной линии земснаряда; блок обоснования нормативной грунтопроизводительности земснаряда с выводом грунтонасоса из нештатных ситуаций (при их наличии) [3] и имитационное моделирование динамики координат рабочей точки при предельном сроке службы рабочего колеса 300, 500, 700, 1000 и 1500 ч чистой работы земснаряда. Разработан метод оптимизации срока службы рабочих колес грунтонасосов.

Текущие затраты при реализации проектов по вариантам:

— возрастающие по мере износа РК текущие затраты за счет уменьшения грунтопроизводительности земснарядов;

— возрастающие во времени текущие затраты, обусловленные увеличением удельных затрат на разработку и гидротранспорт грунта в связи со снижением КПД грунтонасоса;

— текущие затраты на замену изношенного РК, равные стоимости продукта, который мог быть уложенным в штабель за время производства работ по замене РК.

Разработанный метод позволяет решать описанные в [4] задачи оптимизации срока службы рабочих колес грунтонасосов для нескольких инвестиционных проектов, определения оптимального индекса проекта при известной стоимости изготовления рабочего колеса ГН из обычной и износостойкой стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шадрина, М. Н. Гидромеханизированная попеременно-двухсторонняя укладка нерудных строительных материалов в штабель-усреднитель [Текст] / М. Н. Шадрина // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 11. — С. 67–72.
2. Мелентьев, В. А. Намывные гидротехнические сооружения [Текст] / В. А. Мелентьев, Н. П. Колпашников, Б. А. Волнин. — М.: Энергия, 1973. — 247 с.
3. Попов, Ю. А. Системная увязка технологических процессов гидромеханизации в программном продукте «Земснаряд» [Текст] / Ю. А. Попов, В. С. Лаптев, Е. В. Лизунов // Информационно-аналитический бюллетень. — 2006: Изд-во МГТУ. — С. 441–448.
4. Немчикова, Л. А. Оптимизация срока службы рабочих колес грунтонасосов при гидромеханизированной разработке обводненных месторождений песка [Текст] / Л. А. Немчикова // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 8. — С. 39–47.

ШАДРИНА М. Н., канд. техн. наук

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

НЕМЧИКОВА Л. А., канд. техн. наук

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 15.01.10

Shadrina M. N., candidate of technical sciences, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Nemchikova L. A., candidate of technical sciences, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

PERFECTION OF TECHNOLOGY OF WORKING OUT UNDERWATER DEPOSITS NONMETALLIC BUILDING MATERIALS AND INCREASE QUALITIES OF SAND BUILDING

The settlement scheme of alternately-bilateral technology of an alluvium of a stack for the purpose of averaging fractional structure of a ground structure of nonmetallic building materials is developed. With use of a method of V.A.Melenteva created physical and mathematical models of growth of marks of a beach of an alluvium at switching of a direction of giving of a hydromix, and also model of process of a longitudinal apportion of a ground length of a stack taking into account these switchings. Are carried out researches on installation of a conical sifter at the hydromechanized stacking in a stack of sand and sandy — gravel mixture. Studied influence of abrasive deterioration of the driving wheel groundpumps for work dredge ship at the hydromechanized stacking in a stack of sand and sandy — gravel

mixes. Developed optimum service life of driving wheels under several investment projects are calculated.

Key words: the alternately-bilateral scheme of an alluvium, nonmetallic building material, imitating modelling, hydromechanization, a conic roar, a mode optimisation of a mode of regulation of height of a conic roar, abrasive deterioration of the driving wheel, optimisation driving wheel service life.

REFERENCES

1. Shadrina, M. N. Hydromechanized Variable Two Side Blend-Piling of Non-Ore Building Materials [Text] / M. N. Shadrina // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2003. — N 11. — P. 67–72.
 2. Melentev, V. A. Alluvial Hydraulic Engineering Constructions [Text] / V. A. Melentev, N. P. Kolpashnikov, B. A. Volnin. — Moscow : Energy, 1973. — P. 247.
 3. Popov, Yu. A. System's Priests Coordination of Technological Processes of in Software Product «Zemsnarjad» [Text] / Ju. A. Popov, V. S. Laptev, E. V. Lizunov // The information-analytical bulletin. — 2006 : Publishing house MGGU. — P. 441–448.
 4. Nemchikova, L. A. Optimisation of Service Life of Driving Wheels of Groundpump at the Mechanized Developmen out Underwater Sand Deposits [Text] / L. A. Nemchikova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 8. — P. 39–47.
-

УДК 69.05:658.512.6

**В. В. ГЕРАСИМОВ, С. М. КУЗНЕЦОВ, О. А. КОРОБОВА,
О. Ю. МИХАЛЬЧЕНКО****КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Рассмотрены вопросы комплексной оптимизации организационно-технологических решений строительства объектов. Приведена схема обоснования параметров организационно-технологических решений проектов в условиях неопределенности и риска.

Ключевые слова: комплекс, оптимизация, организационно-технологическая надежность, модели, методы, программирование, строительство.

Организационно-технологические решения в строительстве разрабатываются в составе проектно-сметной документации и являются основой для эффективного использования ресурсов и процессов строительства. Основной проблемой разработки этих документов является необходимость учета экономических решений, определяемых в бизнес-плане. В настоящее время методические положения определения взаимодействия и взаимовлияния параметров в экономической и технической сферах не регламентируются, что приводит к непроизводительным затратам.

Сложность решения этой проблемы — необходимость согласования двух различных методологий: экономических — методологии дисконтированных денежных потоков и технических — методологии ресурсных потоков. Различием требований к их формированию является неравномерность использования ресурсов для первой и равномерность для второй методологии с общностью требования минимизации продолжительности выполнения работ и затрат. В соответствии с существующими нормативными положениями предусматриваются вычислительные процедуры как для денежных, так и для ресурсных потоков и не регламентируется порядок их взаимодействия при разработке комплексной документации: бизнес-документации и проектно-сметной документации.

Учитывая актуальность задачи повышения достоверности инженерно-экономической документации с учетом рыночных факторов, авторами разработан следующий подход для решения этой проблемы.

Для реализации подхода решались задачи:

- разработка принципов комплексирования экономических и инженерных решений на основе учета факторов неопределенности и риска;
- разработка моделей организации и технологии с оценкой их организационно-технологической надежности (ОТН);
- разработка методов оптимизации организационно-технологических решений (ОТР);
- разработка моделей взаимодействия параметров ОТР в инженерно-экономическом пространстве данных;
- разработка программных продуктов по оптимизации параметров организационно-технологических решений.

Разработка принципов комплексирования экономических и инженерных решений основана на положениях: системности — сбалансированно-

сти инженерно-экономических решений во взаимосвязи и взаимодействии; комплексности — приоритета экономических над инженерными решениями; эффективности — экономической эффективности, включающей задачу максимизации прибыли и инженерной — задачу минимизации продолжительности работ.

Разработка моделей организации и технологии с оценкой ОТН представлена комплексом, включающим схему формирования унифицированных моделей ОТР в форматах бизнес-плана и моделей инженерных решений (ИР) инженерных проектов, схему формирования детерминированных и стохастических ИР моделей. Использование ОТН как критерия качества ОТР обусловлено универсальностью критерия качества ОТР на всем временном горизонте работ «определенность — риск — неопределенность» [1].

Схемой моделей ОЭР отображается задача последовательности формирования укрупненных значений параметров экономических решений (ЭР) в бизнес-плане с последующим процессом уточнения в инженерной части проекта; схемой моделей параметров ИР — задача определения параметров в рамках ограничений ресурсов, заданных ЭР; схемой детерминированных моделей ОТР — задача построения системы оценок ОТР по нормативным технико-экономическим критериям; схемой стохастических моделей ОТР — задача построения оценок ОТР по критериям с учетом неопределенности и риска. Ниже приведен модельный комплекс решения оптимизации ОТР строительных объектов. Сущностью такого подхода являются построения активных моделей преобразования параметров на временных горизонтах потока.

Ниже приведен комплекс логико-информационных моделей реализации задачи предпроектной подготовки ОТР.

Модели бизнес — решения (БР):

$$БР = \bigcup_{in} (M_1, M_2, M_3, M_4), \quad (1)$$

где M_1 — модель потока выручки;

M_2 — модель потока затрат;

M_3 — модель потока инвестиций;

M_4 — модель потока чистого дохода.

Основными параметрами моделей являются вектор параметров Π_k и вектор оценок O_{Π} :

$$\Pi_k = \langle O, Ц, З_m, З_t, З_{\phi}, n^o, З_{\Pi}, a_t \rangle, \quad (2)$$

$$O_{\Pi} = \langle ЧДД, ВНД, РИ, СОИ, НХЭ, КЭ, ЭЭ \rangle, \quad (3)$$

где O — объем работ; $Ц$ — цель;

$З_m$ — затраты материалов; $З_t$ — затраты труда;

$З_{\phi}$ — затраты на основные фонды (амортизация);

n^o — норма на инвестиции;

$З_{\Pi}$ — затраты на инвестиции;

a_t — коэффициент дисконтирования;

ЧДД — чистый дисконтированный поток;

ВНД — внутренняя норма доходности;

РИ — рентабельность инвестиций;

СОИ — срок окупаемости инвестиций;

НХЭ — народнохозяйственный эффект;

КЭ — коммерческий эффект;

ЭЭ — экономический эффект.

Модели инженерного решения (ИР):

$$ИР = \bigcup_{in} (M_1, M_2, M_3), \quad (4)$$

где M_1 — модель комплексного потока;
 M_2 — модель объектного потока;
 M_3 — модель специализированного потока.

Основными параметрами моделей являются вектор параметров и оценок:

$$P_k = \langle t_{kp}, t^{op}, Z^{kp}, Z^{sp}, t^{kp}, t^{bp}, Z^{bp}, Z^{op}, t_i^{bp}, Z_i^{bp} \rangle, \quad (5)$$

$$O_{\text{ц}} = \langle \Xi \Xi \rangle, \quad (6)$$

где t_{kp} — продолжительность комплексного потока;
 t^{op} — продолжительность объектного потока;
 Z^{kp} — затраты комплексного потока;
 Z^{sp} — затраты объектного потока;
 t^{kp} — продолжительность комплексного потока;
 t^{bp} — продолжительность бизнес-решения комплексного потока;
 Z^{bp} — затраты бизнес-решения комплексного потока;
 Z^{op} — затраты объектного потока;
 t_i^{bp} — продолжительность вида работ;
 Z_i^{bp} — затраты вида работ.

Нормативная детерминированная модель ОТН инженерного решения (ИР)

$$ИР = \bigcup_{in} (M_1, M_2, M_3), \quad (7)$$

где M_1 — модель ОТН комплексного потока;
 M_2 — модель ОТН объектного потока;
 M_3 — модель ОТН специализированного потока.

Основными параметрами моделей являются вектор параметров и оценок:

$$P_k = \langle TP^{kp}, H_{от}^{kp}, OP^{kp}, TP^{kp} \rangle, \quad (8)$$

$$O_{\text{ц}} = \langle \Xi \Xi \rangle, \quad (9)$$

где TP^{kp} — основное время работы в комплексном потоке;
 $H_{от}^{kp}$ — ОТН комплексного потока;
 OP^{kp} — организационные перерывы специализированного потока;
 TP^{kp} — технологические перерывы комплексного потока.

Расчетная стохастическая модель ОТН инженерного решения (ИР)

$$ОТН = \bigcup_{in} (M_1, M_2, M_3), \quad (10)$$

где M_1 — модель ОТН комплексного потока;
 M_2 — модель ОТН объектного потока;
 M_3 — модель ОТН специализированного потока.

Основными параметрами моделей являются вектор параметров и оценок:

$$P_k = \langle РК, t_{от}^{kp}, t_{от}^{kp, nm}, H_o, K_{рк}^{kp}, K_{но}^{kp}, H_{от}^{оп, cx}, H_{от}^{оп, nm}, t_{от}^{сп, cx}, K_{рк}^{оп}, \quad (11)$$

$$K_{но}^{оп}, H_{от}^{кп, nm}, t_{от}^{оп, cx}, K_{рк}^{оп}, K_{но}^{оп} \rangle,$$

$$O_{\text{ц}} = \langle H_{от}^{кп, cx}, H_{от}^{оп, cx}, \Xi \Xi \rangle, \quad (12)$$

где $H_{от}^{кп, cx}$ — ОТН комплексного потока стохастическая;
 $H_{от}^{кп, nm}$ — ОТН комплексного потока нормативная;
 $РК$ — риск;
 $t_{от}^{кп}$ — продолжительность комплексного потока стохастическая;
 $t_{от}^{кп, nm}$ — продолжительность комплексного потока нормативная;

H_o — неопределенность;
 $K_{рк}^{кп}$ — коэффициент риска комплексного потока;
 $K_{но}^{кп}$ — коэффициент неопределенности комплексного потока;
 $H_{от}^{оп,сх}$ — ОТН объектного стохастического потока;
 $H_{от}^{оп,нм}$ — ОТН объектного детерминированного потока;
 $t_{от}^{сп,сх}$ — продолжительность объектного стохастического потока;
 $K_{рк}^{оп}$ — коэффициент риска объектного потока;
 $K_{но}^{оп}$ — коэффициент неопределенности объектного потока;
 $t_{от}^{оп,сх}$ — продолжительность объектного стохастического потока;
 $K_{рк}^{оп}$ — коэффициент риска объектного потока;
 $K_{но}^{оп}$ — коэффициент неопределенности объектного потока.

Модельный комплекс предусматривает определение надежности стохастических решений инженерной части проекта через последовательную цепь решений «ограничения бизнес-решения — детерминированное инженерное решение — стохастическое инженерное решение — стохастическая оценка надежности инженерного решения».

В пространстве проектирования параметров определены три зоны уровней неопределенности — зона стратегического, тактического и оперативного горизонтов. Первому горизонту соответствует аналитический материал бизнес-плана, включающий комплексный поток инженерного решения; второму соответствует аналитический материал специализированного потока — инженерного потока решений ППР. Третьему горизонту соответствует аналитический материал объектного потока ПОР.

Оптимизацией достигается возможность приведения рискованного состояния к уровню безрискового повышения затрат на страхование по нормативным ставкам, а приведение неопределенности к рисковому — повышением затрат на информативность состояния объектов.

Оптимальный уровень ОТН и затрат соответствует нормативному уровню параметров и может быть использован в проектировании ПОС планировании работ и управлении их реализации в стратегическом горизонте. Этот подход может быть использован на других проектных горизонтах соответственно в ППР и ПОР на основе использования комплекса моделей параметров и показателей ОТН [1–3].

Схема взаимодействия моделей и методов ОТР в инженерно-экономическом пространстве представлена на рисунке.

В табл. 1 приведены модели оптимизации параметров потоков программы строительных компаний, устанавливающие взаимодействие и связи составляющих элементов организующей системы программы. В табл. 2 приведены результаты расчета стохастических параметров комплекса потоков объектов программы организации с определением затрат в зависимости от уровня их определенности, которые могут быть использованы для корректировки нормативных значений параметров при разработке проектных решений. В табл. 3 приведены области ОТН по уровням стохастичности потоков зависимости от факторов по трем центрам формирования затрат — затраты, продолжительность и затраты/продолжительность, которые могут быть использованы для процессов управления реализацией проектных решений на практике.

Разработка программных продуктов по оптимизации параметров организационно-технологических решений проводилась с использованием модельного комплекса ОТР и включало формирование критериев надежности в бизнес-решениях и инженерных решениях с использованием имитационных моделей в документах: бизнес-план, ПОС и ППР. В программе «Invest» используются многофакторные технико-экономические



Схема методов управления оптимизацией параметров в ОТП

I — зона определенности; II — зона риска; III — зона неопределенности

Таблица 1

Модели оптимизации потоков

№ потока	Вид потока	Параметры оптимизации		
		Вход	Выход	Оптимизация
1	Комплексный поток	t^{kp}	$\bigcup_{in} t^{op}$	$\min \text{ОП}^{op}, \min \text{ТП}^{op}$
2	Объектный поток	t^{op}	$\bigcup_{in} t^{cp}$	$\min \text{ОП}^{cp}, \min \text{ТП}^{cp}$
3	Специализированный поток	t^{cp}	$\bigcup_{in} t^{pb}$	$\min \text{ОП}^{pb}, \min \text{ТП}^{pb}$

Примечание. ОП, ТП — соответственно организационные и технологические параметры.

модели обоснования рыночных и инженерных параметров в составе маркетингового плана с учетом неопределенности информации [3]. Процедура имитационного моделирования предусматривается воспроизведение процессов, происходящих в системе, с искусственной имитацией случайных величин, от которых зависят эти процессы, с помощью датчика случайных чисел. Алгоритм обоснования эффективности инвестиционного проекта составлен с использованием метода Монте-Карло. Имитационная модель позволяет учесть влияние внешних факторов на формирование стохастических параметров инвестиционного проекта.

Процедура оптимизации предусматривает определение комплекса параметров экономического проекта по известным критериям надежности. Результатом аналитического процесса программы являются установление оптимальных технико-экономических параметров: объемов сбыта, цен и продолжительности работ с установлением уровня неопределенности их значений в горизонте долгосрочного планирования реализации

Таблица 2

Области ОТН стохастических параметров потоков

Индекс комплексного потока	Индекс объ-ектно-го по-тока	Индекс специа-лизи-рованного потока	Нор-маль	Риск, %		Неопределенность, %			Затраты, продолжительность и надежность ОТР		
				5	10	-5 +5	-10 +10	-15 +15	3	T _{орг}	H _{от}
КП	1	1	+						1	1	0,8
		2		+					1,2	1,05	0,7
	2	3			+				1,3	1,25	0,6
		4				+			1,4	1,3	0,5
	3	5					+		1,5	1,4	0,4
		6						+	1,6	1,5	0,3
Итого КП									1,25	1,1	0,62

Примечание. Расчетные характеристики получены на примере данных науки проектной строительной компании «ООО Диск+», г. Новосибирск.

Таблица 3

Области ОТН по уровням стохастичности строительных потоков

Индекс комплексного потока	Нормаль	РК, 5%	УН, %	Затраты, доля		Продолжительность, доля		Затраты и продолжительность, доля	
				3	Н _{от}	3	Н _{от}	3	Н _{от}
КП	+	0	+	1	1	1	1	1	1
	Изменение	5	5	1,2	0,7	1,1	0,8	1,3	0,6
			10	1,3	0,6	1,2	0,7	1,4	0,5
			15	1,4	0,5	1,3	0,6	1,5	0,4
		10	5	1,4	0,5	1,3	0,6	1,5	0,4
			10	1,5	0,4	1,4	0,5	1,6	0,3
			15	1,6	0,3	1,5	0,4	1,7	0,2

Примечание. Расчетные характеристики получены по данным оценки программы проектной строительной компании («ООО Диск+», г. Новосибирск). РК — риск; УН — уровень неопределенности; Н_{от} — значение ОТН; 3 — затраты; Н — нормативный риск.

бизнес-проекта с учетом организационно-технологической надежности решений плана.

В программе «*Setim*» используются многофакторные математические модели обоснования инженерных параметров календарного плана в составе бизнес-плана с учетом вероятностей реализации решений [4]. Процедура оптимизации предусматривает определение комплекса параметров по известным критериям надежности проекта. Результатом аналитического процесса программы являются установление оптимальных инженерных параметров: объемов производства, затрат и продолжительности работ с установлением уровня риска в горизонте среднесрочного планирования реализации ПОС с учетом организационно-технологической надежности плана [4].

В программе «*Potok*» используются многофакторные математические модели обоснования инженерных параметров комплексного потока в составе плана с учетом вероятностей реализации решений [4]. Процедура оптимизации предусматривает определение комплекса параметров по известным критериям надежности проекта. Результатом аналитического процесса программы является установление оптимальных инженерных параметров: количества потоков, совмещения потоков и объемов и продолжительности работ с установлением уровня риска в горизонте средне-

срочного планирования реализации ПОС с учетом организационно-технологической надежности потока.

В программе «*Ekskom*» используются многофакторные математические модели обоснования инженерных параметров комплекта машин в составе комплексного потока с учетом вероятностей реализации решений [4]. Процедура оптимизации предусматривает определение комплекса параметров по известным критериям надежности потока. Результатом аналитического процесса программы является установление оптимальных инженерных параметров: количества потоков, совмещения потоков и объемов и продолжительности работ с установлением уровня риска в горизонте среднесрочного планирования реализации ППР с учетом организационно-технологической надежности комплекса.

В программе «*Brigada*» используются многофакторные математические модели обоснования инженерных параметров комплекта машин в составе плана с учетом вероятностей реализации решений [4]. Процедура оптимизации предусматривает определение комплекса параметров по известным критериям надежности проекта. Результатом аналитического процесса программы является установление оптимальных инженерных параметров: количества бригад, состава бригад, объемов и продолжительности работ с установлением уровня риска в горизонте оперативного планирования реализации ППР с учетом организационно-технологической надежности комплекта механизмов.

На основе разработанных методических, математических и программного обеспечения определены параметры комплексной оптимизации организационно-технологических решений на примере комплексной программы строительной компании г. Новосибирска. Полученный материал позволяет учитывать дополнительные затраты на обеспечение достоверности ценовой политики и организационно-технологической надежности инженерных решений.

Выводы. Разработанная методология, инструменты и программы создают основу для формирования проектной документации, отвечающей требованиям рыночных условий.

Нормативная база организационно-технологических решений, включающая модели бизнеса, модель инженерных решений, модели детерминированных решений ОТН, модели стохастических решений ОТН позволяет осуществлять разработку инженерных решений с учетом факторов риска и неопределенности.

Безопасность организационно-технологических решений в проектных документах ПОС и ППР может быть определена традиционными методами страхования с учетом стохастических факторов, а реализация — с использованием расчетных матриц критических значений эффективности в зависимости от факторов риска и неопределенности производства работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов, В. В. Управление организационно-технологической надежностью строительных проектов [Текст] / В. В. Герасимов, Е. С. Лабутич, Н. В. Пятыч, О. Ю. Михальченко // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 6. — С. 87–91.
2. Кузнецов, С. М. Системотехника ресурсосберегающей технологии строительства зданий и сооружений [Текст] / С. М. Кузнецов // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 3. — С. 110–117.
3. Кузнецов, С. М. Методика оценки надежности инвестиционных проектов [Текст] / С. М. Кузнецов, О. А. Легостаева, С. Н. Ячменьков // Экономика ж. д. — 2006. — № 2. — С. 20–26.

