



Научный журнал
Орловского государственного
технического университета

Выходит шесть раз в год

№1/21 (553) 2009

(январь-февраль)

ИЗВЕСТИЯ ОрелГТУ

Серия «Строительство. Транспорт»

Редакционный совет:

Голенков В.А., *председатель*
Радченко С.Ю., *зам. председателя*
Борзенков М.И.
Колчунов В.И.
Попова Л.В.
Степанов Ю.С.

Главный редактор серии:

Колчунов В.И., *акад. РААСН, д.т.н., проф.*

Заместители

главного редактора серии:

Гончаров Ю.И., *д.т.н., проф.*
Колесникова Т.Н., *д. арх., проф.*
Коробко В.И., *д.т.н., проф.*
Данилевич Д.В., *к.т.н., доц.*

Редколлегия:

Бондаренко В.М., *акад. РААСН, д.т.н., проф.*
Зорин В.А., *д.т.н., проф.*
Карпенко Н.И., *акад. РААСН, д.т.н., проф.*
Коробко А.В., *д.т.н., проф.*
Король Е.А., *чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.*
Меркулов С.И., *д.т.н., проф.*
Новиков А.Н., *д.т.н., проф.*
Ольков Я.И., *акад. РААСН, д.т.н., проф.*
Римшин В.И., *чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.*
Серпик И.Н., *д.т.н., проф.*
Турков А.В., *д.т.н., проф.*
Федоров В.С., *чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.*
Чернышов Е.М., *акад. РААСН, д.т.н., проф.*

Ответственный за выпуск:

Никулин А.И., *к.т.н., доц.*

Адрес редколлегии серии:

302020, Россия, г. Орел,
Наугорское шоссе, 29.
Редколлегия журнала
«Известия ОрелГТУ» Серия «Строительство.
Транспорт».
Тел.: 8 (4862) 73-43-49;
www.ostu.ru
E-mail: antc@ostu.ru

Зарегистрировано в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств
массовой информации. Свидетельство: ПИИ
№ 77-15496 от 20 мая 2003 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ОрелГТУ, 2009

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Белозерова Е.Б., Чернышев В.И. К определению динамических реакций балки на упругих опорах.....	3
Бондаренко В.М., Ключева Н.В., Пискунов А.В. Прикладная диссипативная теория конструктивной безопасности железобетона (Фрагменты 1, 2).....	8
Еремин А.А., Санжаровский Р.С., Бондаренко В.М. К вопросу оценки несущей способности железобетонных колонн.....	19
Ерышев В.А., Бондаренко А.С., Латышев Д.И. К методике описания диаграммы малоциклового нагружения.....	22
Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Ромкин Д.С., Безгодов И.М., Андрианов А.А. Результаты исследования физико-механических и реологических характеристик высокопрочного бетона.....	28
Колчунов В.И., Сафонов А.Г. Сложное сопротивление сжатой зоны бетона железобетонных конструкций при кручении.....	38
Коробко А.В., Сенин М.А. Применение МИКФ для определения основной частоты колебаний пластинок сложных форм с комбинированными граничными условиями..	43
Коробко В.И., Морозов С.А. Предельное равновесие неразрезных балок ступенчато-переменной жесткости.....	46
Луценко А.Н., Крючков А.А., Смоляго Е.Г. Деформативность предварительно напряженных сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементов.....	51
Мирошниченко Р.В. Экспериментальные исследования уплотнения грунтового основания вокруг выштампованных микросвай.....	58
Турков А.В. Усилия в двухслойной составной балке с поперечными связями и различными граничными условиями слоев.....	62
Фетисова М.А., Калашникова Н.Г. Определение максимального прогиба трапециевидных пластинок с комбинированными граничными условиями с помощью МИКФ.....	65

Безопасность зданий и сооружений

Ляшенко Н.В. Пути повышения безопасности систем водоснабжения в населенных пунктах.....	68
Федоров В.С., Левитский В.Е. Проблемные аспекты противопожарной защиты высотных зданий.....	72

Строительные технологии и материалы

Лукутцова Н.П., Анисимов П.В. О контракции цемента.....	78
Федосов С.В., Серегин Г.В., Чужбинкина И.Е. Жаростойкий фибропенобетон.....	86

Автомобили, строительные машины, сервис и ремонт

Бакаева Н.В. К построению критерия эффективности функционирования системы технического сервиса автомобилей.....	90
Данилевич Д.В. К вопросу повышения эффективности многофункциональных строительно-дорожных машин.....	98
Чванов В.В., Чванов А.В., Кочетков А.В. Организация освоения инноваций в дорожном хозяйстве.....	102

Научный журнал «Известия ОрелГТУ». Серия «Строительство. Транспорт» входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.

<p><i>Editorial council:</i> Golenkov V.A., <i>president</i> Radchenko S.Y., <i>vice-president</i> Borzenkov M.I. Kolchunov V.I. Popova L.V. Stepanov Y.S.</p>
<p><i>Editor-in-chief</i> Kolchunov V.I.</p>
<p><i>Editor-in-chief assistants:</i> Goncharov Y.I. Kolesnikova T.N. Korobko V.I. Danilevich D.V.</p>
<p><i>Editorial committee</i> Bondarenko V.M. Zorin V.A. Karpenko N.I. Korobko A.V. Korol E.A. Merkulov C.I. Novikov A.N. Olkov Y.I. Rimshin V.I. Serpik I.N. Turkov A.V. Fyodorov V.S. Chernyshov E.M.</p>
<p><i>Responsible for edition:</i> Nikulin A.I.</p>
<p><i>Address</i> 302020 Orel, Naugorskoye Chaussee, 29 8 (4862) 73-43-49 www.ostu.ru E-mail: antc@ostu.ru</p>
<p>Journal is registered in State Committee of Russian Federation on printing. The certificate of registration III № 77-15496 from 20.05.03</p>
<p>Index on the catalogue of the «Pressa Rossii» 86294</p>
<p>©OSTU, 2009</p>

Contents

Theory of engineering structures Building units

Belozerova E.B., Chernyshov V.I. To the matter of dynamic response definition for a beam on elastic supports.....	3
Bondarenko V.M., Klyueva N.V., Piskunov A.V. The applied dissipation theory for reinforced concrete structural safety.....	8
Eryomin A.A., Sanzharovsky R.S., Bondarenko V.M. To the matter of bearing capacity estimate in reinforced concrete columns.....	19
Eryshev V.A., Bondarenko A.S., Latyshev D.I. To the methods of diagram description of low-cycle loading.....	22
Karpenko N.I., Kapriyev S.S., Romkin D.S., Bezgodov I.M., Andrianov A.A. Results of physico-mechanical and rheological characteristic research of high strength concrete	28
Kolchunov V.I., Safonov A.G. Difficult resistance of the compressed working area of reinforced concrete constructions at torsion with the bending down.....	38
Korobko A.V., Senin M.A. The application of interpolation methods by a form index (IMFI) for definition of oscillation main frequency in plates with an intricate shape and combined boundary conditions.....	43
Korobko V.I., Morozov S.A. Limit equilibrium of whole beams with stepped variable hardness.....	46
Lutsenko A.N., Kryuchkov A.A., Smolyago E.G. Deformability of pre-stressed composite reinforced concrete flexible elements.....	51
Miroshnichenko R.V. Experimental researches of earth foundation compression round stamped piles.....	51
Turkov A.V. Strains in a double layer built-up beam with cross-linkages and different boundary conditions of layers.....	62
Fetisova M.A., Kalashnikov N.G. Maximum deflection definition of trapeziform plates with combined boundary conditions through interpolation methods by a form index (IMFI)	65

Buildings and structures safety

Layshenko N.V. Ways of increase of safety of systems of water supply to settlements..	68
Fyodorov V.S., Levitsky V.E. Problem aspects in high building fire protection.....	72

Construction technologies and materials

Lukutsova N.P., Anisimov P.V. To cement contraction.....	78
Fedosov S.V., Seryogin G.V., Chuzhbinkina I.E. Heat-resistant fibro-foamed concrete..	86

Motor transport, construction site engines, service and repair

Bakayeva N.V. To the problem of effectiveness criterion formation for a motor transport maintenance system.....	90
Danilevich D.V. To the problem of effectiveness increase of construction site engines and road-building machines multifunction.....	98
Chvanov V.V., Chvanov A.V., Kochetkov A.V. An innovation development organization in transportation management.....	102

УДК 624.072.233

БЕЛОЗЕРОВА Е.Б., ЧЕРНЫШЕВ В.И.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ БАЛКИ НА УПРУГИХ ОПОРАХ

Разработана методика расчета динамических реакций балки на упругих опорах с учетом диссипативных сил.

Ключевые слова: динамическая реакция, дифференциальное уравнение, расчетная схема.

The method of computation of dynamic reaction of the beam on the elastic seat with due regard for the dissipative force was worked out in this article.

Key words: dynamic reaction, the differential equation, the settlement circuit.

Дифференциальное уравнение движения балки, расчетная схема которой представлена на рисунке 1, запишем в виде:

$$m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EJ_x \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} + b_0 \frac{\partial^5 y}{\partial z^4 \partial t} = P(t) \delta(z - z_0) - b \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{z=0} \delta(z - 0) - b \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{z=l} \delta(z - l) - c \cdot y(0, t) \delta(z - 0) - c \cdot y(l, t) \delta(z - l). \quad (1)$$

Здесь m_0 – масса единицы длины балки (кг/м); EJ_x – изгибная жёсткость балки (Н·м²); b_0 – коэффициент, характеризующий диссипативные свойства материала (Н·м²·с); b – коэффициент вязкого трения (Н·с/м); c – жесткость (Н/м); δ – импульсная функция (1/м); $P(t)$ – сила (Н); z_0 – координата точки приложения силы (м); l – длина балки (м); $y = y(z, t)$ – поперечное перемещение (м) как функция координаты z и времени t .

При известной функции перемещения $y = y(z, t)$ динамические реакции $R_A(t)$ и $R_B(t)$, воспринимаемые несущими элементами, могут быть определены следующим образом:

$$R_A(t) = c \cdot \frac{\partial^3 y}{\partial z^3} \Big|_{z=0}; \quad R_B(t) = c \cdot \frac{\partial^3 y}{\partial z^3} \Big|_{z=l}. \quad (2)$$

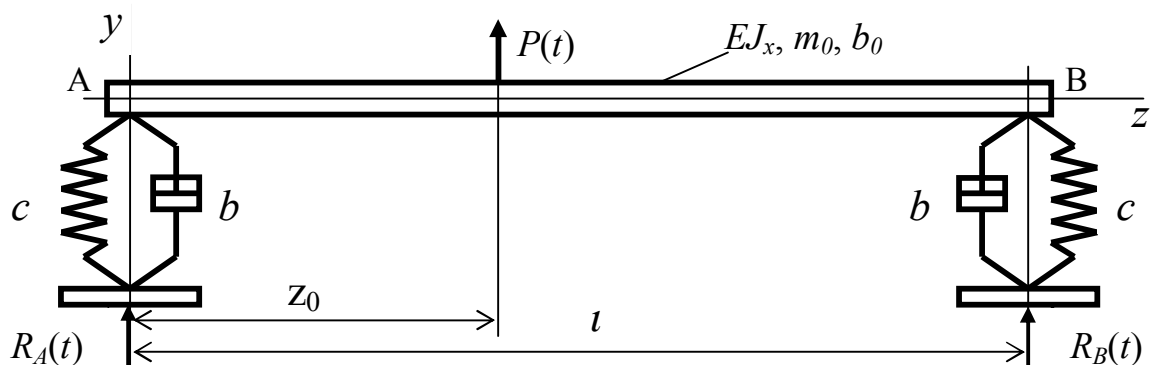


Рисунок 1 – Расчетная схема балки

$$R_A(t) = -P(t) \frac{l - z_0}{l} + \int_0^{z_0} m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} (l - z) dz; \quad R_B(t) = -P(t) \cdot z_0 + \int_0^{z_0} m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} z \cdot dz; \quad (3)$$

$$R_A(t) = c \cdot y(0, t) + b \cdot \dot{y}(0, t); \quad R_B(t) = c \cdot y(l, t) + b \cdot \dot{y}(l, t). \quad (4)$$

Общее решение дифференциального уравнения (1) можно представить в виде бесконечного ряда частных линейно независимых решений [1, 2, 3]:

$$y(z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(z) f_n(t), \quad (5)$$

где $u_n(z)$ – собственные формы колебаний балки (амплитудные функции); $f_n(t)$ – функции времени.

Собственные формы колебаний балки определяются в результате решения дифференциального уравнения (1) при отсутствии диссипативных и внешних сил, т.е. из уравнения:

$$m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EJ_x \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} = -c \cdot y(0, t) \delta(z-0) - c \cdot y(l, t) \delta(z-l) \quad (6)$$

с учетом условий закрепления:

$$\left. \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right|_{z=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right|_{z=l} = 0. \quad (7)$$

Перейдем от уравнения (6) к эквивалентной системе уравнений:

$$\begin{cases} m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EJ_x \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} = 0; \\ EJ_x \left. \frac{\partial^3 y}{\partial z^3} \right|_{z=0} = -c \cdot y(0, t); \\ EJ_x \left. \frac{\partial^3 y}{\partial z^3} \right|_{z=l} = c \cdot y(l, t). \end{cases} \quad (8)$$

Опуская индекс частного решения в (5), принимаем, что $y(z, t) = u(z) f(t)$. После подстановки данного частного решения в (7) и (8) получим два дифференциальных уравнения:

$$\frac{\partial^2 f(t)}{\partial t^2} + k^2 f(t) = 0; \quad (9)$$

$$EJ_x \frac{\partial^4 u(z)}{\partial z^4} - m_0 k^2 u(z) = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial^4 u(z)}{\partial z^4} - \alpha^4 u(z) = 0, \quad (10)$$

а также соотношения, отражающие условия закрепления балки (концевые условия):

$$\left. \frac{\partial^2 u(z)}{\partial z^2} \right|_{z=0} = 0; \quad EJ_x \left. \frac{\partial^3 u(z)}{\partial z^3} \right|_{z=0} = -c \cdot u(0); \quad (11)$$

$$\left. \frac{\partial^2 u(z)}{\partial z^2} \right|_{z=l} = 0; \quad EJ_x \left. \frac{\partial^3 u(z)}{\partial z^3} \right|_{z=l} = c \cdot u(l). \quad (12)$$

Из уравнений (9) следует, что неизвестный параметр k – это частота периодической функции времени, изменяющейся по гармоническому закону.

$$\text{В уравнении (10) параметр } \alpha = \sqrt[4]{\frac{m_0 k^2}{EJ_x}}, \quad \text{м}^{-1}. \quad (13)$$

Решения уравнений (9) и (10) запишем в виде:

$$f(t) = A \cos(kt + \varphi); \quad (14)$$

$$u(z) = C_1 K_1(\alpha z) + C_2 K_2(\alpha z) + C_3 K_3(\alpha z) + C_4 K_4(\alpha z), \quad (15)$$

где A , φ – амплитуда (м) и начальная фаза гармонической составляющей частного решения; $K_i(\alpha z)$ – функции Крылова; C_i – постоянные, которые находятся из соотношений (11) и (12) с точностью до произвольного множителя.

Заметим, что A и φ определяются из начальных условий $y(z, 0)$ и $\dot{y}(z, 0)$, если известны значения C_i . Функции (15) должны удовлетворять концевым условиям (11) и (12).

Поскольку $\left. \frac{\partial^2 u(z)}{\partial z^2} \right|_{z=0} = 0$, то $C_3 K_1(\alpha 0) = 0$ и, следовательно, $C_3 = 0$.

Далее получим систему однородных уравнений относительно постоянных C_1, C_2, C_4 :

$$\begin{cases} C_1 + C_4 \cdot S \cdot \lambda^3 = 0; \\ C_1 K_3(\lambda) + C_2 K_4(\lambda) + C_4 K_2(\lambda) = 0; \\ C_1 [K_1(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_2(\lambda)] + C_2 [K_2(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_3(\lambda)] + C_4 [K_4(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_1(\lambda)] = 0, \end{cases} \quad (16)$$

где параметры:

$$S = \frac{EJ_x}{c \cdot l^3}; \quad \lambda = \alpha l. \quad (17-18)$$

Для получения нетривиального решения системы (16) определитель, образованный коэффициентами при неизвестных C_1, C_2 и C_4 , должен быть равен нулю:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & S \cdot \lambda^3 \\ K_3(\lambda) & K_4(\lambda) & K_2(\lambda) \\ K_1(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_2(\lambda) & K_2(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_3(\lambda) & K_4(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_1(\lambda) \end{vmatrix} = 0. \quad (19)$$

Раскрывая определитель (19), получим частотное уравнение

$$[K_2(\lambda) - S \cdot \lambda^3 K_3(\lambda)]^2 - [K_4(\lambda) - 2S \cdot \lambda^3 K_1(\lambda) + S^2 \lambda^6 K_2(\lambda)] K_4(\lambda) = 0 \quad (20)$$

с неограниченным числом корней λ_n .

Из выражений (13) и (18) следует, что каждому λ_n соответствует определенное значение частоты k_n и параметра α_n n -ого частного решения в (5):

$$k_n = \frac{\lambda_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_x}{m_0}}; \quad \alpha_n = \frac{\lambda_n}{l}. \quad (21-22)$$

Кроме того, учитывая соотношения между постоянными C_1, C_2 и C_4 в системе уравнений (16), получим: $C_{1n} = 1$; $C_{2n} = \frac{K_2(\lambda_n) - S \cdot \lambda_n^3 \cdot K_3(\lambda_n)}{K_4(\lambda_n) \cdot S \cdot \lambda_n^3}$; $C_{4n} = -\frac{1}{S \cdot \lambda_n^3}$.

Отсюда амплитудные функции (15) представим в виде:

$$u_n(z) = K_1(\alpha_n z) + \left[\frac{K_2(\lambda_n) - S \cdot \lambda_n^3 \cdot K_3(\lambda_n)}{K_4(\lambda_n) \cdot S \cdot \lambda_n^3} \right] K_2(\alpha_n z) - \frac{1}{S \cdot \lambda_n^3} K_4(\alpha_n z). \quad (24)$$

При известных амплитудных функциях (24) дифференциальное уравнение (1) запишется в виде: $m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EJ_x \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} + b_0 \frac{\partial^5 y}{\partial z^4 \partial t} = P(t) \delta(z - z_0) - b \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{z=0} \delta(z - 0) - b \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{z=l} \delta(z - l)$.

После подстановки в него решения (5) и учета соотношения, следующего из уравнения (10):

$$EJ_x \frac{\partial^4 u_n(z)}{\partial z^4} - m_0 k_n^2 u_n(z) = 0, \quad (26)$$

а также разложений [4]

$$\begin{aligned} \delta(z - z_0) &= \sum_{n=1}^{\infty} D_n(z_0) u_n(z) \left(D_n(z_0) = u_n(z_0) / \int_0^l u_n^2(z) dz \right); \\ \delta(z - 0) &= \sum_{n=1}^{\infty} D_n(0) u_n(z) \left(D_n(z_0) = u_n(z_0) / \int_0^l u_n^2(z) dz \right); \\ \delta(z - l) &= \sum_{n=1}^{\infty} D_n(l) u_n(z) \left(D_n(z_0) = u_n(z_0) / \int_0^l u_n^2(z) dz \right), \end{aligned} \quad (27)$$

получим дифференциальное уравнение для определения функций времени $f_n(t)$:

$$\frac{\partial^2 f_n}{\partial t^2} + 2d_n \frac{\partial f_n}{\partial t} + k_n^2 f_n = \frac{P(t)}{m_0} D_n(z_0). \quad (28)$$

Здесь коэффициент демпфирования:

$$d_n = \frac{b}{2m_0} [u_n(0)D_n(0) + u_n(l)D_n(l)] + \frac{b_{0n}k_n^2}{2EJ_x}, \quad (29)$$

где коэффициент $b_{0n} = b_0 \frac{k_n}{k_1}$. Считается, что внутреннее (конструкционное) демпфирование увеличивается пропорционально частоте [5, 6].

Если коэффициент демпфирования меньше частоты собственных колебаний ($d_n < k_n$), то общее решение уравнения (28) можно записать в следующем виде [5]:

$$f_n(t) = A_n e^{-d_n t} \cos(p_n \cdot t + \varphi_n) + \frac{\ell^{-d_n t} D_n(z_0)}{m_0 p_n} \int_0^t P(\tau) \ell^{d_n \tau} \sin(p_n \cdot (t - \tau)) d\tau, \quad (30)$$

где $p_n = \sqrt{k_n^2 - d_n^2}$.

В частном случае, когда сила постоянна $P(t) = P_0$ (внезапно прикладывается в точке z_0), а в начальный момент времени $y(z, 0) = 0$ и $\dot{y}(z, 0) = 0$, получим:

$$f_n(t) = H_n \left[1 - e^{-d_n t} \cos p_n t - \frac{d_n}{p_n} e^{-d_n t} \sin p_n t \right], \quad (31)$$

где $H_n = \frac{P_0 D_n(z_0)}{m_0 k_n^2}$. Таким образом, движение балки под действием внезапно приложенной силы представляется в виде бесконечного ряда (5), где функции $u_n(z)$, $f_n(t)$ определяются из уравнений (24) и (31) соответственно.

Ограничившись несколькими членами ряда (5), можно приближенно определить динамические реакции балки, воспользовавшись для этого одним из соотношений (2)-(4).

На рисунке 2 приведены графики зависимостей $Rn(t) = -\frac{R_A^{(n)}(t)}{|P_0|}$, (32)

где n – число учитываемых слагаемых в ряде (5); $R_A^{(n)}(t)$ – динамическая реакция, определяемая из соотношения (2) при учете n слагаемых в ряде (5).

Установлено, что практически точное воспроизведение динамической реакции $R_A(t)$ достигается, если учитывать первые шесть слагаемых ряда (5). Причем число учитываемых слагаемых ряда (5) должно увеличиваться при смещении точки приложения силы к левому концу балки. В частном случае, когда сила прикладывается в середине пролета балки (координата $z_0 = 0,5 \cdot l$) или ближе к правому концу балки (координата $z_0 > 0,5 \cdot l$), достаточно учитывать только два первых слагаемых ряда (5).

Возбуждаемые при внезапном приложении силы перемещения балки на упругих опорах и соответствующие динамические реакции имеют два характерных цикла – это переходный цикл (цикл нагружения) и основной цикл (цикл затухающих колебаний).

На переходном цикле динамические реакции возрастают по абсолютной величине и достигают своего максимального значения. На основном цикле динамические реакции изменяются по гармоническому закону с уменьшающейся амплитудой колебаний относительно средней величины и с частотой p_1 затухающих колебаний балки на упругих опорах. Средняя величина динамической реакции равна значению соответствующей реакции при статическом приложении силы P_0 .

Коэффициент динамичности (как отношение максимального значения динамической реакции к силе) всегда больше единицы и увеличивается при смещении точки приложения силы к правому концу балки. Так, для приведенных на рисунке 2 данных имеем следующие значения коэффициентов динамичности: 1,6 ($z_0 = 0,1 \cdot l$); 1,8 ($z_0 = 0,3 \cdot l$); 2,4 ($z_0 = 0,5 \cdot l$); 2,6 ($z_0 = 0,7 \cdot l$).

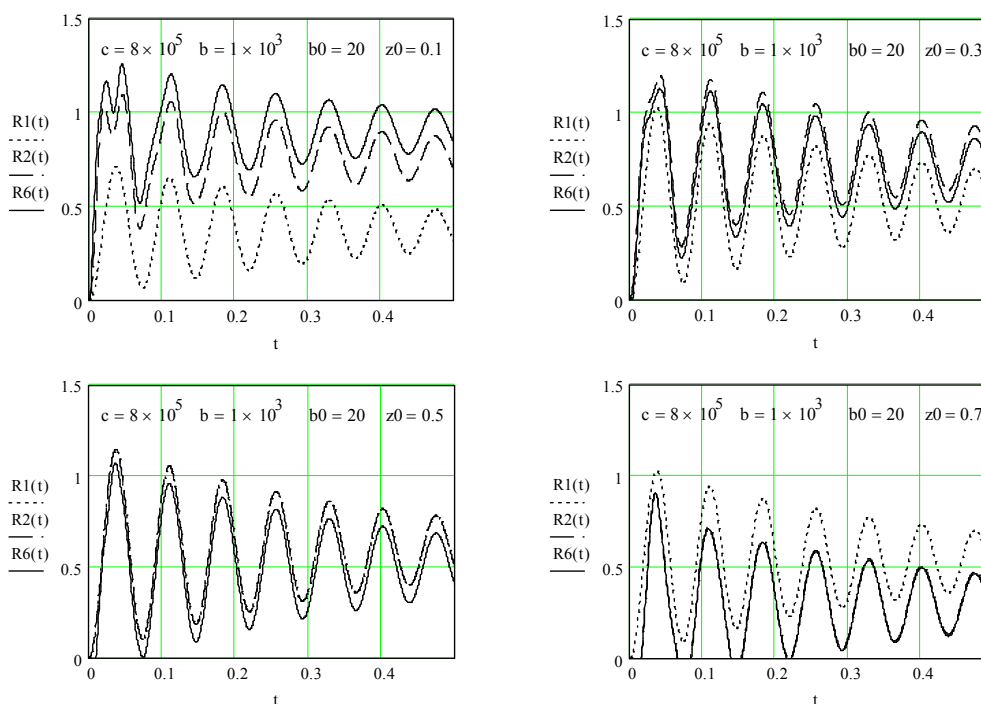


Рисунок 2 – Результаты расчета динамических реакций

При определенной величине вязкого сопротивления колебательный процесс не реализуется, и балка под действием силы P_0 будет совершать аperiodическое движение. Как следствие, максимальная величина динамической реакции может быть снижена до значения этой силы, т.е. достигается положительный эффект виброизоляции несущих элементов конструкции от силового возмущения. Однако следует учитывать, что увеличение вязкого сопротивления блокирует упругую опору, и периодическая составляющая силы будет «непосредственно» передаваться на несущие элементы конструкции, ухудшая тем самым динамические свойства упругой опоры как устройства виброизоляции.

Литература

1. Вибрации в технике: Справочник. Т. 1. Колебания линейных систем [Текст] / Под ред. В.В. Болотина. – М.: Машиностроение, 1978. – 325 с.
2. Ильин, М.М. Теория колебаний [Текст] / М.М. Ильин, К.С. Колесников, Ю.С. Саратов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 272 с.
3. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
4. Светлицкий, В.А. Сборник задач по теории колебаний [Текст] / В.А. Светлицкий, И.В. Стасенко. – М.: Высш. школа, 1973. – 456 с.
5. Бидерман, В.Л. Прикладная теория механических колебаний [Текст] / В.Л. Бидерман. – М.: Высш. школа, 1972. – 416 с.
6. Нашиф, А. Демпфирование колебаний / А. Нашиф, Д. Джоунс, Дж. Хендерсон. – Мир, 1988. – 448 с.

Белозерова Е.Б.

Орловский государственный университет, г. Орел
Ассистент

Чернышев В.И.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор

УДК 624

БОНДАРЕНКО В.М., КЛЮЕВА Н.В., ПИСКУНОВ А.В.

ПРИКЛАДНАЯ ДИССИПАТИВНАЯ ТЕОРИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА (ФРАГМЕНТЫ 1, 2)

Излагаются основы прикладной теории железобетона, раскрывающей комплексное влияние коррозионных и энергетических потерь силового сопротивления на конструктивную безопасность сооружений. Устанавливаются условия перехода к обязательной оценке их живучести.

Ключевые слова: силовое сопротивление бетона, ползучесть, живучесть.

The fundamentals of the applied reinforced concrete theory are presented where a complex effect of corrosion and power loss of power resistance on construction design safety is shown. Conditions of transition to an obligatory estimate of their survivorship are defined.

Key words: power resistance of concrete, creep, survivability.

Решение задач силового сопротивления и конструктивной безопасности эксплуатируемых железобетонных сооружений, по-видимому, продуктивнее осуществлять с учетом влияния средовых повреждений и энергетических потерь, сопровождающих деформирование материалов.

В связи с этим на текущем этапе разработки проблемы приведем отдельные фрагменты полученных результатов.

1. Некоторые общие признаки неравновесных процессов силового сопротивления бетонов

Как известно, по происхождению деформации бетонов относятся к несилowym (температурным, влажностным и т.п.) и силовым. Часть силовых деформаций «следят» за напряжениями – это так называемые мгновенные деформации и деформации кратковременной ползучести, другая часть «следует» за ними – это так называемые запаздывающие деформации (режимная ползучесть). Кроме того, силовое деформирование сжатием характеризуется нелинейностью связи с напряжениями во всем диапазоне изменения напряжений (так называемая физическая нелинейность)¹, а также частичной необратимостью, увеличивающейся с ростом напряжений.

Все указанные виды частных деформаций взаимосвязаны. Вместе с тем эксперименты разрешают, а интересы математического анализа вынуждают считать частные деформации взаимонезависимыми.

При этом фактическое влияние различных факторов на развитие частных деформаций учитывается косвенно корректированием исходных характеристик механического состояния бетона².

В совокупности это позволяет полные деформации считать суммой частных деформаций. С учетом сказанного уравнения механического состояния бетона, используемые в настоящее время в исследованиях, записываются в виде [1]:

$$\varepsilon = \varepsilon_{nc} + \varepsilon_c; \varepsilon_c = \varepsilon_{mz} + \varepsilon_{zn}; \varepsilon_{zn} = \varepsilon_{kp,n} + \varepsilon_{dl}, \quad (1)$$

причем $\varepsilon_{mz} = \frac{S_{mz}^0[\sigma(t)]\sigma(t)}{E_m^0(t)}$; $\varepsilon_{kp,n} = S_n^0[\sigma(t)]F_n(t_0)\sigma(t)c^0(t,t)$;

¹ Заметим, что при разгрузке (или растяжении) возможна линейная аппроксимация этой связи.

² Заметим, что во всех случаях такого учета взаимовлияния разных факторов предполагается количественная нелинейность самих факторов. Стеснение деформаций не рассматривается.

$$\varepsilon_{\partial n} = - \int_{t_0}^t S_n^0[\sigma(\tau)] \sigma(\tau) F_n(t_0) \frac{\partial}{\partial \tau} C^0(t, \tau) d\tau. \quad (2)$$

При решении прикладных задач, следуя Ю.Н. Работнову, нелинейные соотношения (1), (2) целесообразно заменить квазилинейными [2]:

$$\varepsilon_c = \bar{S}^0[\sigma(t)] \frac{\sigma(t)}{E_{\text{вр.л}}(t, t_0)}, \quad (3)$$

$$\text{где } E_{\text{вр.л}}(t, t_0) = \left[\frac{1}{E_m^0(t)} + F_n(t_0) C^0(t, t) - \int_{t_0}^t \eta(\tau, t) F_n(t_0) \frac{\partial}{\partial t} C^0(\tau, t) d\tau \right]^{-1} \quad (4)$$

– временный линейный модуль деформации Н.Н. Буданова-С.Е. Фрайфельда [1]; $\eta(\tau, t)$ – режимная функция для деформаций ползучести (заметим, что в практическом проектировании допустимо считать $\eta = const$ и даже $\eta = 1$).

В основном расчетном случае $\sigma = const$, с учетом затухающего характера развития деформаций ползучести $\frac{\partial c^0(\tau, t_0)}{\partial \tau} < 0$ (5)

$$\text{получим } E_{\text{вр.л}} = \left[\frac{1}{E_m^0(t)} + F_n(t_0) C^0(t, t_0) \right]^{-1}. \quad (6)$$

При этом укажем, что процедура приведения (1)-(2) к виду (3)-(4), разработанная в [2], обеспечивает не менее 97% точности, и подчеркнем, что современные исследования и проектные расчеты также используют аналогичные (3)-(4) эмпирически квазилинейные формы.

В (1)-(4) используются следующие обозначения: ε – полные относительные деформации; ε_{nc} – суммарные несиловые относительные деформации; ε_c – суммарные силовые относительные деформации; σ – напряжения; ε_{mc} – частные мгновенные силовые относительные деформации; $\varepsilon_{кр.п}$ – частные кратковременные (быстронатекающие) относительные деформации ползучести; $\varepsilon_{р.п}$ – частные режимные (накапливаемые во времени) относительные деформации ползучести; t_0, τ, t – время начала наблюдения, текущее время, время окончания наблюдения; $F_n(t_0)$ – функция влияния возраста для ползучести; $E_m^0(t)$ – начальный модуль мгновенной относительной деформации; $c^0(\tau, t)$ – начальная мера ползучести; $S^0 \geq 1$ – функция нелинейности (S_m^0 – для мгновенных относительных деформаций, S_n^0 – то же для ползучести, \bar{S}^0 – единая функция нелинейности).

Между тем, процессы силового неравновесного деформирования-ползучести и несиловых (средовых) неравновесных повреждений (например, коррозии) эксплуатируемых железобетонных конструкций сопровождаются трансформацией структуры бетона. Как и другие неравновесные процессы, они могут развиваться как устойчиво затухающие во времени или неустойчиво, лавинно, так и по смешанному типу – сначала устойчиво, а затем неустойчиво [3, 4, 5].

В частности, нагружение сжатием вызывает вначале уплотнение структуры материала, повышение прочности и снижение проницаемости, а затем с увеличением напряжений и разуплотнением – снижение прочности и повышение проницаемости вплоть до развития магистральных трещин, лавинного нарастания повреждений и лавинного деформирования, разрушения [3]. Граница перехода от устойчивого, затухающего этапа развития указанных процессов к неустойчивому, лавинному соответствует равенству [6]:

$$\sigma = R_{sp}, \quad (7)$$

где $R_{ол} \leq R_{сп} \leq 0,95R_g$ – граничное значение сопротивления сжатию, зависящее от режима и длительности нагружения, которое может быть рассчитано по [1] (здесь $R_{ол}$ – длительная прочность, R_g – кратковременная прочность).

Несмотря на существенное различие физического механизма ползучести и повреждений, возможно построение единообразной математической модели их прогноза, обеспечивающее описание исследуемых неравновесных процессов в зависимости от уровня действующих напряжений в полном диапазоне напряженного состояния [4, 5] (рисунок 1).

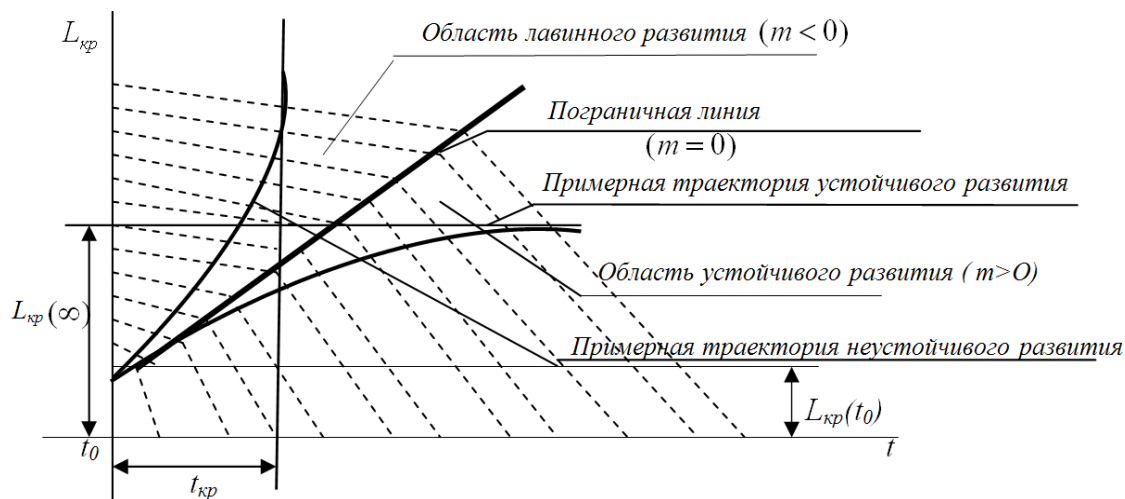


Рисунок 1 – Схема кинетики развития неравновесных процессов при константных напряжениях в зависимости от величины и знака $m = const$

$$\frac{d\Delta L}{dt} = \alpha(\Delta L)^m, \text{ где } \Delta L = \frac{L_{кр}\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right) - L(t, t_0)}{L_{кр}\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right)}; \quad (8)$$

$$L_{кр}\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right) = \sum_{i=0}^{i=n} R_{кр i} \left(\frac{\sigma}{R_{сп}}\right)^i; \quad \alpha\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right) = \sum_{i=0}^{i=n} \alpha_i \left(\frac{\sigma}{R_{сп}}\right)^i; \\ m\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right) = \sum_{i=0}^{i=n} m_i \left(\frac{\sigma}{R_i}\right)^i. \quad (9)$$

Здесь $L_{кр}\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right)$ – критическая (в области устойчивого развития процесса – предельная)

величина искомой характеристики исследуемого неравновесного фактора; $\alpha\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right)$ – па-

раметр скорости развития процесса; $m\left(\frac{\sigma}{R_{сп}}, t_0\right)$ – параметр, знак которого определяет об-

ласть устойчивого или неустойчивого развития неравновесного процесса, а его величина характеризует особенности развития процесса во времени: при $m > 0$ – процесс развивается устойчиво, затухающе; $m < 0$ – процесс развивается неустойчиво, лавинно. При этом коррозионные процессы во времени при $m > 0$ носят кольматационный характер; при $m = 0$ – линейный характер; при $m < 0$ – лавинный [5].

Решение (8), осуществляемое разделением переменных, имеет вид:

$$L(t) = f_m(\alpha, m, t)L_{кр}; \tag{10}$$

при $m=0$ $f_0(t) = \left[\frac{L(t_0, t_0)}{L_{кр}} + \alpha(t - t_0) \right]; \tag{11}$

при $m=1$ $f_1(t) = 1 - \Delta L(t_0, t_0)e^{-\alpha(t-t_0)}; \tag{12}$

при целочисленных $m \neq 0; m \neq 1; f_m(t) = 1 - \left\{ \Delta L(t_0, t_0) \right\}^{[(-m)+1]} + \alpha[(-m)+1](t-t_0) \left\{ \right\}^{\frac{1}{[(-m)+1]}}$; (13)
 (при дробных m значение f_m находится приближенно).

Применительно к (9) фиксированные значения $L_{кр \cdot j}, L_j, m_j$ находятся экспериментально для характерных константных напряжений из условий, что:

при $\frac{\sigma}{R_{сп}} = 0$ будет $L_{кр} = L_0; \alpha = \alpha_0; m = m_0; \tag{14}$

при $\frac{\sigma}{R_{сп}} = \frac{\sigma_{л}}{R_{сп}}$ будет $L_{кр} = L_{л}; \alpha = \alpha_{л}; m = m_{л};$

$$\frac{\partial L_{кр}}{\partial \left(\frac{\sigma}{R_{сп}}\right)} = 0; \quad \frac{\partial \alpha}{\partial \left(\frac{\sigma}{R_{сп}}\right)} = 0; \quad \frac{\partial m}{\partial \left(\frac{\sigma}{R_{сп}}\right)} = 0; \tag{15}$$

при $\frac{\sigma}{R_{сп}} = \frac{\sigma_T}{R_6}$ $L_{кр} = L_T; \alpha = \alpha_T; m = 0 \tag{16}$

с последующим решением системы алгебраических уравнений, формируемых подстановкой (14), (15) в (9).

В статьях [4, 5] применительно к деформациям ползучести и коррозионным повреждениям изложен переход от константных уровней напряженного состояния к режимному монотонно неубывающему нагружению и схемам развития, представленным на рисунке 2.

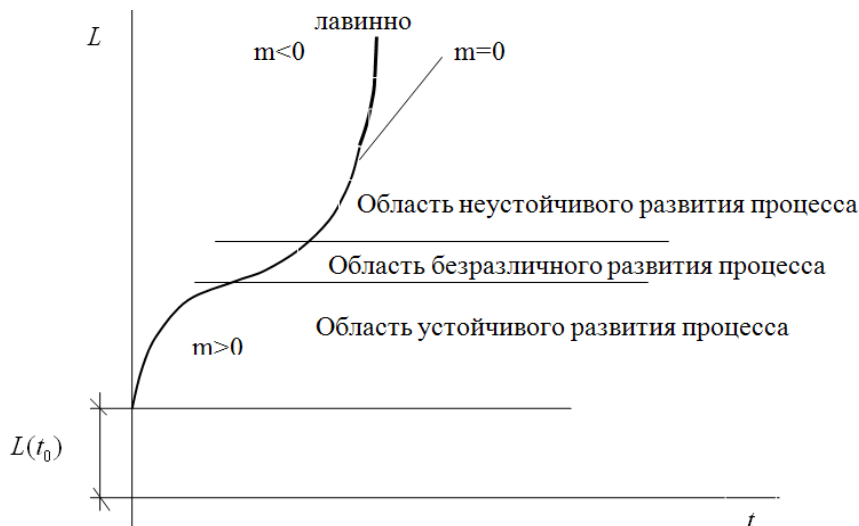


Рисунок 2 – Схема перехода во времени от устойчивого (затухающего) к неустойчивому (лавиноному) характеру изменения меры ползучести и глубины повреждений, обусловленных ростом режимных напряжений

При этом подчеркнем, что величины действующих напряжений (знак и численные значения) и, следовательно, $m, \alpha, L_{кр}$ взаимозависимы и в практических задачах определяются последовательными приближениями.

2. Коррозионные составляющие диссипации силового сопротивления бетона при оценке конструктивной безопасности железобетона

Экспериментально установлено, что для эксплуатируемых в химически агрессивной среде железобетонных конструкций характерен кольматационный затухающий процесс развития повреждений ($m > 0$) со стабилизацией повреждений на некоторой глубине ($\delta \leq \delta_{кр}$). При этом по толщине бетонного тела различаются три зоны: зона полного коррозионного разрушения, переходная зона коррозионных повреждений, неповрежденная зона (рисунок 3).

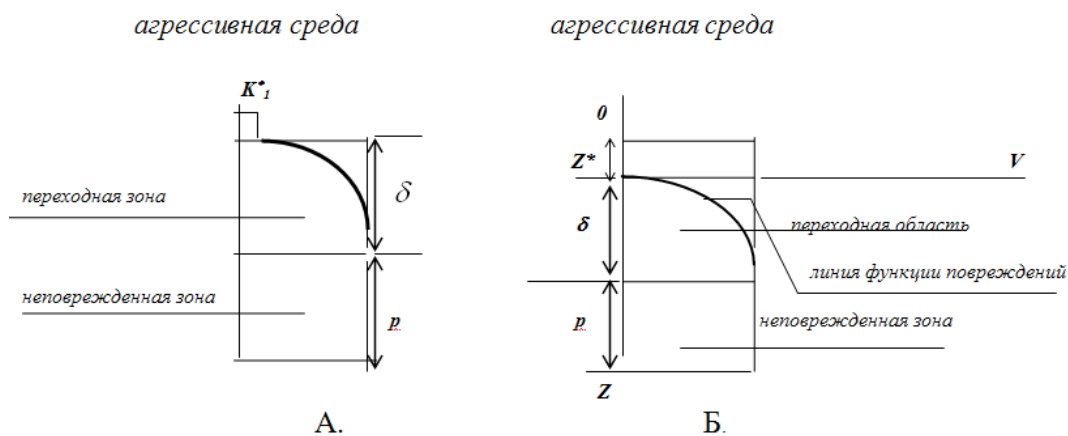


Рисунок 3 – Схема зонирования коррозионных повреждений по глубине бетонного тела

На рисунке 3 случай А отличается от случая Б тем, что зона полного разрушения отсутствует, и фибровый слой бетонного тела сохраняет некоторую часть исходного силового сопротивления; случай Б имеет все три характерные зоны силового сопротивления: зону полного разрушения z^* , переходную зону повреждения толщиной δ и неповрежденную зону. Причем для бетонного тела, воспринимающего сжатие, глубина повреждения может быть вычислена по формулам (10), (13):

$$f_m(t, t_0) = 1 - \left\{ \Delta\delta(t_0, t_0)^{[(-m)+1]} + \alpha[(-m)+1](t-t_0) \right\}^{\frac{1}{[(-m)+1]}} \quad (17)$$

Кроме того, значения сохранившегося силового сопротивления переходной и неповрежденной зоны сопряжены, т.е. в точке взаимного перехода имеют единую величину и общую касательную функции повреждений K^* .

Аналогично (9) функция повреждений K^* может быть представлена полиномом:

$$K^* = \sum_{i=0}^{i=n} a_i z^i; \quad \frac{dK^*}{dZ} = \sum_{i=1}^{i=n} i a_i z^{i-1} \quad \text{при } 0 \leq K^* \leq 1. \quad (18)$$

Здесь z – функция, отсчитываемая от V .

Анализ показал, что достаточно ограничиться квадратичной аппроксимацией K^* , т.е. принять $n=2$. Из этого следует, что значения a_i могут быть установлены с помощью условий:

– для варианта А: при $z=0$ будет $K^* = K^*_1$,

$$\text{при } z = \delta \text{ будет } K^* = 1; \quad \frac{dK^*}{dz} = 0. \quad (19)$$

$$\text{Откуда } a_0 = K^*_1; \quad a_1 = \frac{2(1 - K^*_1)}{\delta}; \quad a_2 = -\frac{(1 - K^*_1)}{\delta^2}. \quad (20)$$

– для варианта Б в формулах (20) принимается $K^*_1 = 0$.

При $z^* > 0$ будет $K^*_1 = 0$, а функция повреждений K^* , строящаяся с помощью единых геометрических условий, оказывается одинаковой для разных характеристик механического

состояния поврежденного бетона, т.е. предел прочности $R_b^* = K^* R_b$, начальный временный модуль деформации $E_{ерл}^* = K^* E_{ерл}$ (последнее означает, что для модуля мгновенной деформации $E_{мг}^* = K^* E_{мг}$, для меры ползучести $c^* = \frac{c}{K^*}$).

Для случая растяжения бетонного тела (в т.ч. для растянутой зоны железобетонных элементов) считается, что $m=0$, коррозионный процесс происходит фильтрационно [5], а коррозионные повреждения арматуры учитываются расчетным снижением её поперечного сечения:

$$A_s^* = \omega_s A_{s0}, \quad (21)$$

где A_{s0} – исходная площадь сечения арматуры; $\omega_s \leq 1$ – коэффициент коррозионного повреждения арматуры.

Располагая характеристиками механического состояния бетона, арматуры и применяя интегральную оценку влияния растянутой зоны сечения [1], решение задач силового сопротивления, конструктивной безопасности железобетонных сооружений осуществляется с помощью расчетной модели, использующей следующие основные предпосылки:

– устанавливается, что в случае, когда напряжения сжатия не превышают граничные значения предельного сопротивления (7), неравновесные процессы несилового происхождения (коррозионные повреждения) и силового происхождения (ползучести) развиваются в затухающем режиме, а в случае, когда эти напряжения равны или превышают $R_{сп}$:

$$\delta \geq R_{сп} \quad (22)$$

в лавинном режиме;

– т.к. в первом случае целью расчета является оценка остаточного ресурса несущей способности, то продвижение химагрессора в растянутую зону бетона не допускается:

$$\delta \geq x_0; \quad (23)$$

– во втором случае указанное ограничение исключается, а приоритетным становится прогноз живучести сооружения;

– учет влияния коррозионных повреждений бетона сжатой зоны железобетонных конструкций осуществляется эквивалентным изъятием рабочих площадей сечений;

– запись уравнения механического состояния бетона принимается в квазилинейной форме (3) при нагружении сжатием и в линейной форме при разгрузении, при этом начальная модульная линия сжатия и модульная линия разгрузения считаются параллельными;

– согласно (3) влияние уровня нагружения и режима изменения напряжений учитываются раздельно.

Напряженно-деформированное состояние исходного железобетонного элемента до коррозионных повреждений может быть оценено с помощью любого из известных способов (например, [1]). Однако поскольку в рассматриваемом случае вначале речь идет о так называемом нулевом приближении итерационного уточнения значения напряжений в сжатой зоне, знание которых необходимо при назначении параметров повреждений (9), то с некоторым запасом принимается:

$$\sigma = \frac{N_\epsilon}{bx}, \text{ где } N_\epsilon = \frac{M}{r_{so}}; r_{so} = h_0 - \frac{x_0}{2}; x_0 = \frac{R_s A_{s0}}{bR_b}, \quad (24)$$

M – действующий момент, r_{so} – плечо моментной пары, N_ϵ – равнодействующая сила в сжатой зоне изгибаемого элемента, x_0 – исходная высота сжатой зоны, h_0 – рабочая высота сечения.

В качестве иллюстративного примера нами выбрана однопролетная защемленная на опорах балка I пролетом l , нагруженная равномерной статической нагрузкой q и подвергающаяся агрессивному воздействию среды по верхней поверхности, для сравнения с которой анализируется такая же шарнирно опертая балка II (рисунок 4).

При этом такая защемленная на опорах балка может рассматриваться как элемент статически неопределимой рамы или неразрезной многопролетной балки.

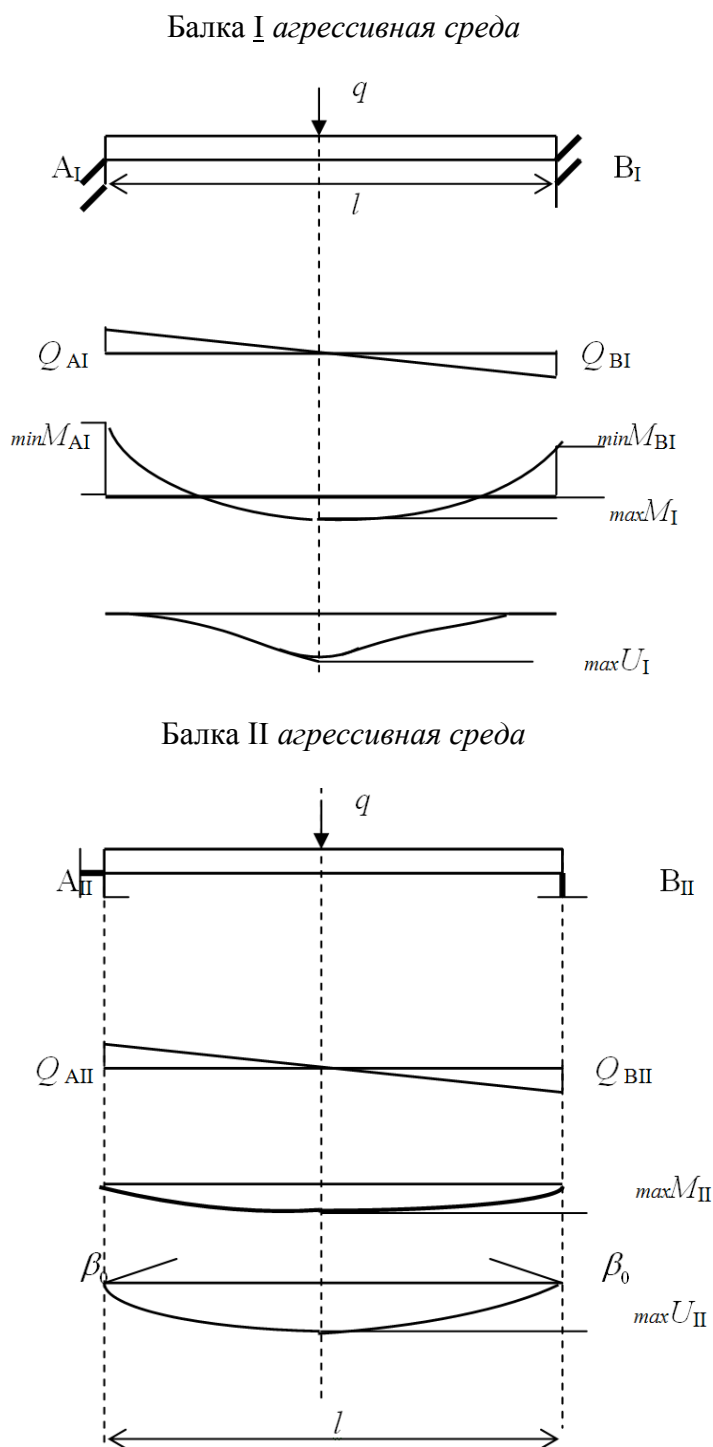


Рисунок 4 – Варианты граничных условий балки

При анализе вариантов I и II принимается, что жесткости D обеих балок неизменны вдоль пролета ($D=const$), а вероятность разрушения пролетного и опорных сечений равновелика. Известно, что опорные реакции и поперечные силы на опорах в обоих случаях равны $\frac{ql}{2}$; опорные моменты балки I – $min M_I = -\frac{ql^2}{12}$; пролетный момент балки I – $max M_I = \frac{ql^2}{24}$; про-

гиб по середине пролета – $\max U_I = \frac{ql^4}{384D}$, а опорные моменты балки II равны 0; пролетный момент балки II – $\max M_{II} = \frac{ql^2}{8}$; прогиб по середине пролета – $\max U_{II} = \frac{5ql^4}{384D}$; поворот опорных сечений – $\max \beta_{II} = \frac{ql^3}{24D}$.

Отметим, что $\max M_{II}$ превышает $\max M_I$ в 3 раза, а наибольший прогиб $\max U_{II}$ больше $\max U_I$ в 5 раз.

Опасными по несущей способности у рассматриваемой балки являются пролетное сечение по середине пролета и опорные сечения. На рисунке 5 представлено поперечное сечение балки в середине пролета.

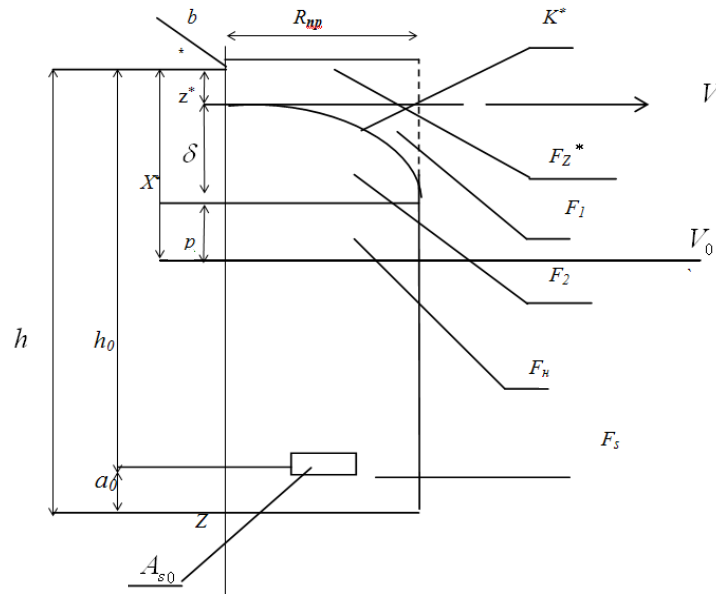


Рисунок 5 – Схема расположения зон силового сопротивления в нормальном сечении изгибаемого элемента, поврежденного коррозией

На рисунке 5 обозначено: b – ширина сечения прямоугольного элемента; h – его высота; h_0 – его рабочая высота; a_0 – защитный слой арматуры; A_{s0} – площадь растянутой рабочей арматуры; X – высота сжатой зоны бетона; z^* – толщина разрушенного слоя бетона; δ – глубина повреждений, отсчитываемая от оси V (толщина переходного слоя), p – толщина неповрежденного слоя бетона; F_{z^*} – утерянная вследствие разрушения наружного слоя z^* часть осевого силового сопротивления; F_1 – утерянная часть осевого силового сопротивления переходной (поврежденной) зоны высотой δ ; F_2 – сохраненная часть осевого силового сопротивления переходного (поврежденного слоя) бетона; F_h – осевое силовое сопротивление неповрежденной зоны высотой p ; K^* – линия функции повреждений, разграничивающая F_1 и F_2 ; $R_{кр}$ – расчетная предельная прочность [1].

Таким образом, изъав F_1 , сохраняем эквивалентную по силовому сопротивлению всей поврежденной зоны F_2 , считая, что соответствующая часть площади сечения имеет исходную прочность R .

Участвующие в силовом сопротивлении силы F_s , F_2 и F_h равны:

$$F_s = \omega_s \sigma_s A_{s0}; F_2 = b R_{кр} \int_0^{\delta} \kappa dz = \frac{2}{3} b \delta R_{кр}; F_h = b p R_{кр}, \quad (25)$$

где $p = x - (z^* + \delta)$; σ_s – напряжения в растянутой арматуре ($\sigma_s \leq R_s$).

Это позволяет, используя условия равновесия всех сил на горизонтальную ось, вычислить высоту сжатой зоны бетона поперечного сечения (см. рисунок 5):

$$X^* = X_1 + z^* + \frac{1}{3} \delta, \text{ где } X_1 = \omega_s X_0; X_0 = \frac{A_{s0} \sigma_s}{b R_{кр}}. \quad (26)$$

При этом расстояния приложения равнодействующих осевых сил F_2 и F_n относительно оси V равны:

$$\text{для силы } F_2 \rightarrow r_{V,2} = \frac{\int_0^\delta k z dz}{\delta} = \frac{5}{8} \delta; \text{ для силы } F_n \rightarrow r_{v,n} = \delta + \frac{1}{2} \rho. \quad (27)$$

Это позволяет найти величины моментных плеч сил F_2 и F_n относительно центра тяжести растянутой арматуры:

$$r_{s,2} = h_0 - (z^* + r_{V,2}); r_{s,n} = h_0 - (z^* + \delta + \frac{1}{2} \rho). \quad (28)$$

Одновременно подчеркнем, что при $p=0$ требуется соблюдать условие:

$$\delta \leq x_1, \quad (29)$$

т.к. необходимо предотвратить попадание агрессивной химической среды в растянутую (или подвергавшуюся ранее растяжению) зону. В противном случае ожидается лавинное развитие проникновения повреждений в растянутую зону сечения балки.

Остаточный ресурс силового сопротивления по поперечному изгибу поврежденного железобетонного элемента по нормальному сечению:

$$M_{np}^* = F_2 r_{s,2} + F_n r_{s,n}. \quad (30)$$

Вместе с тем заметим, что поскольку δ , входящая в построенные алгоритмы, зависит от фактических напряжений в сжатой зоне (9)...(17), постольку при каждом конкретном расчете необходимо итерационно последовательно уточнять значения сжимающих напряжений и глубину повреждений.

Вводя в решение функцию изменения нормальных напряжений по высоте сжатой зоны железобетонной балки, можно принять [1]:

$$\sigma = \sigma_\phi \left(\frac{z_0}{X}\right)^{n_\sigma}; n_\sigma = 1 - (1 - f) \frac{M}{M_{np}^*} \approx 1 - \frac{M}{M_{np}^*}, \quad (31)$$

где X – высота сжатой зоны, z_0 – ордината, отсчитываемая от оси V_0 ; $0 < f \ll 1$ – некоторая эмпирическая постоянная, зависящая от класса бетона [2]; M – действующий изгибаемый момент; M_{np}^* – предельный изгибающий момент силового сопротивления в сечении с учетом коррозионных повреждений (30).

Поскольку $M_{np}^* < M_{np}$, то допустимо считать $n_\sigma = 0$, т.е. в нулевом приближении можно задать прямоугольную форму эпюры нормальных напряжений.

Сформулированный выше прием эквивалентных сечений позволяет установить моментное плечо искомого приближения:

$$r_1 = \frac{r_{s,2} F_2 + r_{s,n} F_n}{F_2 + F_n}; \quad (32)$$

(в частных случаях $F_n=0$, будет $r_s = h_0 - (z^* + r_{V,2})$;

$$z^* = 0; -r_s = h_0 - \frac{5}{8} \delta.$$

Отсюда определяется равнодействующая силы сжатия, действующая в сечении:

$$N_s = N_b = \frac{M}{r_s} \quad (33)$$

$$\text{и } \sigma_s = \frac{N_s}{\omega_s A_{s0}}. \quad (34)$$

Применительно к (31), принимая альтернативно, что σ_2 (напряжение сжатия в переходной зоне) распределяется по высоте сечения пропорционально жесткостям³, запишем:

$$\sigma_2 = K(Z)\sigma_{II}, \quad (35)$$

где σ_{II} – напряжения на границе поврежденной и неповрежденной зон. Отсюда

$$N_b = N_2 + N_{II} = b\sigma_{II} \left[\int_0^{\delta} K^*(z)dz + p \right] = b\sigma_{II} \left(\frac{2}{3}\delta + p \right) \quad (36)$$

$$\text{и искомое } \sigma_{II} = \frac{N_b}{b\left(\frac{2}{3}\delta + p\right)}. \quad (37)$$

В частности, при $z^* = 0; p = 0; \omega_s = 1$ ($\delta = X_0$) получим:

$$\sigma_{II} = \frac{3 N_b}{2 b \delta} \text{ или } \sigma_{II} = \frac{3 N_b}{2 b X_0}. \quad (38)$$

Таким образом, за счет повреждений в рассматриваемом примере расчетные напряжения на границе сжатой зоны возрастают в 1,5 раза, т.е. отметим, что

$$\sigma_{II} \geq R_{кр} \quad (39)$$

и следует ожидать лавинного развития неравновесных процессов повреждений и ползучести.

Между тем, оценивая ситуацию, возможную в сечении середины пролета, нельзя исключать опасность частичного или полного разрушения опорных сечений балки (см. рисунок 4). Эта опасность обостряется тем, что на опорах действуют большие моменты; бетон, соприкасающийся с агрессивной средой, испытывает растяжение и потому недостаточно сопротивляется коррозионным повреждениям; в сечении неизбежно появляются трещины, а приопорные сечения поворачиваются на угол β . Ожидаемый поворот на угол β оказывается меньше угла β_0 , соответствующего относительному изменению расчетной схемы с переходом к шарнирно опертой балке, снижает опорные моменты, но увеличивает пролетный момент.

Применяя обычную интерполяцию, можно установить, что пролетный момент $\max M_I$ изменится в большую сторону и будет равен:

$$\max M_I^* = \max M_I + \frac{\beta}{\beta_0} (\max M_{II} - \max M_I), \quad (40)$$

где β – фактический угол поворота опорного сечения поврежденной балки; β_0 – соответствующий угол поворота опорного сечения шарнирно опертой балки.

$$\text{В итоге } \sigma_{II} \text{ увеличится в } \frac{M}{\max M_I} = \left[1 + \frac{\beta}{\beta_0} \left(\frac{\max M_{II}}{\max M_I} - 1 \right) \right] \text{ раз,} \quad (41)$$

коэффициент конструктивной безопасности также уменьшается в это же количество раз, а лавинное развитие процесса деформирования становится неизбежно.

В предельном случае, когда $\beta = \beta_0$, будет:

³ Вместо (31) и (35) предпочтительно и традиционно, используя гипотезу плоских сечений, можно искомые напряжения σ_2 вычислить с помощью выражений (3) и (18).

$$\frac{M}{\max M_I} = \frac{\max M_{II}}{\max M_I} = 3. \quad (42)$$

В заключении подчеркнем, что неравновесные процессы повреждений и деформирования с переходом в область неустойчивого сопротивления переводят проблемы оценки эксплуатационной пригодности сооружения от задач конструктивной безопасности к задачам живучести.

Литература

1. Бондаренко, В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко. – Харьков: Харьковский университет, 1968.
2. Бондаренко, С.В. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий [Текст] / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М.: Стройиздат, 1990.
3. Бондаренко, В.М. К вопросу о расчетной оценке ползучести бетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Б.А. Ягупов. – М.: Академия. Архитектура и строительство, 2006. – №3.
4. Бондаренко, В.М. Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко. – М.: Академия. Архитектура и строительство, 2007. – №4.
5. Бондаренко, В.М. Феноменология кинетики повреждения бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде [Текст] / В.М. Бондаренко. – М.: Бетон и железобетон, 2008 – №2.
6. Гвоздев, А.Д. Ползучесть бетона и пути её исследования, исследование прочности, пластичности, ползучести строительных материалов [Текст] / А.Д. Гвоздев. – М.: Госстройиздат 1955.

Бондаренко В.М.

Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, г. Москва
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор

Клюева Н.В.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент

Пискунов А.В.

аспирант

УДК 624.074.4.621.328

ЕРЕМИН А.А., САНЖАРОВСКИЙ Р.С., БОНДАРЕНКО В.М.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

Рассматривается задача оценки несущей способности железобетонных колонн с учетом ползучести бетона.

Ключевые слова: колонна, несущая способность, кривизна.

The problem in an estimate of reinforced column bearing capacity with account of concrete creep is considered.

Key words: the column, bearing, ability, curvature.

Для эксплуатируемых железобетонных конструкций характерна стабилизация возрастных характеристик их механического состояния. Это обеспечивает возможность принятия меры ползучести бетона при их силовом неубывающем нагружении в записи Н.Х. Арутюняна [1]:

$$c(t, \tau) = \sum_{k=0}^m A_k \varepsilon^{-\gamma_k(t-\tau)}, \quad (1)$$

которая реализована С.В. Александровским [2] в виде:

$$C(t, \tau) = \Psi_0 [1 - e^{-\gamma_0(t-\tau)}] + \Delta_0 [1 - e^{-\gamma_1(t-\tau)}]. \quad (2)$$

Применительно к железобетону, один из компонентов которого (арматура) не обладает ползучестью, расчетные предельные параметры меры ползучести могут быть приняты в предположении неизменяемости параметров γ , α и вычислены по формулам:

$$c_0 = \frac{\Psi_0 A_b}{A_b + A_s}; \quad c_1 = \frac{\Delta_0 A_b}{A_b + A_s}, \quad (3)$$

где A_b и A_s – площадь сечения бетона и арматуры, а мера ползучести записана в виде соотношения:

$$C(t, \tau) = c_0 [1 - e^{-\gamma_0(t-\tau)}] + c_1 [1 - e^{-\gamma_1(t-\tau)}]. \quad (4)$$

Линейному деформированию функции (4) соответствует дифференциальное уравнение ползучести:

$$\ddot{\varepsilon} + (\gamma_0 + \gamma_1) \dot{\varepsilon} + (\gamma_0 \gamma_1) \varepsilon = \frac{1}{E_0} \ddot{\sigma} + \left(\frac{\gamma_0 + \gamma_1}{E_0} + c_0 \gamma_0 + c_1 \gamma_1 \right) \dot{\sigma} + \gamma_0 \gamma_1 \left(c_0 + c_1 \frac{1}{E_0} \right) \sigma, \quad (5)$$

$$\text{где } E_0 = \frac{E_b A_b + E_s A_s}{A_b + A_s}. \quad (6)$$

Здесь E_b – модуль мгновенных деформаций бетона, E_s – модуль мгновенных деформаций стали.

В традиционных обозначениях Арутюняна Н.Х. перепишем уравнение (5) в виде:

$$a \varepsilon(t) \dot{\varepsilon} + a_1 \dot{\varepsilon}(t) + a_2 \ddot{\varepsilon}(t) = b \sigma(t) + b_1 \dot{\sigma}(t) + b_2 \ddot{\sigma}(t), \quad (7)$$

где введены обозначения: $b_2 = 1$; $b_1 = [(\gamma_0 + \gamma_1) + E_0 C_0 \gamma_0 + E_0 C_1 \gamma_1]$; $b = (1 + E_0 C_0 + E_0 C_1) \gamma_0 \gamma_1$; $a_2 = E_0$; $a_1 = (\gamma_0 + \gamma_1) E_0$; $a = \gamma_0 \gamma_1 E_0$.

Задачу расчета несущей способности сжатой колонны, удовлетворяющей уравнению (7), будем решать с помощью методики, предложенной Ржаницыным А.Р. для этого умножим уравнение (7) на величину $z dF$ и учтем значение кривизны колонны $\varkappa = \frac{\varepsilon}{z}$,

$$\text{где } \varepsilon \text{ – деформация произвольной точки сечения прямоугольной колонны; } z \text{ – расстояние от центра тяжести колонны до произвольной точки сечения.} \quad (8)$$

где ε – деформация произвольной точки сечения прямоугольной колонны; z – расстояние от центра тяжести колонны до произвольной точки сечения.

После умножения уравнения (7) на величину zdF (dF – элементарная площадь поперечного сечения колонны), интегрируя левую и правую части по всей площади сечения колонны, получим:

$$a\aleph \left[\int_F z^2 dF \right] + a_1 \dot{\aleph} \left[\int_F z^2 dF \right] + a_2 \ddot{\aleph} \left[\int_F z^2 dF \right] = b \int_F \sigma z dF + b_1 \int_F \dot{\sigma} z dF + b_2 \int_F \ddot{\sigma} z dF, \quad (9)$$

где \aleph , $\dot{\aleph}$ – первая и вторая производные по времени от кривизны изогнутой оси колонны в произвольной точке сечения по длине колонны.

Введем в уравнение (9) известные обозначения:

$$J = \int_F z^2 dF \text{ – момент инерции сечения колонны относительно оси, проходящей через}$$

центр сечения колонны и перпендикулярной плоскости изгиба;

$$M = \int_F \sigma z dF \text{ – изгибающий момент;}$$

$$\dot{M} = \int_F \dot{\sigma} z dF \text{ – первая производная по времени от изгибающего момента;}$$

$$\ddot{M} = \int_F \ddot{\sigma} z dF \text{ – вторая производная по времени от изгибающего момента.}$$

Учтем также величину изгибающего момента для центрально сжатой колонны через значение прогиба $y(t, x)$ колонны: $M = P \cdot y(t, x)$. (10)

Прогиб $y(t, x)$ колонны представим в виде произведения двух функций:

$$y(t, x) = f(t) \cdot Y(x), \quad (11)$$

где $f(t)$ – функция от времени t ; $Y(x)$ – функция от координаты x по длине колонны.

Сначала уравнение (9) перепишем в виде:

$$(aJ)\aleph + (a_1J)\dot{\aleph} + (a_2J)\ddot{\aleph} = bM + b_1\dot{M} + b_2\ddot{M}, \quad (12)$$

а затем учтем значение изгибающего момента (10) и прогиб в виде (11). При этом получим:

$$-(aJ)fY'' - (a_1J)\dot{f}Y'' - (a_2J)\ddot{f}Y'' = bPfY + b_1P\dot{f}Y + b_2P\ddot{f}Y, \quad (13)$$

где учтено значение кривизны колонны:

$$\aleph = -\frac{d^2 y(t, x)}{dx^2} = -fY''(x), \quad (14)$$

а также её первой и второй производной по времени:

$$\dot{\aleph} = -\dot{f}Y''(x); \quad \ddot{\aleph} = -\ddot{f}Y''(x). \quad (15)$$

В уравнении (13) выносим значения $Y(x)$ и $Y''(x)$ за скобки:

$$-Y''(x)[(aJ)f + (a_1J)\dot{f} + (a_2J)\ddot{f}] = Y(x)[(bP)f + (b_1P)\dot{f} + (b_2P)\ddot{f}]. \quad (16)$$

В этом уравнении переменные можно разделить:

$$-\frac{Y''(x)}{Y(x)} = \frac{(bP)f + (b_1P)\dot{f} + (b_2P)\ddot{f}}{(aJ)f + (a_1J)\dot{f} + (a_2J)\ddot{f}} = C, \quad (17)$$

где C – постоянная величина ввиду того, что слева стоит функция от переменной x , а справа – функция от переменной t .

Из (17) получаем два дифференциальных уравнения:

$$Y''(x) = cY(x) = 0; \quad (18)$$

$$(bP)f + (b_1P)\dot{f} + (b_2P)\ddot{f} = c[(aJ)f + (a_1J)\dot{f} + (a_2J)\ddot{f}]. \quad (19)$$

Линейное дифференциальное уравнение (18) второго порядка зависит от координаты

x . Решение его запишем в виде: $y = A \sin \frac{\pi x}{l}$, (20)

где l – длина колонны; A – константа.

$$\text{Подставляя (20) в (18), найдем } -A \frac{\pi^2}{l^2} \sin \frac{\pi x}{l} + cA \sin \frac{\pi x}{l} = 0, \quad (21)$$

$$\text{откуда получим значение постоянной } C: C = \frac{\pi^2}{l^2}. \quad (22)$$

Линейное дифференциальное уравнение (19) второго порядка зависит от переменной t .

$$(bP)f + (b_1P)\dot{f} + (b_2P)\ddot{f} = \left(\frac{\pi^2 aJ}{l^2}\right)f + \left(\frac{\pi^2 a_1J}{l^2}\right)\dot{f} + \left(\frac{\pi^2 a_2J}{l^2}\right)\ddot{f}, \quad (23)$$

$$\text{которое запишем в виде: } \ddot{f} + \dot{f} \frac{b_1P - \frac{\pi^2 a_1J}{l^2}}{b_2P - \frac{\pi^2 a_2J}{l^2}} + f \frac{bP - \frac{\pi^2 aJ}{l^2}}{b_2P - \frac{\pi^2 a_2J}{l^2}} = 0. \quad (24)$$

$$\text{Последнее уравнение } \ddot{f} + \dot{f}k_1 + fk_2 = 0 \quad (25)$$

позволяет анализировать поведение колонны в зависимости от значений коэффициентов k_1 и k_2 :

$$k_1 = \frac{[(\gamma_0 + \gamma_1) + E_0C_0\gamma_0 + E_0\gamma_1C_1]P - \frac{\pi^2 E_0J}{l^2}(\gamma_0 + \gamma_1)}{P - \frac{\pi^2 E_0J}{l^2}}; \quad (26)$$

$$k_2 = \frac{[1 + E_0C_0 + E_1C_1]\gamma_0\gamma_1P - \frac{\pi^2 E_0J}{l^2}\gamma_0\gamma_1}{P - \frac{\pi^2 E_0J}{l^2}}. \quad (27)$$

Находим три значения критической силы

$$P_1 \leq \frac{\pi^2 E_0J}{l^2}; \quad P_2 \leq \frac{\pi^2 E_0J}{l^2} \frac{1}{1 + E_0C_0 + E_0C_1}; \quad P_3 = \frac{\pi^2 E_0J}{l^2} \frac{1}{1 + E_0C_0 \frac{\gamma_0}{\gamma_0 + \gamma_1} + E_0C_1 \frac{\gamma_0}{\gamma_0 + \gamma_1}}. \quad (28-30)$$

Анализ показывает, что длительной критической силой является значение P_2 , из которого частным случаем следует критическая сила Ржаницына А.Р. [3].

Литература

1. Арутюнян, Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести [Текст] / Н.Х. Арутюнян // Гос. изд-во технико-технологической литературы. – М.: Ленинград, 1952 – 38 с.
2. Александровский, С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций по температурным и влажностным воздействиям с учетом ползучести [Текст] / С.В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1993.
3. Ржаницын, А.Р. Строительная механика [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Высшая школа, 1982.

Еремин А.А.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Санжаровский Р.С.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург
Доктор технических наук, профессор

Бондаренко В.М.

Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, г. Москва
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор

УДК 624.04

ЕРЫШЕВ В.А., БОНДАРЕНКО А.С., ЛАТЫШЕВ Д.И.

К МЕТОДИКЕ ОПИСАНИЯ ДИАГРАММЫ МАЛОЦИКЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

Статья посвящена совершенствованию методики описания диаграммы малоциклового нагружения для строительных конструкций.

Ключевые слова: кратковременный цикл, деформации бетона, начальный модуль упругости, диаграмма деформирования бетона.

The article is devoted to methods perfection for a low-cycle loading-chart description of building units.

Key words: a short-term cycle, deformations of concrete, the initial module of elasticity, the diagram of deformation of concrete.

Большинство строительных конструкций в процессе эксплуатации подвергаются повторным воздействиям, при которых временная нагрузка периодически снимается и прикладывается вновь через определенный промежуток времени. При многократно повторных нагружениях исследуется влияние различных факторов на выносливость бетона при базовом числе 2 млн. циклов, что примерно соответствует среднему количеству нагружений некоторых промышленных и транспортных железобетонных конструкций за время их эксплуатации. Периодичность многократно повторных (малоцикловых) нагружений гораздо меньше (до 100 циклов), однако, они оказывают существенное влияние на изменение деформативных и прочностных свойств бетона, а их повторяемость приводит к накоплению деформаций в циклах.

В настоящей работе предлагаются в рамках кратковременных моделей нагружения методики описания диаграмм при малоцикловых нагрузках с учетом накопления деформаций в зависимости от уровня напряжений и количества циклов.

Выделим на диаграмме " $\sigma_b - \varepsilon_b$ " (рисунок 1, а) кратковременный цикл одноосного сжатия, состоящий из ветви нагрузки (кривая 1) по исходной диаграмме, которая описывается известными аналитическими выражениями [1], ветви полной разгрузки (кривая 2) и ветви повторного нагружения (кривая 3). Для описания ветвей разгрузки и повторного нагружения учитываются следующие наблюдаемые в экспериментах закономерности: величина начального модуля упругости бетона при разгрузке, определенная как касательная к ветви разгрузки при $\sigma_b = \bar{\sigma}_b$, в новой системе координат $\bar{0}_\Delta \bar{\varepsilon}_{\Delta b} \bar{\sigma}_{\Delta b}$ превышает значение начального модуля упругости бетона при сжатии E_{e0} (по данным работы [2] в среднем в 1,7 раза); ветвь разгрузки имеет одностороннюю выпуклость к оси деформаций; при разгрузке часть накопленных деформаций в цикле не восстанавливается; ветвь повторного нагружения пересекает ветвь разгрузки в некоторой точке С (в зарубежной печати эта точка известна под названием «общая точка»); на диаграммах циклического нагружения на максимальных уровнях в цикле напряжений $\bar{\sigma}_b$ образуется точка перегиба – до этих уровней кривая трансформируется, изменяя выпуклость с ростом циклов нагружений от оси напряжений к оси деформаций, выше уровня $\bar{\sigma}_b$ – в сторону оси напряжений [2]; деформации бетона $\tilde{\varepsilon}_b$ на уровне напряжений $\bar{\sigma}_b$ увеличиваются на величину приращения $\Delta \tilde{\varepsilon}_b$.

На ветви разгрузки вводим новую систему координат. Начало координат закрепляем в точке с координатами $[\bar{\sigma}_b; \tilde{\varepsilon}_b]$, соответствующими началу разгрузки, а направление осей $\bar{\sigma}_{\Delta b}$ и $\bar{\varepsilon}_{\Delta b}$ заменяем на противоположные осям исходной диаграммы. Напряжениям $\Delta \bar{\sigma}_b$ на ветви

разгрузки в новой системе координат соответствуют деформации $\bar{\Delta}\varepsilon_b$. При заданном режиме разгрузки и известной величине $\Delta\bar{\sigma}_b$ полные деформации определяются по формуле:

$$\bar{\varepsilon}_b = \tilde{\varepsilon}_b - \Delta\bar{\varepsilon}_b = \tilde{\varepsilon}_b - \frac{\Delta\bar{\sigma}_b}{\bar{E}_{b0} \cdot \bar{\nu}_b}, \quad (1)$$

где начальный модуль упругости при разгрузке \bar{E}_{b0} определяется параметрами деформирования исходной диаграммы E_{b0} и коэффициентом изменения секущего модуля $\bar{\nu}_b$ на начало разгрузки (на основании экспериментальных данных принимаем $\bar{E}_{b0} = E_{b0} / \bar{\nu}_b^2$); $\bar{\nu}_b$ – текущее значение коэффициента секущего модуля при разгрузке в новой системе координат (рассчитывается по той же методике, как для исходной диаграммы, но с заменой E_{b0} на \bar{E}_{b0} , ε_b на $\bar{\Delta}\varepsilon_b$, σ_b на $\Delta\bar{\sigma}_b$).

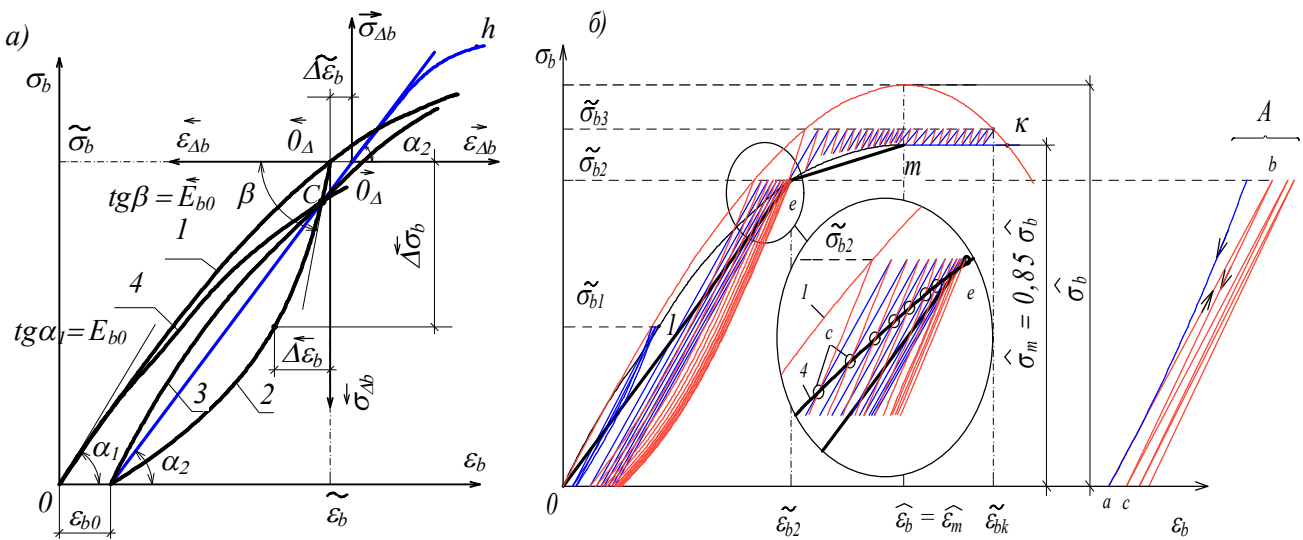


Рисунок 1 – Диаграммы деформирования бетона при малоциковом нагружении: а – циклы с возрастающими напряжениями, б – циклические нагружения при постоянных уровнях напряжений

Напряжения и деформации в вершине ветви разгрузки определяются по методике, представленной в работе [3]. При полном снятии напряжений сжатия на оси деформаций вычисляются остаточные деформации ε_{b0} . Ветвь повторного нагружения до напряжений $\bar{\sigma}_b$ представляем прямой линией (как среднее положение в трансформации кривой по вогнутости), которая проходит через две точки: одна точка соответствует остаточным деформациям бетона ε_{b0} при полной разгрузке, другая – общей точке С. Общая точка определяется пересечением двух линий: ветви разгрузки и некоторой огибающей кривой (кривая 4). Огибающая диаграмма строится по аналогии с исходной диаграммой с той лишь разницей, что напряжения и деформации в вершине принимают другие значения. Координаты общей точки находятся из совместного решения двух уравнений: уравнения ветви разгрузки и уравнения огибающей диаграммы.

Рассмотрим случай, когда режим нагружения изменяется, и уровень напряжений увеличивается: $\sigma_b > \bar{\sigma}_b$. Восходящий участок $\bar{O}_\Delta h$ диаграммы описывается в координатных осях $\bar{\sigma}_{\Delta b} \bar{O}_\Delta \bar{\varepsilon}_{\Delta b}$, координаты точки \bar{O}_Δ : $\bar{\sigma}_b$ и $(\tilde{\varepsilon}_b + \Delta\tilde{\varepsilon}_b)$. Режимная диаграмма описывается единообразно с исходной диаграммой, изменяются лишь отдельные параметры. Обозначим $\hat{\sigma}_{\Delta b}$, $\hat{\varepsilon}_{\Delta b}$ – приращения напряжений и деформаций для конца выделяемого участка $\bar{O}_\Delta h$. Ве-

личина этих приращений корректируется в зависимости от истории нагружения: уровня напряжения и количества циклов [1, 2, 3].

Модуль деформаций $\bar{E}_{\Delta b}$ бетона в начале участка диаграммы $\theta_{\Delta} h$ определяется через угол наклона α_2 как продолжение прямой линии повторной нагрузки в систему координат $\bar{\sigma}_{\Delta b} \bar{\theta}_{\Delta} \bar{\varepsilon}_{\Delta b}$. Полные деформации бетона при величине напряжений $(\bar{\sigma}_b + \bar{\sigma}_{\Delta b})$ определяются по формуле:

$$\bar{\varepsilon}_b = \tilde{\varepsilon}_b + \Delta \tilde{\varepsilon}_b + \frac{\bar{\sigma}_{\Delta b}}{\bar{E}_{\Delta b} \cdot \bar{\nu}_{\Delta b}}. \quad (2)$$

Следует отметить, что на средних уровнях напряжений $\alpha_2 > \alpha_1$ и $\bar{E}_{\Delta b} > E_{b0}$, на высоких уровнях – наоборот. Увеличение секущего модуля деформаций соответствует уплотнению структуры бетона сжатием, хотя за счет разрыхления структуры в начале новых диаграмм секущий модуль снижается. С некоторых уровней напряжений, особенно вблизи вершины диаграммы и на ее нисходящем участке увеличение модуля деформаций сменяется его снижением за счет развития псевдопластических деформаций, обусловленных устойчивым, а затем и неустойчивым развитием внутренних микро- и макротрещин. Разгрузка с уровня напряжений $(\bar{\sigma}_b + \Delta \bar{\sigma}_b)$ выполняется по аналогии с описанной методикой разгрузки. Отличие заключается в величинах параметров деформирования: уменьшается коэффициент упругости $\tilde{\nu}_{\Delta b}$ в вершине новой диаграммы, соответственно, увеличивается начальный модуль разгрузки $\bar{E}_{\Delta b}$ в обратной системе координат. Отмеченный фактор отображает влияние обратной ползучести – упругого последействия, в результате которого с ростом уровня напряжений в цикле деформации в начале кратковременной разгрузки снижаются медленнее. Наряду с диаграммами деформирования бетона при отдельных или чередующихся циклах нагружения разного уровня возможны циклические нагружения в пределах одного уровня напряжений. Однотипные (одного уровня) циклы образуют группу. Одна группа циклов может сменяться другой группой более высокого уровня.

Выделим несколько циклов на разных (трех) уровнях нагружения $\bar{\sigma}_{1b}$, $\bar{\sigma}_{2b}$ и $\bar{\sigma}_{3b}$ (см. рисунок 1, б). Для описания диаграмм малоциклового нагружения на постоянных уровнях максимальных напряжений учитываем следующие наблюдаемые в экспериментах закономерности (наряду с отмеченными выше): с ростом количества циклов деформации в вершине цикла $\tilde{\varepsilon}_b$ и остаточные ε_{b0} при полном снятии нагрузки накапливаются, величины этих деформаций получают соответствующие приращения $\Delta \tilde{\varepsilon}_b^{(i)}$ и $\Delta \varepsilon_{b0}^{(i)}$ ($i=1, 2, \dots$ – номер цикла), которые на уровнях напряжений, не превышающих значений, равных пределу длительной прочности $\bar{\sigma}_m$, с ростом количества циклов уменьшаются ($\Delta \tilde{\varepsilon}_b^{(i)} > \Delta \tilde{\varepsilon}_b^{(i+1)}$ и $\Delta \varepsilon_{b0}^{(i)} > \Delta \varepsilon_{b0}^{(i+1)}$); в пределах уровней напряжений $0 < \bar{\sigma}_b \leq \bar{\sigma}_m$ количество циклов до стабилизации накопления деформаций (в пределах точности измерений их величин) зависит от величины максимальных напряжений (чем выше уровень, тем больше потребуется количество циклов); точка пересечения кривых разгрузки и повторных нагружений (общая точка) с ростом циклов нагружений смещается, приближаясь к вершине цикла ($\sigma_{bc} \approx \bar{\sigma}_b$), что соответствует стабилизации роста деформаций.

Рассмотрим два метода описания циклических диаграмм в каждой группе: метод секущих модулей (условно-лучевой метод) и метод с огибающей диаграммой, проходящей через общие точки. Первый цикл «нагрузка-разгрузка» описывается уравнениями (1) и (2).

В лучевом методе при повторной нагрузке первого цикла и последующих циклах «разгрузка-нагрузка» связь между напряжениями и деформациями принимается линейной, а угол наклона прямых отрезков ab , bc и т.д. (см. рисунок 1, б, фрагмент А) задается секущими

модулями. Формула для определения секущего модуля при повторной нагрузке первого цикла $\Delta \vec{E}_{c1}$ включает параметры деформирования исходной диаграммы и ветви разгрузки:

$$\vec{E}_{c1} = \sqrt{\frac{\tilde{v}_{b1}}{\tilde{v}_{\Delta b}}} \cdot E_b^0 \cdot \tilde{v}_{b1}. \quad (3)$$

Секущие модули при последующих циклах учитывают не только историю загрузки, но являются функциями числа циклов и уровня загрузки:

$$\begin{aligned} \vec{E}_{ci} &= \vec{E}_{c1} \cdot (1 - k_1 \cdot \ln(N) \cdot (1 - \tilde{\eta})); \\ \vec{E}_{ci} &= \vec{E}_{c1} \cdot (1 - k_2 \cdot \ln(\sqrt{N}) \cdot (1 - \tilde{\eta})), \end{aligned} \quad (4)$$

где \vec{E}_{ci} и \vec{E}_{ci} – секущие модули деформации на ветвях разгрузки и нагрузки соответственно ($i=2 \dots n$); N – номер цикла, на котором определяется секущий модуль деформации; $\tilde{\eta}$ – уровень загрузки ($\tilde{\eta} = \sigma / \hat{\sigma}_i$); k_1, k_2 – коэффициенты, характеризующие скорость стабилизации деформаций в бетоне, принимается $k_1 = k_2 = 0,15$.