4. Кузнецов, С. М. Оценка организационно-технологической надежности строительства зданий и сооружений [Текст] / С. М. Кузнецов, Н. А. Сироткин, О. А. Легостаева, С. Н. Ячменьков // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 2. — С. 47–52.

ГЕРАСИМОВ В. В., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КУЗНЕЦОВ С. М., канд. техн. наук, доц.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

КОРОБОВА О. А., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МИХАЛЬЧЕНКО О. Ю., инж.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 12.02.10

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

Kuznecov S. M., candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian State University of the Ways of the Message, Novosibirsk, Russia

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

Mihalichenko O. Yu., engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

COMPLEX APPROACH TO OPTIMIZATION ORGANIZING-TECHNOLOGICAL DECISIONS IN CONSTRUCTION

In article are considered questions to complex optimization organizing-technological decisions construction object. The Broughted scheme of the motivation parameter organizing-technological decisions project in condition of the uncertainties and risk.

Key words: complex, optimization, organizing-technological reliability, models, methods, programming, construction.

REFERENCES

1. Gerasimov, V. V. Management organizing-economic reliability building project [Text] / V. V. Gerasimov, E. S. Labutin, N. V. Pyatyh, O. Yu. Mihalichenko // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 6. — P. 87–91.
2. Kuznecov, S. M. The System design resource-saving technologies building activity and buildings [Text] / S. M. Kuznecov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2005. — N 3. — P. 110–117.
3. Kuznecov, S. M. The Methods of the estimation reliability investment project [Text] / S. M. Kuznecov, O. A. Legostaeva, S. N. Yachmenikov // Economy zh. d. — 2006. — N 2. — P. 20–26.
4. Kuznecov, S. M. The Estimation organizing-technological reliability building activity and buildings [Text] / S. M. Kuznecov, N. A. Sirotkin, O. A. Legostaeva, S. N. Yachmenikov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2006. — N 2. — P. 47–52.

УДК 658.562:666.972

В. И. ЛОГАНИНА, Т. В. УЧАЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Приведены сведения о возможности повышения качества продукции за счет применения системы статистического управления процессами, включающей использование индексов воспроизводимости процессов. Показаны результаты расчетов вероятности появления брака в зависимости от налаженности технологического процесса.

Ключевые слова: воспроизводимость, процесс, вариации, бетон, брак.

Для того чтобы качество продукции соответствовало современным требованиям, необходимо выполнение следующих моментов: процесс производства должен находиться в статистически управляемом состоянии и должен быть воспроизводимым.

Анализ результатов контроля прочности бетона, взятых в лабораториях некоторых предприятий стройиндустрии, показывает, что процесс производства бетонных изделий в ряде случаев является невоспроизводимым и находится в статистически неуправляемом состоянии [1].

Для оценки воспроизводимости процесса рассчитывают индекс воспроизводимости C_p

$$C_p = \frac{\text{ВГД} - \text{НГД}}{6\sigma}, \quad (1)$$

где ВГД — верхняя граница допуска;

НГД — нижняя граница допуска;

σ — среднеквадратическое отклонение.

Точность технологического процесса оценивают исходя из следующих критериев [2, 3]:

$C_p > 1,33$ — воспроизводимый;

$C_p = 1,00$ — воспроизводимый, но требует внимательного наблюдения;

$C_p < 1,00$ — невоспроизводимый.

Для процесса, в котором качество изделия определяется одним показателем, имеющим нормальное распределение, при условии, что его среднее значение находится в середине поля допуска, при $C_p = 1$ вероятность брака теоретически составляет 0,27 %. В ГОСТ Р 50779.42–99 рекомендуется в качестве минимально приемлемого значения $C_p = 1,33$ (при этом брак составит 63 изделия на миллион). В разных отраслях возможны и другие ориентиры для значений C_p .

Применение для анализа процесса получения продукции с заданными свойствами только индекса воспроизводимости C_p не позволяет достоверно его оценить, так как можно получить неверную информацию о производственном процессе в том случае, если среднее значение процесса отличается от номинального, иными словами, если процесс нецентрирован.

Более показательное применение откорректированного индекса C_{pk} с учетом поправки на нецентрированность

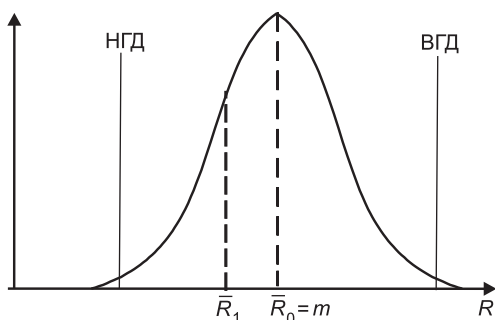
$$C_{pk} = C_p (1 - k). \quad (2)$$

Если процесс идеально центрирован, то k равно нулю и $C_{pk} = C_p$. Однако когда процесс смещается от номинального значения, k увеличивается, и C_{pk} становится меньше C_p .

Показатель целевого значения k характеризует отклонение среднего значения процесса \bar{x} от середины m между границами допуска

$$k = \frac{2|m - \bar{x}|}{\text{ВГД} - \text{НГД}}. \quad (3)$$

Рассмотрим возможность повышения качества продукции за счет применения системы статистического управления процессами на примере производства бетонных изделий. На рисунке приведен закон распределения средних значений показателя прочности бетона: \bar{R}_0 характеризует



Распределение показателей прочности при сжатии

среднее значение прочности (случай, когда \bar{R}_0 находится в середине поля допуска, т.е. $\bar{R}_0 = m$), \bar{R}_1 — среднее значение прочности (случай, когда \bar{R}_1 не совпадает с серединой поля допуска m).

Нами выполнена количественная оценка вероятности появления брака для различных значений C_p и различных значений отношения C_{pk} к C_p при производстве лестничных маршей из бетона марки 300. Для бетона уста-

новлены допуски на показатели прочности — нижний (НГД = 300) и верхний (ВГД = 350). Браком будем считать партию, если показатели качества (прочности) выходят за нижнюю границу допуска (НГД), выход показателя качества на верхнюю границу допуска (ВГД) браком не считается, а свидетельствует о нерациональном использовании сырьевых ресурсов. Результаты расчетов приведены в таблице.

Анализ результатов расчета показывает, что вероятность получения бракованной продукции может быть выражена как функция индексов воспроизводимости процесса (ИВП): C_p и C_{pk} . При увеличении значения индекса воспроизводимости C_p до значения 1,3 даже наличие незначительного смещения процесса при $k = 0,1$ обеспечивает уровень дефектности в рамках $\pm 3\sigma$, что невыполнимо при $C_p = 1$ и $C_p = 0,7$ (таблица).

При $C_p < 1,0$ даже при нулевом смещении (k равно нулю) уровень брака достаточный и составляет 1,79 %. Для воспроизводимого процесса при $C_p = 1,0$ незначительное отклонение среднего процесса от центра поля допуска (в поле допуска $2,7\sigma$) приводит к увеличению доли брака до 0,35 %.

Аналогичные зависимости были получены и для бетона других марок.

Таким образом, с ростом воспроизводимости процесса вероятность получения бракованной продукции падает.

Исходя из этого очень важно при настройке технологического процесса свести к минимуму специальные причины вариаций, которые возникают из-за внешних (по отношению к процессу) воздействий на него и не являются неотъемлемой частью процесса. Для этого необходимо по-

**Процент брака при различных значениях центрированности
процесса производства**

Отношение $\frac{C_{pk}}{C_p}$	Показатель целевого значения, k	Среднее квадратичное отклонение, σ , МПа	Среднее значение процесса \bar{x} , МПа	Число стандартных отклонений в поле допуска (НГД- \bar{x})	Брак, %
Для $C_p = 1$					
1	0	0,833	32,5	3	0,135
0,9	0,1	0,833	32,25	2,7	0,35
0,7	0,3	0,833	31,75	2,1	1,7
0,5	0,5	0,833	31,25	1,5	6,68
Для $C_p = 0,7$					
1	0	1,194	32,5	2,1	1,79
0,9	0,1	1,194	32,25	1,89	2,94
0,7	0,3	1,194	31,75	1,47	7,08
0,5	0,5	1,194	31,25	1,05	14,69
Для $C_p = 1,3$					
1	0	0,641	32,5	3,9	0,012
0,9	0,1	0,641	32,25	3,51	0,25
0,7	0,3	0,641	31,75	2,73	0,32
0,5	0,5	0,641	31,25	1,94	2,62

всеместно внедрять в производство статистические методы контроля и управления качеством продукции [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логанина, В. И. Применение статистических методов управления качеством строительных материалов [Текст] / В. И. Логанина, Л. П. Орендлихер, А. А. Федосеев : монография. — М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. — 104 с.
2. ГОСТ Р 50779.40–96. Статистические методы. Контрольные карты [Текст]. — Общее руководство и введение.
3. ГОСТ Р 50.1.018–98. Обеспечение стабильности технологических процессов в системах качества по моделям стандарта ИСО серии 9000 [Текст].
4. Адлер, Ю. П. Серия статей по статистическому управлению процессами [Текст] / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Методы менеджмента качества. — 2003. — № 1, 3, 5, 7, 11 ; 2004. — № 2, 3, 6.

ЛОГАНИНА В. И., д-р техн. наук, проф.; E-mail: loganin@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

УЧАЕВА Т. В., инж.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 05.02.10

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

Uchaeva T. V., engineer, Penza State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**APPLICATION OF SYSTEM OF STATISTICAL MANAGEMENT
PROCESSES WITH THE PURPOSE OF IMPROVEMENT
OF QUALITY OF PRODUCTS**

Application of system of statistical management processes with the purpose of improvement of products quality. Resulted taking about possibility of upgrading products due

to application of the system of statistical management processes, cabbage include-soup the use of indexes of processes producibility. Rotined results calculations of probability of appearance of marriage depending on put right of technological process.

Key words: producibility, process, variations, concrete, marriage.

REFERENCES

1. Loganina, V. I. Primenenie statistical methods of quality of build materials management [Text] / V. I. Loganina, L. P. Orentlikher, A. A. Fedoseev : Monograph. — Moscow : Publishing house of Association of build institute of higher, 2004. — 104 p.
 2. GOST of R is 50779.40–96. Statisticheskie methods. Check cards [Text]. General guidance and introduction.
 3. GOST of R 50.1.018–98. Providing of stability of technological processes in the systems of quality on the models of standard of ISO of series 9000 [Text].
 4. Adler, Yu. P. Seriya reasons on statistical [Text] / Yu. P. Adler, V. L. Shper // Methods of management of quality. — 2003. — N 1, 3, 5, 7, 11; 2004. — N 2, 3, 6.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.921.42:532.5.031

Д. В. МАКЛАКОВ, В. Н. ПОСОХИН, А. Р. ФАТТАХОВ

К РАСЧЕТУ БОРТОВЫХ ОТСОСОВ

Сообщение 1

В рамках теории течений идеальной жидкости решена задача о необходимой интенсивности двухуровневого двухстороннего бортового отсоса от промышленной ванны. Показано, что эффективность улавливания вредных выделений повышается с заглублением отсоса.

Ключевые слова: бортовой отсос, линейный сток, идеальная жидкость, численный расчет.

Энергоемкость бортовых отсосов весьма высока, поэтому усилия проектировщиков направлены на поиск конструктивных и технологических решений, позволяющих снизить их интенсивность. Известны опрокинутые, активированные отсосы, отсосы от полных укрытий ванн [1]. Используются технологические мероприятия в виде укрытия поверхности испарения плавающими телами, слоем пены и т.п. [2]. Некоторые специалисты высказывают мнение о том, что количество удаляемого воздуха может быть снижено при устройстве двухуровневого отсоса, схема которого показана на рис. 1. Методика расчета таких отсосов не разработана. Ниже дается приближенное решение соответствующей задачи.

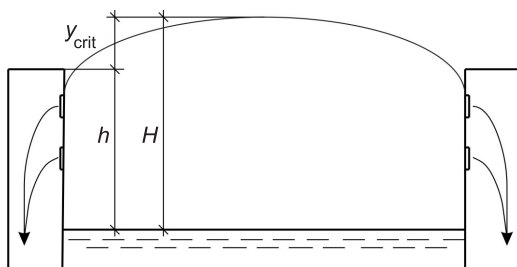


Рис. 1. Схема двухуровневого бортового отсоса

1. Постановка задачи. Рассмотрим плоское течение идеальной жидкости, схема симметричной половины которого показана на рис. 2, а. Вертикальный отрезок AD — ось симметрии. Начало координат помещено в точку B . В точках $E_1(0, -h_1)$ и $E_2(0, -h_2)$ расположены линейные стоки интенсивностью q_1 и q_2 соответственно. Участок CD является распределенным источником интенсивностью q_0 ; CD — эквипотенциаль. Таким образом, приближенно моделируется конвекция над нагретой поверхностью испарения. В бесконечно удаленной точке A находится источник. Его интенсивность, очевидно, равна

$$q_3 = q_1 + q_2 - q_0. \quad (1)$$

Считаем заданными расходы q_1 , q_2 , q_0 и геометрические параметры $b = CD$, $h = BC$, $h_1 = BE_1$, $h_2 = BE_2$.

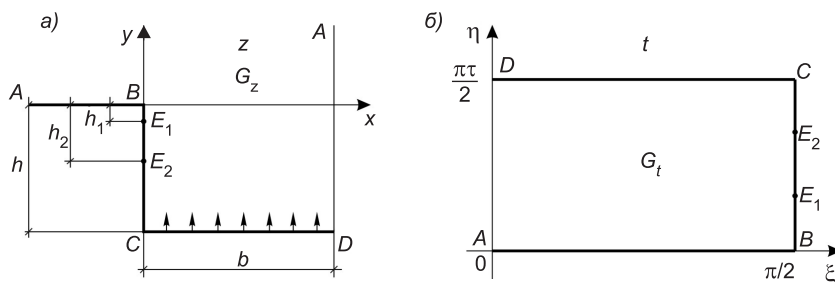


Рис. 2. Соответствие областей при конформном отображении

a — область течения в физической плоскости $z = x + iy$; *б* — область течения в параметрической плоскости $t = \xi + i\eta$

Необходимо найти связь между всеми перечисленными параметрами и высотой купола вредных выделений H (см. рис. 1) при полном улавливании восходящего потока.

2. Конформное отображение области течения на параметрическую область. Отобразим конформно область течения G_z в физической плоскости $z = x + iy$ на прямоугольник G_t параметрической плоскости $t = \xi + i\eta$ (рис. 2, б). Вершины прямоугольника будут: 0 , $\pi/2$, $\pi/2 + \pi\tau/2$, $\pi\tau/2$. Точки $\pi/2 + i\eta_1$ и $\pi/2 + i\eta_2$ в параметрической плоскости t являются образами точек E_1 и E_2 в физической плоскости z . Параметр τ — чисто мнимая величина, определяющая ширину прямоугольника G_t , равную $\pi|\tau|/2$. Этот параметр заранее неизвестен и должен определиться в ходе отыскания функции $z = z(t)$.

Сначала найдем производную конформного отображения dz/dt . Заметим, что $\text{Im}(dz/dt) = 0$ на сторонах прямоугольника, поэтому с помощью принципа симметрии Римана — Шварца [3] функцию dz/dt можно аналитически продолжить на всю комплексную плоскость $t = \xi + i\eta$. В результате получаем двойкопериодическую функцию с периодами π и $\pi\tau$ [4].

Проанализируем особенности функции dz/dt в области G_t . В угловых точках D и C эта функция особенностей не имеет, так как углы после отображения сохраняются прямыми. Точка $t = 0$ переходит в бесконечно удаленную и также после отображения сохраняет прямой угол при вершине. Поэтому около $t = 0$

$$z(t) = \frac{\text{const}}{t} + O(1),$$

а производная

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{\text{const}}{t^2} + O(1).$$

Символ $O(1)$ обозначает величину порядка единицы.

Следовательно, dz/dt имеет полюс второго порядка при $t = 0$. В точке $t = \pi/2$ прямой угол при вершине после отображения становится равным $3\pi/2$. Поэтому около $t = \pi/2$

$$z(t) = \text{const} \left(t - \frac{\pi}{2} \right)^3 + O \left(t - \frac{\pi}{2} \right)^4,$$

следовательно,

$$\frac{dz}{dt} = 3 \text{const} \left(t - \frac{\pi}{2} \right)^2 + O \left[4 \left(t - \frac{\pi}{2} \right) \right].$$

Таким образом, в точке $t = \pi / 2$ функция dz / dt имеет нуль второго порядка.

Итак, мы установили, что в точке $t = 0$ функция dz / dt имеет полюс второго порядка, а в точке $t = \pi / 2$ — нуль второго порядка. Других особенностей в области G_t эта функция не имеет. Естественно, что в силу двоякопериодичности dz / dt имеет полюс второго порядка при всех $t = n\pi + m\pi\tau$, и нуль второго порядка при всех $t = (\pi / 2)n\pi + m\pi\tau$, где m и n — целые числа.

Теперь воспользуемся теорией двоякопериодических аналитических функций (эллиптических функций) [4] для отыскания dz / dt . Согласно этой теории любую эллиптическую функцию можно выразить через так называемые тэта-функции Якоби. Введем обозначение $q = e^{\pi i \tau}$. Так как τ — величина мнимая, в нашем случае

$$q = e^{-\pi |\tau|} \quad (2)$$

и является действительным числом, меньшим единицы. Четыре тэта-функции определяются следующим образом [4]:

$$\begin{aligned} \theta_1(t) &= 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} q^{\frac{(2n-1)^2}{4}} \sin(2n-1)t; \quad \theta_2(t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} q^{\frac{(2n-1)^2}{4}} \cos(2n-1)t; \\ \theta_3(t) &= 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} q^{n^2} \cos 2nt; \quad \theta_4(t) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n q^{n^2} \cos 2nt. \end{aligned} \quad (3)$$

Как видно из формул (3), при малых q эти функции представляют собой быстросходящиеся ряды. Для рассматриваемой задачи q — весьма малая величина порядка нескольких сотых, поэтому аппарат тэта-функций весьма удобен для ее решения, как, впрочем, и для большинства практических задач, связанных с двоякопериодическими функциями.

Тэта-функции не являются двоякопериодическими. Поэтому величины τ и $\pi\tau$ называют квазипериодами. При добавлении (вычитании) к аргументу t квазипериодов тэта-функции получают множители периодичности. При добавлении (вычитании) $\pi / 2$ и $\pi\tau / 2$ тэта-функции переходят друг в друга и также получают множители периодичности. Все эти свойства тэта-функций сведены в таблицу, где $M = q^{-1} e^{\mp 2it}$, $N = q^{-1/4} e^{\mp it}$.

При вычислении M и N знак «плюс» берется при прибавлении, а «минус» — при вычитании $\pi\tau$ и $\pi|\tau|/2$. Например, пусть надо найти $\theta_4(t - \pi\tau/2)$.

Согласно таблице $\theta_4(t - \pi\tau/2) = -iN\theta_1(t)$, где $N = q^{-1/4} e^{it}$. Поэтому $\theta_4(t - \pi\tau/2) = -iq^{-1/4} e^{it} \theta_1(t)$.

Любую эллиптическую функцию $f(t)$ с периодами π и $\pi\tau$ можно выразить через тэта-функции по формуле [4, с. 350]

$$f(t) = A \prod_{i=1}^n \frac{\theta_1(t - \alpha_i)}{\theta_1(t - \beta_i)}, \quad (4)$$

где A — постоянная,

α_i и β_i — основные совокупности нулей и полюсов:

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \beta_i) = 0, \quad (5)$$

где нули и полюсы подсчитываются с учетом их кратности.

При построении dz/dt в качестве основной совокупности нулей и полюсов имеем полюс второго порядка в точке $t = 0$ и нули в точках $t = \pi/2$ и $t = -\pi/2$. Тогда в прямоугольнике периодов с вершинами $-\pi/2 - \pi\tau/2$, $-\pi/2 + \pi\tau/2$, $\pi/2 + \pi\tau/2$, $\pi/2 - \pi\tau/2$ условие (5) будет выполнено.

С помощью формулы (4) находим

$$\frac{dz}{dt} = \frac{A\theta_1(t - \pi/2)\theta_1(t + \pi/2)}{\theta_1^2(t)},$$

и по формулам приведения получим

$$\frac{dz}{dt} = k \frac{\theta_2^2(t)}{\theta_1^2(t)}, \quad (6)$$

где $k > 0$ — действительная постоянная, имеющая размерность длины.

Функцию $z(t)$ находим интегрированием

$$z(t) = k \int_{\pi/2}^t \frac{\theta_2^2(t)}{\theta_1^2(t)} dt. \quad (7)$$

Теория тэта-функций позволяет вычислить интеграл в (7) в явном виде. Действительно, эллиптическую функцию dz/dt можно построить лишь по ее полюсам в прямоугольнике периодов.

Опуская выводы, связанные с определением подинтегрального выражения, приведем конечный результат

$$\frac{\theta_2^2(t)}{\theta_1^2(t)} = \alpha(q) \left[\beta(q) - \frac{d}{dt} \frac{\theta_1'(t)}{\theta_1(t)} \right],$$

где $\alpha(q) = \theta_2^2 / (\theta_1')^2$, $\beta(q) = \theta_2'' / \theta_2$ — функции, зависящие только от параметра q .

Теперь мы можем вычислить интеграл (7). В результате получим

$$z(t) = k\alpha(q) \left[\beta(q) \left(t - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{\theta_1'(t)}{\theta_1(t)} \right]. \quad (8)$$

Выведем уравнения для определения $q = e^{\pi i \tau}$ и параметров k , η_1 и η_2 .