Диаграмма малоциклового нагружения в общем случае представляет собой семейство линий. Характерными точками каждой линии являются точки начала и окончания монотонного изменения напряжений (деформаций). Вычисляя последовательно в крайних точках линий семейства значения приращений $\Delta \vec{\varepsilon}_{bi}$ (на ветви разгрузки) и $\Delta \vec{\varepsilon}_{bi}$ (на ветви нагрузки), можно определить полные деформации в любой точке диаграммы k -ого цикла:

$$\begin{aligned} \vec{\varepsilon}_b^k &= \tilde{\varepsilon}_{b1} + \sum_{i=1}^k \Delta \vec{\varepsilon}_{bi} - \sum_{i=1}^k \Delta \vec{\varepsilon}_{bi}; \\ \vec{\varepsilon}_b^k &= \tilde{\varepsilon}_{b1} + \sum_{i=1}^k \Delta \vec{\varepsilon}_{bi} - \sum_{i=1}^{k-1} \Delta \vec{\varepsilon}_{bi}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\vec{\varepsilon}_b^k$ и $\vec{\varepsilon}_b^k$ – полные деформации на ветви разгрузки и повторной нагрузки k -ого цикла соответственно.

В соответствии со структурой формул (4) величина секущих модулей (наклон ветвей нагрузки и разгрузки) с ростом числа циклов нагружений уменьшается. Накопление деформаций с учетом формулы (5) возможно при выполнении условия:

$$\vec{E}_{ci} > \vec{E}_{ci}. \quad (6)$$

С ростом числа циклов нагружения наступает процесс стабилизации накопления деформаций, ветви разгрузки и нагрузки совмещаются. Можно условно считать, что бетон деформируется как абсолютно упругий материал по одному закону, и условие (6) перестает выполняться. Если в результате расчета по формулам (4) окажется $\vec{E}_{ci} < \vec{E}_{ci}$, то следует принимать $\vec{E}_{ci} = \vec{E}_{ci}$, и расчет заканчивается.

Основанием для второго метода является предположение, что для всех групп нагружения можно построить единую огибающую диаграмму. Для каждой группы нагружения огибающая диаграмма пересекает все возможные кривые разгрузки, тем самым определяют координаты массива общих точек, через которые проходят линии повторных нагружений. Кроме того, огибающая диаграмма для каждой группы нагружений ограничивает величину накопленных деформаций в вершинах циклов (на максимальном уровне напряжений σ_{b1} – т. d , на σ_{b2} – т. e) и, соответственно, количество циклов до стабилизации накопления деформаций ($\Delta \vec{\varepsilon}_b = 0$ и $\Delta \varepsilon_{b0} = 0$). Как уже отмечалось, стабилизация накопления деформаций возможна в группах, где уровень максимальных напряжений в циклах не превышает некото-

рого уровня напряжений σ_m , выше которого стабилизация не произойдет, деформации неограниченно возрастают и при достижении соответствующих деформаций на ниспадающей ветви исходной диаграммы бетон разрушается (на максимальном уровне напряжений σ_{b3} – т. *k*). За условную границу зон стабилизации накопления деформаций и разрушения бетона можно принять величину напряжений, равных длительной прочности бетона, или назначить из соотношения с максимальными напряжениями в вершине исходной диаграммы, например, $\sigma_m = 0,85\sigma_b$. Максимальная величина накопленных деформаций при уровне напряжений σ_m принимается равной предельным деформациям в вершине исходной диаграммы $\hat{\varepsilon}_m = \hat{\varepsilon}_b$, хотя с накоплением опытных данных эта величина деформаций может уточняться.

Для упрощения расчетов координаты общих точек можно определять из совместного решения уравнений прямых линий: касательной на начало разгрузки, соответствующей начальному модулю деформаций $\bar{E}_{b0}^{(i)}$, и секущей к вершине огибающей диаграммы. Упрощенной методикой следует пользоваться только в первом приближении, т.к. величины приращений деформаций в вершинах циклов $\Delta \tilde{\varepsilon}_b^{(i)}$ значительно превосходят опытные, соответственно, уменьшается количество циклов стабилизации. Однако представление огибающей диаграммы Прандтля имеет свои перспективы в практических расчетах накопления деформаций при малоцикловых нагружениях.

Результаты расчета, выполненные по трем рассмотренным методам, показывают удовлетворительное соответствие с опытными данными накопления деформаций на разных уровнях циклических напряжений.

Наибольшее соответствие опытным данным дает расчет по методу огибающей диаграммы. Так, для уровня циклических напряжений $\tilde{\eta} = 0,56$ ($\tilde{\eta} = \sigma_b / \sigma_b$) после статического нагружения по исходной диаграмме (рисунок 2, *a, б*) значения осевых деформаций составили $\varepsilon_b^{(1)} = 73 \times 10^{-5}$ ($\varepsilon_{b0}^{(1)} = 9 \times 10^{-5}$), после 10 циклов повторных нагружений полные опытные значения деформаций составили $\tilde{\varepsilon}_b^{(10)} = 84 \times 10^{-5}$ ($\varepsilon_{b0}^{(10)} = 19 \times 10^{-5}$). Следует отметить, что расчеты могут давать и дальнейшее накопление деформаций с ростом числа циклов, однако, величина их приращений становится соизмеримой с погрешностью приборов для измерения деформаций. По этой причине изменения показаний приборов можно ограничить, например, одним делением по шкале индикаторов часового типа или механических тензометров и т.д.

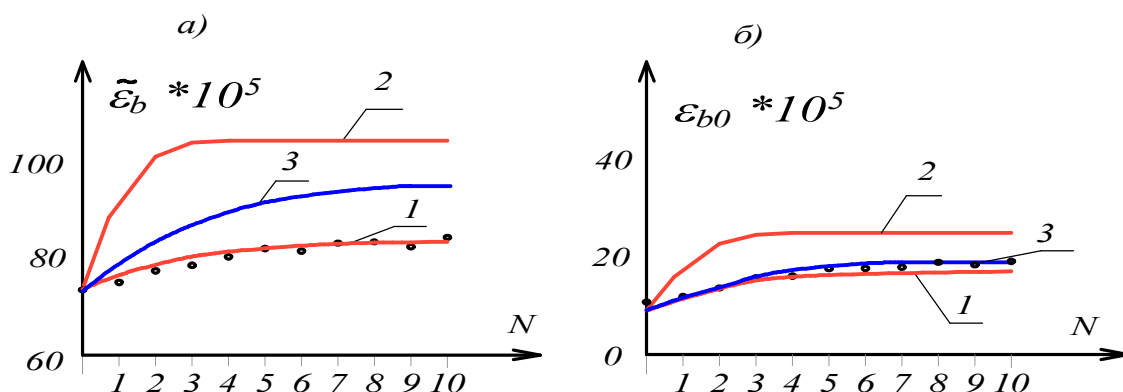


Рисунок 2 – Результаты расчета накопления полных (*a*) и остаточных (*б*) деформаций с ростом количества циклов: ● – опытные данные, 1 – метод огибающей диаграммы, 2 – метод секущей к огибающей диаграмме, 3 – лучевой метод

Таким образом, предложены методики описания диаграммы деформирования бетона при различных часто встречающихся в практике проектирования режимах нагружения. Предложенные методы позволят выполнять расчеты железобетонных конструкций с учетом накопления деформаций и изменения жесткостных параметров при малоцикловых нагружениях.

Литература

1. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона [Текст] / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996.
2. Маилян, Л.Р. Работа бетона и арматуры при многократно повторных нагружениях [Текст] / Л.Р. Маилян, М.Ю. Беккиев, Г.Р. Силь. – Нальчик: Кабардино-Балкарский агро-мелиоративный институт, 1984.
3. Ерышев, В.А. Диаграмма деформирования бетона при многократных повторных нагружениях [Текст] / В.А. Ерышев, Д.С. Тошин // Известия ВУЗов. Строительство, 2005. – №10. – С. 109-114.

Ерышев В.А.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти
Доктор технических наук, профессор

Бондаренко А.С.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Латышев Д.И.

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

УДК 624

КАРПЕНКО Н.И., КАПРИЕЛОВ С.С., РОМКИН Д.С.,
БЕЗГОДОВ И.М., АНДРИАНОВ А.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

В настоящее время в практике строительства (особенно высотного) начинают находить все более широкое применение высокопрочные бетоны. Однако физико-механические и реологические характеристики (усадка, ползучесть) таких бетонов остаются еще слабо исследованными. Работа направлена на ликвидацию этого пробела. В качестве высокопрочного бетона был выбран бетон, разработанный в лаборатории НИИЖБ «химических добавок и модифицированных бетонов». В отличие от бетонов, приготовленных по традиционной технологии, исследуемые бетоны при высоком классе по прочности (В80-100) обладают высокой подвижностью смесей (П4-П5) и высокой удобоукладываемостью. Благодаря этим свойствам бетон уже получил широкое распространение в высотном строительстве (ММДЦ «Москва-Сити»).

Ключевые слова: ползучесть, высокопрочный бетон, подвижность.

Now in practice of construction (especially high-altitude) more and more wide application high-strength concrete starts to find. However physicomachanical and another characteristics such concrete remain still poorly investigated. Work is directed on liquidation of this blank.

Key words: creep, high-strength concrete, mobility.

Исследованию физико-механических характеристик высокопрочного бетона в раннем возрасте при кратковременном и длительном нагружении посвящено довольно мало работ. Между тем, практика использования высокопрочных бетонов высокой подвижности П4-П5 требует определения целого ряда основных характеристик. К ним относятся:

- ✓ основные физико-механические характеристики высокопрочных бетонов (модуль упругости, кубиковая и призмная прочность на сжатие, прочность на растяжение);
- ✓ изменение физико-механических характеристик во времени в процессе старения бетона;
- ✓ изменение меры ползучести в зависимости от возраста бетона и уровня нагружения;
- ✓ обратимость деформаций ползучести бетона;
- ✓ справедливость принципа наложения воздействий при догрузках и разгрузках;
- ✓ влияние нагружения различной интенсивности на прочностные и деформативные характеристики бетона.

Цель данного исследования и заключается в определении указанных характеристик.

Программа испытаний

В соответствии с поставленной целью исследования была разработана программа испытаний (рисунки 1-6), которая включает в себя кратковременные и длительные испытания с догрузками и разгрузками бетона в различном возрасте, начиная с возраста $t_0=3$ сут.

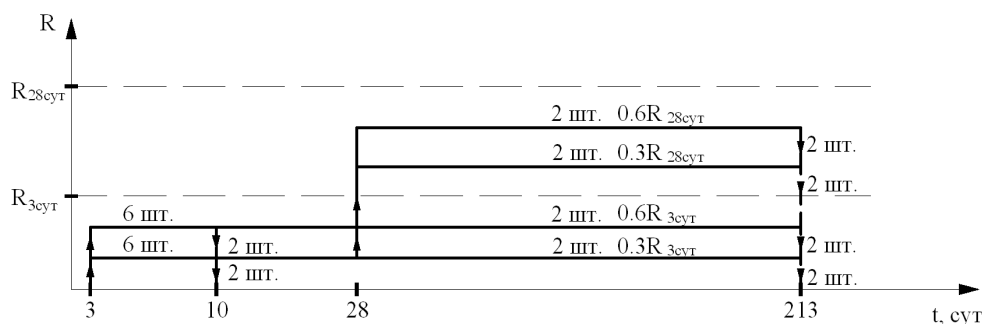


Рисунок 1 – Программа нагружения образцов в возрасте 3 суток

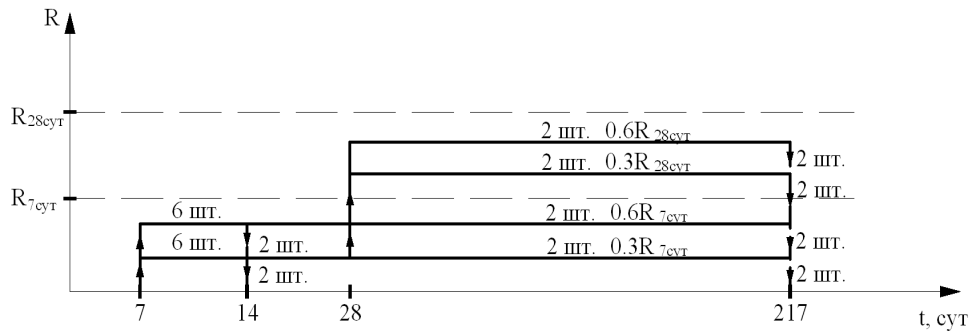


Рисунок 2 – Программа нагружения образцов в возрасте 7 суток

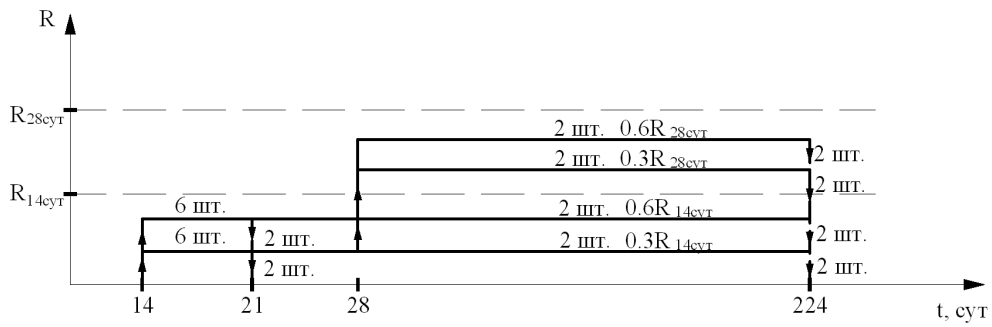


Рисунок 3 – Программа нагружения образцов в возрасте 14 суток

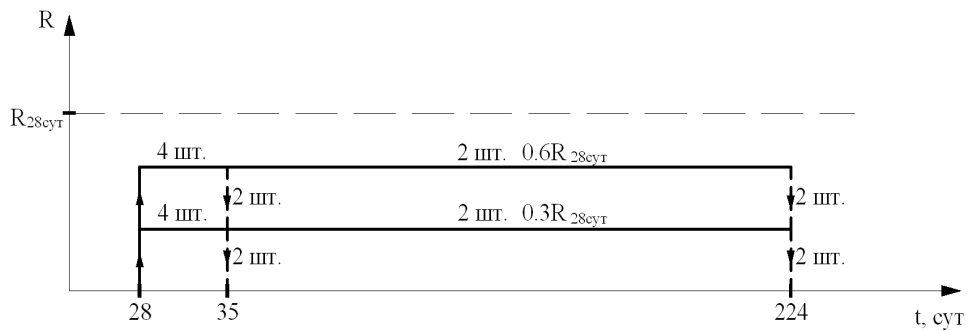


Рисунок 4 – Программа нагружения образцов в возрасте 28 суток

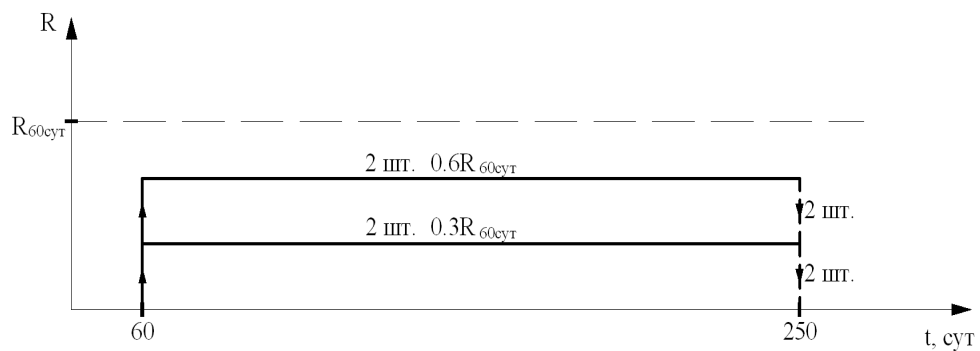


Рисунок 5 – Программа нагружения образцов в возрасте 60 суток

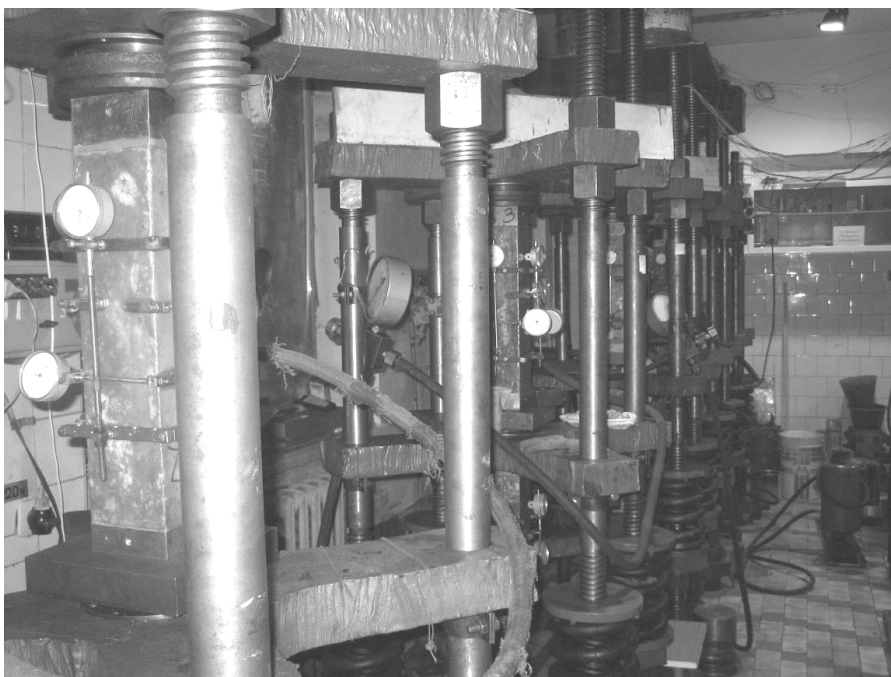


Рисунок 6 – Фотография образцов при длительном испытании

Бетонирование образцов проходило в строительной лаборатории, расположенной в строящемся высотном здании ММДЦ «Москва-Сити». Исходя из имеющихся установок основные исследования проводились на призмах размером 10х10х40 см, что допускается стандартом. Для сравнения полученных результатов были также изготовлены и испытаны образцы размером 15х15х60 см. Изготовление образцов было выполнено в соответствии с ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона». Все образцы были изготовлены из одного замеса (состав бетонной смеси указан в таблице 1). После бетонирования до распалубки (первые сутки) они находились в помещении с температурой окружающего воздуха $t=+(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ под слоем полиэтиленовой пленки. После распалубки образцы помещались в камеру с нормальными условиями твердения, где хранились в течении 28 суток или до момента их испытания. В образцах, которые предназначались для испытаний на растяжение, были предусмотрены анкера в виде шпилек $\varnothing 8$ мм и длиной 40 и 90 мм, которые устанавливались в торцах призмы.

Таблица 1 – Состав бетонной смеси

Цемент, кг/м ³	МБ10-30С, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Щебень фр.5-10, кг/м ³	Щебень фр. 5-20, кг/м ³	Вода, кг/м ³	КЭЗО, кг/м ³
497	109	707	358	641	128	0,4-0,3

Кратковременные испытания выполнялись на сжатие, изгиб и растяжение. Испытания на сжатие производились согласно ГОСТ 24452-80 в испытательной лаборатории НИИСФ РААСН. Испытания образцов на изгиб были проведены в соответствии с ГОСТ 24545-80. При испытаниях проводился замер деформаций растяжения нижней грани призмы в зоне чистого изгиба. Нагружение также было ступенчатым с 5-тиминутной выдержкой с замером деформаций в начале, в конце выдержки и фиксацией предельных деформаций растяжения.

Испытания образцов кратковременной растягивающей нагрузкой проводились в условиях испытательной базы МГСУ. Захват образца в испытательной установке выполнялся за анкера. Во время испытания замерялись продольные деформации образца. Нагружение об-

разцов выполнялось ступенями по 10% от предполагаемой разрушающей нагрузки с 5-тиминутной выдержкой и замером деформаций в начале и в конце выдержки.

При подготовке образцов к длительным испытаниям сжимающей нагрузкой на образцы были наклеены стальные пластины толщиной 3-5 см для более равномерной передачи усилия на образец. Образцы гидроизолировались парафином для снижения действия усадки. Во время испытания производилось измерение продольных и поперечных деформаций. Испытания длительной нагрузкой проводились в помещении со стабильными температурой и высокой относительной влажностью воздуха (около 80%). Для длительного нагружения образцов были применены пневмогидравлические установки, которые автоматически поддерживают заданное усилие в течение длительного времени. Перед нагружением было выполнено центрирование образцов приложением пробной нагрузки до $0,1R_b$ от предполагаемой разрушающей нагрузки и сравнением продольных деформаций по граням призмы в соответствии с ГОСТ 24544-81.

Приложение нагрузки также осуществлялось ступенями по 10% от предполагаемой разрушающей нагрузки с 5-тиминутной выдержкой и замером деформаций в начале и в конце выдержки. Замер деформаций после достижения уровня длительной нагрузки производился в течение первых суток нагружения 4-5 раз, далее в соответствии с ГОСТ 24452-80. После разгрузки в течение 45-60 суток производился замер деформаций последствия.

Для выделения температурно-усадочных деформаций из общих деформаций были предусмотрены специальные образцы, которые также были гидроизолированы парафином, оборудованы измерительными приборами и установлены в помещении, где проходили испытания длительной нагрузкой. Замер деформаций этих образцов производился одновременно с образцами под нагрузкой в течение всего срока наблюдения.

После окончания испытаний длительной нагрузкой и наблюдения деформаций последствия ранее загруженные образцы и образцы для замера температурно-усадочных деформаций были испытаны кратковременной сжимающей нагрузкой по описанной выше методике.

Также было проведено исследование усадки. Наблюдение деформаций усадки проводилось в помещении со стабильной температурой и высокой относительной влажностью воздуха. Измерение деформаций усадки было начато через сутки после бетонирования образцов. Образцы были оборудованы индикаторами часового типа для измерения продольных деформаций по четырем граням призмы сразу после распалубливания. База измерения деформаций усадки на образце 10x10x40 см была принята равной 30 см.

Результаты кратковременных испытаний высокопрочных бетонов в раннем возрасте

Исследования высокопрочного бетона, приготовленного из высокоподвижных смесей, показали, что прочность на сжатие в возрасте 3-7 суток может достигать 40-60 МПа и выше, что дает возможность осуществлять нагружение конструкций и сооружений в раннем возрасте. Однако поведение бетона под длительной нагрузкой и влияние раннего нагружения различной интенсивности на прочностные и деформативные характеристики высокопрочных бетонов изучено незначительно.

Кратковременные испытания в раннем возрасте выполнялись на сжатие, изгиб и растяжение. Для оценки динамики твердения бетона испытания проводились на 3, 7, 14, 28 и 60 суток. Средняя призмная прочность по истечению 28 суток составила 90 МПа (рисунок 7), однако, по мере старения бетона набор прочности продолжался, и к 66 суткам она составила 102 МПа (прирост прочности +13% по сравнению с 28 сутками). Следует отметить, что рост прочности на сжатие в зависимости от возраста бетона хорошо описывается модифицированной формулой Е.Н. Щербакова:

$$\text{для сжатия} \quad R_{bn}(t_0) = R_{bn}(28) \left[1 + \frac{23}{55 + B} \left(\frac{t_0 - 28}{t_0 + 5} \right) \right], \quad (1)$$

$$\text{для растяжения} \quad R_{bn}(t_0) = R_{bn}(28) \left[1 + \frac{23}{75 + B} \left(\frac{t_0 - 28}{t_0 + 1} \right) \right]^{0,6}, \quad (2)$$

где t_0 – возраст бетона в момент испытания ($t_0=3, 7, 14, 28, 60$ сут.); B – класс бетона в возрасте $t_0=28$ сут.; $R_{bn}(28)$ и $R_{bm}(28)$ – значение прочности на сжатие и растяжение в возрасте 28 сут.

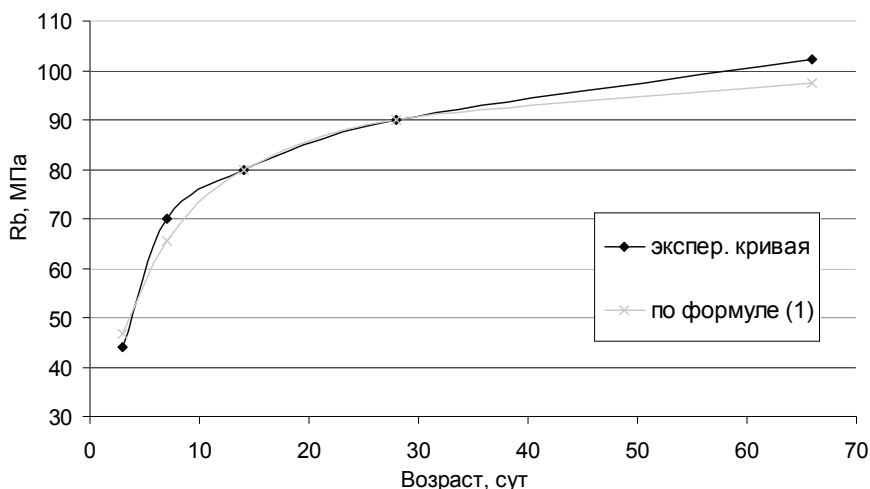


Рисунок 7 – Рост призмной прочности

Прочность на растяжение в возрасте 28 суток равна 6,4 МПа, что составляет 5,3% от прочности на сжатие. Коэффициент призмной прочности у данного бетона выше, чем в нормативных документах (СП 52-101-2003), и составил 0,75 против 0,72. Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) равен 0,24.

Рост модуля упругости практически остановился к возрасту 66 суток (рисунок 8) и составил $47,13 \times 10^3$ МПа, что незначительно ($\approx 1\%$) выше его значения на 28 сутки $46,67 \times 10^3$ МПа. Для определения значения модуля упругости в любом возрасте рекомендуется пользоваться следующей формулой, которая подобрана на основе эмпирических данных.

$$E_{bn}(t_0) = E_{bn}(28) \left[1 + \frac{23}{55 + B} \left(\frac{t_0 - 28}{t_0 + 5} \right) \right]^{0,3}, \quad (3)$$

где B – класс бетона для возраста $t_0=28$ сут.; $E_{bn}(28)$ – значение модуля упругости в возрасте 28 сут.

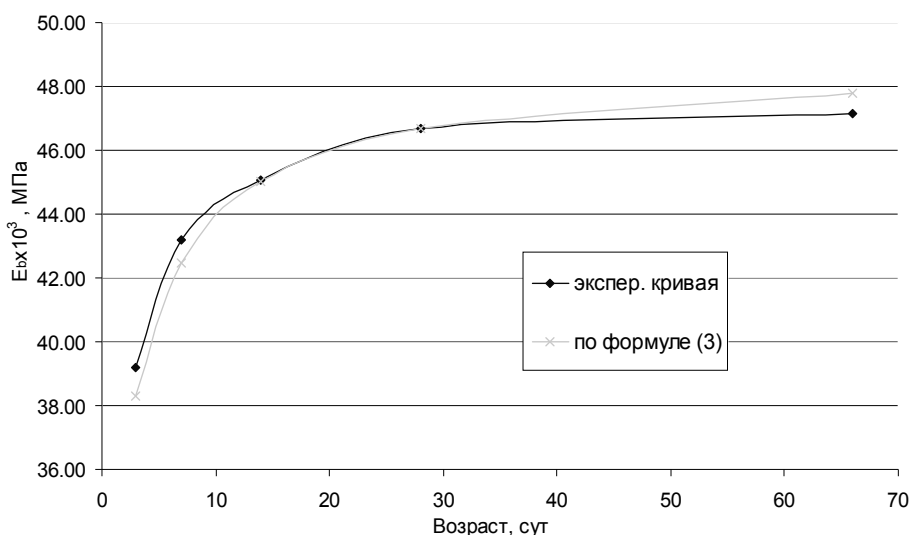


Рисунок 8 – Рост модуля упругости

Для проверки влияния предварительного длительного нагружения на основные физико-механические характеристики в раннем возрасте было проведено нагружение образцов

нагрузкой разной интенсивности $0,3R_b$ и $0,6R_b$ (R_b – призмная прочность на момент испытания) продолжительностью 7 суток. Затем образцы разгружались, и проводилось их испытание. Результаты представлены в таблице 2. Следует отметить различное влияние на физико-механические свойства бетона длительного загрузения (7 суток). Значительного влияния на модуль упругости выявлено не было, максимальное снижение, увеличение модуля упругости не превышает 6,5%. Максимальное снижение прочности составило $\approx 7\%$ (при уровне $0,6R_b$ и загрузке в 28 сут., таблица 3). Так же при более «позднем» (14 и 28 суток) загрузении и высоком уровне $0,6R_b$ у образцов значительно снижаются предельные деформации сжатия. Разница между значениями в 60 сут. составила 14,5% (таблица 3). Диаграммы деформирования бетона при кратковременном испытании (в возрасте 28 суток) на сжатие, растяжение и изгиб представлены на рисунках 9, 10.

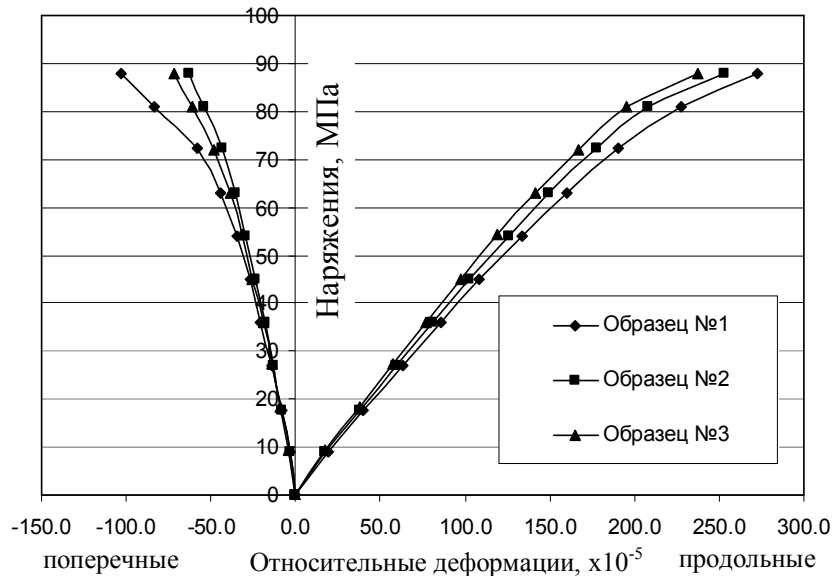


Рисунок 9 – Диаграмма деформирования при кратковременном испытании на осевое сжатие

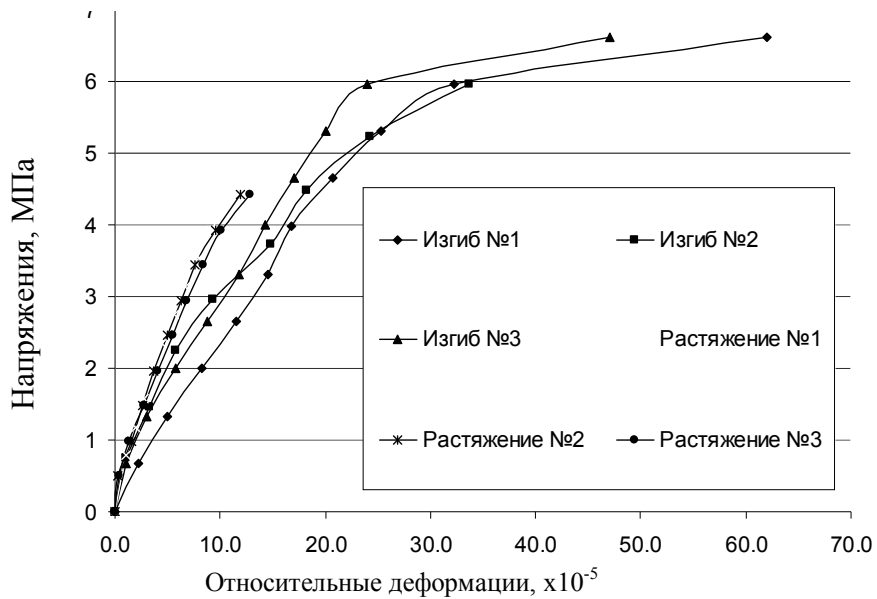


Рисунок 10 – Диаграмма деформирования при кратковременном испытании на растяжение и изгиб

Таблица 2 – Результаты кратковременных испытаний

Образцы	Сжатие								Изгиб и растяжение		
	Прочность, МПа				Модуль упругости, $\times 10^3$ МПа	Коэф. Пуассона	Пред. деф. сжатия, $\times 10^{-5}$	Условный класс бетона при коэф. вариаций 13,5%	Прочность, МПа		10/11
	Куб.	Призм.	Коэф. призм. прочности	Нормативная призм. прочность при коэф. вариаций 13,5%					При изгибе	При растяжении	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3 суток	56,9	44	0,775	34	39,19	0,214	210	44	-	-	
7 суток	95	70	0,738	55	43,21	0,226	288	74	5,1	3,86*	1,322
14 суток	102	80	0,784	62	45,05	0,249	330	79	6,6	4,99*	1,322
28 суток	120	90	0,750	70	46,67	0,240	254	94	6,4	4,8	1,322
60 суток	128	102	0,798	79	47,13	0,205	261	100	-	-	-

Таблица 3 – Результаты кратковременных испытаний призм находившихся под нагрузкой

Уровень нагружения, η	Возраст нагружения, τ	Призм. прочность, МПа	% от $R_{bn}^{60сут}$	Модуль упругости, $\times 10^3$, МПа	% от $E_b^{60сут}$	Коэф. Пуассона	Коэф. Пуассона 60 сут	Пред. деф. сжатия, $\times 10^{-5}$	Пред. деф. сжатия 60 сут, $\times 10^{-5}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,3R _b	3 сут	90,2	88	46,17	98	0,271	0,205	263	261
0,6R _b		98,0	96	48,32	103	0,256		261	
0,3R _b	7 сут	95,9	94	47,35	101	0,271		267	
0,6R _b		100,3	98	48,6	103	0,255		258	
0,25R _b	14 сут	100,2	98	47,91	102	0,273		277	
0,6R _b		98,6	97	49,05	104	0,272		228	
0,25R _b	28 сут	98,6	97	50,16	106	0,280		252	
0,6R _b		95,0	93	49,07	104	0,267		223	

*Примечание: все образцы после длительного нагружения испытывались в возрасте 66-70 суток.

Результаты длительных испытаний

Программа длительных испытаний предусматривала нагружение образцов в разном возрасте до уровней 0,3R_b и 0,6R_b, где R_b – прочность бетона в момент нагружения (см. рисунки 1-5).

По результатам эксперимента была проведена обработка результатов и получены меры ползучести, а также проведена их теоретическая обработка по формуле (4), предложенной в [1]:

$$C(\eta, t, \tau) = C(\eta, \infty, \tau) - \frac{C(\eta, \infty, \tau) - C(\eta, \tau, \tau)}{\left[1 + \alpha \frac{m-1}{s+1} (\bar{t}^{s+1} - 1)\right]^{\frac{1}{m-1}}}, \quad (4)$$

где C(η, ∞, τ) – предельная мера простой ползучести бетона в возрасте τ = t₀; C(η, t, τ) – текущая мера; C(η, τ, τ) – начальный вертикальный отрезок меры ползучести бетона (дефицит

меры ползучести); $\tilde{t} = \frac{t}{\tau}$ – относительное время нагружения; α, m – безразмерные эмпирические коэффициенты, которые зависят от τ, η и от вида бетона (эти параметры были подобраны на основании данных эксперимента).

Результаты теоретической обработки, представленные в виде графиков (рисунки 11-12), показали, что экспериментальные и теоретические кривые согласуются с высокой точностью, в том числе и на начальных участках (до 5 дней). Максимальное расхождение значений составило $\approx 10\%$. Установленные значения коэффициентов (на основании обработки экспериментов) для формулы (1) представлены в таблице 4.

Следует отметить, что влияние на кривую начального дефицита меры ползучести (начального вертикального участка кривой) незначительно даже при уровне $0,6R_b$ и составляет менее 5% от предельной ползучести. В связи с этим формула (4) может быть записана в виде:

$$C(\eta, t, \tau) = C(\eta, \infty, \tau) \left(1 - \frac{1}{\left[1 + \alpha \frac{m-1}{s+1} (\tilde{t}^{s+1} - 1) \right]^{\frac{1}{m-1}}} \right). \quad (5)$$

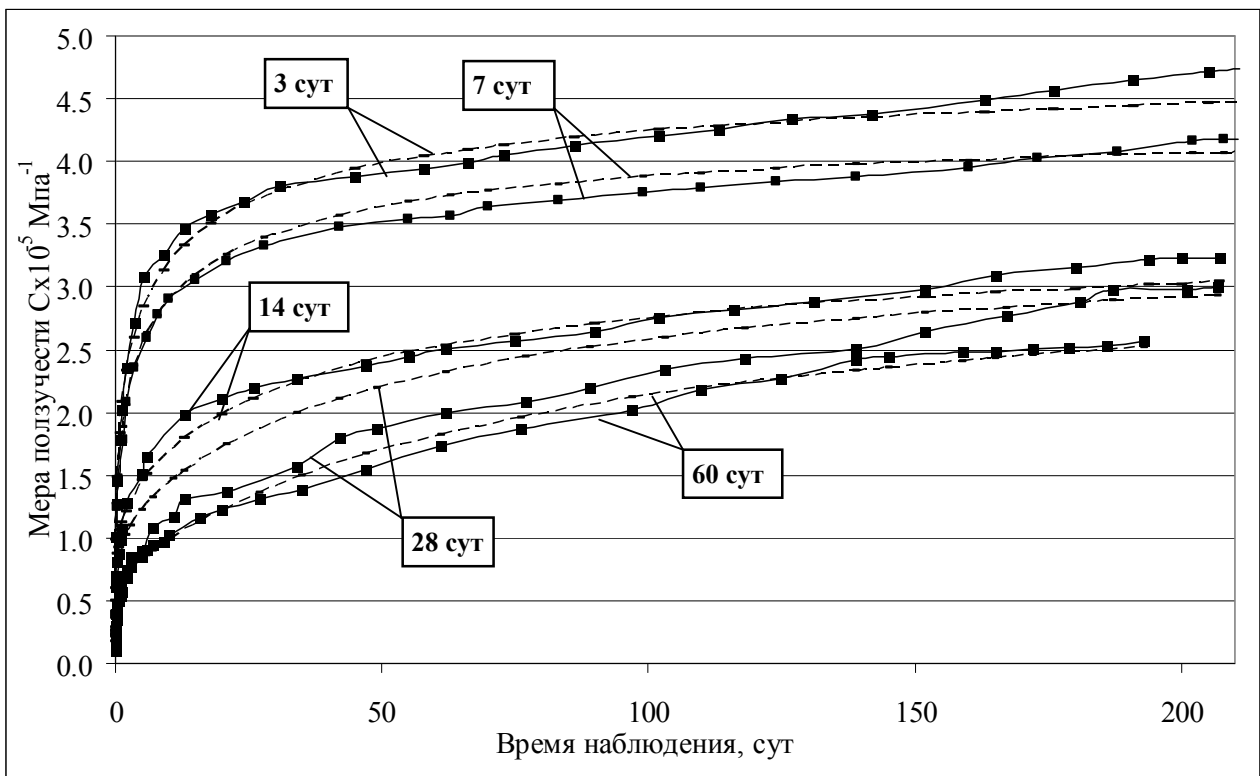


Рисунок 11 – Мера ползучести бетона в различном возрасте при уровне нагружения $0,6R_b$ (сплошная линия – экспериментальные данные; пунктирная – теоретические по формуле 4)

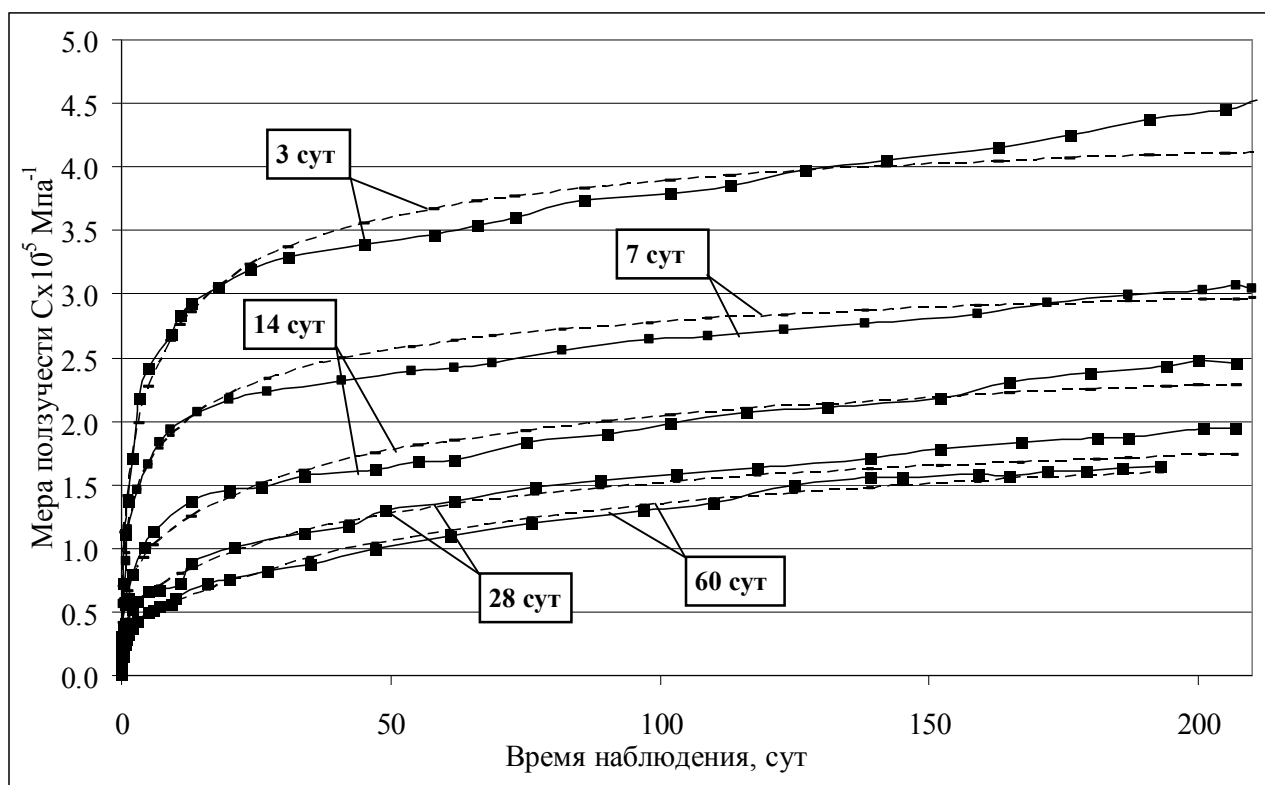


Рисунок 12 – Мера ползучести бетона в различном возрасте при уровне нагружения $0,3R_b$ (сплошная линия – экспериментальные данные; пунктирная – теоретические по формуле 4)

Таблица 4 – Сводная таблица коэффициентов для формулы 4

Возраст нагружения, сут	Значение коэф. в зависимости от ур. нагружения					
	$0,3R_b$			$0,6R_b$		
	s	α	m	s	α	m
3	3	6	10	1.5	8	8
7	2	9	8	2	13	7
14	5	30	18	6	71	18
28	9	46	20	9	96	20
66	21	90	25	21	125	25

Проанализировав изменение коэффициентов в зависимости от возраста и уровня нагружения, стоит отметить, что параметры s и m зависят только от времени начала нагружения образца и не зависят от уровня нагрузки. Параметр α зависит и от уровня нагружения и от времени начала нагружения. Это наглядно представлено на графиках (рисунки 13, 14).

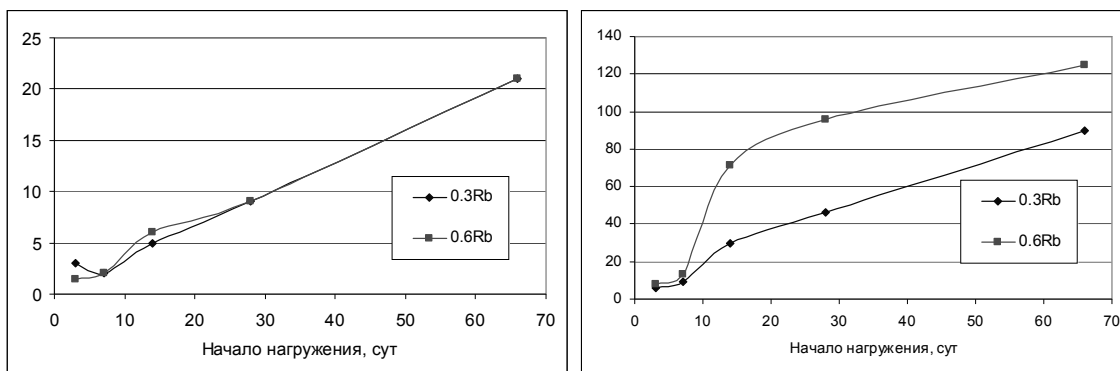


Рисунок 13 – Изменение параметра s (слева) и α (справа)

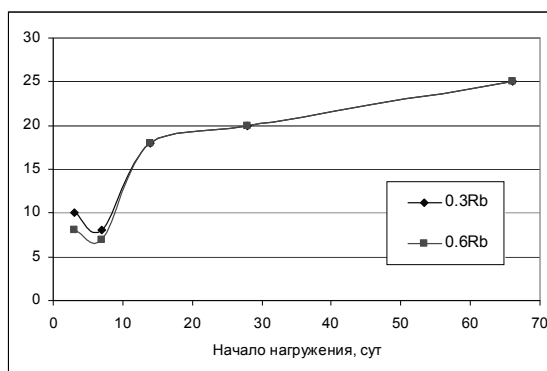


Рисунок 14 – Изменение параметра m

Выводы

В результате проведенной работы был получен весь спектр физико-механических свойств бетона, получены меры ползучести высокопрочного бетона.

Литература

1. Бондаренко, В.М. Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко. Журнал «Academia. Архитектура и строительство». – М.: РААСН, 2007. – № 4.

Карпенко Н.И.

НИИСФ РААСН, г. Москва
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор

Каприелов С.С.

НИИСФ РААСН, г. Москва
Доктор технических наук, профессор

Ромкин Д.С.

НИИСФ РААСН, г. Москва
аспирант

Безгодов И.М.

НИИСФ РААСН, г. Москва
Доцент

Андрианов А.А.

НИИСФ РААСН, г. Москва
Кандидат технических наук

СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЖАТОЙ ЗОНЫ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ

Предложены расчетные модели сопротивления железобетонных конструкций на кручение с изгибом, обладающие инженерной обозримостью и учитывающие сложное напряженно-деформированное состояние сжатой зоны бетона.

Ключевые слова: сжатая зона бетона, сопротивление железобетонных конструкций, кручение, изгиб.

Settlement models of resistance of reinforced concrete constructions on torsion with a bending down, possessing engineering accuracy and considering difficult is intense-deformed conditions of the compressed working area of concrete are offered.

Key words: the compressed zone of concrete, resistance of ferro-concrete designs, torsion, a bend.

Неудачно составленные уравнения равновесия моментов всех внутренних и внешних сил применительно к плоскости, параллельной к линии, ограничивающей сжатую зону пространственного сечения, относительно оси, перпендикулярной этой плоскости, привели к весьма громоздким формулам в действующих нормах [1]. Несмотря на это, нормы не учитывают влияние сложного напряжённого состояния на величину предельных напряжений в сжатом бетоне – R_b . В результате была утеряна не только инженерная обозримость решения, но и его необходимая точность.

Способ расчета, лишенный отмеченных недостатков, предложен в работе [2]. Тем не менее, расчётные предпосылки, принятые для определения напряженно-деформированного состояния сжатого бетона над опасной пространственной трещиной, требуют дальнейших разъяснений и уточнений, а именно:

– связь между интенсивностью деформаций ε_i и интенсивностью напряжений σ_i бетона принимается в виде диаграммы, приведенной на рисунке 1 (для практических расчетов криволинейная эпюра сжимающих напряжений заменяется на прямоугольную над пространственной трещиной в сечении k (рисунок 2), а в сечении $I-I$ на участке x_b – прямоугольной, на участке $x-x_b$ – треугольной);

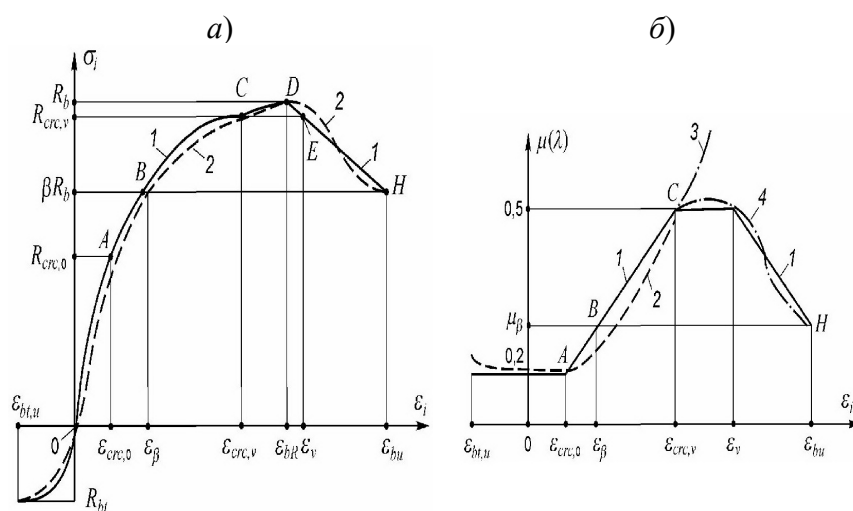


Рисунок 1 – Диаграммы связи «Напряжения-деформации» (а) и «Коэффициент поперечных деформаций» (б) для бетона: 1 – расчетные; 2 – построенные по опытным данным; 3 – то же, с учетом магистральных трещин между столбами; 4 – то же, с замером деформаций лишь в пределах столбов

– истощение несущей способности над опасной пространственной трещиной происходит из-за достижения интенсивности деформаций укорочения бетона в сечении k (см. рисунок 2) своих предельных значений $\varepsilon_{i,u}$.

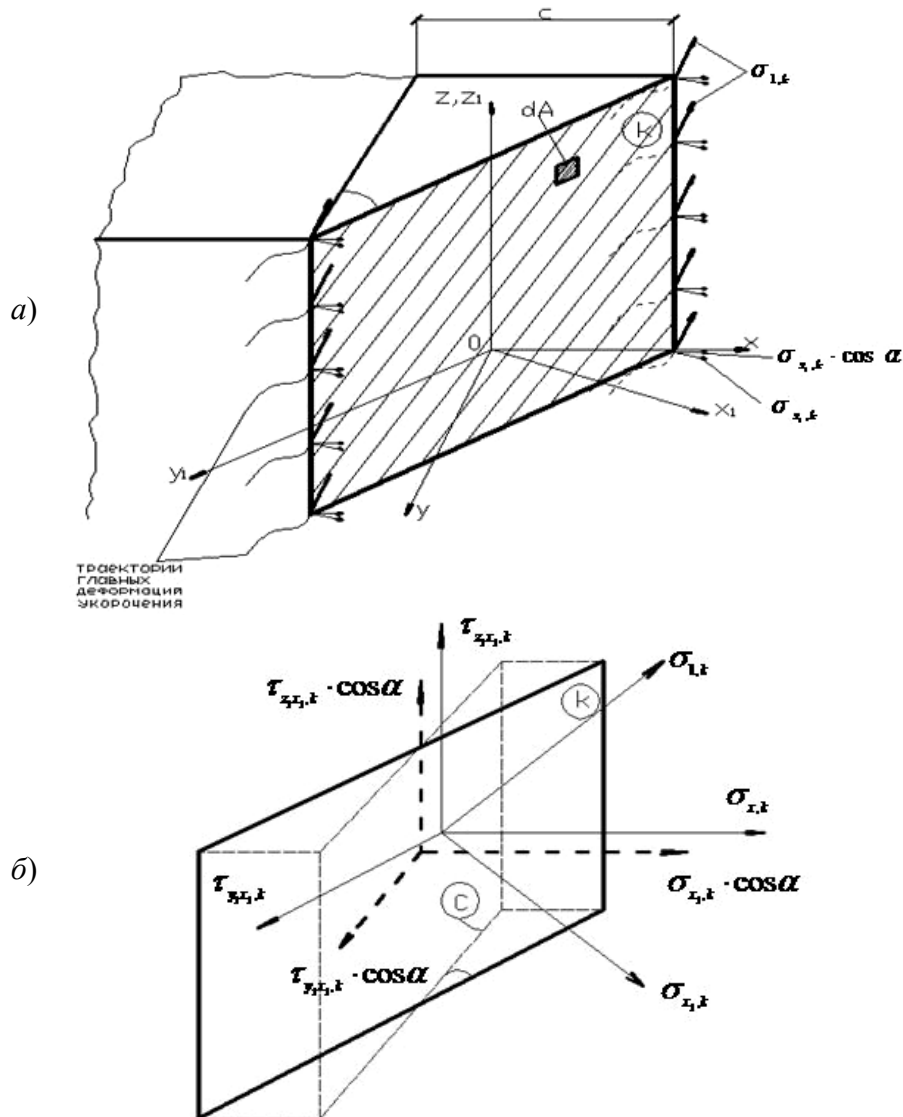


Рисунок 2 – Напряжения в вертикальном сечении k , проходящем через конец фронта пространственной трещины: a – схема сечения; b – составляющие напряжений на элементарной площадке сечения k

Тогда, например, в уравнении равновесия проекций всех сил, действующих в поперечном сечении на ось x [2]

$$\sigma_{b,u} \cdot \varphi_{np}(\sigma_i, \varepsilon_i) \cdot \varphi_\alpha(c) \cdot \varphi_{y,1}(x_b, x) \cdot b \cdot x - \sigma_{s,1} m A_{s,1} = 0, \quad (1)$$

имеют место параметры, связанные с необходимостью проецирования на соответствующие оси, связи между интенсивностью деформаций ε_i и интенсивностью напряжений σ_i бетона. Так, параметр $\varphi_{np}(\sigma_i, \varepsilon_i)$ учитывает проецирование диаграммы « $\sigma_i - \varepsilon_i$ » на направление, перпендикулярное плоскости k (см. рисунок 2); φ_α – параметр, который учитывает проецирование составляющих напряжений в плоскости k на плоскость $I-I$, перпендикулярную продольной оси железобетонного элемента; $\varphi_{y,1}(x_b, x)$ – статико-геометрический параметр, учитывающий расположение центра тяжести сжатой зоны бетона в сечении $I-I$ (на участке x_b эпюра

сжимающих напряжений прямоугольная, на участке $x-x_b$ – треугольная).

Таким образом, основные расчетные параметры (напряжение в сжатой зоне $\sigma_{b,l}$ в сечении $I-I$; касательные напряжения $\tau_{Q,T}$ в сечении $I-I$, вызванные поперечной силой; касательные напряжения $\tau_{T,l}$ в сечении $I-I$, вызванные крутящим моментом; напряжение в сжатой зоне бетона $\sigma_{b,u}$ в вертикальном сечении над концом фронта пространственной трещины; касательное напряжение в сжатой зоне бетона в вертикальном сечении, проходящем через конец фронта пространственной трещины τ_Q , вызванной действием поперечной силы; касательное напряжение в сжатой зоне бетона в вертикальном сечении, проходящем через конец фронта пространственной трещины τ_T , вызванной действием крутящего момента) определяются из диаграммы связи $\sigma_i - \varepsilon_i$ (см. рисунок 1) путем ее проецирования на соответствующие плоскости с учетом ориентации вертикального сечения, проходящего через конец фронта пространственной трещины.

При этом криволинейный участок диаграммы « $\sigma_i - \varepsilon_i$ » (см. рисунок 1, *a*) описывается квадратной параболой:

$$\sigma_i = \frac{R_b - E_b \cdot \varepsilon_{br}}{\varepsilon_{br}^2} \cdot \varepsilon_i^2 + E_b \varepsilon_i, \quad (2)$$

а прямолинейный в виде линейной функции:

$$\sigma_i = R_b - \frac{R_b(1 - \beta)}{\varepsilon_{bu} - \varepsilon_{br}} \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_{br}). \quad (3)$$

Параметры $R_{crc,0}$ и $R_{crc,v}$ могут быть вычислены по формулам, приведенным в справочнике [3].

Тогда из диаграмм (см. рисунок 1, *a*) могут быть определены $\varepsilon_{crc,0}$, $\varepsilon_{crc,v}$.

Например, $\varepsilon_{crc,v} = \frac{E_b \cdot \varepsilon_{br}^2}{E_b \cdot \varepsilon_{br} - R_b} + \sqrt{\frac{E_b^2 \cdot \varepsilon_{br}^4}{(E_b \cdot \varepsilon_{br} - R_b)^2} + R_{crc,v}}$ (4)

Значение $\mu(\lambda)$ в точке H соответствует его значению в точке B (в этих точках напряжения в бетоне одинаковы):

$$\mu(\lambda) = 0,2 + \frac{0,3 \cdot (\varepsilon_\beta - \varepsilon_{crc,0})}{\varepsilon_{crc,v} - \varepsilon_{crc,0}}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{E_b \cdot \varepsilon_{br}^2}{E_b \cdot \varepsilon_{br} - R_b} + \sqrt{\frac{E_b^2 \cdot \varepsilon_{br}^4}{(E_b \cdot \varepsilon_{br} - R_b)^2}}. \quad (6)$$

Таким образом, точки диаграмм (см. рисунок 1) определены. Тот факт, что появлению микротрещин соответствует точка C , а не D , говорит о том, что при сжатии призмы даже монотонно возрастающей нагрузкой отрыв не является причиной разрушения. Появлению микротрещин отрыва в точке C соответствуют напряжения $R_{crc,v}$, а разрушение происходит при несколько большем напряжении R_b от предельных сдвиговых деформаций по октаэдрическим площадкам.

При проецировании будем также принимать во внимание, что микротрещины в бетоне появляются из-за отрыва перпендикулярно главным деформациям удлинения бетона. Как следствие из этой предпосылки вытекает строгая ориентация макротрещин в бетоне и связь критерия трещинообразования с главными деформациями. Образование трещин в бетоне и его разрушение описывается различными теориями прочности, т.к. причиной образования трещин всегда являются главные деформации отрыва, а причиной разрушения могут быть также и сдвиговые деформации на октаэдрических площадках. Для принятого варианта деформационной теории пластичности бетона [4] предпочтение будем отдавать деформационным критериям прочности, т.к. для бетона, находящегося в элементах конструкций, возможна экспериментальная проверка только деформаций. Предъявляются также требования возможности непосредственного перехода зависимостей «напряжения – деформации» к условию прочности.

В приведенных выше уравнениях фигурируют параметры $R_q, \varepsilon_{q,R}, \varepsilon_{q,u}, R_{b,z}, \varepsilon_{b,z}$, значения которых определяются путем проецирования диаграммы $\sigma_i - \varepsilon_i$ на соответствующие плоскости, например, $\tau_q - \varepsilon_q$. Проецирование осуществляется с использованием полученных формул и формул механики твердого деформируемого тела для сплошных участков бетона [4].

Рассмотрим алгоритм такого проецирования:

1. В качестве основного принимаем вертикальное сечение k , проходящее через конец фронта пространственной трещины, в котором деформации на октаэдрических площадках максимальны, т.е. $\varepsilon_{i,u} = \varepsilon_{b,u}$. При этом влиянием главных растягивающих напряжений пренебрегаем.

2. В первом приближении полагаем $\mu(\lambda) = 0,2$ и вычисляем значения ε_2 и ε_3 :

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\mu(\lambda)\varepsilon_1 = -0,2\varepsilon_1. \quad (7)$$

3. В соответствии с принятым критерием разрушения полагаем $\varepsilon_{i,u} = \varepsilon_{b,u}$, $\sigma_{i,u} = \beta R_b$. Тогда из известной формулы:

$$\varepsilon_{b,u} = \frac{\sqrt{2}}{2[1+\mu(\lambda)]} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 - (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} \quad (8)$$

легко отыскивается размер величины $\varepsilon_{1,u}$.

4. Вычисляем размер величины $E(\lambda)$ по формуле: $E(\lambda) = \frac{\sigma_{i,u}}{\varepsilon_{i,u}} = \frac{\beta R_b}{\varepsilon_{b,u}}. \quad (9)$

5. Вычисляем значение $\varepsilon_{q,R}$: $\varepsilon_{q,u} = 2 \cos \beta \sin \beta (\varepsilon_{1,u} - \varepsilon_{3,u}). \quad (10)$

6. Вычисляем значение R_q : $R_q = \tau = \frac{\sigma_{i,u}}{\varepsilon_{i,u}} \frac{1}{2[1+\mu(\lambda)]} \varepsilon_{q,u}. \quad (11)$

7. Для точки H диаграмм:

$$\varepsilon_{x,1} = \varepsilon_{1,u} \cos^2 \beta + \varepsilon_{3,u} \sin^2 \beta; \quad (12)$$

$$\varepsilon_{y,1} = \varepsilon_{1,u} \sin^2 \beta + \varepsilon_{3,u} \cos^2 \beta; \quad (13)$$

$$\sigma_{x,1} = \frac{\sigma_{i,u}}{\varepsilon_{i,u}} \frac{1}{1-\mu^2(\lambda)} [\varepsilon_{x,1} + \mu(\lambda)\varepsilon_{y,1}]; \quad (14)$$

$$\sigma_{y,1} = \frac{\sigma_{i,u}}{\varepsilon_{i,u}} \frac{1}{1-\mu^2(\lambda)} [\varepsilon_{y,1} + \mu(\lambda)\varepsilon_{x,1}]. \quad (15)$$

Для перехода от напряжений на наклонной площадке к напряжениям на нормальной площадке используем формулы перехода механики твердого деформируемого тела:

$$\sigma_x = \sigma_{x,1} \cos^2 \alpha + \sigma_{y,1} \sin^2 \alpha + \tau_{x1y1} \sin 2\alpha; \quad (16)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_{x,1} - \sigma_{y,1}}{2} \sin 2\alpha - \sigma_{x,1} \cos 2\alpha. \quad (17)$$

Описанная процедура прекращается после достижения заданной погрешности для угла β .

При составлении уравнений равновесия необходимо также учитывать угол α , связанный с проекцией опасной пространственной трещины c , и угол β , определяющий направление главных деформаций укорочения бетона в вертикальном сечении k .

Статистическая обработка накопленного опытного материала позволила построить график зависимости « $a/h_0 - \beta$ » (рисунок 3) – параметра a/h_0 от угла наклона β , определяющего направление главных деформаций укорочения бетона в вертикальном сечении, проходящем через конец фронта пространственной трещины, и отмеченного параметра

a/h_0 . Определение угла β аналогично тому, как это сделано для зоны над опасной наклонной трещиной [3]. Это позволяет при выполнении расчета не решать каждый раз задачу теории пластичности для сжатой зоны, что весьма существенно упрощает расчет и одновременно сохраняет его инженерную обозримость.

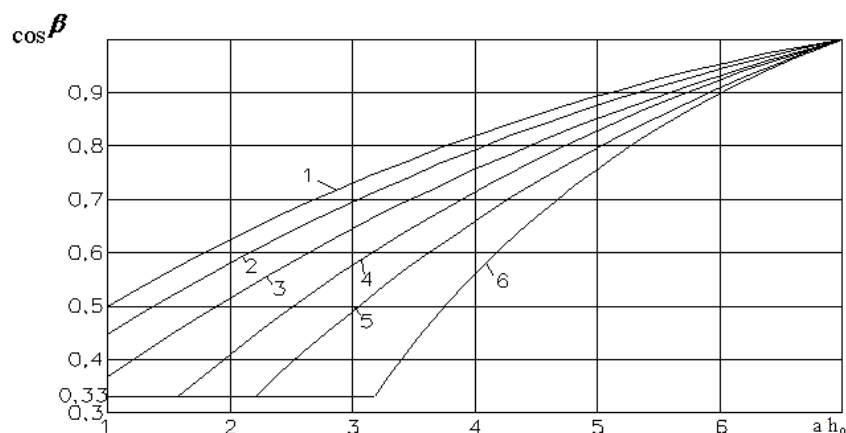


Рисунок 3 – График зависимости $a/h_0 - \beta$: 1 – при отношении $T/M = 0,1$; 2 – при отношении $T/M = 0,25$; 3 – при отношении $T/M = 0,5$; 4 – при отношении $T/M = 0,75$; 5 – при отношении $T/M = 1,0$; 6 – при отношении $T/M > 1,0$

Таким образом, разработан практический метод расчета конструкций L -образных железобетонных обвязочных ригелей на кручение с изгибом, обладающий инженерной обозримостью и, одновременно, позволяющий оценивать сложное сопротивление с учетом подавляющего большинства значимых факторов. Важной составляющей этого метода является предложенная методика практического расчета пространственных сечений железобетонных стержней на действие кручения с изгибом, позволяющая существенно упростить расчет за счет построения графиков зависимости характерного для такого сопротивления параметра a/h_0 и угла β , определяющего направление главных деформаций укорочения бетона в вертикальном сечении, проходящем через конец фронта пространственной трещины, полученных на основе численной обработки накопленного обширного банка экспериментальных исследований.

Литература

1. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. Нормы проектирования. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.
2. Колчунов, Вл.И. Построение расчета железобетонных конструкций на кручение с изгибом [Текст] / Вл.И. Колчунов, А.Г. Сафонов // Известия Орловского государственного технического университета, №4/(20). – Орел: Орел ГТУ, 2008. – С. 7-13.
3. Голышев, А.Б. Проектирование железобетонных конструкций [Текст]: Справочное пособие / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук, А.В. Харченко, И.В. Руденко; Под редакцией А.В. Голышева. 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будивельник, 1990. – 544 с.
4. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Вл.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.

Колчунов Вл.И.

Национальный авиационный университет, Украина
Доктор технических наук, профессор

Сафонов А.Г.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант

УДК 624.074.04

КОРОБКО А.В., СЕНИН М.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МИКФ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНОК СЛОЖНЫХ ФОРМ С КОМБИНИРОВАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

В статье предлагается способ применения метода интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ) для определения основной частоты колебаний пластинок сложных форм с комбинированными граничными условиями. При этом для отыскания опорных фигур используются простейшие аффинные преобразования, а соответствующие решения для опорных пластинок находятся с помощью МКЭ.

Ключевые слова: пластинки, основная частота колебаний, граничные условия.

In the article application of method of interpolation is examined on the coefficient of form for determination of fundamental frequency of vibrations of plates of difficult forms with the combined terms of scopes. The simplest affinnye transformations are thus used, and supporting decisions can be both homogeneous and with the combined terms of scopes.

Key words: a plate, the basic frequency of fluctuations, boundary conditions.

Методика реализации метода интерполяции по коэффициенту формы при определении основной частоты колебаний пластинок заключается в выборе непрерывного (или дискретного) геометрического преобразования формы и граничных условий заданной пластинки таким образом, чтобы в полученное подмножество форм пластинок входили две с известными (опорными) решениями ω_1 и ω_2 :

$$\omega_1 = K(K_{f1}/A_1)^n \sqrt{D/m}, \quad \omega_2 = K(K_{f2}/A_2)^n \sqrt{D/m}, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности (различный для каждого ограниченного подмножества фигур), зависящий от вида рассматриваемой задачи и граничных условий; K_{f1} и K_{f2} – значения коэффициента формы для опорных фигур; A_1 и A_2 – площади опорных фигур; n – показатель степени; D – цилиндрическая жесткость пластинки; m – масса единицы площади пластинки. Опорные решения могут быть подобраны из соответствующей справочной и научной литературы или получены путем расчета опорных пластинок каким-либо известным методом, например, с помощью МКЭ.

Решая совместно уравнения (1), находим:

$$n = \frac{\ln(\omega_2 / \omega_1)}{\ln(K_{f2}/K_{f1} \times A_1/A_2)}; \quad (2)$$

$$K = \frac{\omega_1}{(K_{f1}/A_1)\sqrt{D/m}} \quad \text{или} \quad K = \frac{\omega_2}{(K_{f2}/A_2)\sqrt{D/m}}. \quad (3)$$

Тогда для любой пластинки из выбранного подмножества форм

$$\omega = \omega_1 \left(\frac{K_f}{K_{f1}} \times \frac{A_1}{A} \right)^n \quad \text{или} \quad \omega = \omega_2 \left(\frac{K_f}{K_{f2}} \times \frac{A_2}{A} \right)^n. \quad (4)$$

Если рассматривать преобразования пластинок, при которых их площадь остается постоянной ($A_1 = A_2 = A$), или приводить полученные результаты к единичной площади, то выражение (4) существенно упрощается:

$$\omega = \omega_1 \left(\frac{K_f}{K_{f1}} \right)^n = \omega_2 \left(\frac{K_f}{K_{f2}} \right)^n. \quad (5)$$

Таким образом, по своей математической сути МИКФ является методом интерполяции решений, расположенных между опорными, по коэффициенту формы. Графически эта процедура представлена на рисунке 1, где кривая I соответствует действительным значениям ω , а кривая

II – приближённым решениям, полученным по формулам (4) или (5). Эти кривые пересекаются в точках, соответствующих значениям параметров ω (или $1/\omega$) и K_f для опорных пластинок.

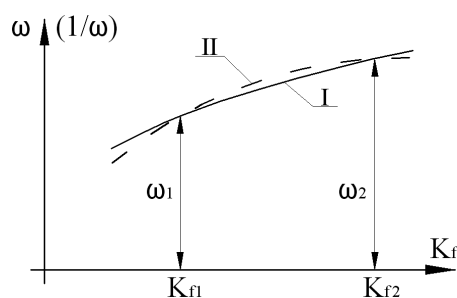


Рисунок 1

Применение МИКФ даёт возможность получать простые аналитические зависимости для определения основной частоты колебаний пластинок как с однородными, так и с комбинированными граничными условиями. Много задач, относящихся к пластинкам с однородными граничными условиями, было рассмотрено в работе [1]. В предлагаемой статье рассматривается один из возможных приёмов решения задач для пластинок с комбинированными граничными условиями, когда при выбранном геометрическом преобразовании меняется не только их форма, но и граничные условия.

Требуется найти основную частоту колебаний шестиугольной пластинки ω , изображенной на рисунке 2, площадью $A=1 \text{ м}^2$ с комбинированными граничными условиями (три верхние стороны пластинки шарнирно оперты, а три нижние – жестко защемлены). Для этой пластинки $K_f=7,795$.

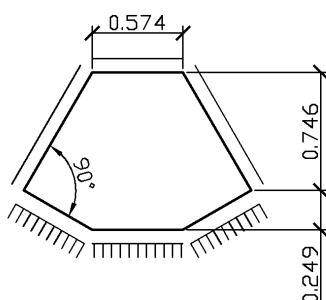


Рисунок 2

Заданную пластинку можно получить из пластинки в виде правильного шестиугольника путем его преобразования, при котором боковые вершины перемещаются вниз вдоль направления верхних боковых сторон (рисунок 3, б). В пределе при таком преобразовании получим трапецевидную пластинку с жестким защемлением нижнего основания (рисунок 3, в).

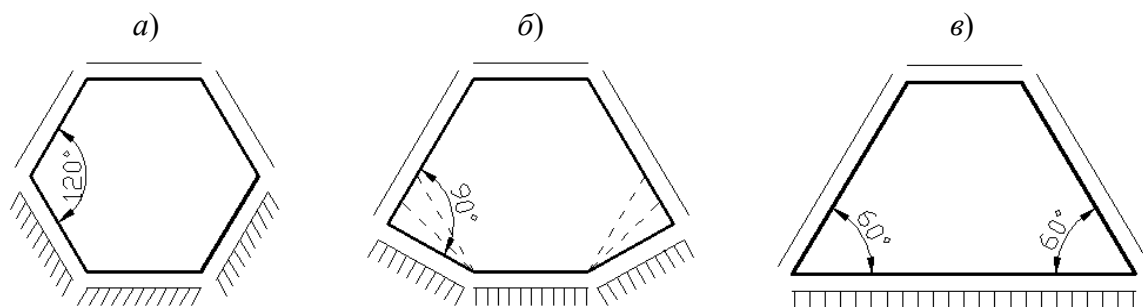


Рисунок 3

Для опорных пластинок необходимо найти значения коэффициентов формы K_{f1} , K_{f2} , используя известные формулы из монографии [1], и основные частоты колебаний ω_1 и ω_2 , используя программные комплексы на основе МКЭ:

$$K_{f1} = 6,928; \quad \omega_1 = 25,236 \sqrt{D/m/A};$$

$$K_{f2} = 9,238; \quad \omega_2 = 27,608 \sqrt{D/m/A}.$$

Используя эти исходные данные и методику МИКФ для подмножества пластинок, соответствующих выбранному геометрическому преобразованию, получим:

$$\omega = 25,236 (K_f / K_{f1})^{0,312} \sqrt{D/m/A} = 13,796 (K_f)^{0,312} \sqrt{D/m/A}.$$

Подставляя в это выражение значение K_f для заданной пластинки, найдём $\omega_2 = 26,182 \sqrt{D/m/A}$, что отличается от решения, полученного с помощью МКЭ, на 4,6%.

Таким образом, с помощью МИКФ можно находить основные частоты колебаний пластинок со сложными граничными условиями с удовлетворительной точностью.

Литература

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / Коробко А.В. – М.: АСВ, 1999. – 303 с.

Коробко А.В.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор

Сенин М.А.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант

КОРОБКО В.И., МОРОЗОВ С.А.

ПРЕДЕЛЬНОЕ РАВНОВЕСИЕ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ЖЁСТКОСТИ

В статье рассматриваются задачи предельного состояния неразрезных балок ступенчато-переменной жёсткости, рационально усиленных изменением жёсткости на отдельных участках.

Ключевые слова: предельное равновесие, неразрезная балка, схема разрушения.

In article considers the problem of the limiting balance of uncuttable beams of an in steps-variable rigidity, rationally intensive by changing the rigidity on separate sites.

Key words: limiting balance, not cutting beam, the circuit of destruction.

Известные конструкции металлических однопролётных (или многопролётных) неразрезных балок постоянного сечения (прямоугольного, коробчатого или двутаврового) включают собственно балку, изготовленную из прокатных или сварных профилей, опорные устройства, выполненные по схеме шарнирного опирания или жёсткого защемления её концов, и промежуточные шарнирно подвижные опорные устройства в случае многопролётной балки.

Недостатком такой балки является неэкономичность из-за перерасхода металла, поскольку большая её часть остаётся недонапряжённой из-за неравномерного распределения изгибающих моментов вдоль пролёта (пролётов) балки. Поэтому для снижения материалоемкости металлические неразрезные балки выполняют обычно ступенчато-переменной жёсткости. При этом участки с большей изгибной жёсткостью располагаются под эпюрой изгибающих моментов с экстремальными ординатами.

При расчёте по предельному состоянию учитываются пластические свойства материала, что приводит к более экономичным решениям проектируемых конструкций. Кроме того, сам расчёт по предельному состоянию во многих случаях осуществляется намного проще.

При расчёте статически неопределимых балок переменной жёсткости, находящихся в предельном состоянии, с использованием кинематического метода предельного равновесия для построения возможных схем разрушения системы необходимо представить, хотя бы приближённо, вид эпюры изгибающих моментов. По этой эпюре определяем сечения, где возможно появление пластических шарниров.

Для неразрезных балок ступенчато-переменной жёсткости предельное состояние возникает при образовании трёх шарниров (пластических или конструктивных), расположенных в одном пролёте. Поэтому при расчёте таких балок с использованием кинематического метода предельного равновесия необходимо рассматривать все возможные схемы разрушения.

Рассматривая каждую схему разрушения, составляем уравнения работ внешних сил и предельных моментов на возможных перемещениях балки в предельном состоянии, из которых и определяем разрушающие нагрузки, либо параметры, определяющие предельную работу балки под нагрузкой. Из полученных значений разрушающих нагрузок выбирают наименьшую, которой и будет соответствовать действительная схема разрушения [1].

1 НЕРАЗРЕЗНАЯ БАЛКА СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ЖЁСТКОСТИ С ДВУМЯ ЖЁСТКО ЗАЩЕMLЁННЫМИ КОНЦАМИ

Рассмотрим неразрезную балку ступенчато-переменной жёсткости с двумя жёстко защемлёнными концами, представленную на рисунке 1, а.

Проведя упругий расчёт этой балки [2] и построив эпюру изгибающих моментов (ри-

сунок 1, б), можно сделать вывод о том, что при постепенном возрастании внешней нагрузки возможно образование двух схем разрушения (рисунок 1, в, г):

- схема в), когда пластические шарниры образуются в заделках и в середине пролёта балки;
- схема г), когда пластические шарниры образуются в местах изменения жёсткости и в середине пролёта балки.

Внешняя равномерно распределённая нагрузка $(q_{пред})_1$ и $(q_{пред})_2$ будет совершать работу на перемещениях Δ_1 и Δ_2 . Для схемы разрушения в) предельные моменты будут совершать работу на углах поворота $\alpha_1 = 2\Delta_1/\ell$, а для схемы разрушения г) – на углах поворота $\alpha_2 = 2\Delta_2/((1-2k)\ell)$.

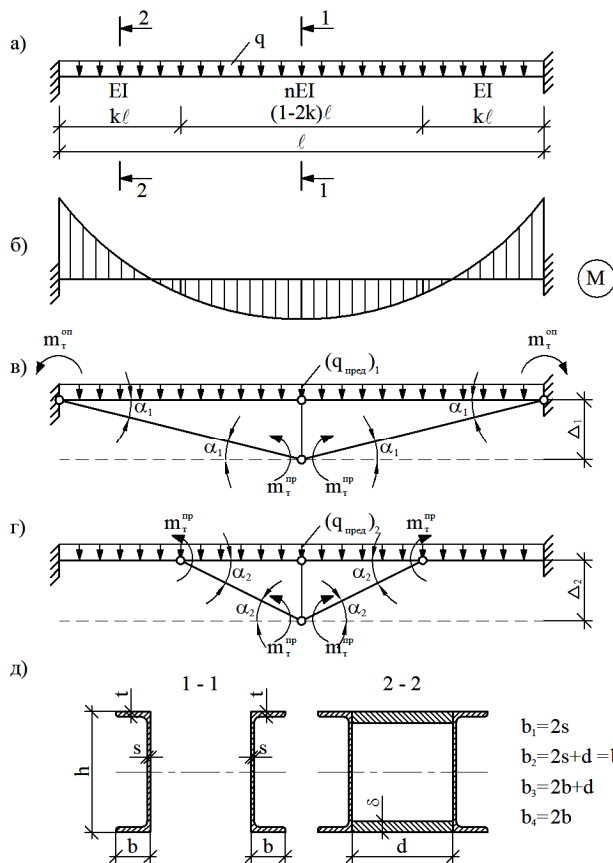


Рисунок 1

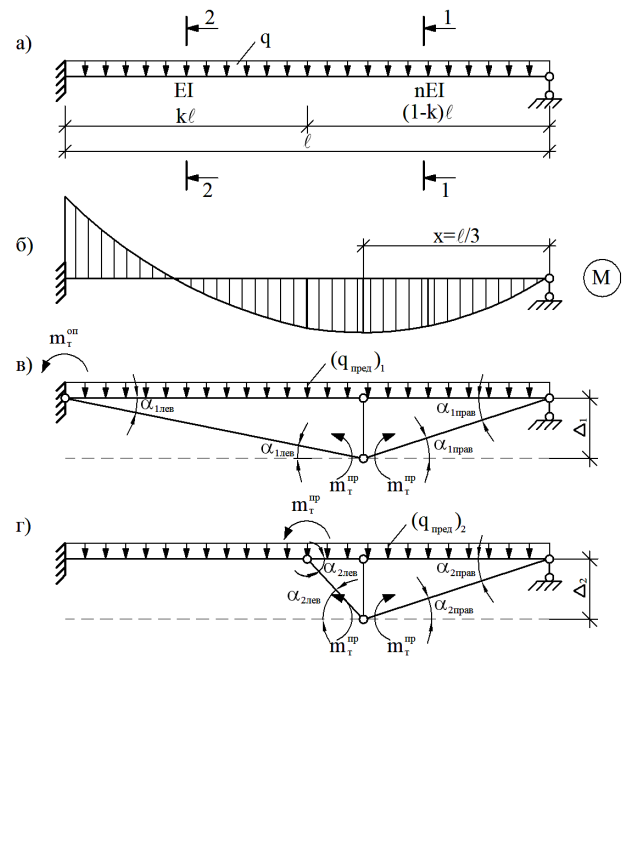


Рисунок 2

Составляем условия равенства работ внешних и внутренних сил для каждой схемы разрушения и определяем соответствующие им предельные нагрузки:

$$\frac{1}{2} \cdot (q_{пред})_1 \cdot \ell \cdot \Delta_1 = 2m_{т}^{оп} \cdot \alpha_1 + 2m_{т}^{пп} \cdot \alpha_1,$$

$$(q_{пред})_1 = \frac{8(m_{т}^{оп} + m_{т}^{пп})}{\ell^2}; \tag{1}$$

$$\frac{1}{2} \cdot (q_{пред})_2 \cdot (1-2k)\ell \cdot \Delta_2 = 4m_{т}^{пп} \cdot \frac{2\Delta_2}{(1-2k)\ell},$$

$$(q_{пред})_2 = \frac{16m_{т}^{пп}}{(1-2k)^2 \ell^2}. \tag{2}$$

Предельные изгибающие моменты $m_{т}^{оп}$ и $m_{т}^{пп}$ в выражениях (1) и (2) можно опреде-

лить, рассматривая состояние сечений, изображённых на рисунке 1, δ .

$$m_T^{оп} = 2\sigma_T \left(b_1 \int_0^{0,5h-\delta} ydy + b_2 \int_{0,5h-\delta}^{0,5h-t} ydy + b_3 \int_{0,5h-t}^{0,5h} ydy \right) = \sigma_T [0,5h^2s + d\delta(h-\delta) + 2t(h-t)(b-s)]; \quad (3)$$

$$m_T^{пп} = 2\sigma_T \left(b_1 \int_0^{0,5h-t} ydy + b_4 \int_{0,5h-t}^{0,5h} ydy \right) = \sigma_T [0,5h^2s + 2t(h-t)(b-s)], \quad (4)$$

где значения величин b_1 , b_2 , b_3 и b_4 приняты в соответствии с размерами, указанными на рисунке 1, δ .

При оптимальном проектировании балок, находящихся в предельном состоянии, рациональные параметры усиления k , d и δ следует находить, рассматривая случай, когда обе схемы разрушения могут наступить одновременно. Для этого необходимо приравнять значения предельных нагрузок друг к другу, а затем последовательно решать полученное уравнение относительно искомого параметра.

$$\frac{8(m_T^{оп} + m_T^{пп})}{\ell^2} = \frac{16m_T^{пп}}{(1-2k)^2 \ell^2}. \quad (5)$$

1. Определение параметра k , который характеризует длину участков со стороны жёсткой заделки (рисунок 1, a).

Проведя ряд несложных преобразований с уравнением (5), получим:

$$4k^2 - 4k + 1 - \frac{2m_T^{пп}}{m_T^{оп} + m_T^{пп}} = 0. \quad (6)$$

Решением этого квадратного уравнения будут корни:

$$k_{1,2} = 0,5 \pm \sqrt{\frac{m_T^{пп}}{2(m_T^{оп} + m_T^{пп})}}. \quad (7)$$

Значение параметра k не должно превышать величины 0,5 (иначе поставленная задача теряет физический смысл), поэтому корень со знаком плюс не будем рассматривать.

Таким образом, единственно возможным решением уравнения (6) будет являться корень

$$k = 0,5 - \sqrt{\frac{m_T^{пп}}{2(m_T^{оп} + m_T^{пп})}}. \quad (8)$$

2. Определение параметра δ , который характеризует толщину элементов усиления (рисунок 1, δ).

Для отыскания параметра δ равенство (5) можно записать в более удобной форме:

$$m_T^{оп} + m_T^{пп} = \frac{2m_T^{пп}}{(1-2k)^2}, \quad (9)$$

которое преобразуется к виду:

$$\sigma_T d\delta^2 - \sigma_T dh\delta + \frac{2m_T^{пп}}{(1-2k)^2} - 2m_T^{пп} = 0. \quad (10)$$

Решением этого уравнения являются корни:

$$\delta_{1,2} = \frac{h}{2} \pm \frac{\sqrt{\sigma_T dh^2 - 4K}}{2\sqrt{\sigma_T d}}, \quad (11)$$

$$\text{где } K = 2m_T^{пп} \left[\frac{1}{(1-2k)^2} - 1 \right]. \quad (12)$$

Значение параметра δ не может превышать величины $h/2$ (иначе поставленная задача не имеет смысла), поэтому корень со знаком плюс не удовлетворяет условию рассматриваемой задачи. Таким образом, решением уравнения (10) будет корень:

$$\delta = \frac{h}{2} - \frac{\sqrt{\sigma_T dh^2 - 4K}}{2\sqrt{\sigma_T d}}. \quad (13)$$

3. Определение параметра d , который характеризует ширину элементов усиления (рисунок 1, δ).

Для нахождения параметра d воспользуемся уравнением (10). Решая его относительно параметра d , характеризующего ширину элементов усиления, получим:

$$d = \frac{K}{\sigma_T \delta (h - \delta)}, \quad (14)$$

где величина K определяется по (12).

2 НЕРАЗРЕЗНАЯ БАЛКА СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ЖЁСТКОСТИ С ЖЁТКО ЗАЩЕMLЁННЫМ И ШАРНИРНО ОПЁРТЫМ КОНЦАМИ

Рассмотрим неразрезную балку ступенчато-переменной жёсткости с жёстко защемлённым и шарнирно опёртым концами, представленную на рисунке 2, a .

Проведя упругий расчёт этой балки [3] и построив эпюру изгибающих моментов (рисунок 2, b), можно сделать вывод о том, что при постепенном возрастании внешней нагрузки возможно образование двух схем разрушения (рисунок 2, $в, з$):

– схема $в$), когда пластические шарниры образуются в заделке и в сечении на расстоянии $\ell/3$ от шарнирной опоры;

– схема $з$), когда пластические шарниры образуются в месте изменения жёсткости балки и в сечении на расстоянии $\ell/3$ от шарнирной опоры.

Внешняя равномерно распределённая нагрузка $(q_{\text{пред}})_1$ и $(q_{\text{пред}})_2$ будет совершать работу на перемещениях Δ_1 и Δ_2 . Для схемы разрушения $в$) предельные моменты будут совершать работу на углах поворота $\alpha_{1\text{лев}} = 3\Delta_1/(2\ell)$, $\alpha_{1\text{прав}} = 3\Delta_1/\ell$; для схемы разрушения $з$) – на углах поворота $\alpha_{2\text{лев}} = 3\Delta_2/((2-3k)\ell)$, $\alpha_{2\text{прав}} = 3\Delta_2/\ell$.

Составляем условия равенства работ внешних и внутренних сил для каждой схемы разрушения и определяем соответствующие им предельные нагрузки:

$$\frac{1}{2} \cdot (q_{\text{пред}})_1 \cdot \ell \cdot \Delta_1 = m_T^{\text{оп}} \cdot \alpha_{1\text{лев}} + m_T^{\text{пп}} \cdot \alpha_{1\text{лев}} + m_T^{\text{пп}} \cdot \alpha_{1\text{прав}}; (q_{\text{пред}})_1 = \frac{3(m_T^{\text{оп}} + 3m_T^{\text{пп}})}{\ell^2}; \quad (15)$$

$$\frac{1}{2} \cdot (q_{\text{пред}})_2 \cdot (1-k)\ell \cdot \Delta_2 = 2m_T^{\text{пп}} \cdot \alpha_{2\text{лев}} + m_T^{\text{пп}} \cdot \alpha_{2\text{прав}}; (q_{\text{пред}})_2 = \frac{6m_T^{\text{пп}}(4-3k)}{(2-3k)(1-k)\ell^2}. \quad (16)$$

Предельные изгибающие моменты $m_T^{\text{оп}}$ и $m_T^{\text{пп}}$ в выражениях (15) и (16) определяются по (3) и (4).

Последовательность расчётов для определения рациональных параметров усиления k , d и δ аналогична рассмотренной в п. 1, поэтому приведём лишь окончательные значения этих параметров.

1. Значение параметра k , который характеризует длину участка со стороны жёсткой заделки:

$$k = \frac{5m_T^{\text{оп}} + 9m_T^{\text{пп}} - \sqrt{(m_T^{\text{оп}})^2 + 42m_T^{\text{оп}}m_T^{\text{пп}} + 153(m_T^{\text{пп}})^2}}{6(m_T^{\text{оп}} + 3m_T^{\text{пп}})}. \quad (17)$$

2. Значение параметра δ , который характеризует толщину элементов усиления, определяется по формуле (13), где

$$K = m_T^{\text{пп}} \left(\frac{8-6k}{3k^2-5k+2} - 4 \right). \quad (18)$$

3. Значение параметра d , который характеризует ширину элементов усиления, определяется из выражения (14), где величина K определяется по (18).