Замечаем, что $\tau = -\frac{i}{\pi} \ln q$, $z\left(\frac{\pi\tau}{2}\right) = b - ih$. Согласно (8)

$$z\left(\frac{\pi\tau}{2}\right) = k\alpha(q) \left[\beta(q) \left(-\frac{i \ln q}{2} - \frac{\pi}{2} \right) - \theta_1' \left(\frac{\pi\tau}{2} \right) / \theta_1 \left(\frac{\pi\tau}{2} \right) \right].$$

С помощью таблицы приведения находим

$$\theta_1(t + \pi\tau/2) = iq^{-1/4} e^{-it} \theta_4(t).$$

Поэтому

$$\theta_1' \left(t + \frac{\pi\tau}{2} \right) / \theta_1 \left(t + \frac{\pi\tau}{2} \right) = \frac{d}{dt} \ln [iq^{-1/4} e^{-it} \theta_4(t)] = -i + \frac{\theta_4'(t)}{\theta_4(t)}.$$

При $t = 0$ с учетом того, что $\theta'_4(0) = 0$, имеем $\theta'_1(\pi\tau / 2) / \theta_1(\pi\tau / 2) = -i$.

Следовательно, $z(\pi\tau / 2) = b - ih = k\alpha(q) \left[i - \beta(q) \left(\pi / 2 + \frac{i}{2} \ln q \right) \right]$.

Отсюда находим b и h :

$$b = -k\alpha(q)\beta(q)\frac{\pi}{2}, \quad h = k\alpha(q)\left(\frac{\beta}{2}\ln q - 1\right). \quad (9)$$

Исключив k из уравнений (9), выводим

$$\frac{2 - \beta(q)\ln q}{\beta(q)\pi} = \frac{h}{b}. \quad (10)$$

Уравнение (10) служит для определения параметра q . Решив его, найдем $\alpha = \alpha(q)$ и $\beta = \beta(q)$.

Первое из уравнений (9) используем для определения k :

$$k = -(2b / \pi\alpha\beta). \quad (11)$$

Уравнения для вычисления параметров η_1 и η_2 получим из соотношений

$$z(\pi / 2 + i\eta_1) = -ih_1, \quad z(\pi / 2 + i\eta_2) = -ih_2. \quad (12)$$

Рассмотрим первое из них. С помощью (8) найдем

$$-ih_1 = k\alpha \left[\beta\eta_1 i - \theta'_1 \left(\frac{\pi}{2} + i\eta_1 \right) / \theta_1 \left(\frac{\pi}{2} + i\eta_1 \right) \right].$$

Используя формулы приведения, получим

$$h_1 = -k\alpha \left[\beta\eta_1 + i \frac{\theta'_2(i\eta_1)}{\theta_2(i\eta_1)} \right].$$

Исключив отсюда k , с помощью уравнения (11) найдем

$$\frac{2}{\beta\pi} \left(\beta\eta_1 + i \frac{\theta'_2(i\eta_1)}{\theta_2(i\eta_1)} \right) = \frac{h_1}{b}. \quad (13)$$

Аналогично выводим

$$\frac{2}{\beta\pi} \left(\beta\eta_2 + i \frac{\theta'_2(i\eta_2)}{\theta_2(i\eta_2)} \right) = \frac{h_2}{b}. \quad (14)$$

В уравнениях (13) и (14) величина $\theta'_2(i\eta) / \theta_2(i\eta)$ при действительных η является мнимой, поэтому каждое из этих уравнений представляют собой одно уравнение с одним неизвестным. Решив (13) и (14), определим η_1 и η_2 .

Таким образом, последовательность действий для определения параметров конформного отображения q, k, α, β и параметров η_1 и η_2 , определяющих образы точек E_1 и E_2 в параметрической плоскости, следующая. Сначала находим q из (10), затем $\alpha = \alpha(q)$ и $\beta = \beta(q)$. Из соотношения (11) определяем k , а из уравнений (13) и (14) находим η_1 и η_2 .

3. Построение функций комплексного потенциала и комплексной сопряженной скорости.

Введем комплексный потенциал течения $W = \phi + i\psi$ и найдем функции $W = W(t)$ и $\frac{dW}{dt}(t)$ (ϕ и ψ — потенциал и функция тока течения). Рассмотрим вспомогательную полуплоскость ζ , изображенную на рис. 3, а.

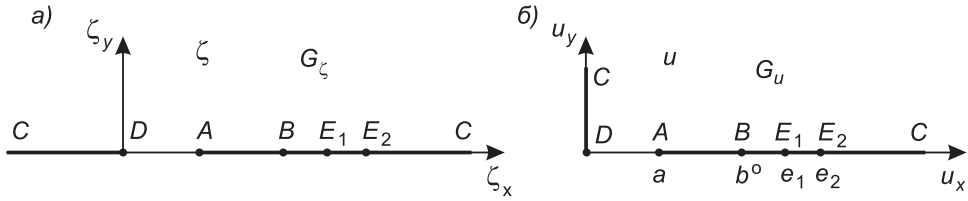


Рис. 3

Отобразим конформно параметрический прямоугольник G_t на эту полуплоскость. Анализ особенностей отображающей функции показывает, что эта функция имеет нуль второго порядка в точке $t = \pi\tau / 2$, соответствующей точке D в физической плоскости, и полюс второго порядка в точке $t = \pi / 2 + \pi\tau / 2$, соответствующей точке C . Проводя рассуждения, аналогичные рассуждениям предыдущего пункта при построении dz / dt , находим $\zeta = \theta_4^2(t) / \theta_3^2(t)$.

Отсюда следует, что функция

$$u = \theta_4(t) / \theta_3(t) \quad (15)$$

отображает параметрический прямоугольник G_t на верхний правый квадрант вспомогательной плоскости u (рис. 3, б).

Пусть a, b^0, e_1 и e_2 образы точек A, B, E_1 и E_2 в плоскости u соответственно. Тогда, согласно (15) и формулам приведения,

$$a = \theta_4 / \theta_3, \quad b^0 = \theta_3 / \theta_4, \quad e_1 = \theta_3(i\eta_1) / \theta_4(i\eta_1), \quad e_2 = \theta_3(i\eta_2) / \theta_4(i\eta_2). \quad (16)$$

В плоскости u функция $W(u)$ строится следующим образом. В точке $u = a$ имеем источник интенсивностью q_3 , а в точках $u = e_1$ и $u = e_2$ стоки интенсивностью q_1 и q_2 соответственно. Так как на DC $\varphi = \text{const}$ (это эквипотенциаль), то после аналитического продолжения функции $W(u)$ на всю полуплоскость через DC получаем в точке $u = -a$ сток интенсивностью q_3 , а в точках $u = -e_1$ и $u = -e_2$ источники интенсивностью q_1 и q_2 соответственно. Поэтому

$$W = \frac{q_3}{\pi} \ln \frac{u-a}{u+a} - \frac{q_1}{\pi} \ln \frac{u-e_1}{u+e_1} - \frac{q_2}{\pi} \ln \frac{u-e_2}{u+e_2}. \quad (17)$$

Опуская подробности, связанные с определением производных: от комплексного потенциала по параметрическим переменным u, t , запишем соответствующие выражения:

$$\frac{dW}{du} = \frac{2}{\pi} \left[\frac{aq_3}{u^2 - a^2} - \frac{e_1q_1}{u^2 - e_1^2} - \frac{e_2q_2}{u^2 - e_2^2} \right]; \quad (18)$$

$$dW / dt = (2 / \pi) \theta_2^2 \theta_1(t) \theta_2(t) [q_3 F(a, t) - q_1 F(e_1, t) - q_2 F(e_2, t)], \quad (19)$$

где

$$F(m, t) = \frac{m}{\theta_4^2(t) - m^2 \theta_3^2(t)}.$$

Комплексная сопряженная скорость $\frac{dW}{dz} = \frac{dW}{dt} / \frac{dz}{dt}$. Поэтому с учетом (6) находим

$$\frac{dW}{dz} = \frac{2}{\pi} \frac{\theta_2^2}{k} \frac{\theta_1^3(t)}{\theta_2(t)} [q_3 F(a, t) - q_1 F(e_1, t) - q_2 F(e_2, t)]. \quad (20)$$

Последнее равенство вместе с соотношениями (8), (10), (11), (13), (14) определяет поле скорости течения, создаваемого действием отсосов и потока восходящего над поверхностью испарения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П о с о х и н, В. Н. Расчет местных отсосов от тепло- газовыделяющего оборудования [Текст] / В. Н. Посохин. — М. : Машиностроение, 1984. — 160 с.
2. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 [Текст] / В. Н. Богословский, А. И. Пирумов, В. Н. Посохин и др. ; под. ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера ; 4-е изд., перераб. — М. : Стройиздат, 1992. — 319 с.
3. Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного [Текст] / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. — М. : Наука, 1973. — 736 с.
4. Уиттекер, Э. Т. Курс современного анализа. Т. 2 [Текст] / Э. Т. Уиттекер, Г. Н. Ватсон // Трансцендентные функции: пер. с англ. — М. : Физматгиз, 1963. — 515 с.

*МАКЛАКОВ Д. В., д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: dmitri.maklakov@ksu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ПОСОХИН В. Н., д-р техн. наук, проф.; E-mail: posohin@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
ФАТТАХОВ А. Р., ассист.; E-mail: fattahov82@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 19.02.10

Maklakov D. V., doctor of physical and mathematical sciences, professor; E-mail: dmitri.maklakov@ksu.ru, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

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

Fattakhov A. R., assistant; E-mail: fattahov82@mail.ru, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

TO CALCULATION ONBOARD SUCTIONS

Within the bounds of the theory of currents of an ideal liquid the problem about necessary intensity two-level bilateral onboard suction from an industrial bath is solved. It is shown that efficiency of catching harmful releases raises with deepening of suction.

Key words: onboard suction, linear drain, ideal liquid, numerical calculation.

REFERENCES

1. P o s o k h i n, V. N. Calculation local suction from heat-gas-yielding equipment [Text] / V. N. Posokhin. — Moscow : Mashinostroenie, 1984. — P. 160.
2. The handbook of the designer. Ventilation and air conditioning. Book 1 [Text] / V. N. Bogoslovsky, A. I. Pirumov, V. N. Posokhin etc.; under edition N. N. Pavlov & Yu. I. Shiller ; 4 edition, processed. — Moscow : Stroyizdat, 1992. — P. 319.
3. L a v r e n t e v, M. A. Methods of the theory of functions of the complex variable [Text] / M. A. Lavrentev, B. V. Shabat. — Moscow : Science, 1973. — 736 p.
5. W h i t t a k e r, E. T. A course of modern analysis. V. 2 [Text] / E. T. Whittaker, G. N. Watson // Transcendental functions : translation from Eng. — Moscow : Fizmatgiz, 1963. — 515 p.

УДК 697.921.452

В. И. КОСТИН, Е. Ю. РУССКИХ

РАБОТА КАЛОРИФЕРНЫХ УСТАНОВОК В РЕЖИМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Проведен анализ работы калориферных установок в режиме автоматического регулирования с помощью изменения расхода воды. Показано, что во многих случаях при температурах наружного воздуха $t_n = 0^\circ\text{C}$ температура обратной воды может оказаться ниже температуры настройки датчика защиты от замораживания.

Ключевые слова: калориферные установки, режим автоматического регулирования, анализ.

Калориферные установки рассчитываются на определенную температуру наружного воздуха t_n^p (по параметрам А или Б холодного периода). Что касается периода более высоких температур наружного воздуха, то в СНиП [1] сказано следующее (п. 7.8.2): «Для защиты от замораживания воды в трубках воздухонагревателей следует: ...при отсутствии смесительных насосов у воздухонагревателей скорость движения воды в трубках обосновывать расчетом или принимать не менее $0,12\text{ м/с}$ при расчетной температуре наружного воздуха по параметрам Б и при 0°C ...».

Такая формулировка представляется не совсем правильной, так как датчик защиты калориферов от замораживания настраивается на определенную температуру обратной воды T_2 и будет срабатывать при соответствующем ее снижении независимо от скорости воды в трубках w . Здесь целесообразно вспомнить, что исследованиями ряда ученых (М. И. Фильней, Г. Д. Лифшиц, Р. Н. Давыдов) было показано, что при регулировании теплопроизводительности калориферных установок с помощью изменения расхода воды опасным с точки зрения замораживания является режим работы при температурах t_n , близких к 0°C , вследствие снижения и расхода воды, и температуры подающей воды T_1 . Однако эти исследования проводились применительно к условиям сибирского климата. В настоящее время стали применяться и другие способы регулирования: по воздуху с помощью обводного клапана у калориферов (байпаса) или подмешивания обратной воды.

Целью данной работы является анализ работы калориферной установки в режиме автоматического регулирования с помощью изменения расхода воды. Результаты анализа для двух других упомянутых выше способов будут изложены в последующих публикациях.

Анализ производился исходя из следующих условий:

- 1) фактическая теплоотдача калориферов соответствует требуемой, т.е. температура приточного воздуха $t_{пр}$ равна требуемой $t_{пр}^{тр}$;
- 2) температура обратной воды выше температуры настройки датчика защиты 30°C ;
- 3) температура обратной воды не выше температуры по графику регулирования $T_{2,гр}$ ($T_2 \leq T_{2,гр}$) в случае, если источником теплоты является ТЭЦ.

С целью изучения влияния климатических условий расчеты производились для городов, расположенных в разных регионах РФ: Москвы, Ростова, Архангельска, Омска, Братска, Якутска. Это позволило охватить диапазон расчетных температур $t_{\text{н}}^{\text{р}}$ от -22°C до -55°C .

Для изучения влияния различных графиков регулирования тепловой сети рассматривались варианты: $150/70^{\circ}\text{C}$, $130/70^{\circ}\text{C}$, $110/70^{\circ}\text{C}$, $95/70^{\circ}\text{C}$.

Исследовались следующие случаи работы:

- 1) $t_{\text{пр}} = \text{const}$;
- 2) приточная вентиляция совмещена с воздушным отоплением, компенсирующим полностью или частично теплопотери помещения $Q_{\text{тп}}$, температура воздуха в помещении $t_{\text{в}} = \text{const}$:
 - а) внутренние тепловыделения $Q_{\text{вн}} \approx 0$;
 - б) внутренние тепловыделения компенсируют 30 % теплопотерь в расчетном режиме $Q_{\text{тп}}^{\text{р}}$;
 - в) внутренние тепловыделения $Q_{\text{вн}} = 0,5 Q_{\text{тп}}^{\text{р}}$.

Расчеты проводились по методике, изложенной в [2]. Далее приводятся результаты анализа для графика регулирования $150/70^{\circ}\text{C}$. Для получения обобщенных результатов анализа влияния климатических условий рассмотрим гипотетический случай: расход воды не изменяется, а температуры воды $T1$ и $T2$ соответствуют графику регулирования тепловой сети.

Введем обозначения: $t_{\text{пр}} - t_{\text{н}} = \Delta t_1$; $T1 - T2 = \Delta t_2$; $\left(\frac{T1 + T2}{2} - \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{н}}}{2} \right) = \Delta t_3$.

При постоянных расходах воды тепловые потоки Q_i будут изменяться пропорционально разности температур Δt_i , т.е. изменение количества теплоты, получаемой воздухом $Q_{\text{возд}} \sim \Delta t_1$, отдаваемой водой $Q_{\text{вод}} \sim \Delta t_2$, отдаваемой поверхностью нагрева $Q_{\text{кал}} \sim \Delta t_3$. В табл. 1 и 2 приведены результаты расчета отношений перепадов температур Δt_i при $t_{\text{н}} = 0^{\circ}\text{C}$ к

Таблица 1

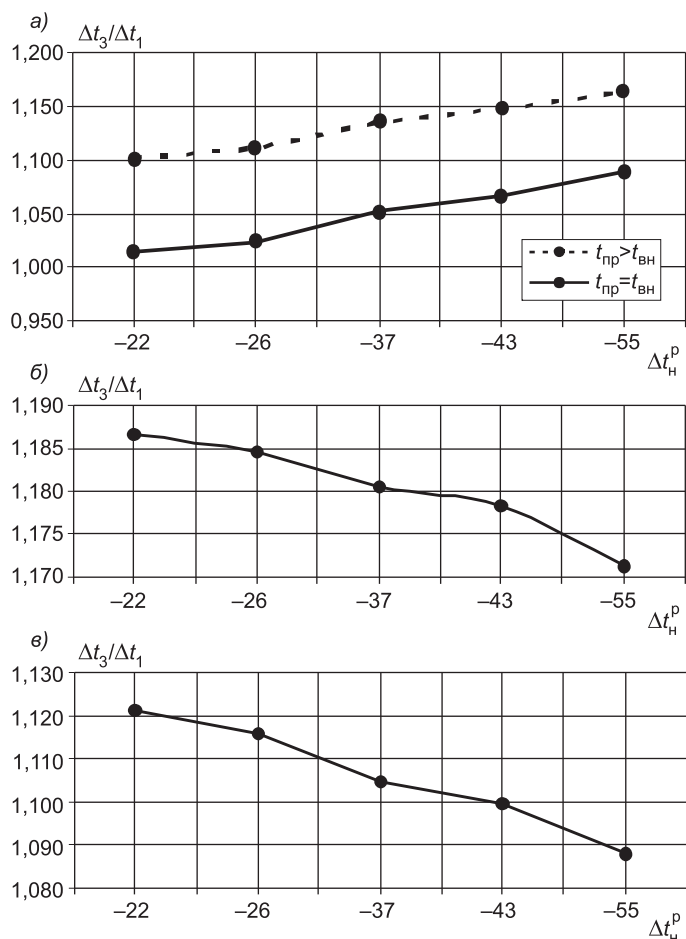
Отношение $\Delta \bar{t}_i / \Delta \bar{t}_{\text{р}}$ для случая $t_{\text{пр}} = \text{const}$ при $t_{\text{н}} = 0^{\circ}\text{C}$

Город	$t_{\text{н}}^{\text{р}}$	$t_{\text{пр}}$	$T1_{\text{гр}}^{\text{р}}$	$T2_{\text{гр}}^{\text{р}}$	$T1_{\text{гр}}^{0^{\circ}\text{C}}$	$T2_{\text{гр}}^{0^{\circ}\text{C}}$	$\Delta \bar{t}_1$	$\Delta \bar{t}_2$	$\Delta \bar{t}_3$	$\frac{\Delta \bar{t}_3}{\Delta \bar{t}_1}$	$\frac{\Delta \bar{t}_2}{\Delta \bar{t}_1}$
Якутск	-55	18	150	70	55,7	36	0,247	0,246	0,287	1,163	0,999
Братск	-43	18	150	70	62,3	38,6	0,295	0,296	0,338	1,147	1,004
Омск	-37	18	150	70	66,5	40,3	0,327	0,328	0,372	1,135	1,001
Москва	-26	18	150	70	77,1	44,5	0,409	0,408	0,454	1,111	0,996
Ростов	-22	18	150	70	82,6	46,4	0,450	0,453	0,496	1,101	1,006

Таблица 2

Отношение $\Delta \bar{t}_i / \Delta \bar{t}_{\text{р}}$ для случая $t_{\text{пр}}^{\text{р}} > t_{\text{в}}$, $Q_{\text{вн}} \approx 0$ при $t_{\text{н}} = 0^{\circ}\text{C}$

Город	$t_{\text{н}}^{\text{р}}$	$t_{\text{пр}}^{0^{\circ}\text{C}}$	$T1_{\text{гр}}^{\text{р}}$	$T2_{\text{гр}}^{\text{р}}$	$T1_{\text{гр}}^{0^{\circ}\text{C}}$	$T2_{\text{гр}}^{0^{\circ}\text{C}}$	$\Delta \bar{t}_1$	$\Delta \bar{t}_2$	$\Delta \bar{t}_3$	$\frac{\Delta \bar{t}_3}{\Delta \bar{t}_1}$	$\frac{\Delta \bar{t}_2}{\Delta \bar{t}_1}$
Якутск	-55	19,7	150	70	55,7	36	0,264	0,246	0,288	1,091	0,933
Братск	-43	20,1	150	70	62,3	38,6	0,318	0,296	0,340	1,067	0,931
Омск	-37	20,3	150	70	66,5	40,3	0,354	0,328	0,373	1,053	0,925
Москва	-26	20,9	150	70	77,1	44,5	0,445	0,408	0,456	1,024	0,915
Ростов	-22	21,2	150	70	82,6	46,4	0,490	0,453	0,497	1,014	0,923



Зависимость $\frac{\Delta \bar{t}_3}{\Delta \bar{t}_1}$ от t_H^p для случаев:

а — $t_{пр}^p = t_{вн}$ и $t_{пр}^p > t_{вн}$, $Q_{вн} \approx 0$; б — $t_{пр}^p > t_{вн}$, $Q_{вн} = 0,3 Q_{мин}^p$;
в — $t_{пр}^p > t_{вн}$, $Q_{вн} = 0,5 Q_{мин}^p$

соответствующим перепадам в расчетном режиме Δt_i^p , а также отношения $\Delta t_2/\Delta t_1$ и $\Delta t_3/\Delta t_1$ при $t_H = 0^\circ\text{C}$ соответственно для случаев $t_{пр} = \text{const}$ и $t_{пр}^p > t_{вн}$, $Q_{вн} \approx 0$. Из этих таблиц видно, что перепад температур Δt_3 изменяется меньше, чем Δt_1 . Это свидетельствует о появлении запаса поверхности нагрева калориферов при $t_H = 0^\circ\text{C}$, т.е. $Q_{кал} > Q_{возд}$.

На самом деле в стационарном режиме будет соблюдаться равенство $Q_{возд} = Q_{вод} = Q_{кал}$. В условиях регулирования будут уменьшаться расход

Таблица 3

Отношение $\Delta \bar{t}_i / \Delta \bar{t}_p$ для случая $t_{пр}^p > t_{вн}$, $Q_{вн} = 0,3 Q_{гр}^p$ при $t_H = 0^\circ\text{C}$

Город	t_H^p	$t_{пр}^{0^\circ\text{C}}$	$T1_{пр}^p$	$T2_{пр}^p$	$T1_{гр}^{0^\circ\text{C}}$	$T2_{гр}^{0^\circ\text{C}}$	$\Delta \bar{t}_1$	$\Delta \bar{t}_2$	$\Delta \bar{t}_3$	$\frac{\Delta \bar{t}_3}{\Delta \bar{t}_1}$	$\frac{\Delta \bar{t}_2}{\Delta \bar{t}_1}$
Якутск	-55	18,37	150	70	55,7	36	0,250	0,246	0,293	1,171	0,983
Братск	-43	18,03	150	70	62,3	38,6	0,295	0,296	0,348	1,178	1,003
Омск	-37	17,81	150	70	66,5	40,3	0,325	0,328	0,384	1,181	1,008
Москва	-26	17,24	150	70	77,1	44,5	0,399	0,408	0,472	1,185	1,022
Ростов	-22	16,95	150	70	82,6	46,4	0,435	0,453	0,516	1,187	1,040

Отношение $\Delta \bar{t}_i / \Delta \bar{t}_p$ для случая $t_{\text{пр}}^p > t_{\text{в}}$, $Q_{\text{вн}} = 0,5 Q_{\text{тп}}^p$ при $t_{\text{н}} = 0^\circ \text{C}$

Город	$t_{\text{н}}^p$	$t_{\text{пр}}^{0^\circ \text{C}}$	$T1_{\text{гр}}^p$	$T2_{\text{гр}}^p$	$T1_{\text{гр}}^{0^\circ \text{C}}$	$T2_{\text{гр}}^{0^\circ \text{C}}$	$\Delta \bar{t}_1$	$\Delta \bar{t}_2$	$\Delta \bar{t}_3$	$\frac{\Delta \bar{t}_3}{\Delta \bar{t}_1}$	$\frac{\Delta \bar{t}_2}{\Delta \bar{t}_1}$
Якутск	-55	19,8	150	70	55,7	36	0,264	0,246	0,288	1,088	0,931
Братск	-43	19,4	150	70	62,3	38,6	0,311	0,296	0,342	1,100	0,952
Омск	-37	19,2	150	70	66,5	40,3	0,342	0,328	0,378	1,105	0,958
Москва	-26	18,6	150	70	77,1	44,5	0,418	0,408	0,466	1,116	0,976
Ростов	-22	18,4	150	70	82,6	46,4	0,455	0,453	0,510	1,121	0,995

воды W и температура обратной воды. Представленная на рисунке зависимость изменения $\Delta t_3 / \Delta t_1$ от расчетной наружной температуры $\Delta t_{\text{н}}^p$ свидетельствует о том, что чем ниже $\Delta t_{\text{н}}^p$, тем больше степень охлаждения обратной воды.

Результаты расчетов для случаев $t_{\text{пр}}^p > t_{\text{в}}$, $Q_{\text{вн}} = 0,3 Q_{\text{тп}}^p$ и $Q_{\text{вн}} = 0,5 Q_{\text{тп}}^p$ представлены соответственно в табл. 3 и 4 и на рисунке, б и в.

Результаты расчета конкретных калориферных установок представлены в табл. 5, из которой следует, что при расчетных температурах наружного воздуха -30°C и ниже возможно снижение температуры $T2$ при $t_{\text{н}} = 0^\circ \text{C}$ ниже температуры настройки датчика. При совмещении воздушного отопления с приточной вентиляцией возможно увеличение температуры $T2$ при $t_{\text{н}} = 0^\circ \text{C}$ по сравнению с графиком регулирования.

Расчеты, проведенные для графиков регулирования 130/70, 110/70, 95/70, показали аналогичные результаты.

Выводы. При поддержании $t_{\text{пр}} = \text{const}$ целесообразен проверочный расчет при $t_{\text{н}} = 0^\circ \text{C}$ в регионах $t_{\text{н}}^p = -30^\circ \text{C}$ и ниже. Вопросы о необходимости такого анализа для регионов с более высокими расчетными температурами требуют дальнейшего изучения.

При совмещении приточной вентиляции с воздушным отоплением такой расчет целесообразен для всех регионов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: взамен СНиП 2.04.05-91; введ. в действие 01.01.2004/ Госстрой России. — М.: Госстрой России, 2004. — 54 с.
2. Байтингер, Н. М. Обобщенные характеристики регулирующих клапанов калориферных установок / Н. М. Байтингер, В. В. Бурцев, В. И. Костин, Е. Ю. Русских // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 3-4. — С. 58-63.

КОСТИН В. И., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

РУССКИХ Е. Ю., асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 10.02.10

Kostin V. I., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Russkikh E. Yu., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

WORK OF CALORIFERE PLANTS IN REGIME OF AN AUTOMATIC CONTROL

The analysis of work of calorifere plants in regime of automatic control by means of change of the expense of water is carried out. It is shown that in many cases at temperatures of external air $t_{\text{H}} = 0$ °C the temperature of adjustment of the gauge of protection from congelation.

Key words: calorifere plants, regime of automatic control, analysis.

REFERENCES

1. SN&R 41-01-2003. Heating, ventilation and air conditioning: instead of SN&R 2.04.05-91; it is installed 01.01.2004 / Gosstroy of Russia. — M. : Gosstroy of Russia, 2004. — 54 p.
2. Baytinger, N. M. The generalised characteristics of regulating valves calorifere plants / N. M. Baytinger, V. V. Burtsev, V. I. Kostin, E. Yu. Russkikh // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 3-4. — P. 58-63.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.711.8:624.139.34

В. Д. КАРГАПОЛОВ

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОГ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Исследования, проведенные на северном побережье Охотского моря, показали, что вечномерзлые крупнообломочные грунты в результате смены растительных сообществ могут стать просадочными вследствие насыщения льдом. Показано, что при проектировании дорог в таких районах следует учитывать изменение геокриологических условий территории в процессе их строительства и эксплуатации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вечномерзлые грунты, автодороги, температура, растительность.

В районах распространения вечномерзлых крупнообломочных грунтов автодороги проектируют по нормам для сезонномерзлых грунтов. Строительство и эксплуатация автодорог в районах Севера осложняется залеганием в грунтовой толще льдистых вечномерзлых грунтов. Неверная оценка геокриологических условий территории при проектировании может привести к просадкам и разрушению автодорог. В статье рассматривается опыт строительства и эксплуатации автодорог на побережье Охотского моря в районе г. Магадана. Опыт может быть полезен при проектировании автодорог в районах с аналогичными климатическими и грунтовыми условиями.

На побережье Охотского моря распространены грунты, которые согласно ГОСТ 25100–95 классифицируются как крупнообломочные (галечник и гравий с заполнителем из песка разной крупности). Глинистые фракции составляют незначительную часть. Рельеф региона преимущественно горный. Атмосферная циркуляция имеет особенности, заключающиеся в том, что в холодное полугодие над материком образуется область повышенного давления, поэтому зимой побережье охлаждается ветрами, дующими с материка. Периодически из районов океана к побережью Охотского моря перемещаются циклоны, сопровождаемые обильными снегопадами. Весной происходит перестройка барического поля, поэтому в летний период побережье охлаждается ветрами, дующими с моря. Переход температуры через 0 °С происходит осенью в середине октября, весной — в первой декаде мая. Снежный покров в районе г. Магадана формируется в начале зимы, затем его мощность изменяется незначительно. Сильными ветрами много снега уносится в море. Средняя скорость ветра с ноября по март составляет 6...8 м/с. Годовое количество выпадающих атмосферных осадков составляет 550 мм.

В северных регионах на условия образования вечномёрзлых грунтов влияют не только климатические факторы, но и характер растительности на поверхности. Смена растительных сообществ (сукцессия) происходит, начиная от пионерного зарастания обнаженной территории (скальные обнажения, речные косы) до появления климаксового сообщества, воспроизводящего себя неопределенно долго. В ходе сукцессии виды растений сменяют друг друга, количество органического вещества, накопленного организмами, возрастает, разнообразие видов в экосистеме увеличивается, а отношения между ними становятся все более сложными. Проведенные нами исследования показали, что на Охотском побережье в результате сукцессии происходят охлаждение поверхности и образование вечномёрзлых грунтов, в узких долинах горных рек и в долинах ручьев наблюдается быстрая трансформация рельефа текучими водами, на пологих склонах и на равнинной территории формируется тундровый ландшафт с образованием вечномёрзлых грунтов, мощность которых зависит от продолжительности сукцессии. Прерывание сукцессии хозяйственной деятельностью приводит к оттаиванию вечномёрзлых грунтов, которое интенсифицируется фильтрацией воды через крупнообломочные отложения. Это может повлиять на устойчивость сооружений.

Автодороги на Колыме начали строить в начале 1930-х г. Первая облегченная дорога с гравийным покрытием, протяженностью около 200 км была построена от г. Магадана до пос. Элекчана, а к 1946 г. — уже около 4000 км автодорог. При возведении полотна нарушали растительность на обочинах, поэтому полотно дорог претерпевало деформации, причем в отдельных случаях просадки достигали 2...3 м. Управление «Капдорстрой» выпустило Инструкцию, согласно которой категорически запрещалось нарушение растительного покрова в зоне 25 м, прилегающей к трассе с обеих сторон. Так удалось добиться относительно безаварийной эксплуатации автодорог.

До середины семидесятых годов двадцатого столетия автодороги проектировали по нормам, разработанным управлением «Капдорстрой». В 1976 г. вышла Инструкция [1], согласно которой местность по степени увлажнения подразделяется на два вида: сухие места (грунты галечниковые и песчаные) и сырые места (грунты глинистые). В соответствии с этой инструкцией на сухих участках, сложенных скальными крупнообломочными и песчаными породами, автомобильные дороги предписывается проектировать по нормам второй дорожно-климатической зоны, т.е. в прибрежной полосе Охотского моря проектирование автодорог ведется так же, как в районах распространения сезонномёрзлых грунтов.

Характерной особенностью побережья Охотского моря являются грунтовые условия территории. Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем при отсыпке быстро уплотняются под действием собственного веса, поэтому являются хорошим основанием всех сооружений, в том числе и автодорог. В регионе применяется общепринятая технология устройства земляного полотна для второй дорожно-климатической зоны, т.е. полотно дороги отсыпают местным грунтом, на которое укладывают твердое покрытие. В семидесятых годах прошлого столетия в качестве твердого покрытия использовался бетон. Но практика показала, что применение бетонного покрытия нецелесообразно. Его следует применять в том случае, когда в основании залегают слабые грунты (илистый грунт, текучая глина). В этом случае покрытие работает как плита на упругом основании и равномерно распределяет нагрузку. Крупнообломочные грунты представляют собой хорошее основание, поэтому применять бетонное покрытие не имеет смысла. В районах с низкими отрицательными температурами бетонное покрытие покрывается трещинами, при движении автотранспорта трещины расширяются, превращаясь в ямы с рва-

ными краями. По этой причине от бетона отказались и стали применять асфальт.

При эксплуатации автодорог часто происходят просадки полотна вследствие вытаивания мерзлых льдистых грунтов, поэтому для восстановления проектного профиля провалившиеся участки засыпают грунтом. Такие «заплатки» на полотне дороги бывают размером от нескольких до десятков метров. Иногда в качестве отсыпки применяется крупнообломочный грунт (галечник с песчаным заполнителем) с небольшим содержанием асфальтовой смеси.

На рис. 1 показан участок автодороги в пойме р. Олы. Здесь грунты основания уплотнились практически сразу после возведения основания,



Рис. 1. Автодорога в пойме р. Олы

а пойменный талик препятствует многолетнему промерзанию и развитию криогенных процессов. Автодорога в течение длительного времени эксплуатируется нормально. На расстоянии не более одного километра от этого места дорога выходит на слабопересеченную местность (рис. 2). Здесь дорога разрушается под действием криогенных процессов. Этот пример не единичен, по побережью достаточно много подобных участков.

На основании анализа условий эксплуатации автодорог автором высказано предположение, что основной причиной деформаций автодорог



Рис. 2. Автодорога на пересеченной местности

является неверная оценка геокриологических условий территории. Геокриологические условия региона впервые были описаны А. И. Калабиным [2]. По его мнению, на побережье в целом наблюдается островное распространение вечномерзлых грунтов, мощность которых не превышает 30 м. Эта точка зрения стала общепринятой и существует до настоящего времени. Более поздние исследования показали, что на побережье распространение многолетнемерзлых пород не укладывается в схему, предложенную А. И. Калабиным. Исторически так сложилось, что в г. Магадане никогда не было ни одной глубокой температурной скважины. Температуру пород измеряли попутно при бурении гидрогеологических скважин и при разведке угольных месторождений. Разовые измерения температуры в гидрогеологической скважине в Нижнеарманской впадине (район оз. Глухое, рис. 3) показали, что здесь глубина распространения многолетнемерзлых пород достигает 150 м. Аналогичные результаты получены при измерении температуры на Ланковском буровом угольном месторождении (район оз. Чистое). Здесь скважина глубиной 137 м нижней границы многолетнемерзлых пород не достигла [3].



Рис. 3. Схема побережья

Автором проведено исследование распространения вечномерзлых грунтов на побережье методом ландшафтной индикации. Суть метода заключается в том, что по внешним визуальным признакам (рельеф местности, гидросеть, растительность) можно определить наличие или отсутствие вечномерзлых грунтов. Известно, что наиболее надежным индикатором распространения вечномерзлых грунтов является растительность. Исследования показали, что на большей части рассматриваемого участка залегают вечномерзлые грунты, верхняя поверхность которых расположена близко к поверхности земли. Дальнейшие исследования включали в себя измерения температуры верхнего слоя грунтов, которые подтвердили результаты, полученные методом ландшафтной индикации [4].

Для оценки влияния отсыпки полотна автодороги были выполнены измерения температуры верхнего слоя грунтов на ряде поперечников, охватывающих практически все побережье. Для иллюстрации приведем данные по термометрическому поперечнику, расположенному в районе м. Ньюкля (см. рис. 3). Здесь в конце семидесятых годов двадцатого столетия на полотно было уложено асфальтовое покрытие, а растительность на обочинах на расстоянии около 30 м практически полностью была уничтожена. В 1988 г. на этом участке были выполнены измерения тем-

пературы верхнего слоя пород. Справа от дороги (со стороны моря) температура была измерена на расстоянии около 100 м. Участок измерения температуры представлял собой слабонаклонную поверхность северо-восточной экспозиции. Растительность — карликовая березка, осока, сфагнум, багульник, голубика на слое торфа толщиной 80 см; ниже — гравелистые пески с включениями щебня и глыбового материала. Мерзлые породы обнаружены щупом на глубине 30 см. На рис. 4, а, показано распределение температуры по глубине верхнего слоя пород; на рис. 4, б — температура верхнего слоя пород рядом с насыпью с правой стороны. Около насыпи скопилась вода, растительность болотная. Здесь же была измерена температура на поверхности насыпи (правая обочина, рис. 4, в). В этом месте визуально заметно сползание полотна дороги вниз. На рис. 4, г, показана температура верхнего слоя пород слева от дороги на расстоянии около 50 м. Здесь растительность представлена редким подростом лиственниц, кустами ольховника, осокой и островками сфагнума.

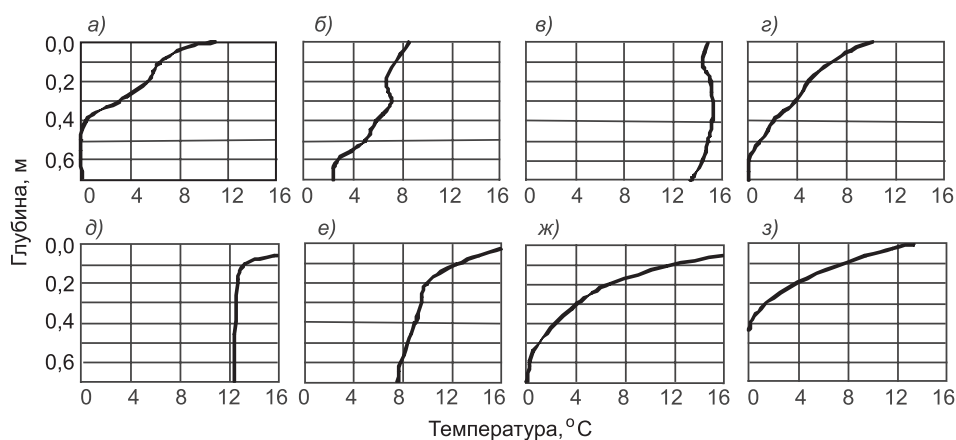


Рис. 4. Температурные профили опытных участков

а — г — в районе мыса Ньюкля; д — з — морская коса в районе устья р. Яны

Аналогичные измерения температуры выполнены на автодороге, проходящей по морской косе в районе пос. Тауйск. Здесь образующиеся морские отложения постепенно зарастают, и происходит смена растительных сообществ. Первый замер был выполнен на галечниковом пляже без растительности (рис. 4, д). Здесь температура верхнего слоя пород достаточно высокая, поэтому можно сделать вывод, что в данной точке вечномерзлых грунтов нет. Следующая точка замера — участок, где происходит пионерное зарастание косы (рис. 4, е). Растительность здесь представлена редким травяным покровом и редкой лесной растительностью (лиственница, кедровый стланик). На графике видно, что температура верхнего слоя пород здесь ниже, чем в предыдущей точке замера, т.е. появление даже редкой растительности приводит к заметному понижению температуры. Третий замер был выполнен ближе к сопке на границе перехода от густого лиственничного леса к тундре (рис. 4, ж). Температура верхнего слоя пород здесь еще ниже, причем на небольшой глубине здесь залегает верхняя граница вечномерзлых грунтов. Последний замер из этой серии проводился на тундровом участке вблизи сопки (рис. 4, з). Здесь верхняя граница вечномерзлых грунтов залегает почти у самой поверхности.

Серия этих замеров температуры наглядно показывает влияние сукцессии на изменение температуры пород. Следовательно, существующая точка зрения о том, что районы распространения крупнообломочных грун-

тов можно отнести к сухим участкам требует уточнения. Особенностью северных регионов является своеобразие процесса сукцессии. В районах с теплым климатом отмирание растительности приводит к образованию плодородного слоя. В северных регионах вследствие низких температур плодородный слой образуется только в начальный период зарастания поверхности, затем после образования сплошного полога леса интенсивно развиваются моховой и торфяной покровы, появление которых способствует охлаждению и образованию мерзлых льдистых отложений. Наблюдения за развитием торфяного покрова показали, что его толщина увеличивается достаточно быстро, также достаточно быстро изменяются геокриологические условия территории. Поэтому при проектировании полотна автодорог следует учитывать не только грунтовые условия территории, но и динамику изменения геокриологических условий в результате сукцессии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 84–75. Инструкция по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты [Текст]. — М., 1976. — 218 с.
2. К а л а б и н, А. И. Вечная мерзлота и гидрогеология северо-востока СССР [Текст] / А. И. Калабин. Тр. ВНИИ-1. — Т. 18. — Магадан, 1960. — 471 с.
3. Н е к р а с о в, И. А. Морфология и температурный режим криолитозоны бассейна верховьев р. Колымы и побережья Охотского моря [Текст] / И. А. Некрасов, А. И. Микова // Региональные и тематические геокриологические исследования. — Новосибирск : Наука, 1975. — С. 3–22.
4. К а р г а п о л о в, В. Д. Влияние растительности на условия образования многолетне-мерзлых пород на побережье Охотского моря [Текст] / В. Д. Каргаполов // Криосфера Земли. — 2001. — Т. 5, № 3. — С. 22–29.

*КАРГАПОЛОВ В. Д., канд. техн. наук, проф.; E-mail: deda_alentin@mail.ru
Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан*

Получено после доработки 28.12.09

Kargapolov V. D., candidate of technical sciences, professor; E-mail: deda_alentin@mail.ru, North-Eastern State University, Magadan, Russia

PECULIARITIES OF CONSTRUCTION AND EXPLOITATION OF ROADS IN THE REGIONS WITH FRAGMENTAL AND PERMANENTLY FROZEN SOIL

Research conducted on the sea-side of the Sea of Okhotsk have showed that in the result of change in plant associations (vegetational fluctuation) fragmental rocks may acquire subsidence due to ice saturation. The article shows that it is necessary to take into consideration permafrost conditions of the territory while road designing, their constructing and exploitation.

Key words: permanently frozen soils, roads, temperature, vegetation.

REFERENCES

1. BCH 84–75. Manual on survey, design and construction of roads in the regions with permafrost [Text]. — Moscow, 1976. — 218 p.
2. K a l a b i n, A. I. Permafrost and groundwater hydrology of the North-East of the USSR [Text] / A. I. Kalabin // Works of VNII-1. — V. 18. — Magadan, 1960. — 471 p.
3. N e k r a s o v, I. A. Morphology and temperature regime of cryolite zone of the basin of upper courses of Kolyma river and the sea-side of the Sea of Okhotsk [Text] / I. A. Nekrasov, A. I. Mikova // Regional and thematic groundwater hydrology research. — Novosibirsk : Science, 1975. — P. 3–22.
4. K a r g a p o l o v, V. D. Influence of vegetation on the conditions of many year frozen soils formation on the sea-side of the Sea of Okhotsk [Text] / V. D. Kargapolov // Cryosphere of the Earth. — 2001. — V. 5, N 3. — P. 22–29.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 725.36(470)

Ю. Ф. РАЗНИЦИНА

ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕВАТОРОВ В РОССИИ

Проводится попытка сделать исторический анализ строительства первых деревянных элеваторов в России, рассмотреть конструктивные и технологические особенности этих сооружений, проследить динамику развития и совершенствования деревянных элеваторов с конца 90-х гг. XIX в. до первых десятилетий 20-го столетия.

Ключевые слова: деревянные элеваторы, железнодорожные элеваторы, мукомольная промышленность, строительство.