Таким образом, с помощью кинематического метода предельного равновесия можно легко находить предельные нагрузки для той или иной схемы разрушения неразрезной балки ступенчато-переменной жёсткости, а также получать оптимальные параметры усиления k , d и δ , которые будут в этом случае рациональными, т.к. определяются из условия, что обе схемы разрушения могут наступить одновременно.

Литература

1. Коробко, В.И., Коробко, А.В. Строительная механика стержневых систем: Учебник [Текст] / Под редакцией В.И. Коробко. – М.: АСВ, 2007. – 510 с.

2. Алдушкин, Р.В. Оптимальное подкрепление однопролётной металлической балки ступенчато-переменной жёсткости с жёстко защемлёнными опорами [Текст] / Р.В. Алдушкин, С.А. Морозов // Известия ОрёлГТУ. Серия «Строительство. Транспорт», 2006. – № 3-4 (11-12). – С. 3-6.

3. Коробко, В.И. Оптимальное подкрепление однопролётной металлической балки ступенчато-переменной жёсткости с жёстко защемлённой и шарнирной опорами [Текст] / В.И. Коробко, Р.В. Алдушкин, С.А. Морозов // Пятая Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие городов и новации жилищно-коммунального комплекса» (Москва, 4-7 апреля 2007 г.). – М.: Московский институт коммунального хозяйства и строительства, 2007. – Т. 2. – С. 73-77.

Коробко В.И.

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Доктор технических наук, профессор
Тел. 8 (4862) 73-43-95

Морозов С.А.

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Аспирант
Тел. 8 (4862) 73-43-95
E-mail: morozov_stas_57@mail.ru

УДК 624.012

ЛУЦЕНКО А.Н., КРЮЧКОВ А.А., СМОЛЯГО Е.Г.

ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье изложены основные положения методики расчета деформативности предварительно напряженных сборно-монолитных изгибаемых стержневых элементов и результаты экспериментальных исследований опытных образцов.

Ключевые слова: *изгибаемые элементы, расчетное сечение, относительная высота сечения.*

In article the basic assumptions of a design procedure deformability preliminary intense sborno-monoolithic bent rod elements and results of experimental researches of pre-production models are stated.

Key words: *bent elements, settlement section, relative height of section.*

В основу предлагаемой методики расчета деформативности сборно-монолитных предварительно напряженных конструкций положена деформационная модель с использованием уравнений равновесия внешних и внутренних усилий и полных диаграмм деформирования бетонов, позволяющая оценить напряженно-деформированное состояние конструкций не только от силовых, но и температурно-влажностных воздействий и возможных осадок опор. При этом в отличие от нормативной методики расчета [1, 2], учитывающей в основном только изгибающие моменты, предлагаемая методика в определенной степени устраняет этот пробел, учитывая влияние на деформативность поперечных сил.

Учитывая вышеизложенное, приняты следующие исходные положения и рабочие гипотезы, составляющие основу расчетного аппарата:

- в качестве расчетного принимается усредненное сечение между трещинами;
- для расчетного сечения считается справедливым линейный закон распределения относительных деформаций по высоте;
- связь между напряжениями и относительными деформациями бетона принимается на основе полной диаграммы деформирования бетона, для тяжелого бетона эта зависимость имеет вид (рисунок 1) [3]:

$$\sigma_b = R_b \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bR}} \right)^k, k = 5; \quad (1)$$

- в качестве расчетной диаграммы деформирования арматуры принята кусочно-линейная диаграмма, параметры которой определяются согласно существующим рекомендациям или по результатам экспериментальных исследований;
- эпюра напряжений в бетоне растянутой зоны после образования трещин принимается прямоугольной с ординатой $\psi_{bt} R_{bt}$;
- на всех стадиях работы конструкции обеспечивается совместная работа сборного и монолитного бетонов.

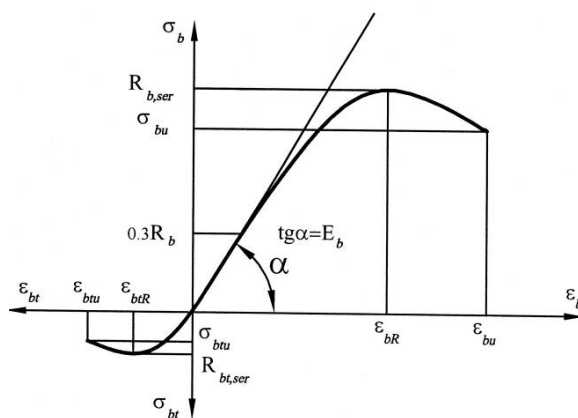


Рисунок 1 – Диаграмма деформирования бетона

Уравнения равновесия усилий в нормальном сечении имеют вид (рисунок 2):

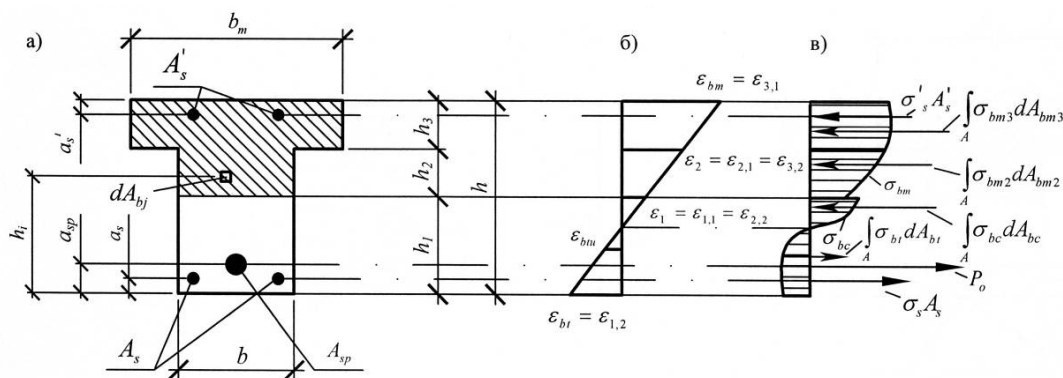


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние сечения: поперечное сечение (а); эпюра деформаций (б); эпюра напряжений (в)

$$\int_A \sigma_b dA_b + \sum_{i=1}^n \sigma'_{si} A'_{si} - \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - P_0 = 0, \quad (2)$$

$$\int_A \sigma_b y dA_b + \sum_{i=1}^n \sigma'_{si} A'_{si} y'_{si} - \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} y_{si} - P_0 a_{sp} - M = 0, \quad (3)$$

где σ_b – соответственно, напряжения в элементарной площадке в монолитном или сборном бетонах площадью dA_b , расположенной на расстоянии y от нижней грани сечения; $\sigma'_{si}, \sigma_{si}$ – напряжения в продольной сжатой, растянутой арматуре; A'_{si}, A_{si} – площади поперечного сечения продольной сжатой и растянутой арматуры; y'_{si}, y_{si} – расстояния от нижней грани сечения до центра тяжести площади арматуры; P_0 – усилие предварительного обжатия; M – внешний изгибающий момент.

Обозначая относительную высоту сечения до элементарной площадки через $\xi_i = \frac{h_i}{h}$ и учитывая, что в пределах каждого рассматриваемого l -го слоя величины b и h постоянны и, следовательно, $dA_{bl} = b_l h d\xi$, система уравнений (2) и (3), характеризующая работу сборно-монолитного железобетонного элемента, представленного на рисунке 1, а после опускаемых преобразований, имеет вид:

$$bh \int_{\xi=0}^{\xi_1} \sigma_{bc} d\xi + bh \int_{\xi_1}^{\xi_2} \sigma_{bm2} d\xi + b_m h \int_{\xi_2}^{\xi=1} \sigma_{bm3} d\xi + \sum_{i=1}^n \sigma'_{si} A'_{si} - \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - P_o = 0, \quad (4)$$

$$bh^2 \int_{\xi=0}^{\xi_1} \sigma_{bc} \xi d\xi + bh^2 \int_{\xi_1}^{\xi_2} \sigma_{bm2} \xi d\xi + b_m h^2 \int_{\xi_2}^{\xi=1} \sigma_{bm3} \xi d\xi + h \sum_{i=1}^n \sigma'_{si} \xi'_{si} - h \sum_{i=1}^n \sigma_{si} \xi_{si} - P_o a_{sp} - M = 0. \quad (5)$$

Разделив все члены выражения (4) на bh , а (5) на bh^2 и обозначив $Q = \frac{P_o}{bh}$, $\mu'_{si} = \frac{A'_{si}}{bh}$,

$$\mu_{si} = \frac{A_{si}}{bh}, \quad P = \frac{P_o a_{sp}}{bh^2}, \quad m = \frac{M}{bh^2}, \quad \beta_m = \frac{b_m}{b}, \quad \varkappa = \frac{\varepsilon_{bm} - \varepsilon_{bt}}{\xi},$$

подставляя замены и выполнив интегрирование, учитывая (1) и $\xi = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{bt}}{\varkappa}$ (рисунок 2, б), система уравнений, описывающих напряженно деформированное состояние сборно-монолитного сечения, работающего без трещин, будет иметь вид:

$$\frac{1}{\varepsilon_{bm} - \varepsilon_{bt}} \left[R_{bc} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{k+1} (\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_{bt}^{k+1}) + R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_2^{k+1} - \varepsilon_1^{k+1}) + \beta_m R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_{bm}^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}) \right] + \sigma'_s \mu'_s - \sigma_s \mu_s - Q = 0; \quad (6)$$

$$\frac{1}{(\varepsilon_{bm} - \varepsilon_{bt})^2} \left[R_{bc} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{k+2} (\varepsilon_1^{k+2} - \varepsilon_{bt}^{k+2}) - \varepsilon_{bt} R_{bc} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{k+1} (\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_{bt}^{k+1}) + R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+2} (\varepsilon_2^{k+2} - \varepsilon_1^{k+2}) - \varepsilon_{bt} R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_2^{k+1} - \varepsilon_1^{k+1}) + \beta_m R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+2} (\varepsilon_{bm}^{k+2} - \varepsilon_2^{k+2}) - \varepsilon_{bt} \beta_m R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_{bm}^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}) \right] + \sigma'_s \mu'_s \xi'_s - \sigma_s \mu_s \xi_s - P - m = 0. \quad (7)$$

При наличии трещин в бетоне сборного элемента уравнения (6) и (7) будут иметь вид:

$$\frac{1}{\varepsilon_{bm} - \varepsilon_{bt}} \left[R_{bc} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{k+1} (\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_{btu}^{k+1}) + R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_2^{k+1} - \varepsilon_1^{k+1}) + \beta_m R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_{bm}^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}) + R_{bt} \psi_{bt} (\varepsilon_{btu} - \varepsilon_{bt}) \right] + \sigma'_s \mu'_s - \sigma_s \mu_s - Q = 0; \quad (8)$$

$$\frac{1}{(\varepsilon_{bm} - \varepsilon_{bt})^2} \left[R_{bc} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{k+2} (\varepsilon_1^{k+2} - \varepsilon_{btu}^{k+2}) - \varepsilon_{bt} R_{bc} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{k+1} (\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_{btu}^{k+1}) + R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+2} (\varepsilon_2^{k+2} - \varepsilon_1^{k+2}) - \varepsilon_{bt} R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_2^{k+1} - \varepsilon_1^{k+1}) + \beta_m R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+2} (\varepsilon_{bm}^{k+2} - \varepsilon_2^{k+2}) - \varepsilon_{bt} \beta_m R_{bm} \sum_{k=1}^n \frac{b_k}{k+1} (\varepsilon_{bm}^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}) + \frac{R_{bt} \psi_{bt}}{2} (\varepsilon_{btu}^2 - \varepsilon_{bt}^2) - \varepsilon_{bt} R_{bt} \psi_{bt} (\varepsilon_{btu} - \varepsilon_{bt}) \right] + \sigma'_s \mu'_s \xi'_s - \sigma_s \mu_s \xi_s - P - m = 0, \quad (9)$$

где ψ_{bt} – коэффициент, учитывающий постепенное снижение усилия, воспринимаемого бетоном растянутой зоны и равный $\psi_{bt} = \frac{2\varepsilon_{btR}}{\varepsilon_{st}} \kappa$, $\kappa = \frac{1 - b\zeta h_o / A_b}{1 - b\zeta h_o / A_b + 2.2\alpha_s \mu_s}$, ε_{btR} – относительные деформации предельной растяжимости бетона на восходящем участке; ε_{st} – относительные деформации арматуры в сечении с трещиной.

По аналогии с выражениями (8) и (9), допуская, что предельная растяжимость бетона сборного элемента и бетона омоноличивания известна, можно вывести систему уравнений, описывающих напряженно деформированное состояние сборно-монолитных сечений с трещинами в l -ом слое.

При определении напряженно-деформированного состояния сечений традиционными методами, а именно, определение кривизны и жесткости по известному значению момента, приходится сталкиваться с рядом несоответствий, такими как, одному значению момента могут соответствовать два значения кривизны. Кроме того, если на начальном уровне нагружения незначительное увеличение момента вызывает незначительное увеличение кривизны, то при высоких уровнях нагружения, наблюдается существенное изменение кривизны и жесткости. Вызывает сомнение достоверность полученных результатов при работе сечений на ниспадающей ветви диаграммы "момент – кривизна". Поэтому представляется целесообразным при определении жесткости сечения использовать обратный подход, т.е. по заданной кривизне определять величину момента и жесткость сечения. Таким образом, напряженно-деформированное состояние сечения определяется из систем уравнений (6), (7) или (8), (9), заменив $\varepsilon_{bm} = \aleph h + \varepsilon_{bt}$ и учитывая $\varepsilon_i = \varepsilon_{bt} + (\varepsilon_{bm} - \varepsilon_{bt})\xi_i$. Последовательность расчета следующая: из уравнения (6) или (8) по заданной величине \aleph определяется ε и выражается ε_{bm} ; подставляя полученные величины в (7) или (9), определяем величину действующего в сечении момента. Жесткость сечения определяем по формуле: $B = M / \aleph$.

В предлагаемой методике описание жесткости по длине элемента выполняется по параболе с аппроксимацией ее изогнутой оси полиномом четвертой степени, позволяющим учесть поперечную силу [4]. С учетом граничных условий для однопролетной шарнирно опертой балки зависимости для определения перемещений сечений и углов поворота будут иметь вид (рисунок 3):

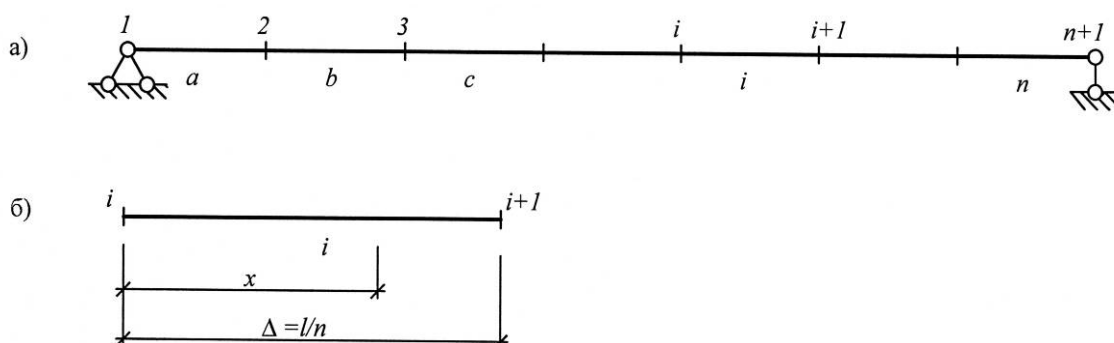


Рисунок 3 – Схема к описанию изогнутой оси исследуемого изгибаемого элемента и разбивки его на участки: схема деления балки на участки (а); схема i -го участка (б)

$$y_i = y_1 + (i-1) \cdot \varphi_1 \Delta + \sum_{j=1}^{i-1} [2 \cdot (i-j) - 1] \cdot \frac{\aleph_j}{2} \cdot \Delta^2 + \sum_{k=1}^{i-1} \frac{Q_k^R \cdot [8 \cdot (i-k) - 5]}{24 \cdot B_k} \cdot \Delta^3 + \sum_{l=2}^i \frac{Q_l^L \cdot [4 \cdot (i-l) + 1]}{24 \cdot B_l} \cdot \Delta^3,$$

$$\varphi_i = \varphi_1 + \sum_{j=1}^{i-1} \aleph_j \Delta + \sum_{k=1}^{i-1} \frac{Q_k^R}{3B_k} \Delta^2 + \sum_{l=1}^i \frac{Q_l^L}{6B_l} \Delta^2.$$

Определение силового воздействия производится с учетом характера эпюр изгибающего момента и поперечных сил в зависимости от вида внешней нагрузки.

$$F = \frac{-n \cdot \varphi_1}{\sum_{j=2}^n [2(n-j) + 1] \cdot \frac{Fp_j \cdot \Delta}{2 \cdot B_j} + \sum_{k=1}^n \frac{MKR_k \cdot [8(n-k) + 3] \Delta^2}{24B_k} + \sum_{l=2}^{n+1} \frac{MKL_l \cdot [4(n-l) + 5] \Delta^2}{24 \cdot B_l}},$$

где n – количество участков разбиения; φ_1 – угол поворота в сечении на опоре, являющийся «нагрузочным» параметром; Δ – длина участка разбиения; Fp – параметр описания эпюры моментов; MKL, MKP – параметры описания эпюры поперечных сил.

На основании вышеизложенной методики расчета разработан алгоритм и программа расчета сборно-монолитных стержневых предварительно напряженных изгибаемых железобетонных элементов.

Для оценки разработанной методики, получения и сопоставления опытных и теоретических данных, подтверждения некоторых принятых положений были проведены испытания сборно-монолитных изгибаемых стержневых элементов. Экспериментальные исследования предусматривали испытание основных образцов – однопролетных шарнирно опертых железобетонных балок, и вспомогательных – бетонных призм и кубов. В качестве основных опытных образцов были изготовлены шесть серий сборно-монолитных балок таврового сечения высотой $h=200$ мм, расчетным пролетом $L=1200$ мм. Общий объем эксперимента составил 24 балки. Конструкция и схема армирования опытных образцов приведены на рисунке 4.

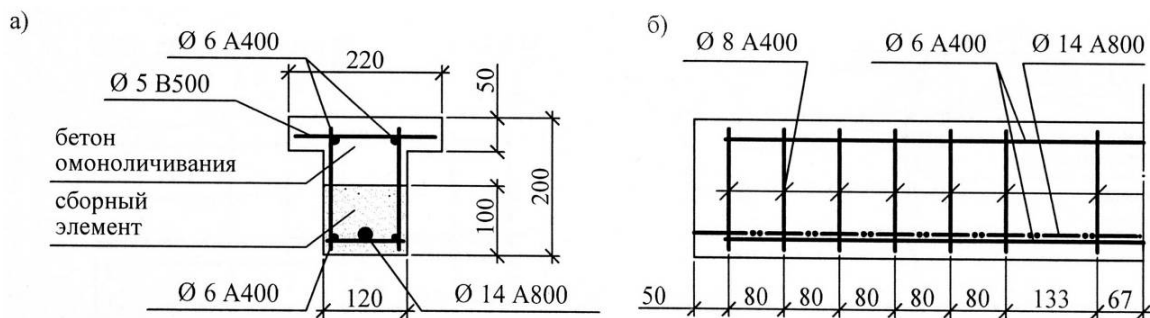


Рисунок 4 – Конструкция и схема армирования опытных образцов: поперечное сечение (а); схема армирования (б)

Сборные элементы балок выполнены предварительно напряженными из тяжелого бетона класса В40, в качестве предварительно напряженной использована арматура класса А800 диаметром 14 мм. Каркасы выполнены сварными из арматуры класса А400 диаметром 6 и 8 мм. В полке балки установлена конструктивная проволочная арматура класса В500 диаметром 5 мм с шагом равным шагу установки поперечных стержней.

Для изучения особенностей работы различных бетонов в сборно-монолитных конструкциях в качестве бетона омоноличивания были приняты различные виды бетонов: тяжелый на гранитном щебне, мелкозернистый и ячеистый. Варьируемым параметром являлась также величина предварительного напряжения арматуры.

Совместность работы сборного и монолитного бетонов обеспечивалась путем выпуска из сборного элемента поперечных стержней каркасов и естественной шероховатостью не заглаженного бетона сборного элемента.

Испытание опытных образцов проводилось на специально изготовленной установке. Нагружение образца выполнялось гидравлическими домкратами марки Д 15В 160П, приводимых в действие от насоса НМ 63.1,5. Нагрузка в виде двух сосредоточенных сил прикладывалась с пролетом среза равным $L/3$.

В процессе испытаний выполнялись исследования деформаций бетона и арматуры, определение несущей способности, трещиностойкости и деформативности опытных образцов.

Контроль продольных деформаций осуществлялся индикаторами часового типа МИГ–1 с ценой деления 0,001 мм, а также тензорезисторами с базой 50 мм. На продольные арматурные стержни наклеивали тензорезисторы с базой 10 мм. Прогибы балок измерялись индикаторами часового типа модели ИЧ 10 МН с ценой деления 0,01 мм, в центре пролета балки прогибомером Аистова, также с ценой деления 0,01 мм. Схема расстановки приборов и общий вид испытаний приведены на рисунке 5.

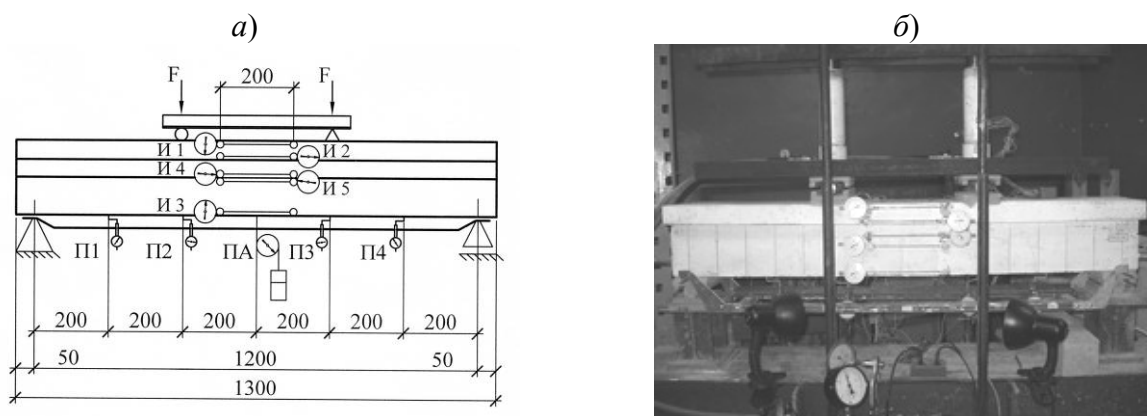


Рисунок 5 – Схема испытаний: схема расстановки приборов (а); общий вид испытаний (б)

С целью оценки напряженного состояния балок, возникающего еще до начала испытаний проводилось наблюдение за деформацией усадки бетона балок. Для этого на сборных элементах балок после тепло-влажностной обработки устанавливались механические приборы для измерения продольных деформаций. Параллельно велись наблюдения и за свободной усадкой бетона призм.

Для анализа напряженно-деформированного состояния сечений опытных образцов строились зависимости «момент-кривизна», приведенные на рисунке 6. В полученных графиках можно выделить наличие трех участков. На первом участке указанные зависимости имеют практически линейный характер. Он характерен для работы образцов без трещин. Второй участок характеризует работу элемента с трещинами и до моментов, составляющих примерно 0,7-0,8 от максимального. При образовании трещин наблюдается излом диаграммы, переходящий в наклонный участок с меньшим углом подъема. Третий участок характеризуется проявлением нелинейных свойств бетона, следствием чего является искривление зависимости «момент-кривизна» и наклон с еще меньшим углом к оси абсцисс-кривизн. При моменте, приближающемся к максимальному, деформирование сечений происходит при значительном опережении роста кривизн по сравнению с моментом.

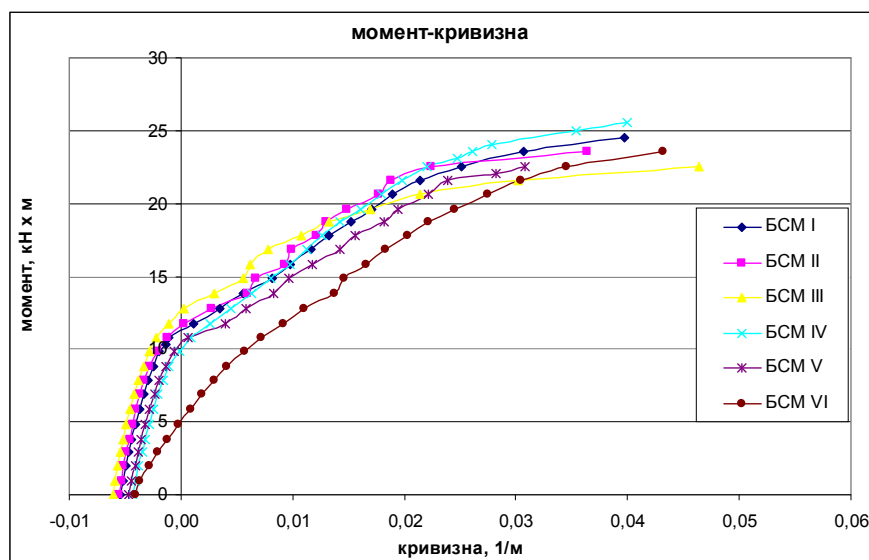


Рисунок 6 – Опытная диаграмма момент-кривизна

Развитие прогибов от внешней нагрузки в опытных образцах аналогично характеру развития кривизн (рисунок 7). При трещинообразовании на кривых «нагрузка-прогиб» про-

является излом. Последующее развитие пластических деформаций в бетоне и арматуре придает нелинейность процессу нарастания прогибов.

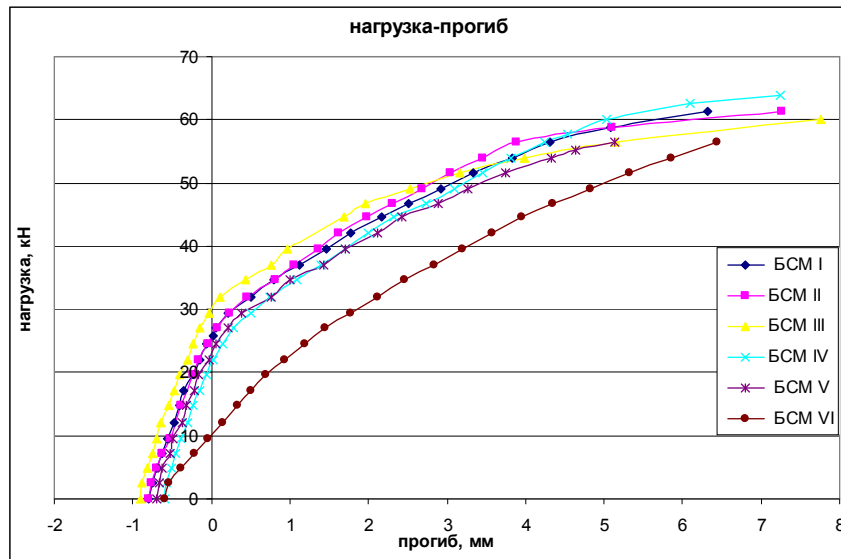


Рисунок 7 – Опытная диаграмма нагрузка прогиб

Разработана методика расчета деформативности предварительно напряженных сборно-монолитных элементов, учитывающая влияние поперечной силы. Исследовано влияние различных видов бетонов омоноличивания и величины предварительного напряжения на деформативность изгибаемых стержневых элементов.

Литература

1. Справочное пособие к СНиП. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций [Текст] – М.: Стройиздат, 1991. – 68 с.
2. СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции [Текст] – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 55 с.
3. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона [Текст]. – Киев: НИИСК Госстроя СССР, 1987. – 25 с.
4. Смоляго, Г.А. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых элементов с учетом влияния поперечной силы [Текст] / Г.А. Смоляго, А.Е. Жданов, А.А. Крючков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии». – Белгород, 2005. – № 10. – С. 449-451.

Луценко А.Н.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Аспирант
Тел.+7920-202-33-36
E-mail: lanrus-31@yandex.ru

Крючков А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Кандидат технических наук, старший преподаватель
Тел.: +7 951-149-74-09

Смоляго Е.Г.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Студентка кафедры «Промышленного, гражданского и городского строительства и хозяйства»

МИРОШНИЧЕНКО Р.В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ВОКРУГ ВЫШТАМПОВАННЫХ МИКРОСВАЙ

Статья посвящена экспериментальным исследованиям грунтового основания усиленного выштампованными микросваями. Влияние от микросвай на основании определялось при помощи динамического зондирования. По результатам зондирования было определено, что пески пылеватые в основании обследуемой площадки имеют меняющуюся плотность сложения как непосредственно по глубине погружения, так и на разных расстояниях от тела сваи. На основе проведённых полевых экспериментов были сформулированы основные выводы.

Ключевые слова: микросваи, грунтовое основание, динамическое зондирование.

The paper describes the experimental research of the subsoil strengthened by the pneumatic ramming micropiles. The influence of micropiles on the subsoil was defined with the help of dynamic penetration tests. It was found that silty sands comprising subsoil of the site have density variations both in depth and at different distances from the piles. The main conclusions were drawn on the basis of the field tests.

Key words: micropiles, the earth basis, dynamic sounding.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последнее время в Санкт-Петербурге проводится массовая реконструкция зданий и сооружений. За свою историю значительное количество зданий в городе были подвержены конструктивным изменениям. К таким изменениям можно отнести надстройку дополнительных этажей, замену деревянных межэтажных перекрытий на железобетонные, углубление подвалов. В результате этих изменений на основания фундаментов зданий были увеличены нагрузки, и часто это увеличение нагрузок проходило без дополнительных изыскательских работ и расчётных обоснований, вследствие этого не учитывалось напряжённо-деформированное состояние грунтов основания под существующими фундаментами. Таким образом, конструктивные изменения зданий часто происходили без усиления оснований и фундаментов, что приводило к неравномерным деформациям.

В современной реконструкции зданий все недостатки, связанные с изыскательскими работами, расчётными обоснованиями и работами по усилению оснований и фундаментов, недопустимы. С этой целью проводится множество исследовательских работ по изучению напряжённо-деформированного состояния грунтов оснований и физического состояния фундаментов. Инженерно-геологические условия Санкт-Петербурга достаточно сложные, поэтому здания и сооружения города часто подвержены неравномерным деформациям.

Для предотвращения развития деформаций зданий используют как традиционные, так и современные передовые методы усиления оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях.

Предметом данного исследования стал метод усиления оснований и фундаментов реконструируемых зданий с помощью выштампованных микросвай (технология изготовления выштампованных микросвай описана в п. 1). Данный метод усиления оснований и фундаментов успешно использует строительная компания «Подземстройреконструкция» при реконструкции зданий и сооружений в Санкт-Петербурге и других регионах России.

Исследования проводились в июле-августе 2008 года на объекте реконструкции в Центральном районе Санкт-Петербурга по адресу: Чебоксарский пер., д. 1.

Целью исследований является совершенствование применяемой технологии усиления оснований при использовании выштампованных микросвай.

Задачи исследования: 1. Определение зон уплотнения оснований в около свайном пространстве. 2. Определение изменений физико-механических характеристик грунтов основания на различных расстояниях от выштампованных микросвай. 3. Исследование динамики изменения уровня грунтовых вод в момент производства работ по изготовлению микросвай. 4. Определение геометрических размеров выштампованных микросвай.

1 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫШТАМПОВАННЫХ МИКРОСВАЙ

Микросваи диаметром 100...250 мм, длиной 1,5...2,5 м выполняются методом повторяемой трамбовки сухой бетонной смеси в скважине, пробиваемые пневмопробойниками ИП 4605А ($d=95$ мм, $L=1500$ мм); ИП 4603Б1 ($d=130$ мм, $L=2000$ мм) или пневмопробойником, помещенным в специальную капсулу ($d=159$ мм, $L=2000$ мм), с последующим заполнением литым бетоном образованной полости.

Микросваи изготавливаются в следующем порядке. Пневмопробойником (или пневмопробойником в капсуле) пробивается скважина глубиной 1,5...2 м. При извлечении пневмопробойника нижняя часть скважины может оказаться заполненной разжижившимся грунтом. Верхняя часть скважины заполняется полусухой бетонной смесью (щебень, песок, цемент =2:2:1) и сквозь эту засыпку скважина проходится пневмопробойником заново. Эта операция повторяется несколько раз до достижения проектного диаметра микросвай, после чего пробитая полость заполняется литым бетоном. Таким образом, вокруг ствола сваи из литого бетона диаметром, равным диаметру пневмопробойника или капсулы, формируется тело сваи из втрамбованной полусухой бетонной смеси (в дальнейшем твердеющей) диаметром 200...250 мм, а вокруг неё – зона уплотнённого грунта.

2 ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗАКРЕПЛЕННОГО ОСНОВАНИЯ

В рамках обследования закреплённого пространства вокруг микросвай были выполнены следующие работы:

- динамическое зондирование грунтов оснований в околосвайном пространстве (зондирование выполнялось в 3 местах, общее количество точек зондирования 15 шт.);
- отрывка одной выштампованной микросвай на глубину до 0,6 м с замерами диаметра на различных глубинах отрывки;
- отбор образцов грунта в около свайном пространстве для уточнения физико-механических характеристик грунтов;
- фотофиксация откопанной сваи.

3 ДИНАМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТОВ

Для определения плотности грунтов в около свайном пространстве выполнялось динамическое зондирование. Зондирование выполнялось в трёх местах площадки около свай. У каждой сваи выполнялось по 5 точек динамического зондирования на глубину до 2,2 м. Каждая точка была удалена от микросвай на 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 м, каждая пятая точка была удалена от тела сваи на расстояние 1,1 м (рисунок 1).



Рисунок 1 – Динамическое зондирование

Чтобы исключить влияние напряжённого состояния грунта под подошвой существующих фундаментов, все точки зондирования выполнялись по направлению от фундаментов к центру подвала (см. рисунок 1).

По архивным данным изысканий [1] и по результатам полевого отбора грунтов с последующими проведенными лабораторными испытаниями (лабораторные исследования отобранных на площадке грунтов основания проводились в лаборатории кафедры «Основания и фундаменты» ПГУПС) установлено, что тела выштампованных микросвай преимущественно залегают в песках пылеватых [2]. Опытное динамическое зондирование легким забивным зондом (ЛЗЗ), проведенное в соответствии с требованиями СНиП 11-02-96 [3] и ТСН 50-302-2004 [4], позволило определить зоны уплотнения грунтового основания.

На основе величины условного динамического сопротивления определялись механические характеристики грунтов: E – модуль деформации, φ – угол внутреннего трения, c – удельное сцепление. Согласно результатам выполненного зондирования, пески пылеватые в основании обследуемой площадки получили меняющуюся плотность сложения как непосредственно по глубине погружения, так и на разных расстояниях от тела сваи. Пример графиков приведен на рисунке 2.

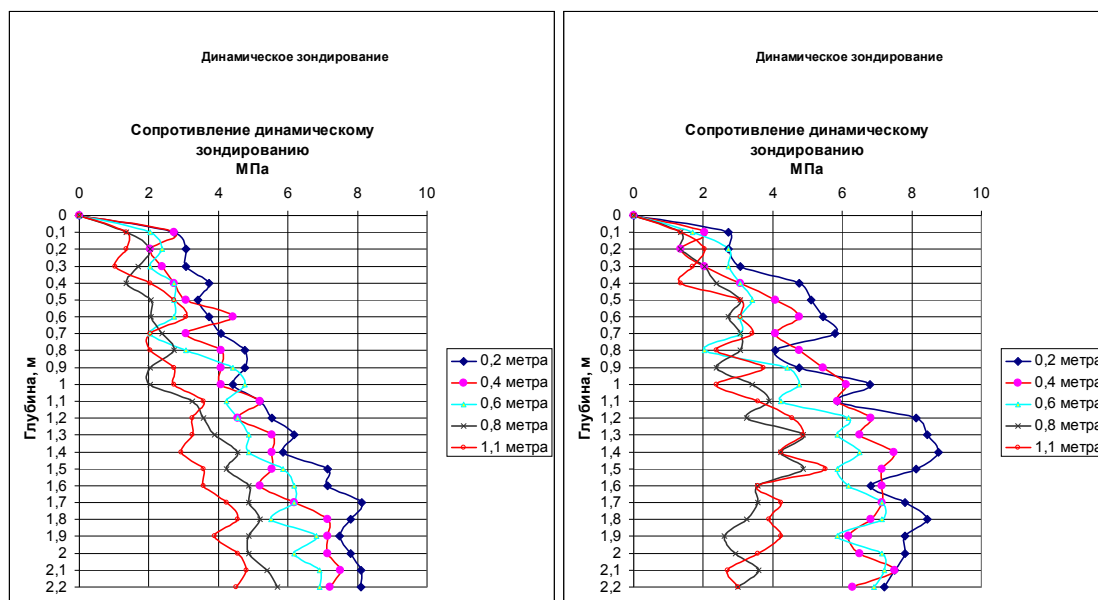


Рисунок 2 – Результаты динамического зондирования

После анализа графиков и таблиц с характеристиками грунтов было усреднено и определено в процентном соотношении изменение основных механических свойств грунтового основания на разных расстояниях от сваи (рисунок 3).

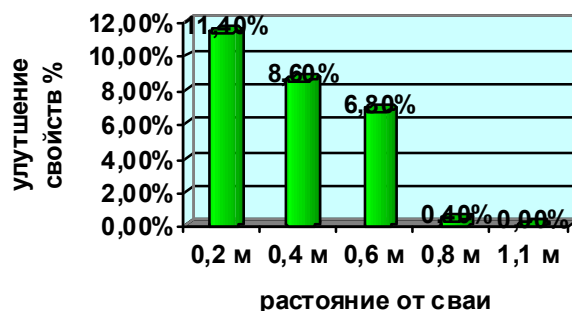


Рисунок 3 – Изменение основных механических свойств грунтового основания на разных расстояниях от сваи

Таким образом, все точки зондирования с увеличением глубины погружения в грунт увеличивали сопротивление динамическому зондированию; на всех графиках чётко выражено, что при удалении от сваи уменьшается сопротивление динамического зондирования; точки зондирования на расстоянии 0,8; 1,1 м от свай на всех участках имели похожие графики и характеристики грунтов. Следовательно, влияние от сваи на окружающее основание (зоны уплотнённого состояния грунта) распространяется в радиусе до 0,8 м от сваи (до трёх диаметров сваи).

4 ВИЗУАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕЛА ВЫШТАМПОВАННОЙ МИКРОСВАИ, ФИКСАЦИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Для визуального осмотра и замеров диаметра тела сваи на разных глубинах были выполнены работы по отрывке одной выштампованной микросваи. Свая для откопки была выбрана произвольно. Откопка производилась на глубину до 0,6 м (общая длина сваи 2,0 м). При откопки были произведены замеры диаметра микросваи в 3 местах: в голове диаметр 240 мм; на глубине 250 мм диаметр 310 мм; на глубине 600 мм диаметр 380 мм.

Следует также отметить, что уровень грунтовых вод на данной площадке в процессе производства работ понизился на 0,7 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование грунтов основания вокруг микросвай показало, что уплотнение от выштампованных микросвай в песках пылеватых распространяется на расстояние до 0,8 м.
2. Пылеватые пески улучшили свои механические свойства на разных расстояниях от микросвай на 11,4 – 0,4%.
3. С глубиной диаметр микросваи увеличивается (выштампованная микросвая имеет трапециевидальную форму).
4. Технология изготовления микросвай позволяет снизить влажность окружающей грунтовой среды, вплоть до некоторого понижения уровня грунтовых вод.

Литература

1. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях, выполненных на площадке реконструируемых зданий по адресу: Санкт-Петербург, Центральный район, Чебоксарский пер., д. 1 литера «А» и М. Конюшенной ул., д. 8 литера «А» [Текст]. ГУП «Ленгражданпроект», 2005;
2. ГОСТ 20276-99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости [Текст]. – 18 с.
3. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства [Текст]. Основные положения.
4. ТСН 50-302-2004. Санкт-Петербург. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге [Текст]. – 46 с.

Мирошниченко Р.В.

Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург
Ассистент кафедры «Основания и фундаменты»
E-mail: romamicrofon@yandex.ru

ТУРКОВ А.В.

УСИЛИЯ В ДВУХСЛОЙНОЙ СОСТАВНОЙ БАЛКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМИ СВЯЗЯМИ И РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ СЛОЕВ

В статье численными методами исследуется вопрос усиления шарнирно опертой балки наращиванием слоя, жестко защемленного на опорах. Рассматриваемая система исследуется как составная балка. Показано, что путем регулирования жесткости вертикальных связей можно добиться рационального распределения изгибающих моментов в обоих слоях двухслойной балки.

Ключевые слова: составная балка, граничные условия, поперечные связи.

In the paper by means of numerical methods one researches a problem of hinged beam strengthening with the aid of growing a layer squeezed on a solid support. The system under consideration is researched as a built-up beam. It is shown that a rational distribution of bending moments in both layers of a double layer beam should be achieved by means of rigidity control in vertical ties.

Key words: a compound beam, boundary conditions, cross-section communications.

В настоящее время составные конструкции широко применяются в строительной практике и, в частности, при усилении несущих элементов реконструируемых зданий и сооружений. Одним из наиболее распространенных методов усиления конструкций балочного типа является наращивание (или подращивание) второго несущего слоя с обеспечением мер их совместной работы. В теории расчета подобных конструкций [1] в основном рассматриваются задачи, когда дополнительный слой имеет те же условия опирания, что и усиливаемая конструкция.

Однако весьма перспективным является способ, когда наращиваемый слой имеет более жесткие граничные условия, чем усиливаемая конструкция. Например, усиление сверху многопролетной статически определимой балки, разрезной на опорах, монолитным неразрезным слоем; усиление шарнирно опертой однопролетной балки сверху (или снизу) дополнительным слоем, имеющим жесткое защемление на опорах. Методы расчета таких конструкций в общих курсах строительной механики не рассматриваются. Обычно такие задачи решаются приближенно для каждого конкретного случая конструктивного решения.

Кроме того, не всегда удастся конструктивно выполнить сопряжение усиливаемого и усиливающего слоя таким образом, чтобы воспрепятствовать взаимному сдвигу слоев. Например, при высокой податливости связей сдвига, что характерно для деревянных балок с малой толщиной слоёв, или при сопряжение балок через короткие прокладки связями с малой изгибной жесткостью. В этом случае работу связей сдвига можно не учитывать, а ограничиться введением в расчет в запас прочности только поперечных связей.

Рассмотрим задачу усиления сверху шарнирно опертой однопролетной балки дополнительным слоем, имеющим ту же изгибную жесткость и защемленным по концам, при этом поперечные связи между слоями позволяют им сдвигаться относительно друг друга. Предполагается, что нагрузка q до усиления была приложена к нижнему слою, а после усиления – к верхнему. Важным параметром, влияющим на перераспределение изгибающих моментов между слоями, является жесткость поперечных связей, которая может изменяться в достаточно широких пределах. В качестве расчетной принята двухслойная балка с 19 поперечными связями пролетом 6 м, изгибная жесткость слоёв принята $EI=12500$ кН·м², расстояние между центрами тяжести слоев составляет 500 мм. Балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой $q=10$ кН/м, приложенной к верхнему слою (рисунок 1). При исследовании

балки жесткость поперечных связей EA_{CB} между слоями изменялась от 1 кН до 10^{10} кН.

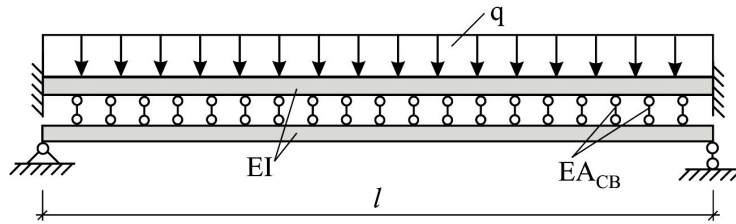


Рисунок 1 – Составная балка с поперечными связями

Как показали исследования, при жесткости связей $EA_{CB} \leq 1$ кН в них практически не возникают усилия и, таким образом, нагрузка с верхнего слоя не передается на нижний и в работе участвует только верхний слой. При жесткости связей $EA_{CB} \geq 10^{10}$ кН, что можно считать бесконечно большой жесткостью, они включаются в работу, и нагрузка интенсивно передается на нижний усиливаемый слой. Эпюры изгибающих моментов в двухслойной балке при $EA_{CB}=0$ и $EA_{CB}=\infty$ представлены на рисунке 2.