С древних времен на Руси местом для хранения зерна служил обычный амбар — деревянный, четырехугольный в плане, сруб, конструкция которого не менялась веками. В XIX в. с развитием научно-технического прогресса меняются многие производства, в том числе и мукомольная промышленность. Эти изменения не могли не коснуться и сооружений для хранения зерна. Впервые вопрос об элеваторном строительстве поднимается в 1888 году. Царское правительство выдает разрешение на постройку элеваторов.

Принятие решения о начале элеваторного строительства в России послужило важным шагом в развитии промышленно-экономической политики страны. Со строительством элеваторов значительно увеличился оборот зерна и улучшилось качество его хранения. Первые попытки элеваторного строительства выявили ряд конструктивных недостатков, которые исправлялись в течение многих лет эксплуатации этих сооружений.

Первый элеватор России был сооружен в г. Ельце елецким земством в 1888 г. (рис. 1). Он имел емкость в 400 тыс. пудов. В 1908 г. Елецкий элеватор сгорел и вновь был построен в 1910 г. На этом элеваторе впервые была установлена строгая классификация зерна и технология его сохранения в условиях проветривания. Это было показателем того, что дело элеваторного строительства в России есть одно из самых важных и необходимых [1].

Представителями наиболее старого типа хлебоприемных элеваторов являются сооружения, возведенные в конце 90-х гг. XIX в. Правлением бывшей Рязано-Уральской железной дороги, емкость которых колеблется от 1650 до 8150 т (рис. 2). Элеваторы этой дороги относятся к типу деревянных, транспортных. Башня до уровня надсилосного этажа и силосный корпус построены из силосной рейки. Надсилосный этаж и верх башни — каркасные, обшитые снаружи тесом, а по нему — оцинкованной сталью. Подсилосный этаж имеет наружные кирпичные стены, опирающиеся на бутовый фундамент, и внутренние деревянные колонны с подкосами, покоящимися на каменных подушках. Привод всех машин на эле-

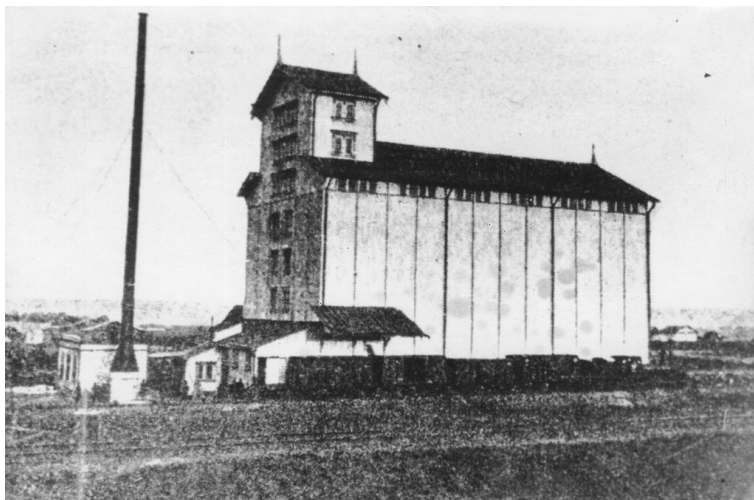


Рис. 1. Первый элеватор, г. Елец (1888 г.)

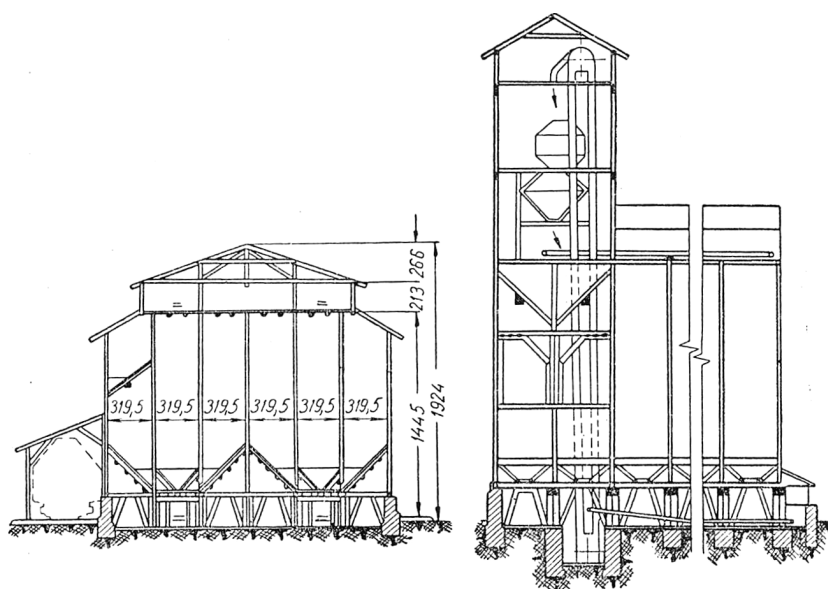


Рис. 2. Элеватор бывшей Рязано-Уральской железной дороги (конец 1890-х гг.)

ваторах первоначально был трансмиссионный от паровой машины, установленной в каменном здании впереди башни элеватора [2].

К 1910 г. относится первая попытка постройки более крупных элеваторов. К этому времени резко возросла необходимость сооружения крупных зернохранилищ при узловых станциях железных дорог, поэтому некоторые управления казенных и частных железных дорог приступили к постройке вдоль своих линий зернохранилищ-элеваторов, оборудовав их зерноподъемными и зерноочистительными машинами; таких элеваторов в России до 1914 г. насчитывалось до 60-ти, с общей вместимостью зерна до 25 млн пудов; из числа 60-ти элеваторов нужно выделить 7 портовых элеваторов с вместимостью в 10 млн пудов.

Железнодорожные элеваторы, поставившие целью с первых дней своего существования привлечь зерно на железнодорожные пути, свою инициативу главным образом направляли на коммерческие цели, отвлекая зерновые грузы даже от дешевых водных путей. В деле постройки элеваторов на принципе урегулирования сбыта и торговли зерна высту-

пил в 1910 г. Государственный банк перед Советом Министров с проектом о необходимости постройки в России целой сети элеваторов. Проект в ноябре 1910 г. был одобрен Советом Министров и намечены пункты постройки государственных зернохранилищ в восьми юго-восточных губерниях (Воронежской, Пензенской, Симбирской, Саратовской, Самарской, Оренбургской, Тамбовской и Уфимской) [1].

Рассмотрим типовой элеватор дореволюционного Государственного банка емкостью 5 000 т. Элеватор имел один силосный корпус и каркасную башню. Для приема зерна с гужевого транспорта вдоль всего фронта силосного корпуса и башни со стороны, противоположной железной дороге, были устроены пять приемных железобетонных ларей емкостью 7 т каждый, связанных с ленточным транспортером, проходящим под крайним рядом силосов. Кроме этих ларей, были оборудованы еще два приемных ларя в торце силосного корпуса, обслуживаемых подсилосными транспортерами. Предусматривалась также возможность приема зерна с железной дороги. Для этого был устроен один железобетонный ларь емкостью 16,5 т, связанный непосредственно с норией в башне элеватора. В башне элеватора имелись две главных нории производительностью 33 т/ч каждая, принимавшие зерно с подсилосных транспортеров и передававшие его через автоматические весы на надсилосные транспортеры или сепараторы № 5. Привод машин — трансмиссионный от локомотива или двигателя внутреннего сгорания, установленного в особом здании.

По сравнению с другими капиталистическими странами элеваторостроение в России сильно отставало. Молодое советское государство получило в наследство от царской России всего 110 элеваторов общей емкостью около 52 млн пудов (850 000 т), а к тому времени элеваторная емкость в США превысила 10,8 млн т, в Канаде — 5 млн т [3].

В Советском Союзе элеваторы начали строить после окончания гражданской войны, когда стали развиваться промышленность и сельское хозяйство в стране, возобновилась торговля хлебом на экспорт.

Первые советские элеваторы были построены в 1924 г. на Северном Кавказе по проектам акционерного общества «Хлебопродукт» (инж. М. В. Вавилов, Д. И. Курбатов). Эти элеваторы предназначались для приема зерна от хлебосдатчиков и отгрузки его на железную дорогу [4]. Элеваторы были деревянные самотечные, емкостью 1050 т, с двумя нориями производительностью по 16,5 т/ч. Наряду с «Хлебопродуктом», строительством хлебоприемных элеваторов занимался Госбанк СССР. Наиболее типичным и массовым в строительстве были элеваторы типа А и А-бис. Самотечный деревянный элеватор имел емкость 1640 т. Силосный корпус из силосной рейки опирался на бутовые стенки фундамента и имел сверху надстроенную каркасную башню. Снаружи весь корпус элеватора был обшит оцинкованной сталью. Вплотную к корпусу примыкало здание машинного отделения с высоким чердаком, предназначенным для установки сепараторов № 5 и вентилятора. Приемный амбар с внешними проездами на 10 отделений связан с элеватором транспортной галереей. Для отпуска зерна на железную дорогу устроено шесть отпускных силосов объемом по 35 м³. Для отпуска зерна в тарах к силосному корпусу пристроен амбар. Весы грузоподъемностью 3 и 4 т расположены под силосами двух средних рядов. Подъем зерна наверх обеспечивают две нории производительностью 33 т/ч [2].

В 1930–1932 гг. деревянные элеваторы были усовершенствованы. Увеличились их емкость и мощность транспортного оборудования. Высота силосов была увеличена до 20 м. Ее определили исходя из того что стены деревянных силосных корпусов при нагрузке давали значительную осадку — примерно 3...4 %. Таким образом, на каждые 10 м высоты силоса осадка силосной кладки составляла до 40 см. Кроме того, учитывались

и условия смятия нижних досок силосной кладки. Сетка силосов была принята равной $3,2 \times 3,2$ м, исходя из стандартного размера досок. Фундаменты под деревянные силосные корпуса устраивали бутовые, как и стены подсилосного этажа, на которые укладывали обвязку из брусьев, распределяющую вертикальную нагрузку от стен силосов.

Надсилосную галерею строили в виде легкого шатра из досок. Рабочее здание в деревянных элеваторах представляло собой надстройку каркасной конструкции над силосным корпусом — «надсилосная башня». В надстройке размещались головки норий, т. е. приводные механизмы, навесовые бункера, ковшовые весы, распределительные самотечные трубы.

В силосном корпусе под башней тоже располагалось оборудование — нории, сепараторы, а также устраивались закрома над и под сепараторами.

Стены деревянных элеваторов для защиты от огня и осадков обшивали асбестоцементными листами, которые прибивали так, чтобы обеспечить скольжение листа по листу при осадке силосной кладки.

Зерносушилки с топками при деревянных элеваторах строили в отдельных негорючих зданиях¹.

После 1930 г. были созданы линейные элеваторы новых типов ДЛ-66, ДЛ-75 и ДЛ-5500.

Первоначально элеватор ДЛ-75 состоял из деревянного силосного корпуса и башни (рис. 3). В строительном отношении он представлял собой единое целое и располагался на общем бутовом фундаменте. Силосный корпус имел $15 \times 3 = 45$ силосов реечной силосной кладки размерами в плане по осям стен $3,2 \times 3,2$ м и высотой 18,5 м. Два первых ряда

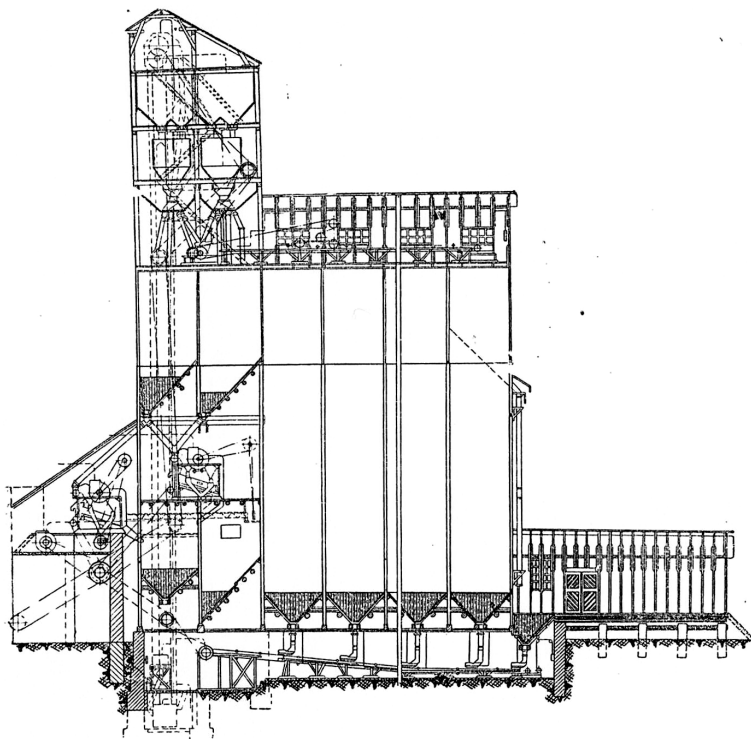


Рис. 3. Элеватор типа ДЛ-75 (1932 г.)

¹ Воронцов О. С. Элеваторы, склады и зерноперерабатывающие предприятия. Ч. 1. Типы и конструкции сооружений и их эксплуатация. М.: Изд-во техн. и эконом. лит-ры по вопросам хлебопродуктов, 1961. 271 с.

силосов по длине элеватора образовывали нижнюю часть башни. В последней выделялась специальная камера, в которой был установлен сепаратор № 5. Другой такой же сепаратор находился в чердаке машинного отделения. Один силос в башне использовался под лестничную клетку. Верхняя часть рабочей башни была каркасной конструкции. Для взвешивания зерна в башне устанавливались ковшовые весы (2 шт.) грузоподъемностью 5 т с подвесовой емкостью. Для подачи зерна наверх имелись две нории производительностью по 75 т/ч, соединенные с приемным амбаром, силосным корпусом транспортерами.

Снаружи элеватор обшивался листовой сталью или этернитом. Кровли надсилосной галереи и башни делались также из листовой стали на сплошной деревянной обрешетке. С противоположной подъездному пути стороны у башни элеватора располагалась зерносушилка, связанная с ней подамбарным транспортером, и приемный амбар совхозного типа с 6...8 внутренними проездами. Зерносушильный цех был оборудован сушилкой Рандольфа производительностью 8 т/ч или сушилкой ВТИ той же производительности. Здание цеха — железобетонное или смешанной конструкции. В цехе предусматривалась нория производительностью 12 т/ч для подачи зерна из башни элеватора в надсушильный бункер.

В элеваторы ДЛ-75, построенные в последующие годы, были внесены некоторые изменения. Было увеличено число отпускных бункеров путем устройства двух бункеров в каждом основном силосе при одновременной установке двух надсилосных транспортеров. Второй сепаратор был перенесен с чердака машинного отделения в камеру башни. Нории были установлены посередине башни, подвесовые лари сняты. Здание сушилки было перенесено к силосному корпусу. Амбары для хранения зерна больше не строились. Привод всех машин был трансмиссионный, причем от двигателя мощностью 100 л.с. — для оборудования элеватора и 35 л.с. — для сушилки. В некоторых случаях элеваторы строились с силовыми станциями, оборудованными тракторными дизельными двигателями М-17. Применялись также электрифицированные приводы машин от собственных электросилосовых станций переменного тока, оборудованных быстроходными дизелями мощностью 150 л.с.

В 1929–1931 гг. в Сибири в связи с недостатком пиломатериалов было построено несколько элеваторов со стенами, рубленными из круглых бревен, так называемого «сибирского типа» (рис. 4). Для строительства таких элеваторов требовалось значительно больше леса, чем при

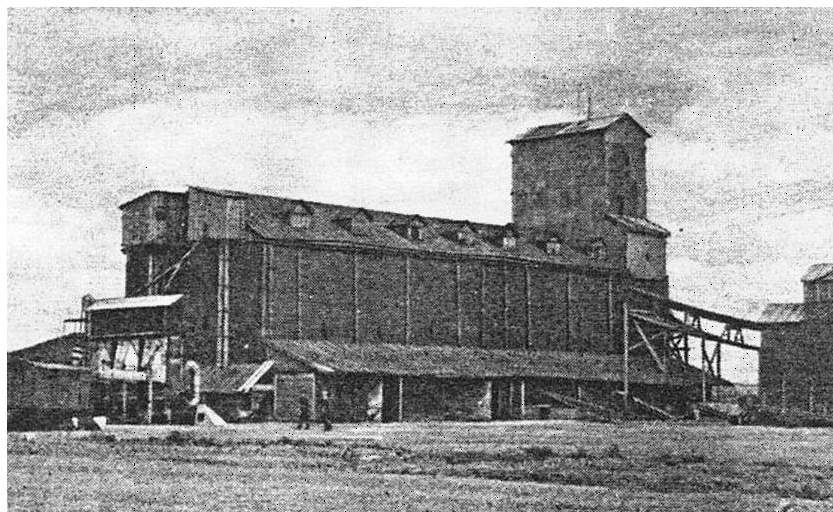


Рис. 4. Элеватор «Сибирского типа» (1929–1931 гг.)

«канадской кладке» из досок, поэтому бревенчатая конструкция распространения не получила.

В 1940 г. был разработан вариант элеватора ДЛ-5500. Проект отличался от элеватора ДЛ-75 тем, что была уменьшена глубина заложения подсилошной галереи до 1,2 м; ликвидирован колодец для башмаков норий и улучшено освещение подвала башни. Одновременно увеличена высота силосов до 20,5 м. Лестница сделана в пределах высоты силосного корпуса четырехмаршевой. В здании оставлен только один надсилосный транспортер и один ряд отпускных бункеров для отгрузки зерна. Было уменьшено число проездов в приемный амбар с 6 до 4. Производительность норий и транспортеров повышена до 100 т/ч. Увеличена емкость силосов под сепараторами. Осуществлена централизация управления распределительными устройствами, а привод оборудования запроектирован от дизельных двигателей М-17 в двух вариантах — электрифицированный и трансмиссионный [2].

Первый железобетонный элеватор в Советском Союзе, построенный в 1926 г. в г. Эльхотове, возводился в скользящей опалубке (подвижных формах), позволившей обеспечить высокие темпы строительных работ. До этого скользящая опалубка не применялась ни в Советском Союзе, ни в Европе.

После Великой Отечественной войны, когда немецкими захватчиками была уничтожена большая часть деревянных элеваторов, их строительство было полностью прекращено. Элеваторы возводились исключительно из железобетона, в первую очередь в целях пожарной безопасности.

Период строительства деревянных элеваторов стал своеобразной подготовительной работой, когда в более дешевом и доступном материале отрабатывались технологические и архитектурно-строительные решения для дальнейшего развития элеваторного строительства в России. На экспериментальной основе построек этого периода были сформированы основные принципы конструкции элеваторов, исследованы на практике недостатки конструктивных и планировочных схем, которые впоследствии были исправлены в технологии строительства железобетонных элеваторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриев, Б. К. Советское мукомолье и хлебопечение [Текст] / Б. К. Дмитриев. — М. : Изд-во Наркомторга СССР и РСФСР, 1928. — № 4. — С. 220–221.
2. Золоторев, С. М. Проектирование мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов. 2-е доп. [Текст] / С. М. Золоторев. — М. : Колос, 1976. — 288 с.
3. Сорокин, Н. В. Конструкция и расчет железобетонных и деревянных зерновых элеваторов [Текст] / Н. В. Сорокин, А. С. Хороший, А. М. Курочкин. — М. : Госгоргиздат, 1936. — 304 с.
4. Кулаковский, А. Б. Элеваторы СССР [Текст] / А. Б. Кулаковский, В. В. Федосеев. — М. : Стройиздат, 1966. — 260 с.

РАЗНИЦИНА Ю. Ф., асп.; E-mail: feerichna@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Raznitsina Yu. F., post-graduate student; E-mail: feerichna@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

HISTORY OF BUILDING OF WOODEN ELEVATORS IS IN RUSSIA

An attempt to do the historical analysis of building of the first wooden elevators in Russia is conducted in this article. To consider the structural and technological features of these

buildings. To trace the dynamics of development and perfection of wooden elevators from the end of 90th of XIX age to the first decades of XX century.

Key words: wooden elevators, railway elevators, flour-miller industry, building.

REFERENCES

1. Dmitriev, B. K. Soviet mukomol'e and baking of bread [Text] / B. K. Dmitriev. — Moscow : Publishing house Narkomtorg's USSR and RSFSR, 1928. — N 4. — P. 220–221.
 2. Zolotarev, S. M. Planning of flour-miller, groats and mixed fodder factories. 2-d edition, processed and complemented [Text] / S. M. Zolotarev. — Moscow : Ear, 1976. — 288 p.
 3. Sorokin, N. V. Construction and calculation of reinforce-concrete and wooden corn elevators [Text] / N. V. Sorokin, A. S. Horoshy, A. M. Kurochkin. — Moscow : Gostorgizdat, 1936. — 304 p.
 4. Kulakovsky, A. B. Elevators of the USSR [Text] / A. B. Kulakovsky, V. V. Fedoseev. — Moscow : Stroyizdat, 1966. — 260 p.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 624.045

Т. Л. ДМИТРИЕВА

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЕРМ МИНИМАЛЬНОГО ВЕСА

Представлен алгоритм автоматизированного проектирования ферм. Для получения оптимального проекта фермы минимального веса (объема) используется поисковый алгоритм оптимизации в форме нелинейного математического программирования. В качестве варьируемых приняты параметры поперечных сечений, а также координаты узлов фермы. Алгоритм предполагает наличие ограничений по прочности, устойчивости, а также ограничения на перемещения узлов. Библиотека сечений ферм включает как простые (базовые), так и сложные составные сечения.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, оптимальное проектирование, металлические конструкции, ферма.

Алгоритм нелинейного математического программирования, лежащий в основе решения задачи оптимального проектирования конструкций, приведен в [1]. Рассмотрим особенности реализации этого алгоритма в задачах автоматизированного проектирования ферм минимального веса. Целевая функция $f(x)$ здесь представляет собой вес или при постоянстве материала объем фермы

$$f(x) = \sum_{i=1}^s A_i \cdot L_i, \quad (1)$$

где s — число элементов фермы;

A_i, L_i — площадь и длина i -го элемента;

x — варьируемые параметры; варьироваться могут параметры поперечных сечений, а также координаты узлов фермы.