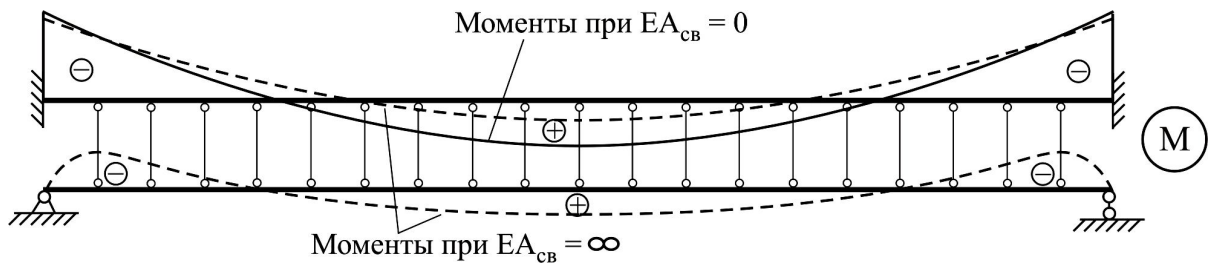


Рисунок 2 – Эпюры изгибающих моментов в двухслойной составной балке с поперечными связями при $EA_{CB}=0$ и $EA_{CB}=\infty$

При $EA_{CB}=\infty$ в средней части пролета длиной примерно $0,6l$ поперечные связи сжаты и характер распределения моментов в обоих слоях идентичен, а их абсолютные значения в середине пролета равны.

В верхнем слое опорные моменты снижаются незначительно (порядка 3%), а пролетный момент снижается примерно в два раза при возрастании жесткости поперечных связей от 0 до ∞ . Еще более интенсивно перераспределяются изгибающие моменты в нижнем слое составной балки. Как видно из рисунка 2, в приопорной зоне нижнего слоя на расстоянии примерно $(0,2 \dots 0,25)l$ от опоры растянуты верхние волокна. Это обстоятельство объясняется поддерживающим влиянием жесткой опоры верхнего слоя. Максимальный отрицательный момент возникает над первой от опоры связью, причем абсолютное значение приопорного момента в два раза больше пролетного.

Если нижняя двухшарнирная однопролетная усиливаемая балка выполнена из стали или из древесины, то появление растянутых волокон в верхней части усиливаемой балки при общем снижении изгибающих моментов не приведет к необходимости усиления приопорной зоны ввиду равенства сопротивления этих материалов на сжатие, растяжение и изгиб. В отличие от стальных и деревянных балок усиление железобетонной двухшарнирной однопролетной балки, в которой возникают растягивающие напряжения в изначально сжатой зоне бетона, может быть связано с необходимостью усиления сжатой зоны бетона в приопорном сечении. Исходя из вышесказанного, предложенная схема усиления железобетонных изгибаемых элементов может быть неэффективной.

Характер изменения изгибающих моментов в слоях составной балки представлен на рисунке 3.

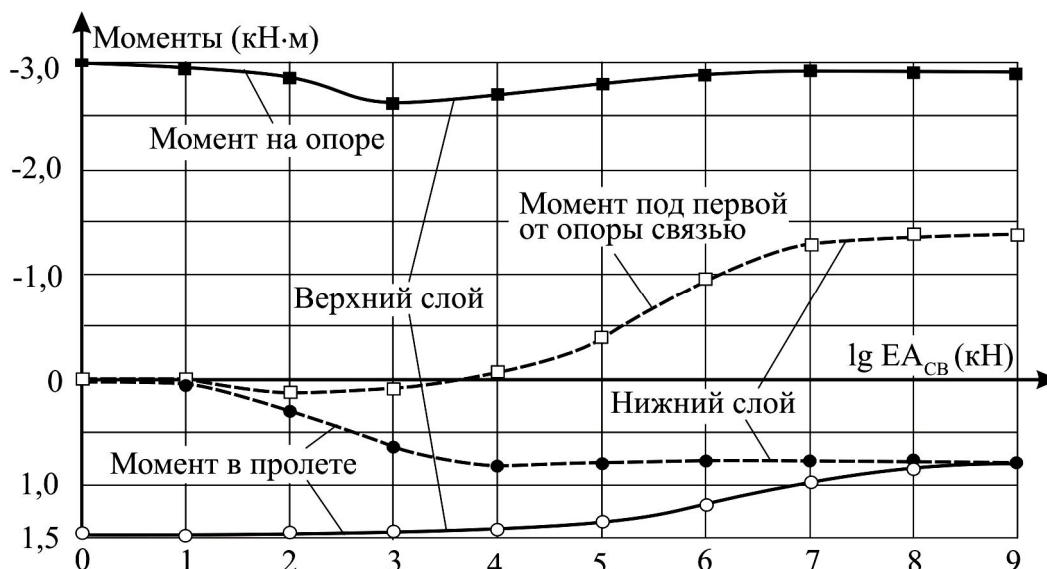


Рисунок 3 – Изгибающие моменты в слоях составной балки при изменении жесткости поперечных связей

Наиболее рациональным распределением моментов в стальной или деревянной усиливаемой балке с разнозначной эпурой усилий является случай, когда положительный и отрицательный моменты равны по абсолютному значению. Как видно из рисунка 3, это достигается при жесткости поперечных связей $EA_{св}=5,6 \cdot 10^5$ кН. Таким образом, регулированием жесткости поперечных связей можно добиться рационального распределения изгибающих моментов в усиливаемой балке.

Литература

1. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.

Турков А.В.

Орловский государственный технический университет
 Доктор технических наук, доцент

УДК 624.04

ФЕТИСОВА М.А., КАЛАШНИКОВА Н.Г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ПЛАСТИНОК С КОМБИНИРОВАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ С ПОМОЩЬЮ МИКФ

В статье на нескольких примерах показано, что с помощью метода интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ) можно достаточно просто определять величину максимального прогиба трапециевидных пластинок со сложными граничными условиями, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой.

Ключевые слова: максимальный прогиб, трапециевидные пластинки, комбинированные граничные условия.

The article in propose a new geometry method for definite maximum bend plate in form different and complicated limit condition with equality distribution load.

Key words: the maximal deflection, trapezoid a plate, the combined boundary conditions.

В основу метода интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), теоретические основы которого изложены в монографии [1], при решении двумерных задач строительной механики положены изопериметрические свойства и закономерности изменения коэффициента формы области при различных геометрических преобразованиях. Коэффициент формы плоской области является количественной характеристикой формы области и выражается через контурный интеграл:

$$K_f = \oint_L \frac{ds}{h}, \quad (1)$$

где ds – линейный элемент контура области (рисунок 1, а); h – высота, опущенная из полюса, взятого внутри области, на касательную к переменной точке контура; L – периметр области.

Для фигур с полигональным контуром (рисунок 1, б) из выражения (1) следует:

$$K_{fa} = \sum_{i=1}^n \frac{\ell_i}{h_i} = \sum_{i=1}^n (ctg\alpha_i + ctg\beta_i) = \sum_{i=1}^n (ctg\alpha_i + ctg\beta_{i-1}), \quad (2)$$

где ℓ_i , h_i – длина i -й стороны многоугольника и высота, опущенная из полюса на i -ю сторону (рисунок 1, б); α_i и β_i – углы, прилежащие к i -й стороне и ограниченные отрезками прямых, проведенными из полюса в углы полигона; n – количество сторон многоугольника.

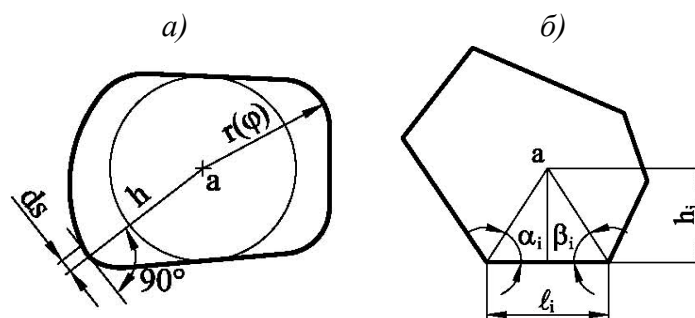


Рисунок 1

Наиболее полные сведения об этой геометрической характеристике изложены в монографии [1], где для трапеций получено выражение:

$$K_f = \min \frac{K_1}{K} + \frac{K_1 - 2tg(\psi/2)}{1 - K} + \frac{(1/\sin \alpha_1 + 1/\sin \alpha_2)^2}{K_1 - K 2tg(\psi/2)}. \quad (3)$$

Здесь $K_1=a_1/H$, $K=h_1/H$, а остальные обозначения приведены на рисунке 2. Как показано в работе [1], коэффициент формы является геометрическим аналогом максимального прогиба пластинок w_0 , нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, и является основным аргументом при определении w_0 .

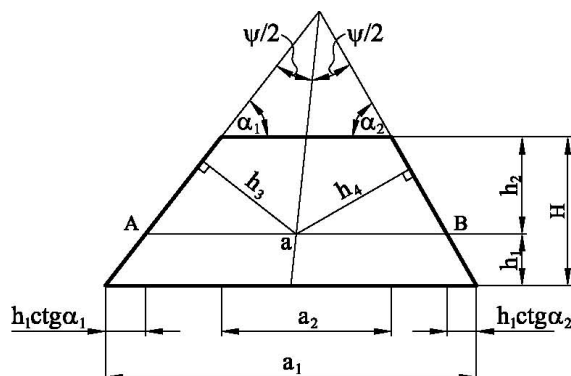


Рисунок 2

При использовании МИКФ для решения задач поперечного изгиба пластинок выбирается геометрическое преобразование заданной пластинки с таким расчетом, чтобы в полученное множество форм пластинок входили хотя бы две, для которых известны решения, либо их можно получить каким-либо точным или приближенным методом. Эти известные решения $(w_0)_1$ и $(w_0)_2$ называются опорными решениями, а соответствующие им формы пластинок – опорными фигурами. Используя опорные решения и структуру формул, полученных при преобразовании интегро-дифференциальных соотношений технической теории пластинок, и приводя получаемые прогибы к единичной площади, можно получить следующие соотношения:

$$n = \ln\left(\frac{(w_0)_1}{(w_0)_2}\right) / \ln\left(\frac{K_{f2}}{K_{f1}}\right); \quad w_0 = (w_0)_1 \left(\frac{K_{f1}}{K_f}\right)^n, \quad (4)$$

где индексы 1 и 2 относятся к параметрам двух опорных пластинок. В этих выражениях первые формулы соответствуют опорным пластинкам с различной площадью, а вторые – с равной площадью.

Любая трапеция может быть получена с помощью аффинных преобразований треугольников в прямоугольники (и наоборот) бесконечно большим числом способов. Поэтому в общем случае можно получить бесконечно большое число опорных решений, с помощью которых максимальный прогиб для заданной трапециевидной пластинки будет определяться с различной точностью. Поэтому при использовании МИКФ нужно научиться выбирать «подходящее» аффинное преобразование, объединяющее заданную трапецию с опорными фигурами.

Рассмотрим трапециевидные пластинки, нагруженные равномерно распределенной нагрузкой, имеющие комбинированные граничные условия.

Пример 1. Рассмотрим множество равнобоких трапециевидных пластинок с шарнирно опертыми основаниями и жестко защемленными боковыми сторонами, получаемых из равнобокой трапеции (рисунок 3, а) путем поворота его боковых сторон вокруг угловых точек нижнего основания. В пределе такого преобразования получается прямоугольник (рисунок 3, в).

Найдем максимальный прогиб пластинки с углом при основании $\alpha=65^\circ$ ($K_f=8,864$, $A=1 \text{ м}^2$, $a=1,463 \text{ м}$, $h=1 \text{ м}$). Для первой опорной пластинки $\alpha=60^\circ$, $a_1=1,577 \text{ м}$, $b_1=0,423 \text{ м}$, $h=1 \text{ м}$, $A=1 \text{ м}^2$, $K_{f1}=9,308$, $(w_0)_1 = 0,082 \text{ мм}$. Второй опорной фигурой в этом случае будет квадрат ($A=1 \text{ м}^2$, $K_{f2}=8$, $(w_0)_2 = 0,1017 \text{ мм}$). Значения максимальных прогибов опорных пластинок получены с помощью МКЭ. По исходным данным для опорных фигур найдем $w_0 = 1,957(K_f)^{-1,422}$, откуда $w_0 = 1,957(8,864)^{-1,422} = 0,0879 \text{ мм}$, что отличается от решения, полученного с помощью МКЭ $w_0 = 0,0878 \text{ мм}$, на 0,11%.

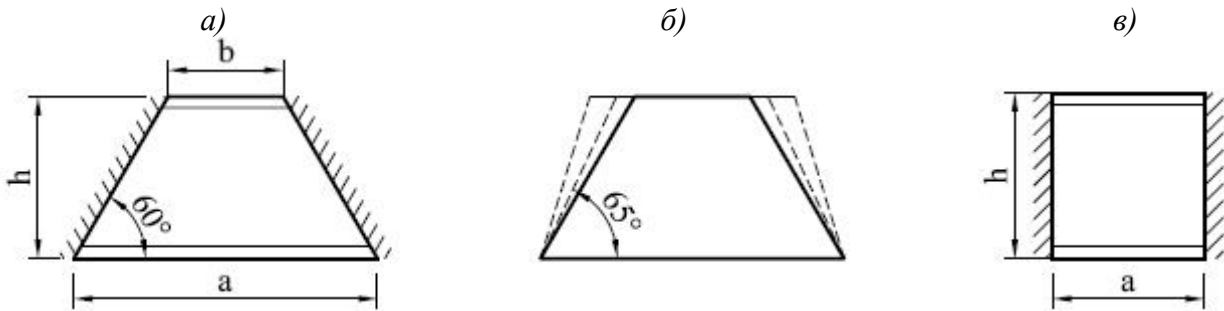


Рисунок 3

Пример 2. Требуется определить максимальный прогиб пластинки в виде прямоугольной трапеции (рисунок 4, б), полученной в результате поворота правой боковой стороны описанного квадрата, построенного на нижнем основании заданной трапеции (рисунок 4, а). Для этой фигуры $\alpha=60^\circ$, $a/h=1$; $b_1=0,411$ м; $A=0,7055$ м²; $K_{fl}=9,2377$. В пределе при выполнении принятого преобразования получается равнобедренный прямоугольный треугольник.

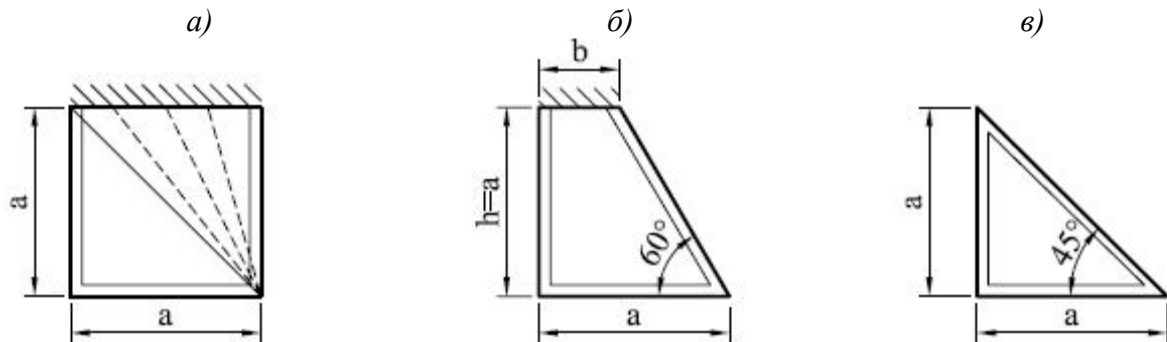


Рисунок 4

Для первой опорной фигуры имеем $A_1=1$ м²; $K_{fl}=8$; $(w_0)_1=0,151$ мм; для второй: $A_2=0,5$ м²; $K_f=11,657$; $(w_0)_2=0,0375$ мм.

По исходным данным для опорных фигур найдем $w_0 = 2,254(K_f/A)^{-1,30}$. Для заданной трапеции $w_0 = 2,254(9,2377/0,7055)^{-1,30} = 0,0795$ мм, что отличается от решения, полученного МКЭ $w_0 = 0,0823$ мм, на 3,55%.

Таким образом, МИКФ позволяет получать простые аналитические зависимости для определения максимального прогиба в задачах поперечного изгиба пластинок с комбинированными граничными условиями. Этот метод позволяет также производить контрольные проверки решений для конкретных видов пластинок, полученных другими приближенными способами.

Литература

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. [Текст] / Коробко А.В. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
2. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в строительной механике. – Т. 1. [Текст] / Коробко В.И. – М.: АСВ, 1997. – 396 с.

Калашникова Н.Г.

Орловский государственный технический университет,
Кандидат технических наук, доцент.

Фетисова М.А.

Орловский государственный технический университет,
Аспирант

УДК 628.166

ЛЯШЕНКО Н.В.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

В работе предлагается перейти на альтернативный хлорный препарат в системах водоподготовки – гипохлорит натрия, который является менее токсичным хлорреагентом. Предлагается повысить эффективность обеззараживания гипохлоритом натрия посредством сочетания электрохимически полученного гипохлорита натрия и ионов серебра или меди.

Ключевые слова: системы водоподготовки, обеззараживание, препарат.

It is offered to use alternative natrium hypochlorite which is less toxic pollutant than others in water preparation systems. It is offered to increase efficiency of disinfection means with natrium hypochlorite by means of combination of natrium hypochlorite, got with electric chemistry and silver ions or copper ions.

Key words: systems of water-preparation, disinfecting, a preparation.

Проблемы безопасности инженерных систем и систем водоснабжения населенных пунктов является в настоящее время одной из наиболее актуальных проблем мирового значения. В большинстве систем водоснабжения населенных пунктов России и мира в качестве дезинфектанта используется жидкий хлор, который может оказывать токсическое, местное раздражающее и аллергенное действие, он взрывоопасен из-за высокой реакционной способности, обладает высокой коррозионной активностью водных растворов [1]. Хлорные хозяйства являются потенциальными источниками чрезвычайных ситуаций. Известно также, что в процессе функционирования систем водоподготовки в атмосферу поступает значительное количество (до 4% от общего количества) газообразного хлора [2]. В настоящее время в России прилагаются усилия, направленные на сокращение числа объектов, использующих жидкий хлор, а также ведутся поиски более рациональных методов его использования. Вместе с тем, хлор является дезинфектантом пролонгированного действия, присутствие которого в питьевой воде необходимо для ее защиты от возможного заражения при транспортировке к потребителям.

К альтернативным хлорным препаратам относится гипохлорит натрия, который является малотоксичным, безопасным и более простым в эксплуатации хлорреагентом, обладающим в тоже время остаточным бактерицидным эффектом. При этом количество активного хлора, необходимого для достижения нормируемых показателей по остаточному хлору, в целом ниже при хлорировании гипохлоритом натрия [3].

Оценивая перспективы широкого применения гипохлорита натрия, который получен в заводских условиях и в виде относительно концентрированных растворов поставляется потребителям, необходимо учитывать, что при длительном хранении растворы гипохлорита натрия постепенно разлагаются и теряют свою активность. Это обстоятельство следует учитывать при необходимости длительного хранения прошедшей обеззараживание воды, особенно в условиях теплого климата. Рекомендованное с этой целью периодическое введение в воду небольших количеств гипохлорита для придания ей бактериальной устойчивости нецелесообразно, поскольку приводит к постепенному накоплению вредных в физиологическом отношении соединений [4].

Необходимо так же отметить, что активность гипохлорита натрия снижается при повышении температуры и водородного показателя, что несколько ограничивает область его применения. Данное обстоятельство вынуждает искать факторы для оптимизации бактери-

цидных свойств. Одним из путей решения этого вопроса является вариант совместного применения дезинфектантов различной природы, способствующих повышению уровня обеззараживания воды.

По нашему мнению эффективность обеззараживания гипохлоритом натрия можно повысить посредством сочетания электрохимически полученного гипохлорита натрия и ионов серебра или меди. В таблице 1 приведены результаты исследования влияния температуры на бактерицидную активность смеси гипохлорита натрия и ионов серебра (меди). Ионы серебра (0,02 мг/л) и меди (0,5 мг/л) получены электролизом. Начальное содержание тест-микроорганизмов *E.coli* составляло 10^6 кл/л. Укажем, что ПДК для серебра и меди в питьевой воде равны – 0,05 и 1 мг/л соответственно [5].

Таблица 1 – Температурная зависимость бактерицидного эффекта гипохлорита натрия и ионов серебра и меди при различных значениях времени экспозиции

Бактерицидный препарат и его доза, мг/л	Эффект (число выживших клеток) после экспозиции, мин, при температуре					
	2°C			20°C		
	10	30	120	10	30	120
Гипохлорит с содержанием активного хлора:						
1,5	$\sim 10^5$	10^5	10^3	40000	8000	600
1,0	$\sim 5 \cdot 10^5$	40000	5000	80000	7200	1800
0,5	$\sim 8 \cdot 10^5$	10^5	10^4	10^5	22000	18000
Гипохлорит + Ag^+ :						
(1,5 + 0,005)	$5 \cdot 10^4$	2000	10	20000	500	–
(1,0 + 0,005)	$2,5 \cdot 10^5$	20000	20	4000	1000	10
(0,5 + 0,005)	$\sim 5 \cdot 10^5$	10000	36	$1,1 \cdot 10^5$	2000	22
Гипохлорит + Cu^{2+} :						
(1,5 + 0,5)	$8 \cdot 10^4$	5000	100	32000	2800	20
(1,0 + 0,5)	$4 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^4$	280	$6,5 \cdot 10^4$	6400	55
(0,5 + 0,5)	$6 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^4$	540	$1,2 \cdot 10^5$	15000	180

При сочетании указанных бактерицидных препаратов достигается более высокий уровень обеззараживания воды, чем при индивидуальном использовании гипохлорита. Указанный эффект можно достичь при меньших дозах гипохлорита, что весьма важно, поскольку, как известно [6], недостатком хлорирования является способность хлора взаимодействовать со многими веществами, присутствующими в воде.

Необходимо также отметить, что бактерицидное действие молекулярного хлора в воде усиливается при снижении водородного показателя pH [7]. Это подтверждается и результатами наших исследований зависимости бактерицидной активности молекулярного хлора и гипохлорита натрия (рисунок 1). Доза активного хлора в обоих опытах составляла 1,0 мг/л, температура 20°C, время экспозиции 0,5 ч, исходное число микроорганизмов 10^6 кл/л.

Иная картина наблюдается в отношении ионов серебра и меди: изменение pH в интервале 6-9 единиц (обычное значение для воды поверхностных источников) мало влияет на бактерицидную активность указанных ионов (концентрация Ag^+ составляла 0,05 мг/л, Cu^{2+} – 1,0 мг/л).

Отмеченный факт делает, по нашему мнению, целесообразным сочетание гипохлорита натрия с бактерицидными ионами серебра или меди. Выполненные нами исследования показывают, что увеличение pH (в изученном диапазоне) оказывает существенно меньшее отрицательное воздействие на интегральную бактерицидную активность препаратов (рисунок 2).

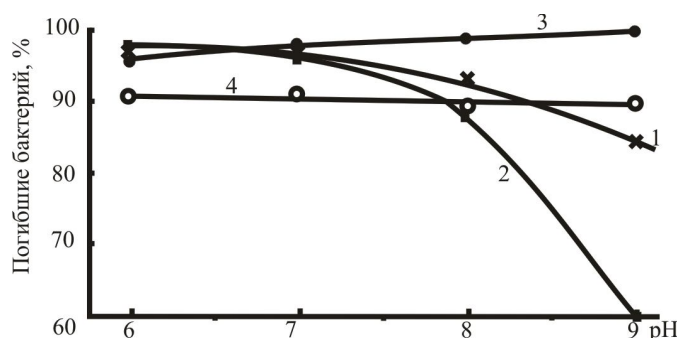


Рисунок 1 – Бактерицидная активность молекулярного хлора (1), гипохлорита натрия (2), Ag⁺(3) и Cu²⁺(4)

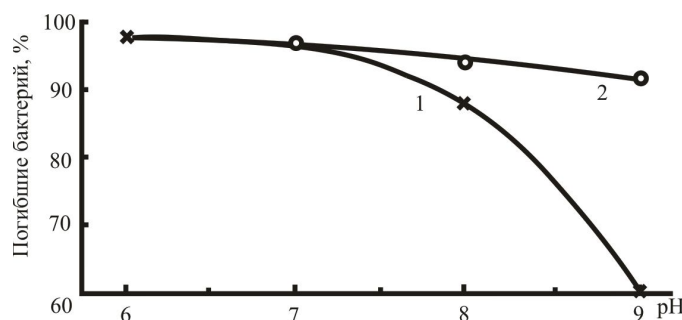


Рисунок 2 – Бактерицидная активность гипохлорита натрия (1) и гипохлорита натрия в сочетании с ионами меди (2)

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- наблюдается повышение бактерицидной активности гипохлорита натрия в сочетании с ионами серебра (или меди) с ростом температуры в отличие от индивидуального использования гипохлорита;
- в интервале рН от 6 до 9 (обычном для поверхностных водоисточников) при совместном применении указанных веществ интегральная бактерицидная активность практически не снижается в отличие от применения одного гипохлорита.

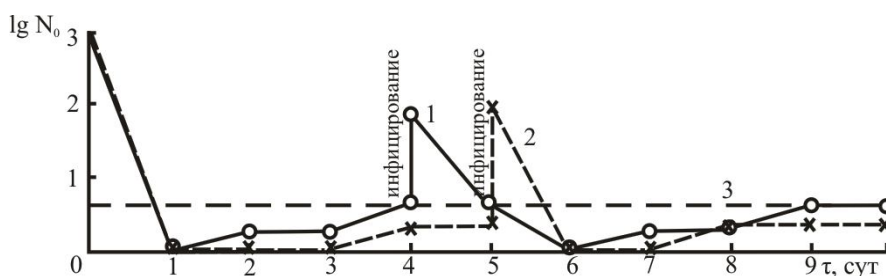


Рисунок 3 – Антибактериальная устойчивость воды, содержащей 0,5 мг/л NaClO и 0,05 мгCu⁺/л(1); 0,5 мг/л NaClO и 0,25 мгCu⁺/л(2); коли-индекс 3 (3)

Проведенные нами исследования показали, что при сочетании гипохлорита натрия с ионами серебра и меди (рисунок 3) достигнуты наилучшие показатели по бактериостатической эффективности, причем, что важно с технико-экономических и эколого-гигиенических позиций, они зафиксированы при существенном (в два раза) снижении дозы основного дезинфектанта – гипохлорита натрия. Тем самым при переходе на гипохлорит натрия снижается его до-

за в случае сочетания его с ионами серебра (I) или меди (II), и возможно создание запасов воды длительного хранения (без периодического введения в нее хлорсодержащих дезинфектантов).

Литература

1. Жолдакова, З.И. Гигиеническая оценка способов очистки и обеззараживания воды с применением коагулянтов и активного хлора [Текст] / З.И. Жолдакова, Е.Е. Полякова // Водоснабжение и санитарная техника, 2003. – №9. – С. 9 – 12.
2. Экологический паспорт МПУ "Водоканал" [Текст] / Расчет тома ПДВ, 1991. – Новочеркасск: НПИ. – 125 с.
3. Николадзе, Г.И. Технология очистки природных вод [Текст] / Г.И. Николадзе. – М.: Высшая школа, 1987. – 479 с.
4. Усольцев, В.А. Сравнительная оценка качества воды при обеззараживании [Текст] / В.А. Усольцев, В.Д. Соколов, Т.А. Краснова // Водоснабжение и санитарная техника, 1994. – № 4. – С. 23-24.
5. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. – М.: Информ.-издат. центр Госсанэпиднадзора России, 1996. – 11 с.
6. Волков, С.В. Предотвращение образования хлорорганических соединений в питьевой воде [Текст] / С.В. Волков, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцев // Водоснабжение и санитарная техника, 1996. – №12. – С. 7-10.
7. Кульский, Л.А. Электрохимия в процессе очистки воды [Текст] / Л.А. Кульский, В.Д. Гребенюк, О.С. Савлук. – Киев: Техника, 1987. – 220 с.

Ляшенко Н.В.
г. Новочеркасск

УДК 614.841

ФЁДОРОВ В.С., ЛЕВИТСКИЙ В.Е.

ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Рассмотрено современное состояние вопросов обеспечения безопасности людей при пожаре в высотном здании, определены требуемые фактические пределы огнестойкости основных несущих конструкций, оценена эффективность систем противодымной защиты, ограничения распространения огня по фасаду высотного здания. Обозначены основные проблемы и методы их решения.

Ключевые слова: пожар, высотное здание, предел огнестойкости.

The modern condition of questions of a safety of people is considered at a fire in a high-altitude building, definitions of required and actual limits of fire resistance of the basic carrying designs, estimations of efficiency of systems protection, restrictions of distribution of fire on a facade of a high-altitude building. The basic problems and methods of their decision are designated.

Key words: a fire, a high-altitude building, a limit of fire resistance.

Введение. Сегодня высотные здания являются архитектурными доминантами больших городов. Они придают им исключительную выразительность и яркий индивидуальный облик современного мегаполиса. Однако возможность массового пребывания людей в здании наряду с ограниченностью средств спасения и исключительно благоприятными условиями для интенсивного распространения пламени, дыма, токсичных веществ по коридорам, лестничным клеткам, лифтовым шахтам и техническим коммуникациям определяет особый характер пожарной опасности высотных зданий. За последние 15 лет в высотных зданиях мира произошло более 30 пожаров, которые унесли свыше 3 тыс. человеческих жизней.

Проблему обеспечения пожарной безопасности высотных зданий можно считать одним из самых важных аспектов их проектирования, строительства и эксплуатации. Поэтому в МГСН 4.19-05 [1] раздел «Противопожарные требования» составляет почти треть всего объёма.

Обеспечение безопасности людей при пожаре в высотном здании является приоритетной задачей его противопожарной защиты. Специалисты пока не пришли к однозначному мнению о том, что при пожаре безопаснее: эвакуироваться по лестницам или на лифтах, или вообще отказаться от эвакуации и ожидать спасения в защищённых «зонах безопасности».

Последний вариант кажется наименее перспективным, поскольку бездействие всегда угнетающе влияет на психику. При неблагоприятных условиях развития пожара и выходе из строя автономной системы жизнеобеспечения (прежде всего – системы дымоудаления) «зоны безопасности» могут стать ловушками для находящихся в них людей. Не дождавшись помощи, люди в панике начнут выбрасываться из окон. Значит, эвакуироваться, так или иначе, необходимо.

Не секрет, что в условиях нормальной эксплуатации основным путём перемещения с этажа на этаж в высотном здании являются лифты, развитие высотного строительства всегда было неразрывно связано с совершенствованием лифтового хозяйства (с тех пор, как в 1853 году Э.Г. Отис продемонстрировал первый безопасный лифт, оснащённый ловителями на случай падения кабины). Вместе с тем, эксплуатация обычных лифтов во время пожара небезопасна, и, как правило, запрещена. При срабатывании пожарного извещателя в здании обычные лифты автоматически переводятся в режим «пожарная опасность», кабина опускается на основной посадочный этаж (как правило, первый), двери открываются и лифт выводится из работы [2].

Наиболее безопасной является эвакуация людей по лестницам. Незадымляемые лестничные клетки призваны защитить эвакуирующихся от воздействия опасных факторов пожара. Однако эвакуация даже в пределах одного пожарного отсека (25 этажей) может вызвать значительное скопление людей на лестницах. Привычная для большинства зданий ши-

рина лестничной клетки (1,4 м) в высотном здании оказывается недостаточной. Возникают также сложности с эвакуацией маломобильных групп.

Передвижение по лестнице занимает много времени и сил. Так, с учётом данных ГОСТ 12.1.004-99 [3] время эвакуации по лестничной клетке здания высотой 400 м составляет 2...2,5 часа, что непросто даже для физически подготовленного человека. Проход в незадымляемую лестничную клетку через наружную воздушную зону на высоте более 50 м вызывает значительные сложности, прежде всего – элементарный страх перед высотой у необученного человека. А как эвакуироваться по лестнице, если перемещаться приходится навстречу развития пожара?

Получается, что без использования лифтов эффективность эвакуации людей из высотного здания резко снижается. В зарубежных странах применяются специальные защищённые пожарные лифты с автономной системой питания, подпором воздуха в шахту и незадымляемым огнестойким холлом. Эти лифты могут быть использованы для эвакуации людей, а также для транспортировки пожарных подразделений. Количество пожарных лифтов в здании зависит от его этажности. Высота здания, при которой необходимо устройство пожарных лифтов, в разных странах составляет от 18 до 30 м. В Германии при высоте более 30 м требуется как минимум один пожарный лифт, более 60 м – два. В США все лифты выполняются пожарными, они используются для транспортировки пассажиров и грузов [4]. В МГСН 4.04-94 [5] предусмотрено устройство не менее двух пожарных лифтов при высоте пожарного отсека более 16 этажей и не менее одного пожарного лифта при высоте отсека 10-16 этажей.

Необходимо отметить, что для ограничения распространения пожара число лифтовых шахт, соединяющих пожарные отсеки, должно быть минимальным. Кроме того, лифты с большой высотой подъёма (до 400 м) очень дорогие, сложные, требуют серьёзного обслуживания. Значит, не обойтись без пересадочных этажей, именно там и должны быть оборудованы «зоны безопасности». В них могут концентрироваться люди, воспользовавшиеся для эвакуации лестницами.

Нельзя исключать возможность того, что кто-то не сможет вовремя эвакуироваться и будет вынужден укрыться в «зоне безопасности», ожидая спасения. Сразу необходимо отметить, что сейчас возможности спасательных автолестниц ограничены высотой 88 м (таблица 1), причём единственный в Европе 90-метровый подъёмник в 2005 году был приобретён для обслуживания комплексов ММДЦ «Москва-СИТИ». Устройство стилобатов вокруг высотной части здания значительно снижает высоту подъёма спасательных автолестниц.

Возможности «самоспасателей» ограничены высотой 120 м (таблица 2). С большей высоты спасение осуществляется вертолётами: предполагается непосредственная посадка вертолёта на крышу аварийного здания, использование подвесных корзин и транспортировка пострадавших на внешней подвеске. Здесь следует учитывать, что дым и нагретые потоки воздуха, поднимающиеся кверху здания, могут не только затруднить, но и сделать невозможным спасение людей с покрытия. Кроме того, при большом скоплении людей на покрытии вертолёты просто не успеют обеспечить их эвакуацию. Поэтому не исключено, что кому-то придётся переждать в «зоне безопасности» до окончания пожара. Это не может не отразиться на требованиях к огнестойкости конструкций и устойчивости всего здания при пожаре.

Таблица 1 – Возможности спасательных автолестниц

Высота подъёма, м	Наибольшая этажность здания
30-32	9-10
40-42	13-14
50-54	17-18
68-72	22-23
88	до 28

Таблица 2 – Возможности спасательных устройств

Высота, м	Спасательные устройства
до 8	Натяжное спасательное полотно
до 35	Спасательные трапы, желоба, навесные лестницы
до 50	Канатно-спускные самоспасатели
до 60	Пневматические спасательные маты
до 120	Рукавные самоспасатели, фасадные лифты

Огнестойкость несущих конструкций. Минимальные требования к огнестойкости основных несущих конструкций здания должны гарантированно обеспечить безопасную эвакуацию людей при пожаре, а максимальные требования – обеспечить выполнение конструкциями своих несущих и ограждающих функций в течение всего времени свободного развития пожара (без процессов тушения). Требования норм к огнестойкости конструкций должны находиться между минимальным и максимальным уровнями.

Концепция, согласно которой эвакуация людей из высотного здания, как и из любого другого, пройдёт достаточно быстро, а следовательно, огнестойкость его несущих конструкций не должна быть особенно высокой, потерпела неудачу во время событий в Нью-Йорке 11 сентября 2001 года. В последнее время намечается тенденция увеличения требований к огнестойкости основных несущих конструкций высотных зданий. Необходимо признать, что в МГСН 4.19-05 [1] требования к огнестойкости основных несущих конструкций самые высокие в мире: при высоте здания свыше 100 м – 4 часа, до 100 м – 3 часа. В большинстве зарубежных стран этот показатель составляет 2-3 часа (например, в Германии при высоте здания свыше 200 м требуется 3 часа, до 200 м – 2 часа [4]).

Наблюдаемый разброс вызван условностью самого понятия «предел огнестойкости конструкции». Как экспериментальные, так и немногочисленные расчётные методы оценки пределов огнестойкости конструкций базируются на использовании стандартного температурного режима испытаний конструкций на огнестойкость, принятого в международном масштабе (стандарт ИСО 834-75). Этот режим обеспечивает сопоставимость результатов испытаний различных конструкций в различных лабораториях, но не отражает реальных условий развития пожара, его начальной и затухающей стадии. Испытаниям подвергаются отдельные конструкции, без учёта их совместной работы в составе несущей системы здания. Расчётные методы оценки огнестойкости статически неопределимых конструкций, а также несущих систем зданий в целом не разработаны. Вместе с тем, наибольший интерес представляет прогнозирование поведения конструкций в условиях именно реального пожара, с учётом их совместной работы и фактического эксплуатационного состояния. Разработанные в настоящее время модели [6, 7] позволяют в перспективе перейти к таким расчётам.

Сейчас всё больше специалистов высказывают мнение о том, что требования МГСН 4.19-05 [1] по 4-х часовому пределу огнестойкости для колонн и 3-х часовому для перекрытий являются сильно завышенными [8]. Пожарная нагрузка в этом случае будет превышать фактическую примерно в 3 раза (150 кг/м^2 вместо реальных 50 кг/м^2 в эквиваленте древесины). Решение данного вопроса должно основываться на применении строгих расчётных методик, позволяющих определить продолжительность стандартного огневого испытания, которая по воздействию на конструкцию была бы эквивалентной воздействию «реального» пожара в конкретном помещении [7]. Возможно, при оценке огнестойкости целесообразно сравнивать не требуемый и фактический пределы огнестойкости конструкций, а допустимую и фактическую степень их повреждения при «реальном» пожаре. Что же касается проблемы сохранения здания после пожара как имущественной ценности, то она относится к вопросам страхования и решается в каждом случае посредством соглашения между владельцем и страховой компанией [4].

Стоит обратить внимание на методы обеспечения повышенной огнестойкости конструкций. Чтобы предел огнестойкости перекрытия составил 3 часа, необходимо, чтобы рабочая арматура не прогрелась свыше 300°C , а это достигается устройством защитного слоя бетона ве-

личиной не менее 6 см. Для предотвращения образования в защитном слое усадочных трещин при твердении бетона, а также взрывообразных отколов бетона при пожаре необходимо предусматривать армирование защитного слоя сеткой из стержней диаметром 2-3 мм с ячейками не более 50 мм ([1], Прил. 14.6). В МДС 21.2-2000 [9] говорится о противооткольной сетке с ячейками не более 100 мм. Размещение сетки по толщине защитного слоя и способы её крепления к основной арматуре не регламентируются. Анализ последствий нескольких пожаров в таких зданиях, которые возникли на стадии возведения при сравнительно небольшой пожарной нагрузке, показал, что уже через 20-30 мин. после возгорания происходит интенсивный нагрев арматуры противооткольной сетки, сопровождающийся её локальным расширением и приводящий к отколам защитного слоя бетона с последующим оголением основной рабочей арматуры. Фактически это означает, что наступила потеря огнестойкости конструкции. Обозначенная проблема требует незамедлительного решения, особенно в связи с активным применением высокопрочных бетонов классов В60-В90 и новых эффективных видов арматуры (А500С).



Рисунок 1 – Плита перекрытия с противооткольной сеткой после пожара

Дымоудаление при пожаре. Эффективность защиты людей при пожаре в высотном здании зависит от чёткости работы систем противодымной защиты. Отечественная и зарубежная статистика показывает, что в 50...80% случаев причиной гибели людей являются дым и токсичные продукты горения. Системами принудительного дымоудаления следует оборудовать здания высотой более 10 этажей, однако не во всех зданиях они установлены. Но даже в тех зданиях, где имелась система дымоудаления, при пожаре она выполнила свою задачу всего в 6-7% случаев (таблица 3). Причиной несрабатывания или неэффективности систем противодымной защиты чаще всего является формальное отношение владельцев к проверке их технического состояния и своевременному ремонту. Нередки случаи использования ненадёжного дешёвого оборудования, которое устанавливают, стараясь уменьшить расходы. Вместе с тем, сказывается и несовершенство методики проектирования этих систем, в результате чего при пожаре не удаётся добиться получения требуемых параметров работы системы. В связи с этим в зарубежной практике противодымной защиты намечается переход от искусственного к естественному дымоудалению при пожаре. Соответствующий Евростандарт вступил в силу в странах ЕС 1 сентября 2006 года.

Таблица 3 – Эффективность работы систем противодымной защиты в России

Годы	2005	2006
Количество пожаров, произошедших в зданиях, где была установлена система противодымной защиты	725	721
Система выполнила задачу	32	45
Система не выполнила задачу	3	6
Система не сработала	555	591
Система не была включена	135	79

Предотвращение распространения пожара по фасаду высотного здания приобрело особую актуальность в связи с широким применением новых типов фасадных систем, в том числе вентилируемых. Несмотря на то, что к применению должны допускаться системы, прошедшие испытания на пожарную опасность согласно ГОСТ 31251-2003 [10], 40% используемых на российском рынке фасадных систем не имеют технических свидетельств и необходимых противопожарных сертификатов [11]. Даже в случае применения негорючих теплоизоляционных плит и облицовочных панелей в конструкции вентилируемого фасада, как правило, имеется сильногорючая синтетическая защитная плёнка. Воздействие небольшого источника зажигания может привести к быстрому распространению пламени по фасаду с образованием высокотоксичных продуктов горения. Применяемые в качестве каркаса облицовки фасада алюминиевые профили при пожаре быстро теряют своё конструктивное назначение, а при температуре свыше 640°C плавятся и, образуя вторичные источники зажигания, способствуют дальнейшему распространению пожара. Падающие элементы конструкций представляют серьёзную опасность для людей, особенно в высотных зданиях.

В МГСН 4.19-05 [1] для предотвращения распространения пожара по фасаду регламентируется необходимость устройства в уровне противопожарных перекрытий козырьков и выступов шириной не менее 1 м из негорючих материалов (рисунок 2). Этот метод является одним из наиболее надёжных, но существенно ограничивает варианты архитектурного решения высотного здания. По данным иностранных источников, козырьки возможно заменить устройством водяных завес, которые достаточно надёжно защищают оконные проёмы вышележащих этажей от проникновения огня [4, 12]. Однако в климатических условиях нашей страны, особенно в зимнее время, это мероприятие нельзя признать целесообразным. Перспективы остаются за применением поясов из пожаростойкого остекления на высоту этажа через каждые 5-6 этажей, включая применение огнестойких полимерных плёнок [12], но эффективность этого метода тоже вызывает сомнения.

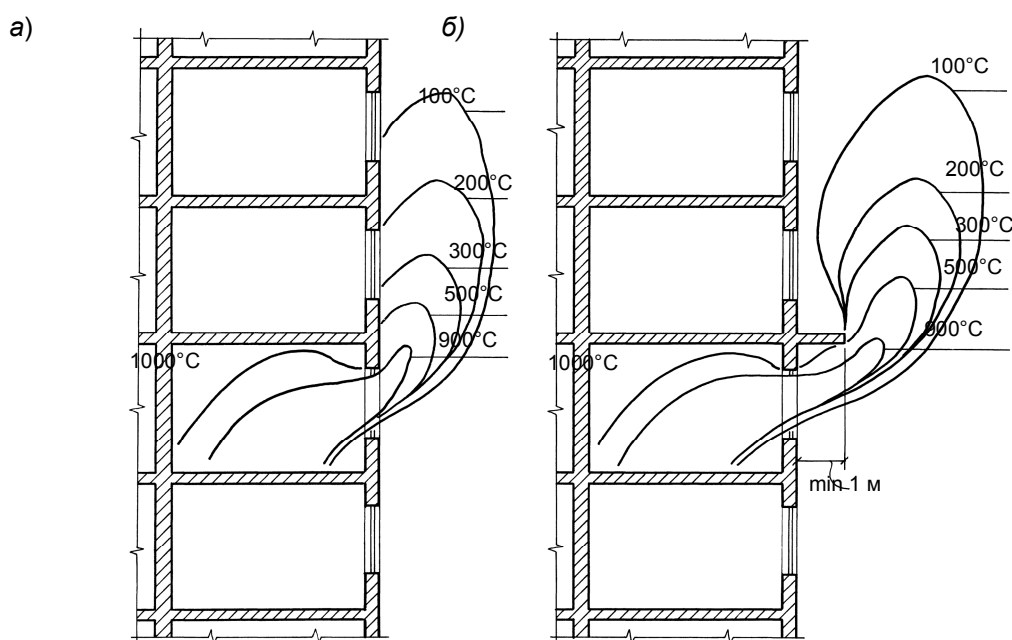


Рисунок 2 – Распределение температур продуктов горения за пределами очага пожара при отсутствии (а) и наличии (б) противопожарного козырька

Выводы. Проблемные вопросы противопожарной защиты высотных зданий можно разделить на две группы: вопросы, связанные с нарушением требований пожарной безопасности, и вопросы, связанные с несовершенством нормирования в области высотного строительства. Обе группы вопросов имеют общую природу. Почему разработка новых проектных решений опережает уровень развития противопожарного нормирования? Потому, что инве-

сторы и строители заинтересованы, прежде всего, в получении максимальной прибыли от скорейшего внедрения новейших научно-технических разработок и стремятся к уклонению от огромных дополнительных затрат, требуемых для проведения научных исследований, направленных на обеспечение безопасности новых видов потенциально опасных объектов, ожидая готовых решений от разработчиков норм проектирования и специалистов МЧС.