Алгоритм предполагает наличие ограничений:

$$g(x)_j \leq 0, \quad j=1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Здесь x_i^L, x_i^U — нижние и верхние границы изменения варьируемых параметров;

$g(x)_j$ — функции ограничений, которые включают проверки по прочности и устойчивости в соответствии со СНиП II-23-81* «Стальные конструкции», а также ограничения на перемещения узлов фермы;

n — число варьируемых параметров;

m — количество ограничений.

Описанию алгоритмов оптимального проектирования конструкций посвящена обширная литература [2–4]. Решение подобных задач в точной постановке приводит к достаточно громоздким вычислениям. Чтобы

избежать этого задача (1)–(3) приводится к приближенной путем построения аппроксимаций ограничительных функций либо параметров состояния, входящих в эти функции. Однако мощности современных вычислительных средств позволяют находить значения усилий и перемещений прямым расчетом при каждом обращении к функциям (2). В предлагаемом алгоритме использован именно такой подход. Это обусловлено тем, что при проектировании ферм прямой расчет выполняется достаточно быстро. В то же время прямое вычисление функций ограничений дает лучшую сходимость алгоритма и позволяет использовать более тонкие поисковые методы оптимизации, такие как метод Ньютона.

В алгоритме реализованы методы решения условно экстремальных задач, в основе которых лежит принцип сведения их к задаче на безусловный экстремум при помощи модифицированной функции Лагранжа F_p . Эта функция включает функцию Лагранжа и штраф за нарушение ограничений. Оптимальное решение задачи ищется из условия стационарности функции F_p по прямым переменным X и двойственным переменным Y (множителям Лагранжа):

$$\max_Y \min_X F_p(X, Y). \tag{4}$$

Алгоритм включает два способа безусловной минимизации по X : на первых итерациях используется метод деформируемого многогранника, который обеспечивает устойчивую работу, однако не имеет высокой точности выхода на границу активных ограничений. Двойственные переменные при этом пересчитываются из сравнения условий стационарности функции Лагранжа и функции F_p . Такой подход дает линейную скорость сходимости по Y . Полученный результат уточняется методом Ньютона, который реализован как в задаче минимизации F_p по X , так и в поиске максимума F_p по Y . Этот метод эффективен вблизи оптимума, когда стабилизировалось число потенциально активных ограничений.

На основе алгоритма разработан комплекс программ автоматизированного проектирования ферм минимального веса (рис. 1). На каждом шаге итерационного процесса решается задача статического анализа фермы (модуль **Truss**). Задача минимизации объема фермы реализована в блоке **Nmpack**, который предполагает обращение к программам вычисления целевой функции **Fun_fx** и функций ограничений **Fun_gx**. Мо-

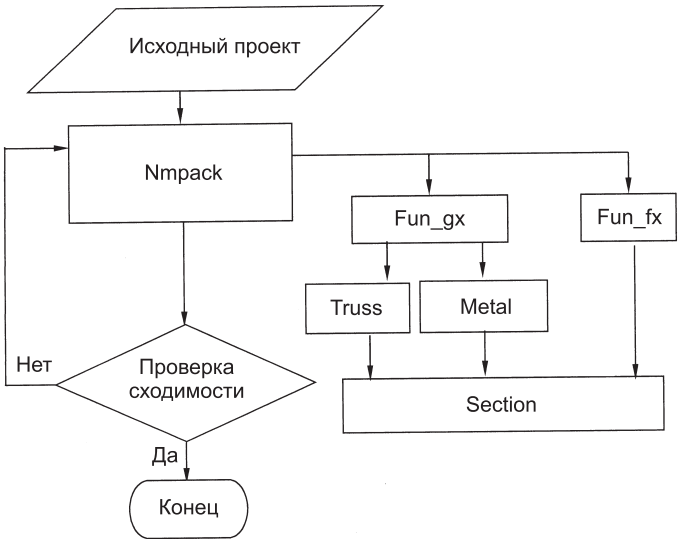


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оптимального проектирования ферм

дуль **Metal** включает проверки по прочности и устойчивости, приведенные в СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» (растянутые элементы фермы проверяются на прочность, а сжатые на устойчивость). Программный модуль **Section** вычисляет геометрические характеристики сечений. Библиотека сечений включает:

- базовые сечения, которые могут быть либо прокатными (варьируемые параметры меняются дискретно), либо сечениями с непрерывно меняющимися параметрами (составной двутавр, кольцо, короб и др.);

- сложные составные сечения, которые конструируются из базовых (2 уголка, 2 швеллера и др.).

Проверка сходимости алгоритма выполняется по прямым и двойственным переменным, а также по значениям невязок активных ограничений. Кроме того, установлено предельное число итераций решения задачи (4) и максимальное число обращений к целевой функции и функциям ограничений.

Примеры оптимального проектирования статически определимых ферм, в которых предусмотрено два случая загрузки (рис. 2). Во всех примерах минимизируется объем фермы (1).

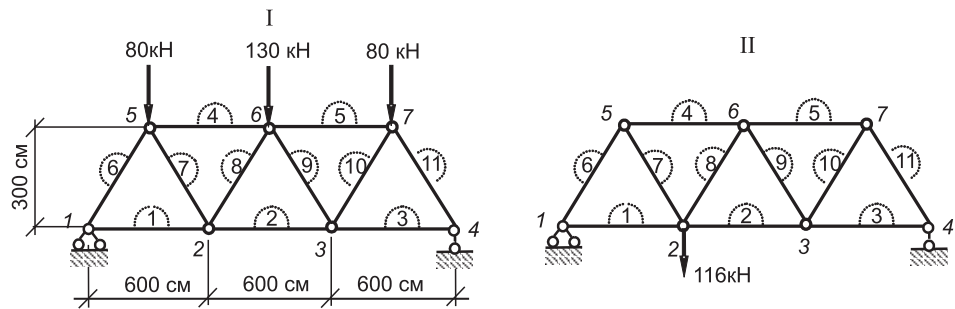


Рис. 2. Статически определимая ферма: загрузки I и II

Пример 1. Сечения элементов фермы представляют собой кольцо. Варьируется внешний диаметр сечения de , а толщина берется как часть диаметра: $t = de/24$. Число варьируемых параметров равно 11. Ограничения накладываются на прочность в растянутых элементах и на устойчивость в сжатых (g_1-g_{22}), а также на перемещение узла 2 (g_{23}, g_{24}) в загрузках I и II. Пределы изменения диаметров: от 5 до 50 см. Характеристики материала: модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^8$ кПа; расчетное сопротивление $R_y = 2,3 \cdot 10^5$ кПа.

Рассмотрено пять решений задачи при начальных значениях de_0 , равных 7, 9, 11, 13, 15 см.

Вариант 1: в этом примере задача решалась *без ограничения на перемещение* ($m = 22$). Оптимизация статически определимой фермы в этом случае распадается на независимые задачи поиска оптимального сечения по каждому элементу фермы. Результаты при всех пяти начальных значениях de полностью совпали. Значение целевой функции равнялось 70524,533 см³.

Для проверки достоверности полученных результатов задача была решена в программе MathCAD. Диаметры de определены из условия равнопрочности фермы, которое имело следующий вид:

$$\frac{N_i}{R_y \cdot A(de)_i \cdot \varphi(de)_i} - 1 = 0, \quad i = 1, 2, \dots, s. \quad (5)$$

Здесь s — число элементов фермы;

φ — коэффициент, для сжатых элементов определяемый по формулам СНиП II-23-81* «Стальные конструкции», раздел (5.3), для растянутых элементов $\varphi = 1$.

Результаты, полученные по этому расчету, полностью совпали с оптимальными. Разность в вычислении объема V_{opt} по предложенному алгоритму и объема, вычисленного по программе MathCAD, составила $3,7 \cdot 10^{-3} \%$. Программа оптимизации показала более высокую точность в невязках ограничений: $10^{-9} \div 10^{-11}$ (в программе MathCAD их порядок составил $10^{-6} \div 10^{-8}$).

В а р и а н т 2 этого примера был решен с ограничением на перемещение узла 2 ($m = 24$). Допустимая величина перемещения была принята 1,2 см. Получено также пять решений при пяти значениях de_0 , которые полностью совпали между собой. Оптимальный объем фермы: $V_{\text{opt}} = 124522,427 \text{ см}^3$. Значения оптимальных диаметров даны в табл. 1.

Таблица 1

Оптимальные диаметры с учетом ограничения на перемещение
(пример 1, вариант 2)

de _opt (см)	12,865330	16,708402	10,818410	16,783837	14,113468
15,299542	12,518859	9,340689	10,527064	10,527064	12,865330

Активными здесь являлись ограничения № 15 на напряжение в стержне 8 (на рисунке в кружочке) в загрузении I и ограничение № 23 на перемещение узла 2 в загрузении I. Высокая точность в невязках активных ограничений (10^{-11}) была получена за счет использования метода Ньютона.

Выполнено сравнение полученных результатов с результатами варианта I (равнопрочная ферма). При этом площади элементов равнопрочной фермы пропорционально умножались на коэффициент $k = 2,486$, который обеспечивал перемещение узла 2 в допустимых пределах (1,2 см). Объем полученной таким образом фермы был равен $V_1 = 175291,6656 \text{ см}^3$, что больше оптимального объема на 29 %.

Пример 2. В этом примере была рассмотрена та же ферма (рис. 2), но параметры de и t не связывались между собой. Варьировался и внешний диаметр de , и толщина сечения t ($t_{\text{min}} = 0,3 \text{ см}$, $t_{\text{max}} = 3 \text{ см}$). Число варьируемых параметров увеличилось до 22.

Было выполнено пять решений при тех же значениях de_0 , что и в примере 1, в двух вариантах ($t_0 = 1 \text{ см}$). Оптимальные параметры сечения в данном примере в различных комбинациях привели к одинаковым значениям целевой функции.

В а р и а н т 1 представлял задачу оптимизации фермы без ограничения на перемещение. Результаты пяти решений при различных начальных значениях de_0 приведены в табл. 2, где приняты следующие обозначения: **Fx_opt** — значение целевой функции; **Nfunfx** — число обращений к целевой функции;

Niter_R — число итераций, на которых решается задача (4); **g_act (max)** — максимальное значение невязки активных ограничений. Значение целевой функции для всех решений практически совпадает. Оптимальные параметры сечений отличаются не существенно за счет того, что для большин-

Таблица 2

Оптимальные результаты без учета ограничения на перемещение
(пример 2, вариант 1)

№ решения	de ₀ (см)	Fx_opt (см³)	Nfunfx	Niter_R	g_act (max)
1	7	57180,63608	1586	3	$0,444 \cdot 10^{-5}$
2	9	57180,64999	19408	3	$0,116 \cdot 10^{-5}$
3	11	57180,43057	11230	4	$0,201 \cdot 10^{-5}$
4	13	57180,37463	8380	4	$0,195 \cdot 10^{-5}$
5	15	57180,17430	8718	4	$0,339 \cdot 10^{-5}$

ства элементов толщина t вышла на нижнюю границу. Наибольшая разница в размерах сечений фермы была получена для решений 2 ($de_0 = 9$ см) и 3 ($de_0 = 11$ см). Соответствующие результаты приведены в табл. 3. Во всех решениях в сжатых элементах диаметр стремится к максимуму, а толщина к минимуму (результаты для сжатых элементов в

Таблица 3

Оптимальные диаметры и толщины без учета ограничения на перемещение для решений 2 и 3 (пример 2, вариант 1)

Решение 2	de_opt (см)	5,0000 5,3205	5,1915 10,1599	5,1504 10,1599	17,3952 5,0000	17,3952 14,4615	14,4616
	t_opt (см)	0,4400 0,30156	0,88343 0,30000	0,42463 0,30000	0,30000 0,30000	0,30000 0,30000	0,30000
Решение 3	de_opt (см)	5,0003 5,1162	6,8098 10,1599	5,8051 10,1598	17,3952 5,00000	17,3952 14,4616	14,4616
	t_opt (см)	0,44004 0,31527	0,61428 0,30000	0,369152 0,30000	0,30000 0,30000	0,30000 0,30000	0,30000

активном нагружении показаны курсивом). Высокая точность в невязках активных ограничений получена на последней итерации, где задача (4) решалась методом Ньютона. Объем фермы в этом варианте почти на 19 % меньше, чем в варианте 1 примера 1.

Вариант 2 задачи был решен с учетом ограничений на перемещения узла 2 ($m = 24$). В табл. 4, 5 приведены результаты пяти расчетов при различных значениях de_0 . Здесь имеются существенные различия в соотношениях диаметр — толщина при отклики в значениях целевой функции 10^{-4} %. Максимальная разница в значениях площадей элементов составила 0,01 %.

Таблица 4

Оптимальные результаты с учетом ограничения на перемещение (пример 2, вариант 2)

№ решения	de ₀ (см)	Fx_opt (см ³)	Nfunfx	Niter_R	g_act (max)
1	7	122503,51313	12476	4	0,651 · 10 ⁻⁵
2	9	122503,63982	22896	4	0,594 · 10 ⁻⁵
3	11	122503,32615	11415	4	0,827 · 10 ⁻⁵
4	13	122503,61141	15187	4	0,593 · 10 ⁻⁵
5	15	122503,58293	13371	4	0,624 · 10 ⁻⁵

Уменьшение объема фермы (по сравнению с вариантом 2, пример 1) составило 1,65 %.

Результаты, полученные в данном примере, продемонстрировали, что при варьировании несколькими параметрами сечения можно получить ферму меньшего объема. При этом может существовать бесконечное множество оптимальных решений, образующих плато целевой функции. Из полученных результатов проектировщик имеет возможность выбрать наиболее удачное сочетание параметров.

Пример 3. В этом примере менялось очертание верхнего пояса фермы. Варьировались вертикальные координаты узлов 5, 6, 7 ($h1_{max} = h2_{max} = 600$ см).

Оптимальные диаметры и толщины с учетом ограничения на перемещение
(пример 2, вариант 2)

№ решения	1	de_opt (см)	5,9953 20,5800	7,5088 10,1599	10,0567 10,1066	28,0273 7,9430	26,4256 20,3995	14,4394
		t_opt (см)	1,4326 0,3052	2,0023 0,3000	0,4828 0,4534	0,40267 0,5955	0,3011 0,3255	0,6714
	2	de_opt (см)	7,4710 18,2522	9,9924 10,160	15,6566 11,0670	11,9315 5,0837	16,4576 11,7831	19,5424
		t_opt (см)	1,0120 0,3455	1,2630 0,3000	0,3010 0,4107	1,0196 1,0979	0,4927 0,5836	0,4850
	3	de_opt (см)	5,2326 7,8125	7,9902 10,1599	5,5900 13,0145	25,7388 14,2993	26,3900 18,2333	29,9273
		t_opt (см)	2,0606 0,8947	1,7735 0,3000	1,0089 0,3455	0,4397 0,3129	0,3015 0,3658	0,3121
	4	de_opt (см)	5,1637 5,0621	6,8241 10,1600	7,4682 13,5945	19,2437 5,6104	21,7380 19,1627	9,5711
		t_opt (см)	2,2217 2,9972	2,6269 0,3000	0,6810 0,3299	0,5965 0,9364	0,3681 0,3473	1,0900
	5	de_opt (см)	5,1293 12,2307	11,1939 10,1600	13,9912 14,7942	32,4631 12,1350	26,4588 11,7696	13,292
		t_opt (см)	2,7671 0,5290	1,0913 0,3000	0,3385 0,3020	0,3463 0,3721	0,3007 0,7362	0,5844

Для сохранения симметрии координаты узлов 5 и 7 назначались равными (рис. 3). Толщина кольцевого сечения бралась как часть диаметра: $t = de/24$. Число варьируемых параметров равнялось 13. Были учтены ограничения на напряжения в элементах и на перемещение узла 2 ($m = 24$).

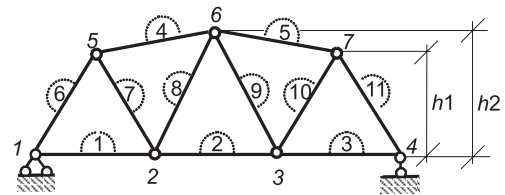


Рис. 3. Ферма с полигональным верхним поясом

Задача также решалась при пяти начальных значениях de_0 . В качестве метода безусловной минимизации использовался метод деформированного многогранника. Результаты, полученные во всех решениях, отличались на 0,0015 %. Объем фермы V_{opt} менялся от 70488,3149 до 70489,3389 см³. Значения оптимальных диаметров (при $de_0 = 11$ см) приведены в табл. 6.

Значение высоты $h1$ колебалось в пределах от 342,587 см до 342,609. Высота $h2$ во всех результатах равнялась 600 см. Потенциально активные ограничения имели порядок 10^{-4} .

Изменение очертания верхнего пояса фермы привело к уменьшению ее объема (по сравнению с примером 1) на 43,4 %.

Пример 4. Сечения элементов фермы приняты в виде равностороннего короба. Варьировалась внешняя высота (ширина) короба — b ($b_{min} = 5$ см), а также размеры $h1$ и

Таблица 6

Оптимальные диаметры с учетом ограничения на перемещение
(пример 3)

de_opt (см)	8,81377	8,63484	7,38734	12,98282	12,98273
11,83192	5,00000	6,27700	7,82074	5,00000	11,83187

h_2 (рис. 3). Толщина стенки принималась как часть высоты $t = b/24$. Учитывались ограничения на напряжения в элементах и на перемещение узла 2.

Было получено пять решений при начальных значениях b_0 : 7, 9, 11, 13, 15 см. Все результаты практически совпали (разброс в значениях объема составил 0,003 %). Высота h_1 колебалась от 364,661 см до 367,727. Невязки в активных ограничениях имели порядок 10^{-4} . Оптимальный объем фермы превысил аналогичный объем фермы кольцевого сечения на 13,073 %.

Сравнение результатов. В табл. 7 дается сравнение результатов, полученных в примерах 1–4, для вариантов, когда учитываются ограничения на перемещение, с равнопрочной фермой кольцевого сечения.

Таблица 7

Показатели расчетов для примеров 1–4

	Равнопрочная ферма	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4
Объем, см ³	175291,7	124522,4	122503,6	70489	81090,3
Объем, %	100	71,04	69,89	40,21	46,26
h_1 , см	300	300	300	342,6	365
h_2 , см	300	300	300	600	600

Выводы. Рассмотренные выше примеры продемонстрировали возможности программного комплекса оптимизации. Были показаны особенности задачи оптимального проектирования, когда варьируется несколько параметров сечения. Варьирование координатами узлов фермы привело к уменьшению ее объема более чем в 1,7 раза. Решение задачи оптимизации при разных начальных значениях подтвердило единственность полученных результатов. Робастность предложенного алгоритма заключается в его надежности, широкой области сходимости, получении результатов высокой точности.

При проектировании таких конструкций, как фермы, задача получения оптимальных проектных решений при различных очертаниях верхнего пояса и с разными типами поперечных сечений особенно актуальна, так как может дать существенную экономию материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безделев, В. В. Рекурсивный многометодный алгоритм решения задач оптимизации строительных конструкций [Текст] / В. В. Безделев, Т. Л. Дмитриева // Проблемы оптимального проектирования сооружений : докл. 1 Всерос. конф. Новосибирск, 2008. — С. 55–62.
2. Бертсекас, Д. П. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа [Текст] / Д. П. Бертсекас. — М. : Радио и связь, 1987. — 400 с.
3. Хог, Э. Я. Прикладное оптимальное проектирование : Механические системы и конструкции [Текст] / Э. Я. Хог, Я. С. Арора. — М. : Мир, 1983. — 478 с.
4. Безделев, В. В. Гибридный метод решения условно-экстремальных задач оптимизации конструкций, основанный на двух модифицированных функциях Лагранжа [Текст] / В. В. Безделев, Г. И. Гребенюк, Т. Л. Дмитриева // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1987. — № 7. — С. 23–28.

*ДМИТРИЕВА Т. Л., канд. техн. наук, доц.
Иркутский государственный технический университет*

Получено 28.12.09

Dmitrieva T. L., candidate of technical sciences, assistant professor, Irkutsk State Technical University, Russia

COMPUTER AIDED ALGORITHM FOR DESIGNING TRUSS OF THE MINIMUM WEIGHT

The presented algorithm of the computer aided designed truss. For reception of the optimum project of the truss of the minimum weight (the volume) is used search algorithm to optimization in the form of the nonlinear mathematical programming. As variable parameters is accepted importance of the cross-sections, as well as coordinates of the nodes of the truss. The algorithm expects presence of the restrictions on toughness, stability, as well as restrictions on moving the nodes. The library of the sections of the truss includes simple (base) sections, so complex component sections.

Key words: computer aided design, optimum designing, metallic construction, truss.

REFERENCES

1. Bezdelev, V. V. Recursive multi method algorithm of the optimization tasks of the building constructions [Text] / V. V. Bezdelev, T. L. Dmitrieva // Problems of the optimum designing the buildings : reports 1 All-russian conference. — Novosibirsk, 2008. — P. 55–62.
 2. Bertsekas, D. P. Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods [Text] / D. P. Bertsekas. — Academic Press, Inc. 1982.
 3. Haug, E. Ya. Applied Optimal Design : Mechanical and Structural Systems [Text] / E. Ya. Haug, Ya. S. Arora. Moscow — New York : John Wiley and Sons, Inc. 1979.
 4. Bezdelev, V. V. Hybrid method of the decision conditionally-extreme problems to optimization design, founded on two modified Lagrange function [Text] / V. V. Bezdelev, G. I. Grebenyuk, T. L. Dmitrieva // Notify high school. The Building and Architecture. — 1987. — N 7. — P. 23–28.
-

УДК 621.926.519

Я. Ю. ВЕРИГИНА

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОЦЕССАХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДО ТОНКОДИСПЕРСНОГО СОСТОЯНИЯ

Проводится анализ существующих законов измельчения вещества до тонкодисперсного состояния. Отмечается, что в их содержании отсутствует взаимосвязь рабочих параметров машины со свойствами измельчаемой среды. На основе совместного рассмотрения молекулярно-кинетических аспектов разрушения вещества и силовых характеристик измельчительного аппарата методами неравновесной термодинамики предложена математическая модель процесса помола вещества в механических измельчителях, позволяющая оптимизировать процесс помола материалов на любой стадии измельчения.

Ключевые слова: измельчение материалов, разрушение структуры, энергия процессов и их параметры, оптимизация.

Задачей теоретического описания процесса измельчения материалов является установление математической взаимосвязи дисперсности измельчаемого материала с энергозатратами аппарата и его конструктивно-режимными параметрами работы.

Измельчение (помол) дисперсий представляет собой сложный, наследственно необратимый процесс, и его кинетика определяется одновременным сочетанием следующих факторов:

- пластическое и упругое деформирование структуры вещества;
- поверхностное взаимодействие (наклеп) частиц между собой;
- изменение дефектности микроструктуры отдельностей с последующим повышением их прочности вследствие уменьшения размеров кластерных блоков частицы;
- диссипация тепловой энергии;
- аккумулялирование энергии в структурно-обусловленной системе внутренних напряжений локальных объемов среды;
- изменение энтропии сплошной и дисперсной фаз в мельничной загрузке;
- изменение свойств межфазного состояния, механоэмиссии и аморфизации в измельчаемом материале.

Перечисленные наиболее важные особенности процесса обуславливают сложность его полного математического описания, а известные из литературных данных соотношения Риттингера, Бонда, Кирпичева – Кика, Ребиндера, Гийо, В. И. Баловнева и др. (таблица) получены эмпирически, либо на одностороннем учете одного из перечисленных факторов.

Современный экспериментальный и теоретический материал, накопленный исследователями различных стран, показывает, что теория измельчения должна строиться на основе моделей прочности твердых тел, описывающих как внутренние молекулярно-кинетические эффекты, так и физико-химические поверхностные явления, определяющие структурные взаимодействия разрушаемых микрообъектов.

Очевидно, что эмпирические зависимости, приведенные в таблице, не охватывают полной природы измельчения вещества, и процесс помола

Основные законы измельчения

№ п/п	Автор и дата исследования	Математическая модель закона	Взаимосвязь параметров процесса	Область применения
1	Риттингер (1867 г.)	$A = K_1 D^2$	$A = K_1 \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right)$	При помоле материалов
2	Кирпичев-Кик (1874 г.)	$A = K_2 D^3$	$A = K_2 \lg \frac{D}{d}$	При крупном дроблении
3	Ребиндер (1930 г.)	$A = K_1 D^2 + K_2 D^3$	$A = K_1 \left(\frac{i-1}{D} \right) + K_2 \lg i$	При помоле и дроблении
4	Ф. Бонд (1951 г.)	$A = K_1 K_2 \sqrt{\Delta V \Delta I}$	$A = K_3 \sqrt{\frac{i-1}{D}}$	При помоле и дроблении
5	В. Баловнев (2000 г.)	$A_{др} = B d \sigma i^n / E$	B — экспериментальный показатель	При измельчении

Принятые обозначения: D — средний размер исходной фракции; d — средний размер фракции готового продукта; i — степень измельчения; K_1, K_2, K_3 — эмпирические коэффициенты, получаемые экспериментально; B — сопротивление измельчению; n — силовой коэффициент вероятности; σ — предел прочности материала; E — модуль деформации среды.

ставится в разряд неуправляемых, что приводит к низкому КПД (не более 10 %) помольного оборудования.

Анализируя процесс измельчения с позиций обобщенной теории прочности Гриффитса – Орована – Ребиндера, можно констатировать, что он происходит в несколько этапов, наиболее важными из которых являются:

— возникновение дефектов и локализация концентраций напряжений при объемном деформировании микрочастицы вещества;

— появление зародышевых микротрещин и их развитие, приводящее к разрыву кристаллической целостности структурной решетки микрочастицы;

— рост на базе зародышевых микротрещин магистральных дефектов, ответственных за разрушение микрообъема тела.

С уменьшением размеров микрочастиц микроструктура их кластерных блоков характеризуется более совершенной кристаллической решеткой, разрушение которых возможно по кристаллографическим плоскостям, имеющим краевые или винтовые дислокации [1].

Под воздействием рабочего органа измельчителя в микрообъемах среды повышаются внутренние напряжения в структурных решетках микрочастиц, провоцируя слияние ведущих дислокаций и образование зародышевой микротрещины. Дальнейшее размножение дефектности приводит к разрушению микрочастицы или полной аморфизации вещества.

Таким образом, чтобы разрушить вещество, необходимо приложить внешнее воздействие, эквивалентное величине структурной прочности его внутренних связей, которое, согласно закономерностям Гиббса – Гельмгольца [2], зависит от внутренней энергии микрочастицы, равной dU . С позиций теории прочности описанный сценарий можно объяснить следующим образом.

При внешнем силовом воздействии P_i в микрообъеме вещества dV наводится энергия напряжений $dV\sigma$, расшатывающая структурную решетку и провоцирующая зарождение микротрещин размером dl [3].

Энергетическое состояние системы «разрушаемая среда — рабочий орган измельчителя» выражается соотношением

$$-dU = dF - TdQ. \quad (1)$$

Здесь dU — внутренняя энергия разрушаемого микрообъема dV ;
 dF — свободная или подведенная энергия (энергия стока, обеспечивающая разрушение вещества);
 TdQ — тепловая энергия, выделявшаяся под воздействием рабочего органа, или тепло, подведенное к системе.

Наведенные тепловые процессы, согласно первому началу термодинамики, определяются соотношением

$$TdQ = dA_{т.р} + dA_q, \quad (2)$$

где dA_q — часть тепла, превратившаяся во внутреннюю энергию, т.е. рассеявшееся тепло;

$dA_{т.р}$ — работа теплового разрушения (например, фазовые или полиморфные превращения, микродеформирование, диссоциация и т.д.).

С учетом (2), уравнение (1) можно записать как

$$-dU = dF - dA_{т.р} - dA_q. \quad (3)$$

Молекулярно-кинетические основы процессов разрушения вещества [2] позволяют получить уравнение связи скорости разрушения со свободной энергией dF , необходимой для обеспечения оптимальных условий разрушения вещества, которое в общем виде можно записать как

$$a - 3dVdF' dl \rho^* K_m \frac{RT}{h} e^{\frac{dF - dV\sigma}{RTN}} = 0, \quad (4)$$

где a — скорость распространения упругих деформаций в веществе, эквивалентная скорости удара измельчителя;

ρ^* — удельная плотность дислокаций в структурной решетке вещества;

F' — удельная поверхность дисперсий вещества;

l — размер отдельных дисперсий вещества;

K_m — молярная плотность вещества;

σ — теоретическая прочность разрушаемой дисперсии вещества;

h — постоянная Планка;

R — постоянная Больцмана;

N — число Авагадро;

T — абсолютная температура процесса разрушения.

Принимая во внимание, что теоретическая прочность вещества, согласно положениям А. Гриффитса и Е. Орована, выражается соотношением

$\sigma = 2\sqrt{\frac{A_{F'}E}{\pi dl}}$. Подставляя его в соотношение (4), получим

$$dF = 2dV \sqrt{\frac{A_{F'}E}{\pi dl}} + NRT \ln \left(\frac{3RT}{ah} K_m \rho^* dVdF' dl \right). \quad (5)$$

В приведенном уравнении $A_{F'}$ представляется как удельная поверхностная энергия, потребная для развития микротрещины размером dl и образования новой поверхности dF' .

При деформации микрочастицы размером l и поверхностью $6l^2$ энергия деформации по Гуку определится как $\sigma^2 l^2 / 2E$. Учитывая, что микрочастица разрушается со степенью измельчения i до размеров l_i , вновь образованная поверхность определится как

$$F' = 6l_i^2 i^3 - 6l^2 = 6l^2(i - 1). \quad (6)$$

В свою очередь поверхностная энергия $A_{F'}$ составит

$$A_{F'} = \frac{\sigma^2 dl^3}{12E(i - 1)}. \quad (7)$$

Подстановкой значения A_F в уравнение (5) с учетом (6) имеем

$$dF = 0,32\sigma_p dV \sqrt{\frac{1}{i-1}} + NRT \ln \left(\frac{18RT}{ah} K_m dV dl^2 (i-1) dl \right), \text{ Дж.} \quad (8)$$

Первый член полученного уравнения определяет энергию объемной деформации микрочастиц dA_n , второй учитывает энергию, расходуемую на обеспечение хода внутрискруктурных молекулярно-кинетических процессов в разрушаемой среде dA_k .

Работа сил внутренних температурных деформаций проявляется в результате изменения температуры среды от T_0 до T_i и определяется по законам термодинамики, т.е.

$$dA_{т.р} = -\sigma \beta \Delta T dV. \quad (9)$$

Выделившаяся при разрушении тепловая энергия dA_q определяется как

$$dA_q = -0,239 dV C_p \Delta T, \quad (10)$$

где C — удельная теплоемкость среды;

ρ — плотность вещества;

β — коэффициент теплового расширения вещества.

С учетом всех отмеченных энергозатрат полная энергия, необходимая для измельчения твердого вещества, выразится общим уравнением, взаимосвязывающим параметры системы «разрушаемая среда — рабочий орган» в виде

$$dA_p = 0,32\sigma_p dV \sqrt{\frac{1}{i-1}} + NRT \ln \left[\frac{18RT}{ah} K_m \rho^* dl^3 dl^2 dl (i-1) \right] - \sigma_p \beta \Delta T dl^3 - 0,239 C \Delta T \rho dl^3, \text{ Дж.} \quad (11)$$

Для упрощения (10) и приведения его к ранее общепринятым законам измельчения, показанным в таблице, примем следующие обозначения:

$$K_1 = 0,32\sigma_p \sqrt{\frac{1}{i-1}}, \quad K_2 = -\beta \sigma \Delta T, \quad K_3 = -0,239 C_p \Delta T, \quad K_4 = NRT, \quad K_5 = \frac{18RT}{ah} K_m \rho (i-1).$$

В соответствии с этим, можно записать, что полная энергия, необходимая для разрушения, выражается соотношением

$$A_p = (K_1 + K_2 + K_3) \cdot dV + K_4 \ln K_5 dV dF dl, \text{ Дж.} \quad (12)$$

Физический смысл коэффициентов в данном уравнении следующий:

K_1 — определяет величины упругого и пластического деформирования, создающие поток потенциальной энергии, необходимый для обеспечения напряжений в единице объема dV , с последующим его разрушением до заданной степени измельчения i ;

K_2 — определяет условия создания дополнительных напряжений σ и тепловых деформаций в единице объема при наличии температурных градиентов ΔT в среде плотностью ρ ;

K_3 — учитывает количество тепловой энергии, диссипирующей в единице объема вещества в процессе измельчения;

K_4 — молекулярно-кинетический оператор, активизирующий аккумулярование напряжений и механоэмиссии в структурно-обусловленной системе нанокластеров разрушаемой частицы;

K_5 — характеризует условие, обеспечивающее экстремальный ход процесса разрушения межатомных связей, спонтанного роста микротрещин и достижения заданной степени измельчения i в единичных объемах dV_i .

Анализ (12) и его сравнение с существующими законами измельчения (см. таблицу) показывают, что оно учитывает все стороны явлений, происходящих при тонком и сверхтонком измельчении материалов механическими способами. В их числе силовое и температурное деформирования и сопутствующие им проявления молекулярно-кинетического и теплового характеров.

Содержание в уравнении таких параметров, как физико-механические свойства среды (σ , E , ρ^*), характеристики дисперсности материала до и после измельчения (V , l , F , i), позволяет установить взаимосвязь полезной энергии измельчения с эксплуатационными параметрами и режимами работы измельчительного оборудования.

Для обеспечения экстремальных условий течения процесса измельчения необходимо, чтобы измельчающий аппарат постоянно перестраивался на условия и режимы работы, способствующие разрушению микрообъемов с минимальными энергозатратами.

Так, например, сверхтонкое измельчение карбида кремния (SiC) в технологическом переделе при производстве композиционных материалов

показывает, что кривые кинетики измельчения имеют следующий характер (рисунок).

Эксперименты проводились в различных мельницах (шаровая, вибрационная, планетарная). Однако кривые кинетики помола идентичны.

Имеются отклонения начала бифуркации и положений точек 2 и 3.

Снижение удельной поверхности измельчаемой среды объясняется необходимостью изменения режимных параметров работы аппарата, ответственных за



Длительность процесса измельчения t
Кинетика измельчения тонкодисперсной среды
в механических измельчителях

энергию удара при измельчении тонкой структуры вещества, которое в момент перехода от точки 1 к точке 2 подвержено «наклепу» и укрупнению отдельных зерен частиц, в результате этого имеет место падение удельной поверхности, т.е. «отказ» к измельчению (точка 3).

Дальнейшее накопление внутренней энергии в новообразованиях активизирует молекулярно-кинетические эффекты и процесс измельчения, вновь развивается точка 2.

Своевременное изменение режимов работы измельчителей в точке 1 позволяет исключить образование наклепа и развивать кинетику помола по штрихпунктирной кривой.

Аналогичная ситуация наблюдается и при измельчении строительных материалов таких как цемент, гипс, известь, различные красители и т.д.

В особых случаях для повышения эффекта разрушения следует использовать температурные факторы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Екобори, Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел [Текст] / Т. Екобори. — М. : Металлургия, 1971. — 263 с.

2. Томсон, Р. М. Строение твердых тел [Текст] / Р. М. Томсон, Ф. Зейц // Разрушение : под ред. Г. Либовица. — М. : Мир, 1973. — Т. I. — С. 512–538.
3. Веригин, Ю. А. Синергетические основы процессов и технологий [Текст] / Ю. А. Веригин, С. В. Толстеньев. — Барнаул : АлтГТУ, 2007. — 172 с.

ВЕРИГИНА Я. Ю., асп.

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул*

Получено 01.12.09

Verigina Ya. Yu., post-graduate student, Altay State Technical University of a name of I. I. Polzunova, Barnaul, Russia

DEVELOPMENT OF THEORETICAL REPRESENTATIONS ABOUT PROCESSES OF CRUSHING OF MATERIALS TO FINEDUST CONDITIONS

In work the analysis of existing laws of crushing of substance to fine conditions is carried out. It is noticed, that in their maintenance there is no interrelation of working parametres of the machine with properties of the crushed environment. On the basis of joint consideration of molekuljarno-kinetic aspects of destruction of substance and power characteristics of the device making crushing by methods of nonequilibrium thermodynamics offer mathematical model of process of a grinding of substance in the mechanical grinders, allowing to optimise process of a grinding of materials at any stage of crushing.

Key words: crushing, grinding of materials, deficiency of structure, energy of process and its parametres, optimisation.

REFERENCES

1. Ekobori, T. Fizika and mechanics of destruction and durability of firm bodies [Text] / T. Ekobori // Moscow : Metallurgy, 1971. — 263 p.
2. Thomson, R. M. Constuction of firm bodies [Text] / R. M. Thomson, F. Zeic // Destruction : Under G. Libovitsa's edition. — Moscow : World, 1973. — V. I. — P. 512–538.
3. Verigin, Yu. A. Syncretic bases of processes and technologies [Text] / Yu. A. Verigin, S. V. Tolstenev // Barnaul : Altay State Technical University, 2007. — 172 p.

УДК 711.4-112:551.55

И. М. СЕНЮЩЕНКОВА

**АЭРАЦИЯ ГОРОДСКИХ
ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Произведен анализ микроклиматических особенностей городских оврагов, влияющих на аэрацию. На основании экспериментальных данных определены коэффициенты трансформации ветрового потока, а также построены профили ветра и составлены схемы овражных ветров. Данные разработки могут быть использованы на практике при градостроительном планировании данных территорий, для определения размещения функциональных зон и объектов.

Ключевые слова: аэрация, коэффициенты деформации ветрового потока, профили ветра, городские овраги.

Рельеф местности, направление его основных элементов оказывают существенное воздействие на направление и скорость ветра, а если пониженные формы рельефа расположены в жилой зоне, где возникают так называемые городские ветра, то выявление закономерностей формирования ветрового режима в пространстве представляет большой научный интерес в целях расширения познаний в этой области, а также для определения зон повышенной и пониженной продуваемости при размещении объектов, негативно влияющих на окружающую среду. Актуальность этих исследований продиктована необходимостью определения экологической ценности участков при градостроительном освоении городских оврагов и балок.

Основная цель анемометрических исследований — определение особенностей ветрового режима в оврагах и балках для градостроительного освоения этих территорий.

Анализ научных работ в данной области [1] показал возможное наличие целого ряда неблагоприятных аэродинамических эффектов в городских условиях, таких как: «краевые углы», «сквозняк», вихревое движение за препятствием, трубки Вентури, аэродинамические трубы, «пирамиды», «шахматы» и др.

В последнее время многими учеными [2] разрабатывается точка зрения, что в условиях города оценка риска аэродинамического воздействия ветровых потоков актуальна не только с точки зрения прочности конструкций, но и комфортности среды жизнедеятельности для человека и экологической безопасности.

Из практики можно выделить ряд неблагоприятных ситуаций, обусловленных локальной структурой движения ветровых потоков в городских оврагах и балках.

1. Образование застойных зон за высокими препятствиями (25...35 м), расположенными поперек господствующего направления ветра (например, дамбы). В них даже при сильном фоновом ветре локальные скорости ветрового потока близки к нулю. Это создает предпосылки для скапливания взвешенных веществ, выхлопных газов автотранспорта и других вредных примесей в приземном слое атмосферного воздуха.

2. Зоны ускоренного движения ветрового потока на высоте отметок бортов оврага, относительно отметки дна оврага в поперечном профиле при отсутствии высотной застройки дна и склонов. В такие зоны попадают мосты поперек оврагов и транспортные переходы. Они находятся под сильным ветровым воздействием (при совпадении господствующего ветра и протяженного направления оврага), что вызывает дискомфорт. Кроме того, наличие таких зон следует учитывать при размещении рекламных щитов, декоративных элементов ограждения мостов и многоэтажных домов по бровкам присклоновых участков оврагов и балок, так как это может способствовать созданию эффекта туннеля с усилением ветрового потока.

3. Образование ветровых потоков вдоль бортов оврага.

4. Образование застойных зон на дне оврага, что способствует снегонакоплению и скоплению загрязняющих веществ, особенно в условиях приземной инверсии.

Климат территории складывается из многих параметров, основными из которых является температура, солнечная радиация, количество осадков, скорость и направление ветра и др.

Особенности аэрационного режима определяются в основном микро- и макрорельефом, тепло-влажностным режимом и экспозицией подстилающей поверхности. Как отмечает И. К. Лифанов [3], характер подстилающей поверхности определяет различия в поглощенной радиации, эффективном излучении и радиационном балансе территории, а также влияет на условия турбулентного теплообмена между подстилающей поверхностью и атмосферой. В результате этого взаимодействия появляются микроклиматические различия в городских оврагах и балках, по сравнению с равнинной территорией, в режиме температуры, относительной влажности воздуха, испарении, направлении и скорости ветра.

Аэрация связана с почвенным покровом, так как, с одной стороны, — это один из основных факторов ее устойчивости, с другой, почвы — источник экологической опасности. Загрязняющие вещества из почвы малоподвижной депонирующей среды попадают посредством ветра в сопредельные среды (атмосфера, гидросфера), что способствует миграции и трансформации загрязняющих веществ. Кроме того, почвенный покров может быть косвенным признаком наличия застойных зон. Это проявляется в виде локальных выпадений загрязняющих веществ из атмосферного воздуха. Эрозия незадернованных почв начинается при достаточно низких скоростях ветра на высоте 15 см от земли [4]:

- супесчаная почва 3...4 м/с;
- легкосуглинистая почва 4...6 м/с;
- тяжелосуглинистая почва 5...7 м/с;
- глинистая почва 7...9 м/с.

Зеленые насаждения, имеющиеся в оврагах и балках, оказывают существенное влияние на ветровой режим территории. Это определяется, прежде всего, высотой, ярусностью, схемой посадки или произрастанием, а также сомкнутостью кроны.

В среднем в приземном слое наблюдается четко выраженный суточный ход ветра. В континентальных областях ветер в нижних слоях достигает максимальной скорости днем, со слабовыраженным пиком около полудня. На высотах 100...300 м наблюдается обратный ход с максимум ночью и минимум днем. В промежуточных слоях на высотах 25...50 м суточный ход ветра значительно сложнее¹. На высотах 30 м могут встречаться два максимума: один — около полудня, другой — около полуночи и два минимума — ранним утром и после полудня. При слабых ветрах об-

¹ Щербань М. И. Микроклиматология. Киев: Высш. шк., 1985. 224 с.

ратный суточный ход наблюдается на высотах меньше, а при сильных ветрах больше 40 м.

Наличие поднятий и понижений вносит значительные изменения в вертикальное распределение метеорологических элементов в приземном слое атмосферы. Это обуславливает формирование характерных микроклиматических контрастов между различными склонами оврагов и балок. Особенности микроклимата пересеченного рельефа — результат взаимодействия нескольких факторов. Основными из них являются условия облучения склонов различной экспозиции и крутизна склонов, турбулентный обмен на склонах, различных по отношению к ветру.

Впервые на роль пересеченного рельефа в формировании микроклимата отдельных участков указал А. И. Воейков (1879, 1884 гг.), обративший внимание метеорологов на термический режим возвышенностей и низин. Теоретические и экспериментальные исследования особенностей микроклимата склонов и вершин выполнены Г. Т. Селяниновым, С. А. Сапожниковой, И. А. Гольцбергом, Ф. Ф. Давитая, П. А. Воронцовым, Б. А. Айзенштатом.

Аэрационный режим в сложных геоморфологических условиях оказывает влияние на размещение различных функциональных зон, а следовательно на комфортность среды для человека [1].

Антропогенные факторы оказывают влияние на окружающую среду, вызывая изменения микроклиматических характеристик. Определение особенностей аэрационного режима в городских оврагах и балках в целях обеспечения стабильного экологического функционирования территорий должно быть основано на следующих принципах сбалансированного развития.