Литература

1. МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы [Текст].
2. Ройтбурд, С.М. Лифты как путь эвакуации при пожаре в высотных зданиях. [Текст] / С.М. Ройтбурд // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: Материалы XIX науч.-практ. конф. – Ч.3. – М.: ВНИИПО, 2005. – С. 169-173.
3. ГОСТ 12.1.004-99. Пожарная безопасность [Текст]. Общие требования.
4. Николаев, С.В. Безопасность и надёжность высотных зданий – это комплекс высокопрофессиональных решений [Текст] / С.В. Николаев // Уникальные и специальные технологии в строительстве, 2004. – №1.
5. МГСН 4.04-94. Многофункциональные здания и комплексы. [Текст].
6. Фёдоров, В.С. Диаграммный метод расчётной оценки огнестойкости железобетонных конструкций [Текст] / В.С. Фёдоров, В.Е. Левитский // Проект и реализация – гаранты безопасности жизнедеятельности: Труды общего собрания РААСН: В 2-х т. – СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 2006. – Т. 2 – С. 71-79.
7. Молчадский, И.С. Пожар в помещении [Текст] / И.С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.
8. Ройтман, В.М. Особенности обеспечения противопожарной защиты высотных зданий [Текст] / В.М. Ройтман // Современное высотное строительство. Эффективные технологии и материалы: 2-й Межд. симпозиум по строит. материалам КНАУФ для СНГ. – М.: МГСУ, 2005. – С. 173-181.
9. МДС 21-2.2000. Методические рекомендации по расчёту огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций [Текст].
10. ГОСТ 31251-2003. Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Стены наружные с внешней стороны [Текст].
11. Хасанов, И.Р. Пожарная опасность навесных фасадных систем [Текст] / И.Р. Хасанов, И.С. Молчадский, К.Н. Гольцов, А.В. Пестрицкий // Пожарная безопасность, 2006. – №5.
12. Мешалкин, Е.Н. Нормативное и инженерно-техническое обеспечение пожарной безопасности многофункциональных зданий [Текст] / Е.Н. Мешалкин // Технологии безопасности и инженерные системы, 2005. – №6. – С. 48-50.

Федоров В.С.

Московский институт инженерного транспорта, г. Москва
Доктор технических наук, профессор

Левитский В.Е.

Московский институт инженерного транспорта, г. Москва
Кандидат технических наук

УДК 666.94.015.427

ЛУКУТЦОВА Н.П., АНИСИМОВ П.В.

О КОНТРАКЦИИ ЦЕМЕНТА

Выполнены теоретические исследования контракции цемента, сопровождаемой развитием вакуума в системе «цемент+вода». Приведены периоды образования дефектов структуры цементных зерен и их характерные особенности. Показан механизм влияния дефектов на контракцию и гидратацию. Результаты исследований позволяют уточнить отдельные положения теории гидратации цемента.

Ключевые слова: цемент, гидратация, дефект структуры.

The theoretical researches of the contraction of cement accompanied by the development of vacuum in the «cement+water» system have been carried out. The periods of the defects formation in the structure of the cement grains as well as their distinctions are given in the paper. The mechanism of the defect influence in contraction and hydration is shown. The results of the study allow to specify the certain statements of the theory of cement hydration.

Key words: cement, hydration, defect of structure.

В настоящее время отсутствует четкий научно обоснованный механизм контракции цементного теста. В научной литературе при описании таких свойств цемента как гидратация делаются ссылки на контракцию, сопровождаемую образованием вакуума в цементном тесте. С величиной контракции связывают скорость гидратации цемента и его прочностные свойства. Вопросы контракции отражены в работах В.В. Некрасова, В.Н. Юнга, Б.Г. Скрамтаева и П.И. Панфиловой, В.С. Шестоперова и других. Приведем некоторые особенности гидратации и контракции цемента, изложенные в литературных источниках.

В.Н. Юнг отмечает, что взаимодействие воды с цементом сопровождается уменьшением объема, что связано с контракцией гидратирующихся молекул, составляющих клинкерные соединения.

В справочнике по химии цемента [1]: контракция (сжатие) – суммарное уменьшение первоначального объема системы «цемент-вода» вследствие развивающегося процесса гидратации – химического связывания воды в кристаллогидраты. Предельная величина контракции для рядового портландцемента при 100% гидратации составляет 5-7%.

С.В. Шестоперов дает следующее определение: контракция – свойство цементного теста уменьшаться при твердении в суммарном объеме твердой и жидкой фаз, сопровождаемое развитием в цементном тесте внутреннего вакуума [2]. Эффект от этого процесса С.В. Шестоперов, как и В.В. Некрасов, связывает с различными свойствами цементов. Минералы цементного клинкера по убывающей величине контракции располагаются в следующем порядке: C_3A , C_4AF , C_3S и C_2S . Делается вывод, что эффект контракции прямым образом связан с активностью цементов, химико-минералогическим составом, тонкостью помола и другими свойствами.

С.М. Рояк и Г.С. Рояк [3] отмечают, что контракция сопровождается уменьшением абсолютного объема системы «цемент плюс вода» по сравнению с объемом исходных реагирующих веществ, хотя при этом внешний объем цементного теста не только не уменьшается, но может даже увеличиться.

При образовании пор в системе «цемент плюс вода», как отмечает А.В. Волженский [4], возникает вакуум, под влиянием которого они заполняются водой или воздухом в зависимости от условий твердения цементного камня и бетона. Иногда контракцию называют химической усадкой. А.В. Волженский на основе опытных данных Ю.С. Малинина и его сотрудников, а

также В. Лерча, Т. Пауэрса и других приводит механизм образования на клинкерных частичках гелевых оболочек из гидратированных соединений, которые почти прекращают доступ воды к непрореагировавшим внутренним зонам зерен вяжущего. В гелевых оболочках постепенно нарастает осмотическое давление, приводящее при определенных значениях к их разрыву. При этом возникает возможность прямого доступа воды к обнажившимся свежим поверхностям и её реакции с цементом. Этот момент является концом индукционного периода малой активности и началом периода (третьего) со всё возрастающим тепловыделением.

В работе [5] Ю.С. Малинин делает вывод о стадийности процессов гидратации цементов, которая приводит к послойному накоплению гидратных продуктов на поверхности цементных зерен под первичной оболочкой, при этом фронт гидратации по структурным дефектам постепенно перемещается вглубь зерен вяжущего. Послойно накапливающиеся новообразования вызывают раздвижку и растрескивание гидратной оболочки, что создает условие для последующего периода гидратации.

В работе [6] сделан вывод о том, что гидратационное твердение цементных систем – это одновременное и взаимосвязанное протекание структурообразующих и деструктивных явлений. Развивающийся в системе вакуум является позитивным фактором, «движущей силой» структурообразования, обуславливающей стяжение цементной системы, формирование и упрочнение контактных зон цементных зерен, приобретение затвердевшим материалом необходимых свойств. В то же время стадийное накопление на поверхности клинкерных частиц гидратных продуктов приводит к механической раздвижке ранее образовавшегося гидрата и временному ослаблению структурных связей системы.

В целом из приведенных данных можно выделить следующие основные закономерности гидратации и связанной с ней контракции цемента.

1. Контракция – это процесс уменьшения абсолютного объема цементного теста в результате реакций гидратации клинкерных минералов. Уменьшение абсолютного объема системы не вызывает сокращения внешнего объема твердеющего цементного теста, но сопровождается развитием в цементном тесте внутреннего вакуума.

2. Контракция первоначального объема системы «цемент-вода» происходит вследствие развивающегося процесса гидратации – химического связывания воды в кристаллогидраты. По мере развития процессов гидратации общий объем пор уменьшается в результате выделения продуктов гидратации в поровом пространстве структуры при их кристаллизации из жидкой фазы.

3. При гидратации цемента происходит послойное накопление гидратных продуктов на поверхности цементных зерен, которые приводят к механической раздвижке ранее образовавшегося гидрата и временному ослаблению структурных связей системы. Развивающийся в системе вакуум является «движущей силой» структурообразования цементной системы.

Несмотря на то, что в научной литературе явление контракции и связанный с ней вакуум в твердеющей цементной системе достаточно часто приводится с целью обоснования скорости и других процессов гидратации и твердения цемента, научно обоснованной связи контракции и вакуума, механизма образования вакуума до настоящего времени нет. Приведенные выше попытки ряда авторов обосновать механизм образования вакуума не могут быть убедительными. По нашему мнению, процесс образования вакуума в цементном тесте связан с порами цемента, трещинами, полостями и другими дефектами цементных зерен, объемы которых не заполнены составляющими газов воздуха или газовыми продуктами сгорания топлива. Следовательно, такие объемы относятся к вакуумным, а эффект вакуума проявляется в процессе гидратации цемента.

Приведем некоторые механизмы образования пор, пустот, трещин и других дефектов в цементном клинкере и зернах цемента. Различного рода пустоты и трещины появляются в процессе кристаллизации клинкерного расплава [7]. В результате кристаллизации укрупненные зародыши кристаллических центров растут быстрее мелких и с большей силой «притягивают» аморфную часть. Между кристаллами могут появиться «пустоты» и микротрещины,

которые, как правило, вызывают уменьшение плотности (с увеличением объема) затвердевшего расплава.

При первичном охлаждении расплава клинкера поры могут образоваться в результате заземления массой расплава газовых продуктов топлива. По мере охлаждения клинкера в соответствии с коэффициентом термического расширения плотность газа в поре уменьшается, и в ней возникает разрежение, т.е. создается дефицит давления. В дальнейшем при затворении цемента водой и раскрытии этой поры в цементном тесте будет создана вакуумная всасывающая сила.

Второй период образования дефектов структуры клинкера связан с его охлаждением. При медленном охлаждении образуется меньше дефектов структуры клинкера, чем при быстром. Чем больше дефектов в клинкере, тем эффективнее его размалываемость, выше гидравлическая активность цемента и конечная прочность. Эффект деструкции цементного клинкера при охлаждении его воздушным потоком состоит в резком перепаде температур в наружных и внутренних слоях и образовании в наружных «оболочках» больших растягивающих напряжений, приводящих к разрыву, с образованием трещин, полостей и других дефектов во всех направлениях. В результате термического удара от резкого охлаждения клинкерные зерна приобретают макро- и микротрещины [3, 8, 9], которые облегчают процесс тонкого измельчения и способствуют тем самым повышению активности получаемого цемента, т.к. в нем больше тонких фракций.

Разрывы в зернах клинкера происходят и вследствие его гетерогенной структуры. Входящие в состав клинкера минералы имеют разные коэффициенты термического расширения. Поэтому при понижении температуры более чем на 1000°C и сокращении размеров минералов на разные величины происходят разрывы с образованием пор, трещин, полостей и других дефектов, которые могут быть открытыми или замкнутыми.

Третий период образования дефектов структуры минералов цемента происходит в процессе размалывания клинкера.

В работе [10] отражены как поверхностные, так и объемные дефекты частиц порошка минеральных вяжущих веществ. Объемными дефектами могут быть трещины, границы блоков и кристаллов, а также плоскости спайности. Эти дефекты со средним размером $200\text{-}900 \text{ \AA}$ образуют внутреннюю поверхность раздела, площадь которой значительно превосходит площадь микрорельефа зерна. Мы не исключаем образование дефектов «овальной» формы с большей выпуклостью в средней части трещины, а на поверхности цементного зерна имеют малые размеры или они заклинены аморфизованными частицами.

Роль деструкции кристаллической решетки клинкера при измельчении особенно резко возрастает при очень длительном помоле (5 и 8 ч) [11]. Дисперсность порошка при этом фактически перестает изменяться, а химическая активность цемента значительно возрастает. Отмечается, что эффект деструкции в активности цемента для достаточно дисперсных порошков становится определяющим, на что обращает внимание и М.М. Сычев. Поскольку кристаллическая структура нарушается в основном в поверхностных слоях, то влияние измельчения наиболее существенно в ранние сроки гидратации.

Цель тонкого измельчения состоит в том, чтобы увеличить химическую активность поверхности зерен цемента [9, 11]. Частицы кварца при измельчении аморфизуются и становятся более активными. Аморфизация поверхности слоев наблюдается при помоле и других силикатных материалов. Толщина необратимо деформированного слоя на кварце составляет от $10\text{-}15 \text{ \AA}$ при мокром и до $150\text{-}200 \text{ \AA}$ при сухом измельчении.

Все дефекты структуры цемента в виде пор, полостей, трещин, дырок и т.д. образовались на разных технологических стадиях изготовления цемента (рисунок 1, а). В дальнейшем в ряде случаев будем называть их одним словом – «полости». Дефекты, которые только что образовались, представляют собой ничем не заполненные полости. Если дефект структуры цемента сообщается с окружающей средой, то полость будет заполняться содержимым среды, в основном газовой – это газовые продукты сгорания топлива; воздух, состоящий из смеси газов, главными из которых являются азот и кислород; парообразная влага или свободная

вода. На всех технологических циклах изготовления цемента и образования полостей вода в любой ее форме, которая могла бы заполнить вакуумные объемы, отсутствует, если не считать специальное увлажнение клинкера для снижения сопротивляемости измельчению.

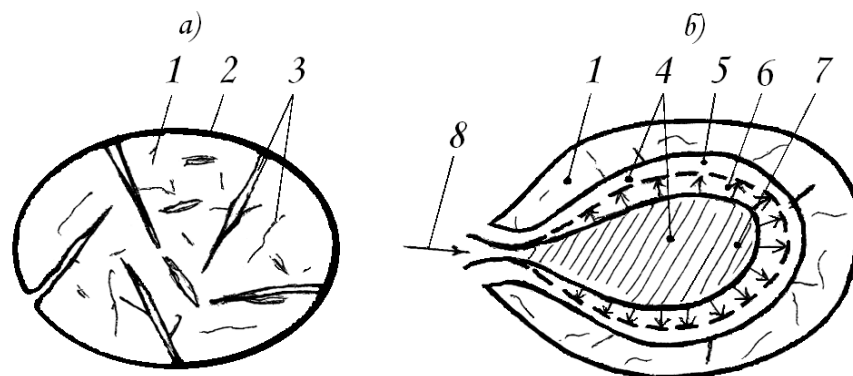


Рисунок 1 – Сечения зерен цемента: *а* – с отображением дефектов; *б* – с гелем в вакуумной полости: 1 – зерно цемента; 2 – аморфизованный слой; 3 – другие дефекты; 4 – вакуумная полость; 5 – микротрещина; 6 – зона расклинивающего действия молекул воды или геля; 7 – гель; 8 – устье полости (трещины)

Наибольший интерес представляют полости, которые образуются при охлаждении клинкера. В процессе их образования они сообщаются с воздушной средой и особенно при интенсивном охлаждении воздухом. Следовательно, газы воздуха и будут заполнять вакуумные полости. Для замкнутых полостей доступ газов в них невозможен, и они находятся в разреженном состоянии. К замкнутым объемам дефектов клинкера и цемента относятся все дефекты структуры, которые не имеют сообщений с внешней поверхностью, либо сообщаются трещинами с внешней поверхностью, но доступ газов воздуха или газовых продуктов сгорания топлива в полости блокирован малыми размерами трещин по высоте. В вакуумной полости давление (разряжение) составляет примерно 0,1 МПа. С этой силой молекулы газов по внешнему периметру трещин втягиваются (всасываются) внутрь полости, но ввиду малых размеров трещины проникнуть в неё не могут.

Для последующего изложения работы необходимо обратиться к материалам по инженерной геологии. В работе [12] отмечается, что на дисперсных минеральных частицах глинистого грунта (при влажности ниже максимальной гигроскопической) значительная часть газов находится в адсорбированном состоянии, т.е. прочно удерживается вблизи поверхности минеральных частиц вследствие молекулярного поля последних. (Следует отметить, что на поверхности глинистых частиц, как и на зернах цемента, имеются активные центры). Наиболее интенсивно адсорбируются молекулы CO_2 , затем N_2 , O_2 и H_2 . Молекулы газа заполняют поры и адсорбируются на их стенках.

Максимальный размер дефектов структуры цемента, куда могут проникнуть газовые молекулы, зависит от размеров газовых молекул. Их величины (см), определенные одним из методов [13], следующие: азот – $3,7 \times 10^{-8}$; кислород – $3,6 \times 10^{-8}$; окись углерода – $3,7 \times 10^{-8}$; углекислота – $4,4 \times 10^{-8}$. Если размеры трещин в поперечном сечении меньше приведенных величин, то газовые молекулы не могут проникнуть внутрь полостей, которые находятся в разреженном состоянии и втягивают молекулы газов при разрежении (давлении) примерно 0,1 МПа.

Обращаясь к инженерной геологии [12] находим, что адсорбированный газ прочно удерживается глинистыми частицами и может быть вытеснен с поверхности частиц только молекулами воды при увлажнении грунта.

Применительно к гидратации цемента, молекулы воды вытесняют с поверхности устьев трещины газовые молекулы и занимают их место. Способность воды проникать внутрь вакуумной полости и заполнять ее объем объясняется меньшим размером молекулы

воды ($2,76 \text{ \AA}$) по сравнению с молекулами газа: по отношению к азоту – в 1,34; к кислороду в 1,30; к углекислоте – в 1,59 и к окиси углерода – в 1,34 раза. Однако отверстие устья полости размером в одну молекулу воды недостаточно для интенсивного заполнения объема водой. Мы полагаем, что кроме изложенного механизма миграции воды в вакуумную полость возможны следующие механизмы.

1. Глубина гидратации минералов цементного клинкера через 3 ч после затворения водой составляет [14]: $C_3A - 4,35 \text{ мкм}$ и $C_3S - 1,68 \text{ мкм}$. Для обоснования механизма миграции воды в вакуумную полость принимаем среднюю глубину гидратации промышленного цемента через 3 ч, равную $0,05 \text{ мкм}$, получим $(0,05/2,76 \times 10^{-4})$ размер отверстия вакуумной полости, равный около 200 диаметрам молекулы воды. Этой величины отверстия будет достаточно для интенсивного поступления воды в вакуумную полость под давлением $0,1 \text{ МПа}$.

2. Перекрытое газовыми молекулами устье полости может иметь овальную или круглую форму. Гидратация цемента сопровождается выделением тепла, и при повышении температуры сечение отверстий будет увеличиваться для поступления воды в вакуумную полость.

3. В процессе помола клинкера происходит деформация кристаллических решеток с образованием различных дефектов, в том числе и вакуумных полостей, устья которых блокированы аморфизованным слоем, препятствующим проникновению газовых молекул внутрь полости. По мере адсорбционной пептизации аморфизованного слоя устье полости освобождается для втягивания в неё воды.

В большинстве случаев внутренние полости могут иметь большие размеры, чем характеризуются входным устьем трещины. Кроме того, внутренние дефекты в виде трещин имеют разветвленный характер, и ими пронизан весь объем цементного зерна (рисунок 1, а). При заполнении внутреннего объема полостей водой происходят гидратационные процессы с образованием цементного геля.

Наличие вакуума в полости до заполнения её водой свидетельствует о вакуумной силе, которая стягивает всю поверхность (стенки) полости внутрь, создавая в них напряжения сжатия. После наполнения полости водой напряжения сжатия снимаются, происходит их релаксация и возникают уже растягивающие силы и напряжения, которые стремятся раздвинуть стенки полости. Таким образом, происходит обратный процесс: на образование полости необходимо было затратить работу (усилие) растяжения не только на преодоление молекулярных связей, но и на создание вакуумной полости. В тупиковых частях полости, размер которых меньше диаметра молекулы воды ($2,76 \text{ \AA}$), сохраняется разреженное пространство, вакуумная сила (давление) действует на молекулы воды или гидратированные молекулы минералов цементного клинкера и втягивает их в клиновидную полость с усилием $0,1 \text{ МПа}$. Такое усилие в тупиковых (клинковых – по определению П.А. Ребиндера) порах создается по всему периметру поры, трещины, полости. Оно стремится раздвинуть, расклинить, разъединить стенки, формирующие полость. В этом, по нашему мнению, и заключается один из механизмов расклинивающего действия воды как в дисперсных, так и монолитных структурах (рисунок 1, б).

А.М. Невилль физико-химическими расчетами показал, что абсолютный объем цемента при гидратации увеличивается примерно в 2,2 раза. А.В. Волженский [4], ссылаясь на опыты, отмечает, что на увеличение объема твердой фазы обычных и некоторых специальных цементов большую роль играет этtringит. Увеличение объема твердой фазы с промежутками между ее частичками может быть в 4,6 и даже в 9,52 раза по сравнению с исходным объемом. При любом увеличении объема гидратированного материала, превышающего объем полости, в ней возникают давление на все стенки и растягивающие напряжения, которые могут привести к разъединению стенок полости и разделению цементного зерна по границам дефектов.

Таким образом, в полости возникают растягивающие напряжения, вызванные следующими механизмами:

1. Снятием напряжений сжатия стенок полости вакуумными силами после заполнения её водой.

2. Созданием расклинивающего давления в тупиковых частях объема полости молекулами воды или продуктами гидратации цемента.

3. Увеличением объема гидратированных минералов, превышающим объем полости.

Изложенное подтверждает приводимые результаты исследований в работах П.А. Ребиндера и Е.Е. Сегаловой [15] и С.В. Шестоперова [2], хотя трактовка механизмов измельчения зерен цемента при объединении с водой имеет отличия. П.А. Ребиндер и Е.Е. Сегалова отмечают, что при адсорбционной пептизации частиц цемента разрушение (измельчение) происходит и без значительного механического воздействия при затворении с водой в результате проникновения адсорбционных слоев воды в глубь микрощелей. Наряду с этим происходит своеобразное явление химической пептизации в результате гидратации, протекающей в микрощелях и приводящей к значительному увеличению объема кристаллической решетки при внедрении в нее молекул воды. Возникающие при этом внутренние растягивающие напряжения разрывают кристаллики по наиболее слабым местам.

С. В. Шестоперов считает, что с течением времени поверхность зерен цемента вследствие физико-химических процессов между цементом и водой увеличивается в несколько сотен раз. Вода связывается с новыми поверхностями цемента, который как бы непрерывно подвергается дальнейшему дроблению в своеобразной «коллоидной мельнице».

Следует отметить, что приводимые физико-химические процессы по измельчению зерен цемента связаны с вакуумными полостями, происходящими в них гидратационными процессами и механизмами разрушения зерен цемента, описанными выше.

По данным исследований Г.С. Ходакова [11], измельчение кварца вызывает пластическую деформацию кристаллической решетки с образованием аморфного кремнезема, удельная поверхность которого может достигать 50-60 м²/г и более. При помоле клинкера наблюдается аморфизация других силикатных материалов [9]. Мы полагаем, что при измельчении кристаллическая решетка минералов разрушается на поверхности зерен на отдельные частички, которые смещаются относительно друг друга и формируют новую «упаковку». Частицы малого размера образуют соответствующие им вакуумные поры за счет перераспределения вакуумных объемов в микротрещинах. Разрежение в порах с давлением 0,1 МПа обеспечивает скрепление аморфизованных частичек цемента в плотной «упаковке». Одновременно действуют и силы молекулярного притяжения, величины которых относительно малы. Частицы малых размеров заклинивают поверхностные дефекты на зернах цемента, которые при гидратации, по-видимому, представляют собой активные центры.

Таким образом, аморфизованный слой или отдельные участки на цементном зерне сформирован из мелких частичек, между которыми отсутствует химическая связь. Если устранить вакуумную силу, то произойдет их разъединение. Вакуумная сила устраняется молекулами воды, которые вытесняют сначала молекулы воздуха в устьях поры, а затем проникают между частичками, расклинивая их. Этим объясняется первый этап пептизации цементных зерен, которая по определению П.А. Ребиндера и Е. Е. Сегаловой называется адсорбционной, а С. В. Шестоперов этот физико-химический процесс называет дроблением в своеобразной «коллоидной мельнице».

С учетом изложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Приводимые в научно-технической литературе механизмы образования вакуума в твердеющей цементной системе являются противоречивыми, констатирующими наличие вакуума как следствие без глубокого выявления причин. С явлением контракции связывают скорость гидратации и твердения цемента, конечной прочности. Однако научно обоснованного механизма образования вакуума в процессе гидратации цемента до настоящего времени не выявлено.

2. Авторы настоящей работы предложили следующий механизм образования вакуума в процессе гидратации цемента. Он связан с замкнутыми порами цемента (поры, трещины, полости и другие дефекты структуры), объем которых не заполнен молекулами газов воздуха или газовыми продуктами сгорания топлива в процессе обжига клинкера. Образование замк-

нутых вакуумных полостей в цементных зернах происходит в три периода: при охлаждении расплава, при охлаждении клинкера и его измельчении.

3. Дано уточнение «замкнутых» пор. Они либо не сообщаются с внешней поверхностью зерен цемента, либо сообщаются. В этом случае размер по высоте устьев поры меньше размера газовой молекулы воздуха.

4. Раскрытие устья полости для всасывания воды в вакуумный объем осуществляется:

а) вытеснением молекулами воды газовых молекул воздуха, блокирующим устье поры; б) гидратацией цемента на достаточную глубину с увеличением размера устья полости; в) повышением температуры цементного теста при гидратации и раскрытии устья полости; г) адсорбционной пептизацией аморфизованных частичек цемента, сопровождаемой раскрытием устья – активных центров.

5. Раскрытие устья вакуумной полости обеспечивает всасывание в нее воды под давлением 0,1 МПа, гидратацию в ней минералов клинкера и вследствие увеличения объема геля создание в полости давления и растягивающих напряжений. Кроме того, вода или молекулы геля по периметру полости втягиваются в клиновидные трещины, расклиная (разъединяя) зерно цемента на отдельные частицы. При заполнении вакуумной полости водой обеспечивается снятие вакуумных сжимающих сил к центру полости и появлению растягивающих напряжений. Все три механизма обеспечивают разрыв зерна цемента на отдельные частицы с образованием дополнительной поверхности для гидратации. Изложенный механизм измельчения цемента хорошо согласуется с адсорбционной и химической пептизацией цемента в результате проникновения слоев воды в глубь микрощелей (П.А. Ребиндер и Е.Е. Сегалова), а также с образованием новых поверхностей цемента, который как бы непрерывно подвергается дальнейшему дроблению в своеобразной «коллоидной мельнице» (С.В. Шестоперов).

6. Всасывание воды в вакуумные полости объясняет механизм контракции цемента и развивающийся в нем вакуум.

7. Разрыв гидратных пленок вокруг цементного зерна вызван раздвижкой цементных частичек, образовавшихся в результате адсорбционной и химической пептизации зерен цемента.

8. Аморфизованный слой на зернах цемента представляет тонкие фракции частичек цемента, которые плотно упакованы разрушающими ударами мелющих тел и находятся в связанном состоянии под действием вакуумных и молекулярных сил. Разъединение частичек аморфизованного слоя происходит в результате адсорбционной пептизации молекулами воды.

9. Повышение удельной поверхности цемента при длительном хранении и мокром помоле объясняется частичной гидратацией аморфизованных поверхностей зерен цемента молекулами парообразной влаги в результате адсорбционной пептизации и отделением частичек от цементного зерна.

10. Химическая активность цемента при длительном помолу клинкера объясняется более тонким измельчением поверхностных аморфизованных слоев и увеличением дефектности структуры.

Результаты выполненных теоретических исследований дают основание уточнить некоторые положения теории гидратации цемента.

Литература

1. Справочник по химии цемента [Текст] / Ю.М. Бутт, Б.В. Волконский, Г.Б. Егоров и др. Под ред. Б.В. Волконского и Л.Г. Судакаса. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1980. – 224 с.

2. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений [Текст] / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966. – 500 с.

3. Рояк, С.М. Специальные цементы [Текст] / С.М. Рояк, Г.С. Рояк. – Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.

4. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст]: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перер. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
5. К вопросу о гидратации и твердении цемента [Текст] // Доклады междунар. конф. по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобет. конструкций / Ю.С. Малинин, Л.Я. Лопатникова, В.И. Гусева и др. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 89-90.
6. Пшеничный, Г.Н. Гидратация клинкерного зерна – глубинный или поверхностный процесс? [Текст] / Г.Н. Пшеничный. – Технологии бетонов. – 2008. – № 10. – С. 50-52.
7. Шестаков, В.Л. Влияние режима охлаждения и модифицирующих примесей на свойства затвердевшего клинкерного расплава [Текст] / В.Л. Шестаков, В.З. Пироцкий // Шестой международный конгресс по химии цемента. т. I, М.: Стройиздат, 1976. – С. 183-186.
8. Кравченко, И.В. Высокопрочные и особобыстротвердеющие портландцементы [Текст] / И.В. Кравченко, М.Т. Власова, Б.Э. Юдович. – М.: Стройиздат, 1971. – 232 с.
9. Теория цемента [Текст] / Под ред. А.А. Пашенко. – К.: Будивельник, 1991. – 168 с.
10. Щуров, А.Ф., Физические модели ранних стадий твердения вяжущих веществ [Текст] / А.Ф. Щуров, М. А. Сорочкин, Т.А. Ершова // Шестой международный конгресс по химии цемента. т. II, кн. 1. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 76-80.
11. Ходаков, Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов [Текст] / Г.С. Ходаков. – М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.
12. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы [Текст] / Под ред. акад. Сергеева Е.М. – М.: Недра, 1985. – 288 с.
13. Краткий физико-технический словарь [Текст] / Под общей ред. К.П. Яковлева. Том первый. Математика, физика. – М.: Физматиздат, 1960. – 446 с.
14. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст] / В.И. Бабушкин. – М.: Стройиздат, 1968. – 188 с.
15. Ребиндер, П.А. Новые проблемы коллоидной химии минеральных вяжущих материалов [Текст] / П.А. Ребиндер, Е.Е. Сегалова // Природа, № 12, 1952. – С. 45-51.

Лукутцова Н.П.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
 Доктор технических наук, профессор
 Тел. 8(4832)740513
 E-mail natali58-58@mail.ru

Анисимов П.В.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
 Кандидат технических наук, доцент
 Тел. 8(4832)740568
 E-mail bgita@mail.ru

УДК 666.974.2

ФЕДОСОВ С.В., СЕРЁГИН Г.В., ЧУЖБИНКИНА И.Е.

ЖАРОСТОЙКИЙ ФИБРОПЕНОБЕТОН

Разработаны и исследованы составы жаростойкого теплоизоляционного фибропенобетона на глинозёмистом цементе, которые могут применяться при изготовлении и ремонте монолитных и сборных футеровок тепловых агрегатов с температурой применения 800-1200°С. Удовлетворяет требованиям ГОСТ 209010-90 "Бетоны жаростойкие. Технические условия".

Ключевые слова: тепловой агрегат, жаростойкий бетон.

Developed and investigated compositions of heat-resistant insulating fiber foam concrete on alumina cement, which can be used in making and reconditioning of monolithic and modular fettlings of thermal aggregates with the temperature of application of 800-1200°C. Satisfy the requirements of GOST 209010-90 "Heat-resistant concretes. Specifications".

Key words: the thermal unit, heat resisting concrete.

В последнее время практически во всех промышленно развитых странах внимание специалистов привлекают бетоны, армированные различными волокнами: стальными, базальтовыми, стеклянными, полимерными и др. Эти бетоны обладают по сравнению с традиционными повышенной прочностью на растяжение при изгибе, более высокой ударо- и трещиностойкостью. Дисперсное армирование полностью исключает появление и развитие усадочных трещин в процессе твердения и последующей эксплуатации материала [1].

По показателю сопротивления разрушающим воздействиям фибробетон может в 15 – 20 раз превосходить бетон. Это обеспечивает ему высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях и при их ремонте.

В результате исследований и опытно-промышленных работ, проведённых в СПбГАСУ, установлено, что введение полимерных волокон в пенобетонные смеси позволяет в 2 – 2,5 раза увеличить прочность при изгибе, до 1,5 раз – прочность при сжатии [2]. Разработанный автором дисперсноармированный сланцезольный пенобетон не уменьшает прочность при изгибе даже после 100 циклов попеременного увлажнения и высушивания, вызывающего значительные знакопеременные деформации, при этом в отсутствие дисперсной арматуры образцы разрушались после 6 – 7 циклов попеременного увлажнения и высушивания.

Авторами статьи проведены исследования по разработке составов жаростойкого пенобетона на глинозёмистом цементе [3], который обеспечивает высокую температуру службы, значительную начальную и остаточную прочность после нагревания до высоких температур, пригоден для применения в качестве тепловой изоляции, взамен штучных обжиговых легко-весных огнеупоров. Глинозёмистые цементы имеют снижение прочности при нагревании до 1000°С, для них наиболее целесообразная температура службы 1200 – 1500°С. В качестве добавки, снижающей В/Т отношение был применён суперпластификатор С-3. Наши исследования гидратации глинозёмистого цемента и чистых модельных систем показали, что добавка суперпластификатора С-3 к глинозёмистому цементу тормозит или даже предотвращает процесс превращения CAH_{10} и C_2AH_8 в C_3AH_6 и приводит к повышению остаточной прочности цементного камня, после нагревания, и термической стойкости жаростойкого бетона [4, 5].

Отечественной промышленностью изготавливается алюмосиликатное волокно, предназначенное для службы при 1150°С, оно и было выбрано для дисперсного армирования жаростойкого пенобетона на основе глинозёмистого цемента.

Важнейшей характеристикой фибробетона является его прочность на растяжение. Она важна как прямая характеристика материала, так и косвенная, отражающая его сопротивление другим воздействиям, например температурным деформациям при попеременном нагревании до высоких температур и охлаждении во время испытаний жаростойкого бетона на

термическую стойкость, что определяет, в конечном счете, долговечность, как обжиговых огнеупоров, так и жаростойких бетонов и набивных масс.

Для оптимизации состава жаростойкого пенобетона и возможности проведения статистической обработки результатов измерений, был спланирован и проведён активный полный факторный эксперимент второго порядка для двух переменных. По результатам эксперимента получены уравнения регрессии, адекватно описывающие изменения средней плотности и прочности при сжатии жаростойкого пенобетона после сушки и обжига, в зависимости от расхода компонентов смеси (глинозёмистого цемента, суперпластификатора С-3, алюмосиликатного волокна) и степень их влияния на указанные свойства.

Зависимость средней плотности после сушки образцов жаростойкого фибропенобетона от расхода суперпластификатора С-3 и алюмосиликатного волокна, представлена на рисунке 1, уравнение имеет вид:

$$\gamma_0^{110} = 514 - 93 \cdot x_1 - 48 \cdot x_2 + 49,5 \cdot x_1^2 + 254,5 \cdot x_2^2 + 140 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (1)$$

Следующим критерием качества является средняя плотность после обжига при высоких температурах, которая оказывает влияние на теплозащитные свойства материала, который и будет работать при нагреве.

Зависимость средней плотности после обжига образцов фибропенобетона от расхода суперпластификатора С-3 и алюмосиликатного волокна, представлена на рисунке 2, уравнение имеет вид:

$$\gamma_0^{1000} = 423 - 121 \cdot x_1 - 59,2 \cdot x_2 + 32 \cdot x_1^2 + 282 \cdot x_2^2 + 131 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (2)$$

Анализ приведённого уравнения показывает, что среднее значение параметра выхода в период эксплуатации, то есть в нагретом состоянии $\gamma_0^{1000} \approx 420 \pm 64 \text{ кг/м}^3$ с учётом среднестатистической ошибки эксперимента, что характерно для лучших марок легковесных огнеупоров [6].

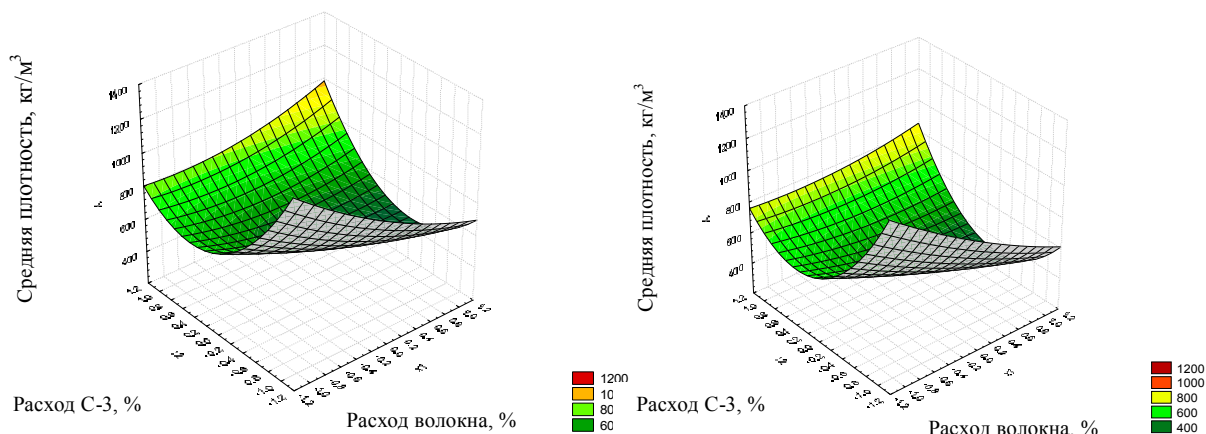


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности жаростойкого фибропенобетона после сушки от расхода суперпластификатора С-3 и волокна

Рисунок 2 – Зависимость средней плотности жаростойкого фибропенобетона после обжига при 1000°C от расхода суперпластификатора С-3 и волокна

Зависимость прочности при сжатии образцов жаростойкого фибропенобетона после сушки от расхода суперпластификатора С-3 и волокна представлена на рисунке 3, уравнение имеет вид: $R_{сж}^{110} = 2,9 - 3,4 \cdot x_1 - 2,7 \cdot x_2 + 4,8 \cdot x_1^2 + 10,5 \cdot x_2^2 + 5,2 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3)$

Анализ результатов эксперимента, уравнения 1 и 3 и их сравнение показывает, что прочность при сжатии после сушки при средней плотности приблизительно 514 кг/м^3 равна 2,9 МПа, что является достаточно высоким показателем для всех видов ячеистого бетона как обычных, так и жаростойких.

Зависимость прочности при сжатии образцов жаростойкого фибропенобетона после обжига при 1000°C от расхода суперпластификатора С-3 и волокна, представлена на рисунке 4, уравнение имеет вид: $R_{сж}^{1000} = 1,2 - 1,3 \cdot x_1 - 0,84 \cdot x_2 + 1,3 \cdot x_1^2 + 2,5 \cdot x_2^2 + 0,9 \cdot x_1 \cdot x_2$. (4)

Как показывают результаты эксперимента можно получить как конструктивно – теплоизоляционный материал, плотностью порядка 1000 кг/м³ и остаточной прочностью после нагревания 8,0 МПа, так и теплоизоляционный с плотностью 350-400 кг/м³ и при этом вполне удовлетворительной прочностью 0,7-1,0 МПа.

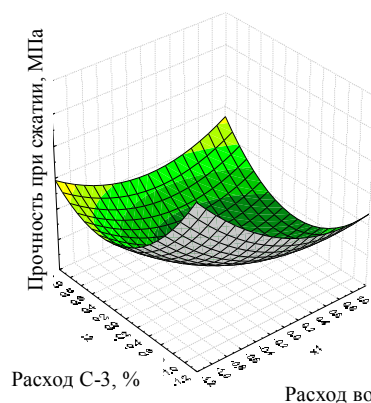
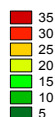
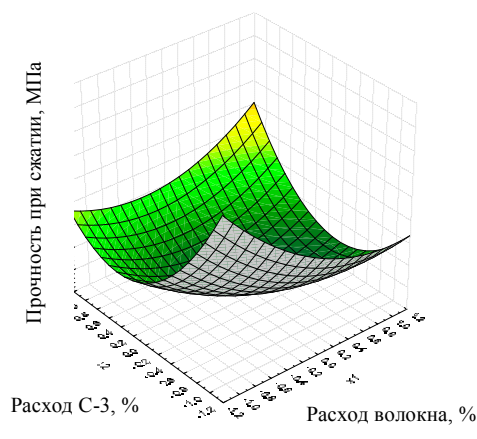


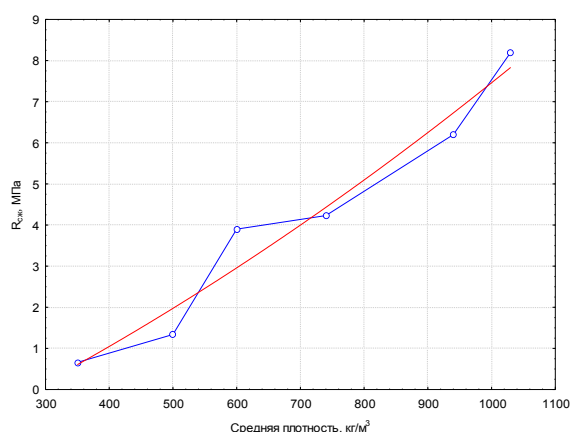
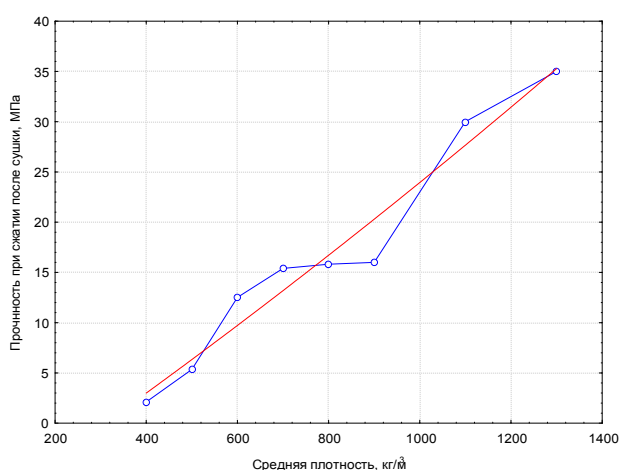
Рисунок 3 – Зависимость прочности при сжатии жаростойкого фибропенобетона после сушки от расхода суперпластификатора С-3 и волокна

Рисунок 4 – Зависимость прочности при сжатии образцов жаростойкого фибропенобетона после обжига при 1000°C от расхода суперпластификатора С-3 и волокна

Результаты эксперимента по исследованию изменения прочности в зависимости от средней плотности представлены на рисунках 5, 6, уравнения имеют вид:

$$R_{сж}^{110} = -9,7 + 0,03 \cdot x + 3,17 \cdot 10^{-6} \cdot x^2; \quad (5)$$

$$R_{сж}^{1000} = -2,1 + 6,7 \cdot 10^{-3} \cdot x + 2,8 \cdot 10^{-6} \cdot x^2. \quad (6)$$



—○— экспериментальные данные
— аппроксимация

Рисунок 5 – Зависимость прочности при сжатии после сушки от средней плотности

Рисунок 6 – Зависимость прочности при сжатии после обжига при 1000°C от средней плотности

Исследованная зависимость $R_{сж}^{1000} \cdot f(\gamma_0)$ (прочность – плотность) дает возможность практически выбирать нужный материал для конкретных условий эксплуатации теплового агрегата.

Из серий, давших наилучшие показатели по прочности при сжатии, оставляли по два образца для стандартных испытаний на показатель по термической стойкости при попеременном нагревании и охлаждении по ГОСТ 20910.

Проведённые исследования позволяют назначать составы как теплоизоляционного, так и конструктивно-теплоизоляционного фибропенобетона со средней плотностью от 350 до 1000 кг/м³ и более и остаточной прочностью после обжига при 1000°C (температуре, являющейся критической, дающей минимальные результаты) от 0,7 до 30 МПа в указанном диапазоне, что соответствует лучшим маркам легковесных и ультралегковесных огнеупоров.