1. Градостроительное развитие, решения и инвестиции должны базироваться на планах развития городских овражно-балочных территорий с учетом их природных условий, включая аэрационные характеристики.

2. Градостроительные системы должны развиваться с учетом обеспечения доступа воздушных потоков от озелененных зон пойменных участков.

3. Сохранение и восстановление зеленых насаждений, поддержание биоразнообразия на особо охраняемых территориях оврагов и балок.

4. Фоновый естественный уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, наряду с наличием застойных аэрационных зон, определяет допустимость и возможность размещения различных функциональных объектов.

5. Естественный ветровой режим территории определяет ветровые нагрузки, тепловые потери проектируемых объектов, экологическое состояние и условия функционального зонирования территории.

6. Ветровой режим улично-дорожной сети в понижениях рельефа оказывает воздействие на уровень загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха и других компонентов среды. Поэтому архитектурно-планировочные решения на сложном рельефе должны разрабатываться с учетом аэродинамики препятствий и интенсивности движения по транспортной магистрали.

В биоклиматическом отношении ветер, наряду с тепловым воздействием, является ведущим фактором, формирующим реакции теплоощущения и процессы теплообмена. Реакция человека на различные скорости ветра представлены в табл. 1².

² Губернский Ю. Д., Лицкевич В. К. Жилище для человека. М.: Стройиздат, 1991. 226 с.

**Ощущения человека в зависимости
от скорости ветра**

Скорость ветра, м/с	Вероятное воздействие на людей
Менее 0,25	Практически не ощущается
0,25–0,5	Приятное
0,5–1,0	Приятное, но с легким дискомфортом
1,0–1,5	От «слегка пронизывающего» до «неприятно пронизывающего»
1,5–6,0	Дискомфортное
6,0–10,0	Весьма дискомфортное
Более 10,0	Исключительно дискомфортное

Для изучения аэрационного режима в работе использован метод натурных исследований. Исходные данные для прогнозирования аэрационного режима:

— многолетний фоновый ветровой режим местности;

— отклонения, связанные с особенностью рельефа;

— топографическая подоснова местности.

Работа выполнялась в два этапа. Первый включал следующие стадии:

- 1) выявление основных, наиболее крупных форм рельефа;
- 2) разделение понижений на части по высоте;
- 3) определение ориентации склонов по восьми основным румбам относительно основной оси рассматриваемого рельефа и разбивка склонов на участки соответствующей экспозиции;
- 4) определение фактических поправочных коэффициентов скорости ветра;
- 5) вычисление характеристики ветра по участкам и составление карты ветрового режима, который описывается средней скоростью на участке для ветров всех направлений.

На втором этапе проводились натурные исследования ветрового режима в городских оврагах, основанные на результатах расчета, полученных на первом этапе.

Участки для исследования были разделены на основные и вспомогательные, при этом совмещались стационарный и маршрутный методы исследования. Размещение анемометрических точек обязательно увязывалось с направлением ветра. Для этого на плане сначала намечались варианты размещения пунктов наблюдений в зависимости от направления ветра, а затем их размещение уточнялось на местности.

Исследование ветрового режима включало также определение характера турбулентных движений в приземном слое. Изучение турбулентности в приземном слое выполнялось с помощью ряда специальных методов: задымление, вымпелов и визуальных наблюдений.

Для исследования аэрационных особенностей овражно-балочных территорий с целью выявления поправочных коэффициентов для скоростей ветра были выбраны следующие типы участков.

Участок оврага, *продуваемый ветром*. Застройка фрагментарная, малоэтажная, расположенная на склонах и бровках оврагов. Склоны задернены, высота кустарниковой растительности до 1,5 м, трава скошена. Препятствий, деформирующих ветровой поток, не наблюдается.

Участок оврага, *непродуваемый ветром*. Склоны крутые, частично задерненные, застройка отсутствует. Проникновению ветрового потока на данный участок препятствует дамба.

Замкнутый участок оврага. Представляет собой отвершек. Древесная растительность по бровкам, склоны задернены, трава скошена, застройка отсутствует.

Исследования проводились сериями по пять измерений в каждой точке, определялась скорость ветра на равнинном участке, а также посезонно — при скорости ветра менее 6 м/с.

Распространение и накопление примесей в оврагах, наряду с другими факторами, зависит от скорости ветра и особенно от ее изменения с высотой, поэтому очень важно определение профилей ветра в приземном слое атмосферы оврагов, расположенных в центре крупного города. Для этой цели была освоена методика составления профилей ветра, в основу которой положены разработки ученых, рассматривающих вопросы аэрации карьеров³ [3].

В работе рассмотрены профили ветра на участках по разным сечениям оврага. Скорость ветра определялась на высотах 0,5; 1; 2 м от отметки поверхности оврага. Анемометры устанавливались на специальных штативах. Измерения проводились в светлое время суток на склонах, различных по крутизне при безразличном и устойчивом состоянии атмосферы. Точки наблюдения располагались в каждом профиле в поперечном и продольном направлениях и фиксировались на месте с помощью колышков. Схема расположения точек наблюдения приведена на рис. 1.

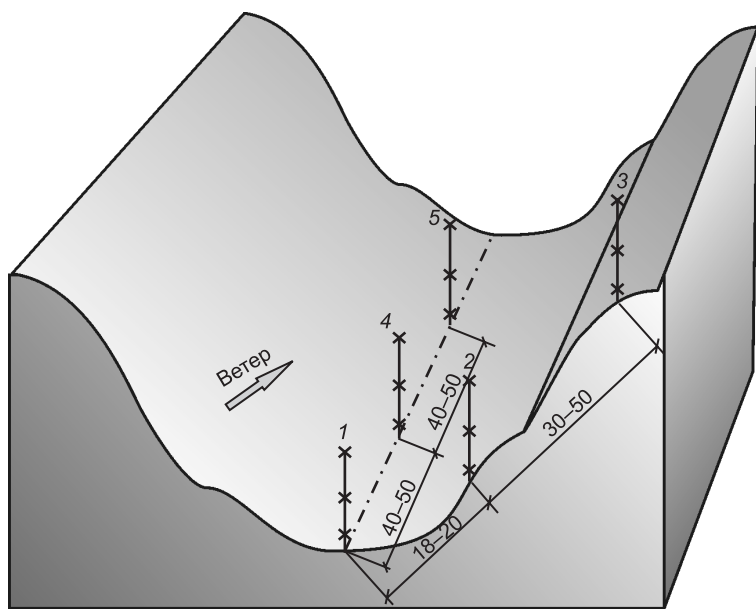


Рис. 1. Схема расположения точек анемометрического наблюдения в овраге (размеры в м)
1, 2, 3, 4, 5 — точки наблюдения

При этом производилось измерение температуры воздуха на высотах 0,5 и 2 м. Это необходимо для определения состояния атмосферы. Измерения производились суточными сериями.

При последующей обработке и анализе профили группировались по параметру устойчивости:

$$-\varepsilon = \Delta t / U^2, \quad (1)$$

где Δt — разность температур на высотах 2 и 0,5 м;
 U — скорость ветра на высоте 1 м.

В рамках данного исследования для определения направления воздушных потоков в оврагах применен метод задымления. Впервые его использовали А. Б. Казанский, А. С. Монич и др. Но эти исследования дают качественную, а не количественную характеристику турбулентности в приземном слое¹.

Комплекс факторов, определяющих движение воздуха в оврагах, формирует не только скорость, но и направление ветра в них. Для опре-

³ Никитин В. С., Битколов Н. З. Проветривание карьеров. М.: Недра, 1975. 246 с.

деления направления воздушных потоков в оврагах была разработана собственная методика исследований характера движения воздушных масс в пониженных формах рельефа местности с применением марлевых выпелов, мачт различной высоты и задымления.

Направление ветра показывалось стрелками на профиле участка, где проводились измерения, а затем разрабатывалась схема развития ветров. Из-за большой площади исследуемой территории были выделены ключевые участки по длине оврага, и на них синхронно проводилась съемка показаний несколько раз в течение суток: 8.00–12.00 ч; 12.00–17.00 ч; 17.00–20.00 ч по московскому времени на протяжении периода исследования. Измерения производились при отсутствии осадков в период с положительными, отрицательными температурами и в переходный период.

Сравнительная характеристика коэффициентов трансформации ветрового потока, полученных в рамках данного исследования, а также учеными Е. Н. Романовой и С. А. Сапожниковой, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты трансформации ветрового потока в оврагах по сравнению с открытым ровным местом при устойчивом состоянии атмосферы на высоте 2 м от поверхности земли и при скорости ветра на ровном месте до 6 м/с

Форма рельефа	Участки оврага	Коэффициенты трансформации ветрового потока		
		полученные в результате анемометрических съемок	предложенные Е. Н. Романовой	предложенные С. А. Сапожниковой
Участки оврагов, продуваемых ветром	Дно	1,5–1,7	1,3–1,5	0,6
	Нижние части склонов	1,4–1,6		
	Средние части склонов	1,5–1,6	1,4–1,5	
	Верхние части склонов	1,4–1,5		
Участки оврагов, непродуваемых ветром	Дно	0,2–0,4	Менее 0,6	0,5
	Нижние части склонов	0,3–0,4		
	Средние части склонов	0,5–0,6	0,6–0,7	
	Верхние части склонов	0,5–0,7		
Замкнутые участки оврагов	Дно	0,005–0,3	Менее 0,6	
	Нижние части склонов	0,2–0,3		
	Средние части склонов	0,3–0,5		
	Верхние части склонов	0,2–0,6		

Анализируя данные таблицы, можно сделать следующие выводы.

1. Коэффициенты трансформации ветрового потока, полученные ранее для овражно-балочного рельефа, трудно применимы на практике при градостроительном освоении данных территорий, так как они не конкретизированы для различных типов склонов.

2. Полученные ранее результаты передают общую тенденцию к снижению скорости ветрового потока, а следовательно, и коэффициента трансформации, в зависимости от угла атаки (максимальные значения на участках, продуваемых ветром до 1,5, минимальные на непродуваемых и замкнутых — менее 0,6).

3. Обработанные экспериментальные данные показали, что для продуваемых участков максимальный коэффициент трансформации ветра наблюдается на дне (до 1,7 против 1,5, полученных ранее), далее вверх по склону оврага он незначительно снижается, но остается в пределах 1,4...1,6, что соответствует ранее произведенным исследованиям.

4. Для участков оврагов, непродуваемых ветром, получено четкое разграничение коэффициентов трансформации по мере продвижения по склону оврага. Минимальный коэффициент на дне 0,2, затем он плавно возрастает до 0,7 (верхняя часть склонов).

5. В замкнутых участках оврагов наблюдается наиболее неблагоприятный аэрационный экологический режим с точки зрения продуваемости. На дне коэффициент трансформации приближается к нулю, а затем плавно возрастает до 0,6 для верхней части склонов.

На рис. 2, а, б, приведены графики осредненных профилей, скоростей ветра в оврагах.

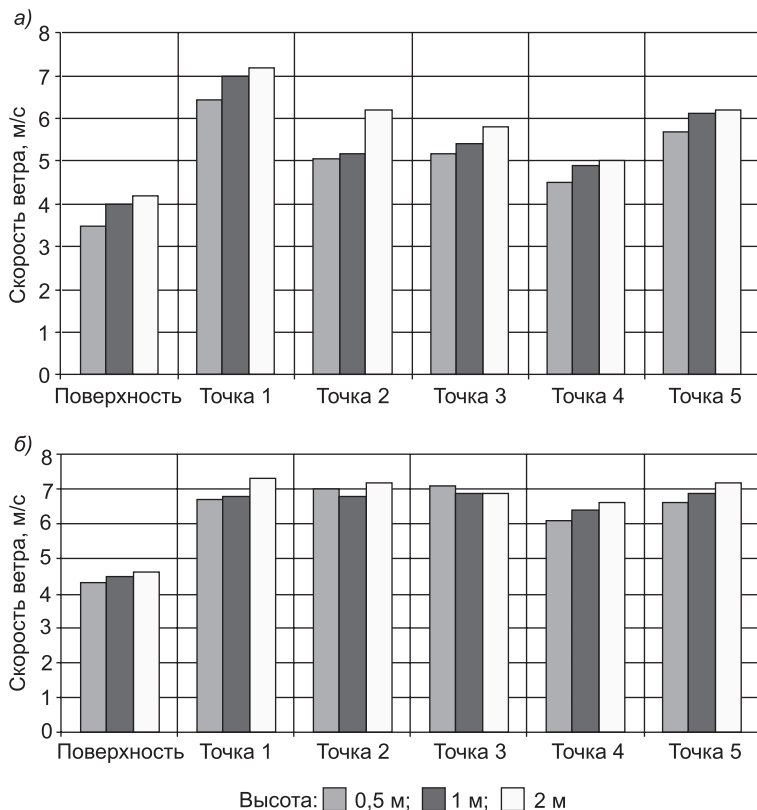


Рис. 2. Профили ветра в овраге и на поверхности

а — при состоянии атмосферы, близком к безразличному; б — при устойчивом состоянии атмосферы

Анализируя изменения скорости ветра в оврагах при различных состояниях устойчивости атмосферы и на различных высотах можно сделать следующие выводы.

1. Ход кривых изменения скорости ветра для различных состояний атмосферы имеет тенденцию к увеличению скорости с высотой (до 2 м).

2. При безразличном состоянии атмосферы угол наклона кривой, соответствующей поверхности, равен углу наклона кривых расчетных точек ($\approx 40^\circ$). При устойчивом состоянии атмосферы ($\approx 70^\circ$) он больше угла в расчетных точках 1, 2, 4, 5 ($\approx 40\ldots 60^\circ$), но менее, чем в точке 3 (близко к 90°).

3. Максимальные изменения скорости ветра с высотой происходят в точке, расположенной на дне оврага (0,8 м/с на 1,5 м) при безразличном состоянии атмосферы, минимальные изменения в точках 2, 3 при устойчивом состоянии атмосферы (0,2...0,3 м/с на 1,5 м).

Таблица 3
Схема осредненных направления воздушных потоков в оврагах (стрелками обозначены ветровые потоки)

Время наблюдения	Сезон		
	летний	зимний	переходный
8.00–12.00			
12.00–17.00			
17.00–20.00			

4. Скорость ветра в овраге, продуваемом ветром, на рассматриваемых высотах выше аналогичных показателей на поверхности (максимум в 1,75 раза).
5. Распределение скоростей в продольном сечении оврага неравномерно. На расстоянии от поперечного сечения, равном глубине оврага, скорость ветра снижается от первоначальной в точке 1 на 1,9 м/с на высоте 0,5 м — максимум, и на 0,6...0,8 м/с на высотах 1 и 2 м соответственно — минимум. На расстоянии от поперечного профиля, равном двум глубинам оврага, скорость ветра снова повышается, но все равно остается ниже, чем в точке 1. Это связано с ослаблением энергии ветровых потоков.
6. Зеленые насаждения по дну оврага оказывают существенное влияние на ветровой режим исследуемой территории. Степень влияния зеле-

ных насаждений на изменение скорости и направление ветра определяется высотой насаждений, их длиной, шириной, густотой отдельных крон и полнотой насаждений.

Результатом натурных исследований направления воздушных потоков в оврагах явилось схематическое изображение направления ветра в разное время суток и в различные сезоны. Скорость ветра на поверхности при этом не превышала 9 м/с. Схема проветривания — прямоточная. При прямоточной схеме движения воздуха направление ветра в овраге совпадает с общим вектором ветра. Рециркуляционная схема движения воздуха характеризуется направлением ветра в овраге, противоположным поверхности. Это общие закономерности формирования направления воздушных потоков под действием динамических сил, создаваемых энергией поверхностного ветра.

Анализируя данные, представленные в табл. 3, можно сделать следующие выводы.

1. Овражно-балочный рельеф оказывает влияние на направление ветровых потоков в различные сезоны и время суток при прямоточной схеме проветривания.

2. В утренние и вечерние часы формируются рециркуляционные склоновые потоки, в дневные — только приподнятые прямоточные потоки.

3. В дневные часы рециркуляционные склоновые потоки формируются в летний и переходный периоды, в зимний — донные и приподнятые прямоточные потоки.

4. В вечерние часы в летний период преобладают рассредоточенные рециркуляционные склоновые потоки, в зимний — приподнятые прямоточные, в переходный — рассредоточенные рециркуляционные склоновые и приподнятые прямоточные.

5. Овражный рельеф при прямоточном проветривании способствует притоку воздушных масс от пойменных участков в верховье оврага.

Летом при интенсивном притоке солнечной радиации местные притоки при скоростях ветра на поверхности до 3...4 м/с существенно влияют на направление ветра в овраге. В пасмурные дни, а также в дни со скоростями ветра на поверхности 4 м/с действие местных потоков, сформированных температурными неоднородностями, практически не проявляется.

В летнее время года действие местных потоков при слабых ветрах 1,5–2 м/с отмечается и в ночное время. Некоторое снижение активности местных потоков в летние месяцы объясняется относительно равномерным распределением тепловой энергии в указанный период в дневные часы за счет большой высоты стояния солнца.

Таким образом, общая тенденция формирования южного направления воздушных потоков в оврагах проявляется преимущественно в теплое время года. Форма овражного пространства существенно влияет на направление воздушных потоков из-за значительной протяженности оврагов при малой ширине. Соответственно направление ветра преимущественно совпадает с длинной осью оврагов при различной «розе ветров» на поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гутников, В. А. Оптимизация аэрационных параметров городской застройки : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2001. — 198 с.
2. Рекомендации по оценке аэрации территорий в жилой застройке Москвы : отв. ред. И. К. Лифанов [Текст]. — М. : МАКС Пресс, 2006. — 160 с.
3. Лифанов, В. А. Моделирование аэрации в городе [Текст] / В. А. Лифанов, А. С. Гутников, А. С. Скотченко. — М. : Диалог МГУ, 1998. — 134 с.

4. В а й с м а н, А. А. Градостроительство и ветер [Текст] / А. А. Вайсман. — Спб. : Изд-во Буховского, 2000. — 232 с.

СЕНЮЩЕНКОВА И. М., канд. техн. наук, доц.; E-mail: irina-sen811@yandex.ru
Московский государственный строительный университет

Получено 02.02.10

Senyuschenkova I. M., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: irina-sen811@yandex.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

AERATION URBAN RAVINE TERRITORIES

Analyzed microclimatic characteristics of urban ravine affecting aeration. Based on experimental data the coefficients of transformation of the wind flow, as well as build profiles of wind and charting ravine winds. These developments can be used in practice in urban planning of the territories to determine the placement of functional areas.

Key words: aeration, coefficients of transformation of the wind flow, the profiles of wind, urban ravines.

REFERENCES

1. Gutnikov, V. A. Optimization of aeration parameters policeman building : dis. ... candidate of technical sciences. — Moscow, 2001. — 198 p.
2. Recommendations for evaluation of aeration areas in housing development in Moscow : otv. Ed. I. K. Lifanov [Text]. — Moscow : MAKS Press, 2006. — 160 p.
3. Lifanov, V. A. Modeling of aeration in the city [Text] / V. A. Lifanov, A. S. Gutnikov, A. S. Skotchenko. — Moscow : Dialog MGU, 1998. — 134 p.
4. Waisman, A. A. Urban planning and wind [Text] / A. A. Waisman. — Spb. : Publishing Buch, 2000. — 232 p.

Замеченные опечатки в № 2 — 2010 г.

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
49	формула (1)	$N_{\text{треб}} = 7,12...$	$N_{\text{треб}} = 8,12...$
50	вторая снизу	...от 40 , 120 м/ч	...от 40 до 120 м/ч

РАЗРАБОТКИ ПО ОБСЛЕДОВАНИЮ, УСИЛЕНИЮ, ВОССТАНОВЛЕНИЮ, РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ И ИСПЫТАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В НГАСУ (Сибстрин) на кафедрах железобетонных, металлических и деревянных конструкций разработаны методы по определению технического состояния, по восстановлению (в т. ч. после землетрясений), усилению, реконструкции и перепрофилированию зданий и сооружений:

- усиление оснований и стабилизация осадок основания (инъекцирование грунтов, устройство набивных микросвай и т. д.);
- усиление фундаментов (подкладные элементы, подводка и включение в работу свай под фундамент и т. д.);
- усиление надземных несущих конструкций (инъекцирование трещин в кирпичной кладке и железобетонных конструкциях);
- реконструкции зданий (в том числе без отселения жильцов, в условиях стесненных площадей и без применения башенных кранов);
- разработка стальных конструкций каркаса надстроек.

Проводятся испытания изгибаемых железобетонных конструкций, центрально и внецентренно сжатых и растянутых моделей конструкций, испытание арматурных стержней.

а)



б)



На фото показаны дома после реконструкции: *а)* по ул. Октябрьской (г. Новосибирск), *б)* по ул. Усова (г. Томск).

Разработчики: В. М. МИТАСОВ, д-р техн. наук, проф.

В. М. ДОБРАЧЕВ, канд. техн. наук, доц.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: ntio-ngasu@yandex.ru

Internet: www.sibstrin.ru

Тел/факс: (383) 266-28-89

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организации. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— *рекомендацию* соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— *разрешение* Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5") или дискете 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: *фамилии, инициалы, ученые степени, звания* (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и *e-mail авторов*;

— *название статьи на английском языке*;

— *аннотацию на английском языке*;

— *ключевые слова на английском языке*;

— *библиографический список на английском языке*.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20–30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2010 г. — из расчета 950 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины и их обозначения, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052–78 (СН 528–80).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присылать в двух экземплярах с приложением ее записи в *электронном виде*. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректур статей авторам не представляется.*

13. *Гонорар* за опубликованные статьи *не выплачивается.*

14. **Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.**

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2010 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 720 р.

Цена отдельного номера — 120 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 3 (615) 2010

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *Н. Г. Павлова, С. М. Погудина*

Технический редактор *Н. М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р. Г. Усова*

Корректор *Г. И. Шведкина*