Свойства дисперсно армированного жаростойкого пенобетона с точки зрения долговечности существенно улучшаются. Сравнительными испытаниями пенобетона без модифицирующей добавки С-3 и дисперсного армирования с фибробетоном при различных дозировках указанных добавок установлено, что добавка суперпластификатора С-3 (1-3%) в 3 раза повышает термическую стойкость пенобетона, прочность, снижает усадку, а дополнительное дисперсное армирование ещё в 2 раза увеличивает термическую стойкость и существенно снижает среднюю плотность материала. Так, термическая стойкость, т.е. число теплосмен без разрушения у контрольных образцов равно 3, при средней плотности 400 кг/м³, добавка суперпластификатора увеличивает число теплосмен до 9, а добавка дисперсного армирования, при оптимальной дозировке суперпластификатора, до 17 теплосмен. Это свидетельствует об увеличении долговечности жаростойкого пенобетона в 4 и более раз в сравнении с обжиговыми огнеупорами. Это, в свою очередь, увеличивает межремонтные сроки тепловых агрегатов, существенно сокращает затраты на ремонт, и, кроме того сокращает теплопотери при эксплуатации.

Литература

1. Малинина, Л.А. Опыт изготовления изделий из фибробетона в СССР и за рубежом [Текст] / Л.А. Малинина, К.М. Королёв, В.П. Рыбасов. – М.: Обзорная информация ВНИИ-ЭСМ, серия 3, вып. 3, 1981. – С. 56 – 60.
2. Пухаренко, Ю.В. Прочность и долговечность ячеистого фибробетона [Текст] / Ю.В. Пухаренко // Строит. Материалы, 2004. – №12. – С. 40-41.
3. Федосов, С.В. Жаростойкий пенобетон на основе глинозёмистого цемента [Текст] / С.В. Федосов, Г.В. Серёгин, И.Е. Чужбинкина // Вестник центрального регионального отделения РААСН, вып. 4. Воронеж – Иваново: ИГАСА, 2005. – С. 19-23.
4. Рекомендации по применению добавок суперпластификаторов в производстве сборного и монолитного железобетона [Текст] – М.: ОНТИ НИИЖБ, 1987. – 95 с.
5. Федосов, С.В. Физико-химические исследования гидратации чистых модельных систем и глинозёмистого цемента [Текст] / С.В. Федосов, Г.В. Серёгин, И.Е. Чужбинкина // Фундаментальные проблемы комплексного использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов: Материалы Международной научной конференции. – Изд. КНЦ РАН, 2003. – С. 153-155.

Федосов С.В.

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново
Чл.-корр. РААСН, доктор технических наук
E-mail: inf@igasa.ru

Геннадий В.С.

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново
Кандидат технических наук, профессор
Тел.: т. (4932) 541351
E-mail: inf@igasa.ru

Ирина Е.Ч.

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, г. Иваново
Ассистент
E-mail: irinachuz77@mail.ru

УДК 656.13:56.011.54/56

БАКАЕВА Н.В.

К ПОСТРОЕНИЮ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ

Произведена функциональная декомпозиция целей и подцелей для системы технического сервиса автотранспортных средств (ТСА). Определена основная цель системы с учетом требований современных вызовов и угроз и в соответствии с действующей на сегодня в Российской Федерации нормативно-правовой базой. Для оценки эффективности функционирования системы ТСА предложен интегральный критерий безопасности на основе показателя риска, складывающийся из вероятности возникновения рисковог о обстоятельства и ущерба его осуществления.

Ключевые слова: интегральный критерий безопасности, сервис, риск.

Functional decomposition of the purposes and подцелей for system of technical service of vehicles (TSV) is made. The basic purpose of system is determined in view of requirements of modern calls and threats and according to legal base working for today in the Russian Federation. For an estimation of efficiency of functioning of system TSV the integrated criterion of safety is offered on the basis of a parameter of the risk, developing of probability of occurrence of brave circumstance and damage of his realization.

Key words: integrated criterion of safety, service, risk.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам обеспечения безопасности среды обитания человека в последние десятилетия уделяется все большее внимание государственных органов, ученых и специалистов [1, 2]. Автомобильный транспорт является одним из факторов повышенного риска для населения и окружающей среды [3]. К настоящему времени остро проявляются отчасти стратегически неверные подходы к решению автотранспортных проблем отдельных регионов [4]. Так, например, по оценкам специалистов [2, 5], менее половины городов нашей страны имеют современные генеральные планы и другие планировочные решения, учитывающие элементы автотранспортной инфраструктуры и ее согласованного развития. Большинство городов России оказалось непригодным к восприятию растущего количества автотранспортных средств (АТС), к организации их потоков, к размещению стоянок и одновременному учету экологического аспекта транспортного процесса с аспектом дорожно-транспортной аварийности [3, 5]. Учитывая ежегодный экологический ущерб от воздействия автотранспортного комплекса (АТК) и количество пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), проблемы развития технического сервиса автомобилей, связанные, в первую очередь, с обеспечением дорожной и экологической безопасности на сегодняшний день являются сверх актуальными для нашей страны.

Транспортной стратегией Российской Федерации [6] определено, что генеральной целью функционирования и развития АТК является обеспечение экономического роста, повышение качества жизни и других жизненно важных национальных интересов. Подобные инициативы содержатся и во многих законодательных актах [7 и др.], отраслевых нормативных документах [8 и др.], концепциях развития АТК и общества на перспективный период [9 и др.]. Сложившаяся практика в отрасли показывает, что чаще всего критерием эффективности функционирования различных транспортных систем и их подсистем служит максимум прибыли и расширение масштабов бизнеса, а не сбалансированность и устойчивость среды обитания на основе приоритетов функциональности, ресурсосбережения, экологичности и безо-

пасности. Как результат, налицо проявление системных отрицательных последствий: увеличение количества ДТП и пострадавших в них, рост потребления невозобновляемых ресурсов и вредных выбросов от АТС и бесконтрольных не утилизируемых отходов от предприятий ТСА, увеличение ущерба от этих воздействий, и, соответственно, рост затрат на содержание и развитие объектов автотранспортной инфраструктуры.

Идеи и подходы устойчивого развития транспортных систем уже частично апробированы в целом ряде стран. В документе ЕКМТ СЕМТ/СМ (2005) 12 "Реализация устойчивой городской транспортной политики" [10] было отмечено, что, хотя определения и критерии устойчивости транспортной деятельности, используемые в различных странах и городах, различаются в деталях и зачастую остаются достаточно нечеткими, в большинстве из них устойчивая работа транспорта связана с улучшением качества жизни городского населения, включая обеспечение доступности услуг и их качества, нанесение ущерба здоровью людей и окружающей среде. Таким образом, устойчивое развитие систем автотранспорта, в т.ч. и системы ТСА, представляет собой процесс, уменьшающий системные отрицательные последствия, снижающий вероятность реализации угроз и не порождающий новые вызовы.

С этих позиций постановка современных функциональных задач устойчивого развития автосервиса в условиях структурной перестройки экономики, в т.ч. и в чрезвычайных и кризисных ситуациях, должна производиться на основе приоритетов безопасности. Достижение показателей дорожной, экологической и экономической безопасности с целью повышения качества жизни населения становится главной организационной целью функционирования системы ТСА и рассматривается как непрерывный процесс, являющийся частью процесса устойчивого развития.

С этих позиций безопасность технического сервиса АТС, как комплексный показатель, включает следующие составляющие:

- защиту интересов автовладельцев в сфере оказываемых услуг (работ);
- безопасную эксплуатацию АТС на протяжении всего жизненного цикла;
- биосферно-совместимую и функциональную инфраструктуру ТСА;
- дорожно-транспортную, экологическую, экономическую, социальную и информационную ее составляющие.

Формирование целевого критерия эффективности функционирования системы ТСА начнем с упорядочивания целей и подцелей рассматриваемой системы, выражая их соподчинение и внутренние взаимосвязи.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЦЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ТСА

Произведем построение дерева целей (ДЦ) для системы ТСА, реализуя тем самым известный в практике управления сложными и большими системами декомпозиционный (многоуровневый) подход, обеспечивающий снижение размерности задачи исследования [11 и др.]. В рамках этого подхода на сегодняшний день выполнено построение верхних ярусов ДЦ транспортного комплекса Российской Федерации [12], нескольких ярусов дерева систем технической эксплуатации автомобилей и ее подсистемы «Инженерно-техническая служба АТП» [14]. Конкретизируем ранее поставленные цели и выделим новые, актуальные для настоящего периода реструктуризации экономики и ТСА.

На рисунке 1 представлен фрагмент ДЦ (верхние ярусы) системы ТСА, выполненный на основе декомпозиционного подхода. Генеральной целью системы Ц₀ является обеспечение комплексной безопасности среды обитания человека от функционирования ТСА в контексте его устойчивого развития. Целями первого уровня рассматриваемой системы ТСА являются следующие:

Ц¹₀₁ - обеспечение удовлетворенности потребностей автовладельцев по объему и ассортименту оказываемых услуг (работ). Удовлетворение спроса по объему и номенклатуре услуг возможно в том случае, если мощности автосервиса соответствуют объему потребностей в услугах. Формирование и развитие рынка автосервисных услуг должно происходить адекватно росту спроса различных сегментов потребителей-автовладельцев на основе учета

факторов эксплуатации и прогнозирования потребностей. Изучение спроса в части ассортимента услуг, их структуры позволяет рационально развивать рынок ТСА и оптимизировать производственные мощности предприятий автосервиса, оценивать конкурентоспособность и перспективы развития, дает возможность принимать наиболее верные управленческие решения в области безопасного функционирования рынка услуг ТСА.

Ц¹₀₂ - обеспечение надежной и безопасной эксплуатации АТС в течение всего жизненного цикла. Данная подцель достигается организацией комплексного контроля за соблюдением правил технической эксплуатации автомобилей, в том числе при их хранении, оказании услуг по техническому обслуживанию и ремонту, при периодическом техническом осмотре и экологическом надзоре. Важным аспектом в вопросе обеспечения безопасности является управление техническим состоянием АТС в течение всего срока их эксплуатации на основе анализа процессов изменения технического состояния, а также в процессе поддержания и восстановления работоспособности АТС.

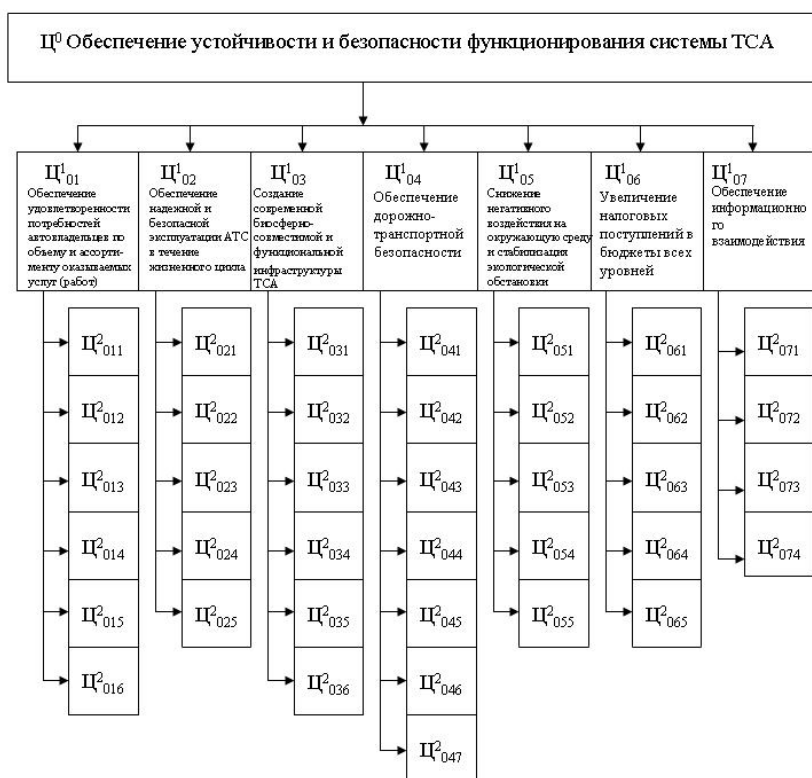


Рисунок 1 – Фрагмент ДЦ системы ТСА

Ц¹₀₃ – создание современной биосферно-совместимой и функционально-достаточной инфраструктуры ТСА. Обозначенная подцель достигается организацией сети предприятий автосервиса, корпоративных, многоступенчатых объединений предприятий ТСА не только разной мощности, но и безопасного для окружающей среды функционального назначения. Современная инфраструктура ТСА подразумевает сбалансированное развитие биосферы и техносферы за счет минимизации потенциального загрязнения окружающей среды и снижение вероятности угрозы отрицательного воздействия, а главное, реализации способности биосферы к очищению и самовоспроизводству (саморазвитию).

Достижение подцели предполагается созданием производственно-технической базы в соответствии с рекомендациями и требованиями технических, градостроительных и экологических регламентов, гарантирующих эффективную защиту прав потребителей услуг, необходимый уровень безопасности транспортных процессов и защиту окружающей среды от вредных воздействий автомобильного транспорта.

Ц¹₀₄ – обеспечение дорожно-транспортной безопасности. Данная подцель подразумевает комплексное совершенствование форм и методов обеспечения БДД и создание системы управления безопасностью, при которой на всех стадиях жизненного цикла АТС отсутствует недопустимый риск вреда или ущерба при соблюдении требований норм и правил. При этом следует ожидать увеличение числа АТС, имеющих техническое состояние в соответствии с нормативными показателями, что приведет к снижению количеств ДТП и уменьшению ущерба от их возникновения. Вопрос реализации цели непосредственным образом связан с периодичностью технического осмотра, качеством технического обслуживания и ремонта АТС, выполняемых автосервисными предприятиями.

Ц¹₀₅ – снижение негативного воздействия на окружающую среду и стабилизация экологической обстановки. Данная подцель достигается обеспечением заданного уровня экологической безопасности от АТС, находящихся в эксплуатации и от функционирования предприятий ТСА, в соответствии с требованиями правовых и нормативных документов. Подразумевает реализацию механизмов эффективного контроля технического состояния эксплуатирующихся АТС и управляющих воздействий при отклонении параметров от нормативных значений. Включает в себя механизмы ограничения доступа и вытеснения с рынка автосервисных предприятий, не отвечающих требованиям нормативной базы и экологического законодательства, формирования новых требований, рекомендаций и положений деятельности предприятий и других элементов инфраструктуры ТСА на основе концепции биосферной совместимости.

Ц¹₀₆ – увеличение налоговых поступлений в бюджеты всех уровней. Достижение поставленной цели и управление подсистемами, способствующими ее реализации, должно быть основано на сочетании принципов государственного регулирования и отраслевого самоуправления, уточнения функций и полномочий административного контроля и надзора в сфере автобизнеса. Ряд подцелей формируют внешние условия для организации ТСА и его привлекательности, а также обеспечат разработку механизмов вывода из теневого бизнеса предприятий ТСА и создания цивилизованного рынка автосервисных услуг. К ним можно отнести наличие адекватной нормативно-правовой базы, регламентирующей требования к предприятиям автосервиса и порядок их деятельности на рынке автосервисных услуг; рациональное землепользование; природоохранную деятельность; формирование нормативно-технического, организационно-методического, технологического, регламентного и информационного обеспечения системы автосервиса; развитие системы подготовки и переподготовки кадров; создание привлекательных условий инвестирования и кредитования автосервисных предприятий и другие.

Ц¹₀₇ – обеспечение информационного взаимодействия между предприятиями ТСА, заинтересованными организациями, соответствующими службами (налоговая инспекция, пенсионный фонд, комитеты и управления администраций районов и городов, курирующих автотранспортную сферу, экологические и дорожные службы) и собственниками АТС. Реализация поставленной цели позволит оперативно реагировать на изменение конъюнктуры рынка услуг ТСА, предоставление вакансий по трудоустройству, дорожную и экологическую ситуации в пределах муниципальных образований.

Достижение генеральной цели системы подразумевает разработку целевой функции и построение критерия эффективности функционирования системы ТСА.

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТСА

В качестве критерия эффективности функционирования системы ТСА будем рассматривать достижение показателей безопасности. Обеспечение безопасности среды обитания от воздействия АТК может выражаться в превентивных мерах (периодический контроль технического состояния АТС, организационные решения в области БДД, экологический мониторинг и др.), либо в процедурах финансового компенсирования убытков материального и социального характера. Каждый вид ущерба характеризуется вероятностью его появления и весомостью последствия.

Для оценки эффективности функционирования системы ТСА нами предлагается интегральный критерий безопасности на основе показателя риска, складывающийся из вероятности возникновения рисковог о обстоятельства и ущерба его осуществления:

$$R = f_r \{P, U\} = \sum_k \sum_i [f(P_{ik}, U_{ik})], \quad (1)$$

где P_{ik} – вероятность возникновения i -того рисковог о обстоятельства от воздействия k – элемента системы; U_{ik} – общий (суммарный) ущерб от возникновения i -тых рисковог о обстоятельств различного характера от воздействия k – элементов системы.

Минимизация вероятности возникновения рисковог о обстоятельств и математического ожидания ущерба от их реализации будет способствовать эффективному функционированию системы ТСА, т.е. целевую функцию для рассматриваемой системы можно записать в следующем виде:

$$R = f_r \{P, U\} = \sum_k \sum_i [f(P_{ik}, U_{ik})] \rightarrow \min. \quad (2)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РИСКОВЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВ

Вероятность возникновения рисковог о обстоятельства определяется как обобщенный функционал вероятностей, зависящий от субъектов рисковог о обстоятельств – предприятий ТСА, АТС и объектов их воздействия – среду обитания человека. Для рассматриваемой системы примем риск возникновения: неудовлетворенности клиентов от оказания услуг ТСА, ДТП и негативного воздействия на окружающую среду как наиболее часто реализуемых в рассматриваемой системе и значимых по ущербу.

$$P = f_p \{P^y, P^{ДТП}, P^{oc}\} = \sum_k \sum_i [f(P^y_{ik}, P^{ДТП}_{ik}, P^{oc}_{ik})], \quad (3)$$

где P^y_{ik} – вероятность возникновения i -того рисковог о обстоятельства, связанного с неудовлетворенностью клиентов от воздействия k – элемента системы; $P^{ДТП}_{ik}$ – вероятность возникновения i -того рисковог о обстоятельства, связанного с ДТП от воздействия k – элемента системы; P^{oc}_{ik} – вероятность возникновения i -того рисковог о обстоятельства, связанного с загрязнением окружающей среды от воздействия k – элемента системы.

В научной литературе для определения вероятности возникновения рисковог о обстоятельства в единицу времени используется параметр λ как величина относительной частоты. Во многих случаях с определенной долей условности он может служить самостоятельным оценочным показателем вероятности возникновения рисковог о обстоятельства и вычисляется с помощью выражения:

$$\lambda = \frac{n}{(N \cdot \Delta \tau)} \cdot \left[\frac{\text{рисков}}{\text{объектов} - \text{год}} \right] \text{ или } \left[\frac{1}{\text{год}} \right], \quad (3.1)$$

где n – число объектов, на которых возникло рисковог о обстоятельство за период $\Delta \tau$; N – общее число объектов.

Тогда вероятность возникновения рисковог о обстоятельств для системы ТСА:

$$P^y_{ik} = \frac{n_k}{N_k \cdot \Delta t}; P^{ДТП}_{ik} = \frac{n_{ДТП}}{N_{ДТП} \cdot \Delta t}; P^{oc}_{ik} = \frac{T_i}{T_{год} \cdot \Delta t}. \quad (3.2)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЩЕРБОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РИСКОВЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВ

Общий ущерб определяется через функционал ущербов, наносимых человеку и окружающей среде. Для системы ТСА ущербы могут иметь различную степень значимости (весомость) в зависимости от причины их возникновения и сложности устранения. Совокупное значение ущерба от различных рисковог о обстоятельств представляет собой алгебраическую

сумму ущербов от функционирования системы ТСА, которая должна стремиться к минимуму при осуществлении мероприятий защиты.

$$U = f_u \{U\} = \sum_k \sum_i [f(U_{ik})] \rightarrow \min, \quad (4)$$

где U_{ik} – ущерб от возникновения i -того рисковог о обстоятельства от воздействия k – элемента системы.

Рассмотрим процесс возникновения ущербов i -тых рисковог о обстоятельств от воздействия k – элементов системы ТСА при достижении вышеназванных подцелей.

Ущерб от неудовлетворенности потребностей клиентов в объеме и ассортименте выполненных работ и оказанных услуг выражается через доступность услуг и их функциональность.

$$U_{нк} = f \{D, \Phi\} = \sum_k \sum_i [f(D_{ik}, \Phi_{ik})], \quad (5)$$

где D_{ik} – функция доступности i -тых услуг, определяемая наличием k – предприятий ТСА там и тогда, где в них нуждаются потребители.

Φ_{ik} – требование функциональности k – предприятий ТСА, характеризуемое способностью выполнять i -тые работы и оказывать i -тые услуги в ожидаемые сроки с приемлемым качеством и стоимостью, т.е. с максимальными потребительскими характеристиками при минимальном использовании ресурсов и без ущерба для окружающей среды.

В сегодняшних реалиях развития экономики, чтобы сохранить позиции на рынке, эффективность ТСА одновременно с прибылью и приемлемым доходом следует оценивать с учетом требований общества в части обеспечения безопасности дорожного движения, охраны окружающей среды, устранения вредных последствий эксплуатации АТС и производственной деятельности предприятий ТСА, иначе только экономический аспект эффективности обязательно приведет к экологическому и социальному кризисам. Эти требования вытекают из социально-экономических функций автосервиса. На этом основании ущерб по критерию экономической эффективности для предприятий ТСА может описываться функционалом потерь Π , сочетающим в себе в себя целевые функции доли рынка, совокупных издержек, потерь доходов от инвестиций, уплаченных налогов и других показателей:

$$U_{\phi\Pi} = f \{\Pi\} = \sum_k \sum_i [f(C^p_{ik}, Z_{ik}, \Pi^p_{ik}, H_{ik})], \quad (6)$$

где C^p_{ik} – сегмент рынка i -тых услуг, предоставляемых k – предприятиями ТСА; Z_{ik} – совокупные издержки k – предприятий ТСА на оказание i -тых услуг; Π^p_{ik} – потери доходов при нереализованности i -тых услуг – предприятиями ТСА; H_{ik} – уплаченные налоги от реализации i -тых услуг k – предприятиями ТСА.

Ущерб от нерационального (нефункционального) размещения предприятий ТСА в пределах муниципального образования представляет собой целевую функцию потерь времени и транспортных издержек клиентов на доступ к предприятиям ТСА, которая также должна оптимизировать территориальные пропорции их размещения с учетом экологического и градостроительного ущерба по принципу зонирования:

$$U_p = f \{\Pi\} = \sum_k \sum_i [f(P_{ik}, U_{ik})], \quad (7)$$

где P_{ik} – функция потерь времени и транспортных издержек клиентов на доступ к k – предприятиям ТСА при реализации ими i -тых услуг; U_{ik} – ущерб от функционирования k – предприятий ТСА при реализации ими i -тых услуг, связанный с отчуждением земельных ресурсов (созданием предприятий ТСА, организацией парковочных и стояночных пространств, сооружением очистных сооружений, прокладкой инженерных сетей и коммуникаций).

Для рисковог о обстоятельств, связанных с экологической нагрузкой на окружающую среду, при оценке экологических ущербов можно воспользоваться критерием сбалансированного развития элементов инфраструктуры ТСА и биосферы или, другими словами, критерием биосферной совместимости.

В традиционном восприятии ущерб, наносимый АТК окружающей среде, представляет собой ущерб от загрязнения атмосферного воздуха, почвы, водных ресурсов. В качестве новой концепции экологической безопасности предлагается идея сбалансированного развития элементов инфраструктуры ТСА и биосферы, т.е. вместо расширенного экономического отраслевого воспроизводства ТСА предлагается концепция воспроизводства чистой (лишенной загрязнений) части биосферы.

Для количественной оценки баланса биосферы и элементов инфраструктуры ТСА целесообразно введение некоторого интегрированного показателя единицы биосферы, нейтрализующей отходы и загрязнения. Этот показатель может складываться из нескольких составляющих (суммарные выбросы от передвижных и стационарных источников загрязнения окружающей среды, количество отходов, образующихся в ходе производственной деятельности предприятий ТСА, площадь озеленения, эффективность введения в хозяйственный оборот новых ресурсосберегающих, малоотходных, экологически безопасных технологий и другие показатели оценки антропогенного воздействия АТК на биосферу).

Показатель биосферной совместимости для рассматриваемой системы будет иметь вид:

$$K_{\delta c} = f(B) = \sum_k \sum_i [f(B_{ik} - Z_{ik})], \quad (8)$$

где B_{ik} – количественное значение биосферы при возникновении i -тых рисков обстоятельств от воздействия k – элементов системы ТСА; Z_{ik} – объем i -тых выбросов и отходов, образующихся от функционирования k -элементов системы ТСА с максимальными концентрациями, допускающими развитие.

Положительный баланс биосферы ($K_{\delta c} > 0$) обеспечивает расширенное воспроизводство лишенной загрязнений части биосферы, а, следовательно, и прогрессивное саморазвитие ТСА без увеличения ущерба окружающей среде; при $K_{\delta c} \leq 0$ – обеспечивается экономическое отраслевое воспроизводство ТСА с увеличением количества загрязнений и экологического ущерба.

Ущерб от возникновения дорожно-транспортных происшествий, подразумевает минимизацию риска возникновения ДТП и экономических потерь от гибели людей и получения ими травм различной степени тяжести, а также ущерб материального характера, например, потерю работоспособности АТС и затраты на восстановление. Следует заметить, что проблема определения экономических потерь от гибели людей заключается в этической стороне вопроса, даже при одобренной Российским научным обществом анализа риска стоимости человеческой жизни, утраченной при возникновении чрезвычайной ситуации техногенного характера, в 30...40 млн. рублей [13]. При названных допущениях функция ущерба от возникновения ДТП примет следующий вид:

$$U_{\delta mn} = f(\Pi) = \sum_k \sum_i [f(\Pi^M_{ik}, \Pi^C_{ik})], \quad (9)$$

где Π^M_{ik} – экономические потери материального характера от возникновения i -того рисков обстоятельства от k – источника, Π^C_{ik} – экономические потери морального характера от возникновения i -того рисков обстоятельства от k – источника.

Социальный критерий отражает развитие ТСА в направлении роста потребности в квалифицированных кадрах и занятости населения, создания дополнительных рабочих мест в сфере ТСА и смежных с нею отраслях. Ущерб материального и морального характера от возникновения рисков обстоятельств, в т.ч. и в условиях кризисных ситуаций, будет являться функцией минимума социальной напряженности:

$$U_c = f(H^c) = \sum_k \sum_i [f(H^c_{ik})], \quad (10)$$

где H^c_{ik} – функция социальной напряженности от возникновения i -того рисков обстоятельства (увольнений работников, сокращения заработной платы, травматизма и вредных условий труда на рабочих местах) от k – источника.

Сочетание и минимизация ущербов по вышеназванным критериям позволит минимизировать общесистемный ущерб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предлагаемые зависимости для определения вероятности возникновения рисков обстоятельств от функционирования элементов системы и ущербов их реализации позволят дать комплексную оценку влияния факторов различного характера (экологических, социальных, экономических) на эффективность и безопасность ТСА. Полученный интегральный критерий безопасности на основе показателя риска может быть рекомендован для нахождения оптимального значения ресурсов (инвестиций, кредитов, ассигнований, бюджетных дотаций) на устойчивое развитие системы ТСА.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2007 году» [Текст]. – М.: ВНИИ ГОЧС, 2008. – 157 с.
2. Булгаков, С.Н. Архитектурно-строительная отрасль и проблемы безопасности России [Текст] / С.Н. Булгаков // Доклады и итоговые документы сессий общих собраний РААСН 2002-2006 гг. – М., 2007. – С. 14-21.
3. Воздействие транспортного комплекса РФ на состояние окружающей среды и здоровье населения [Текст]: Аналитический доклад/ сост. В.А. Петрухин; ФГУП НИИАТ – М.:НПСТ «Трансколсатинг», 2002. – 68 с.
4. Ременцов, А.Н. Рынок услуг предприятий автосервиса: сущность, структура, границы [Текст] / А.Н. Ременцов, А.А. Ряховский // Социальная сфера: проблемы развития в современных условиях: Сборник научных трудов №11. – М., 2001.
5. Выступление министра транспорта РФ И.Е. Левитина на заседании Общественного совета Минтранса РФ, посвященное обсуждению ФЦП «Развитие транспортной системы России. 2010-2015 годы» 11 июня 2008 г.
6. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2020 года (одобрена на заседании Госсовета РФ 29 октября 2003 года).
7. Федеральный закон от 10.12.95 г. № 196 «О безопасности дорожного движения» (в ред. от 10.01.2003 г.).
8. ОНТП-01-91. Отраслевые нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта [Текст] / Росавтотранс. – М.: Гипроавтотранс, 1991. – 184 с.
9. Проект концепции технической политики в транспортном комплексе в отношении транспортных средств М.: НИИАТ, 2002. – 26 с.
10. Резолюция ЕКМТ СЕМТ/СМ (2005)9/FINAL. Guide for government officials carriers on the use of the ЕСМТ multilateral (Руководство по использованию квоты многосторонних разрешений ЕКМТ). Эл. ресурс: www.transdekra.ru.
11. Цурков, В.И. Декомпозиция в задачах большой размерности [Текст] / В.И. Цурков. – М.: Наука. – 1981. – 352 с.
12. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами [Текст]: Учебное пособие / МАДИ (ТУ) – М., 2001. – 262 с.
13. Клетц, Т.А. Выгоды и риск: сравнительная оценка в связи с потребностями человека [Текст] / Бюллетень МАГАТЭ, Книга 22. №5/6. С. 2-14.

Бакаева Н.В.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент

ДАНИЛЕВИЧ Д.В.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

В статье приводятся результаты анализа рынка многофункциональных строительно-дорожных машин и в частности погрузчиков-экскаваторов. Выделяются основные факторы, определяющие высокий спрос на данную технику, и проблемы обеспечения эффективности их функционирования. Предлагаются основные направления совершенствования данного типа машин.

Ключевые слова: *строительно-дорожные машины, эффективность.*

In article results of the analysis of the market of multipurpose building-road machines and in particular loaders-dredges are resulted. The major factors determining a great demand on the given technics, and problems of maintenance of efficiency of their functioning are allocated. The basic directions of perfection of the given type of machines are offered.

Key words: *building-road machines, efficiency.*

Возрастающая плотность городской застройки, наличие транспортных коммуникаций и инженерных сетей ограничивают применение традиционной строительной техники. В этих условиях альтернативным решением стало применение многофункциональных строительно-дорожных машин, позволивших эксплуатирующим предприятиям (особенно предприятиям малого и среднего бизнеса) сократить производственные затраты и повысить уровень рентабельности используемого парка машин [1, 2].

Особенностями работы многофункциональных машин являются противоречивые требования к ее техническим характеристикам на этапе работы различного оборудования. Так, например, при копании грунта целесообразно увеличить массу машины, а при его транспортировании или погрузке снизить или изменить центр тяжести. Подобные противоречия возникают и при комплектации строительно-дорожных машин сменными рабочими органами [3].

Определение взаимосвязи технических характеристик как самих многофункциональных машин, так и комплектов рабочего оборудования с минимальными противоречиями в отношении базовой машины представляет важную задачу, решение которой позволит создать целостную теорию проектирования многофункциональных машин.

Выбор варианта многофункциональной машины базируется на сравнительной оценке ее технико-экономических показателей, таких как эксплуатационная производительность или время рабочего цикла. Ведущим фактором, влияющим на длительность рабочего цикла, является – маневренность машины. Поэтому отправной точкой на пути решения проблемы стал анализ требований к маневренности и конструкции рамы базовой машины (таблица 1). При этом сменное рабочее оборудование разбито на четыре группы (землеройное, подъемно-транспортное, дорожное и транспортирующее) в зависимости от вида выполняемых работ.

В качестве примера рассмотрим наиболее заметную и распространенную среди многофункциональных машин – погрузчик-экскаватор, соединивший в себе функции экскаватора с оборудованием "обратная лопата" и фронтального погрузчика. При этом сравнительно небольшие габариты этой техники позволили вписать ее в городской ритм с его необходимостью в частых перебазировках с объекта на объект и сменой видов работ. Можно отметить, что указанные факты подтверждаются сравнительно малым типоразмерным рядом предлагаемых потребителю машин (мощностью от 40 до 90 кВт). Обращает внимание тот факт, что российские аналоги представлены единичными образцами и говорить о типоразмерном ряде не приходится.

Самым выгодным вариантом компоновки рассматриваемой машины для реализации функции погрузчика является шарнирно-сочлененная рама, обеспечивающая высокую ма-

невренность и минимальное время рабочего цикла. Однако в режиме экскаватора шарнирно-сочлененная конструкция рамы не влияет на время рабочего цикла и порой приносит больше вреда, снижая устойчивость и увеличивая амплитуду колебаний машины в процессе экскавации. Кроме того, при расположении силовой установки на передней полураме машины увеличивается опрокидывающий момент, что приводит к снижению грузоподъемности погрузчика [4]. В случае заднего расположения силовая установка будет выполнять функцию противовеса погрузчика, повышая тем самым грузоподъемность. В отношении экскаваторного оборудования расположение силовой установки будет играть противоположенную роль.

Таблица 1 – Варианты компоновки многофункциональных машин в зависимости от области их применения

Многофункциональные машины (МФМ)		
Область применения	Рабочее оборудование	Рама МФМ и принцип поворота
Машины для земляных работ	Бульдозерное оборудование Одноковшовый экскаватор Многоковшовый экскаватор Гидроударник/гидромолот Дисковая фреза	<p>a) б) в)</p>
Подъемно-транспортные машины	Фронтальный погрузчик Вилочный погрузчик Челюстной захват Грейфер Манипулятор	<p>z) д)</p>
Дорожные машины	Виброуплотняющее оборудование Дорожная фреза Дорожная щетка Поливомоечная машина Смеситель	<p>a) б) z)</p>
Транспортирующие машины	Трактор Тягач Самосвал	<p>a) в) д)</p>
<p>a – с передним управляемым мостом; б – с задним управляемым мостом; в – с гусеничным ходовым оборудованием; z – с шарнирно-сочлененной рамой; д – с двумя управляемыми мостами</p>		

В целях оценки эффективности использования погрузчиков-экскаваторов на объектах строительства и в зависимости от вида выполняемых работ автором проведен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик погрузчиков-экскаваторов с характеристиками фронтальных погрузчиков и одноковшовых экскаваторов. Так, на рисунке 1 представлены

зависимости емкости ковшей погрузчиков от мощности силовой установки, из которых следует, что емкость ковша погрузчика-экскаватора на 20-25% ниже емкости ковша фронтального погрузчика при той же номинальной мощности.

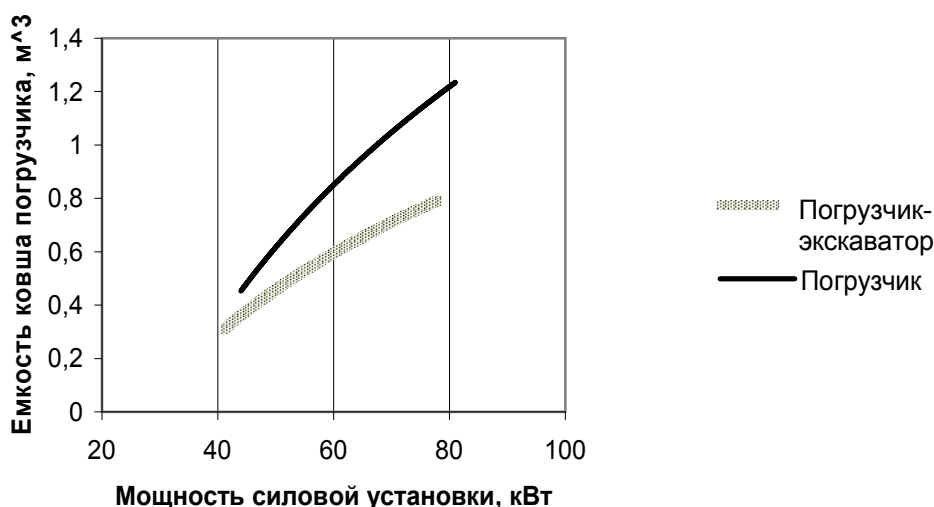


Рисунок 1 – Зависимость емкости ковша погрузчика от мощности силовой установки

Такое расхождение параметров ковшей представляется вполне закономерным в силу более выгодной компоновки погрузчиков (силовая установка расположена на задней полураме машины, обеспечивая большую устойчивость на опрокидывание). Подобные зависимости емкости ковшей одноковшового экскаватора и ковша «обратная лопата» погрузчика-экскаватора от мощности силовой установки представлены на рисунке 2. В данном случае наблюдается значительное расхождение емкостей экскаваторных ковшей, которое возрастает с увеличением мощности машины.

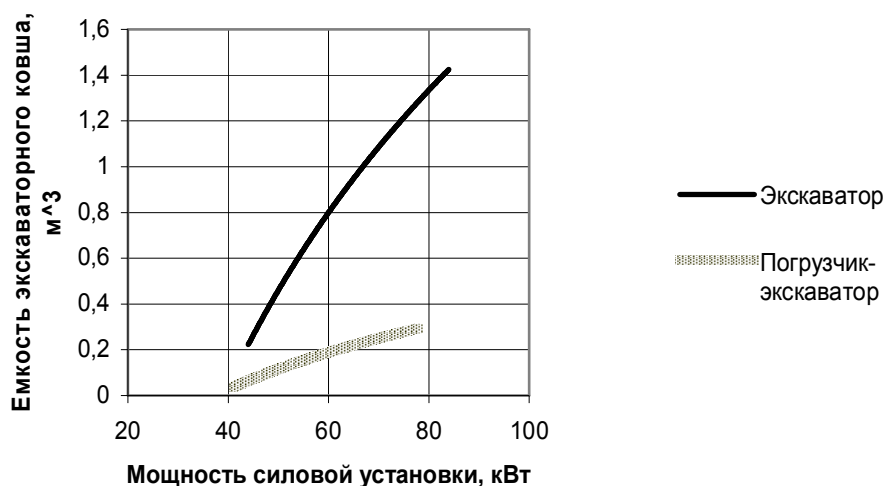


Рисунок 2 – Зависимость емкости ковша экскаватора от мощности силовой установки

Причинами, характеризующими сложившуюся ситуацию, являются:

- неравнозначное соотношение параметров ковшей объясняется разницей в энергоёмкости процесса экскавации грунта и процесса его погрузки;

- изначальная ориентация погрузчика-экскаватора на преимущественное выполнение погрузочных работ;
- недостаточные устойчивость погрузчика-экскаватора и прочность рамы при выполнении экскавационных работ;
- отсутствие поворотной платформы и, как следствие малая, универсальность;
- емкости экскаваторного ковша и ковша погрузчика преимущественно находятся в отношении 1:3,4 и могут быть описаны линейной зависимостью;
- базовые машины, лежащие в основе рассматриваемых погрузчиков экскаваторов, не позволяют полностью реализовать их силовые возможности применительно к установленному рабочему оборудованию.

Анализируя полученные в примере данные, можно сделать общий вывод.

Для успешного проектирования многофункциональных машин необходимо разработать теорию их проектирования и типоразмерный ряд базовых платформ, адаптированных под основные группы сменного рабочего оборудования.

Литература

1. Варфоломеев, В.П. Российские одноковшовые гидравлические экскаваторы [Текст] / В.П. Варфоломеев // Строительные и дорожные машины, 2007. №3. – С. 2-8.
2. Семенченко, А.В. Выбор оптимальных вариантов эксплуатации парка строительных и дорожных машин [Текст] / А.В. Семенченко // Строительные и дорожные машины, 2003. №4. – С.16-17.
3. Баловнев, В.И. Определение оптимальной массы землеройных машин с многоцелевым оборудованием [Текст] / В.И. Баловнев, Г.Ю. Пирцхалава // Строительные и дорожные машины, 2003. №8. – С.46-47;
4. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики [Текст] / А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов // М.: Машиностроение, 1979. – 146 с.

Данилевич Д.В.

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент

УДК 625.7

ЧВАНОВ В.В., ЧВАНОВ А.В., КОЧЕТКОВ А.В.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОСВОЕНИЯ ИННОВАЦИЙ В ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Рассматривается структура и содержание нормативно-методического документа Федерального дорожного агентства об организации освоения инноваций в дорожном хозяйстве на сети федеральных автомобильных дорог.

Ключевые слова: инновация, внедрение, инженерное сопровождение, авторский надзор, банки данных.

In the Road facilities Is considered structure and the maintenance of the methodical document of Federal road agency about development of innovations in a road facilities on a network federal roads.

Key words: an innovation, introduction, engineering support, architectural supervision, data-banks.

Разработанное в ФГУП «РОСДОРНИИ» и утвержденное в Федеральном дорожном агентстве руководство по организации освоения инноваций в дорожном хозяйстве содержит рекомендации по освоению инноваций на общепромышленном уровне, а также в федеральных управлениях автомобильных дорог, управлениях автомагистралей, дирекциях строящихся дорог, территориальных органах управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации. В руководстве определен порядок планирования, реализации, финансирования и информационного обеспечения инновационной деятельности, а также мониторинга результатов ее осуществления, приведены виды работ по организации освоения инноваций, определены взаимоотношения заказчика, проектной, подрядной строительной и научно-исследовательской организаций в период инновационной деятельности.

Целью документа является обеспечение массового освоения в дорожном хозяйстве новых технологий, материалов, конструкций, машин, механизмов и технических решений, направленного на повышение долговечности и обеспечение сохранности автомобильных дорог и искусственных сооружений, повышение безопасности дорожного движения и экологической безопасности, обеспечение качества проектирования, строительства (реконструкции), ремонта и содержания дорог и искусственных сооружений с учетом обеспечения экономической эффективности инновационной деятельности. Руководство предназначено для использования в практической деятельности органов управления дорожным хозяйством, проектных, научно-исследовательских, строительных и эксплуатационных дорожных предприятий при организации применения прогрессивных дорожных технологий, техники и материалов.

С целью создания благоприятных условий для внедрения в дорожное хозяйство прогрессивных отечественных и зарубежных технологий, техники и материалов, а также защиты от необоснованного применения инновационных продуктов, способных оказать негативное влияние на надежность, безопасность и долговечность дорог и искусственных сооружений, органам управления дорожным хозяйством рекомендуется обеспечение стадийного освоения инноваций, при котором внедрению прогрессивных технологий, техники и материалов предшествует их опытно-экспериментальное внедрение.

Опытно-экспериментальное внедрение – первая стадия освоения инноваций – включает апробацию в производственных условиях (при проектировании, строительстве, ремонте и содержании дорог) инновационной продукции.

Опытно-экспериментальному внедрению подлежит (при условии наличия стандарта организации, оформленного в соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.4-2004) вновь разработанная отечественная инновационная продукция; инновационная продукция, требования к

которой полностью или частично отсутствуют в действующих в дорожном хозяйстве нормативно-технических и методических документах; впервые осваиваемая зарубежная инновационная продукция.

Отбор инновационных разработок планируемых к опытно-экспериментальному внедрению осуществляется проектными организациями из соответствующей базы данных о завершенных НИОКР (в том числе, не имеющих достаточной апробации на практике или по которым разработаны методические документы для опытного применения).

Для работ, предусмотренных разделом «Опытно-экспериментальное внедрение», проводится инженерное сопровождение реализации инновационных продуктов на стадии проектирования, строительства (реконструкции), ремонта, а также мониторинга эксплуатации опытного дорожного объекта (участка) в сравнении с объектами, сооруженными по традиционным технологиям.

Внедрение новых технологий, техники, конструкций и материалов - вторая стадия освоения инноваций, целью которой является доведение их до стадии массового освоения и введение в хозяйственный оборот. Стадия внедрения включает реализацию в производственных условиях (при проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и содержании дорог и дорожных сооружений) инновационных продуктов, ранее прошедших стадию опытно-экспериментального внедрения и имеющих положительное заключение от организаций, проводивших опытно-экспериментальное внедрение, о результатах с позиций расчетной экономической эффективности, ресурсо- и энергосбережения, экологических свойств и требований, обеспечения безопасности движения. Указанные инновационные продукты должны иметь техническое и методическое обеспечение на уровне утвержденных (одобренных) Росавтодором отраслевых дорожных методических документов, регламентирующих их применение.

Освоение инноваций на стадии проектно-изыскательских работ достигается за счет:

- замены типовых проектных решений новыми прогрессивными техническими решениями, обеспечивающими снижение строительных затрат, повышение долговечности и сроков службы конструктивных элементов дорог и дорожных сооружений (при соответствующем технико-экономическом обосновании), решение проблем выполнения дорожных работ, а также функционирования автомобильных дорог и сооружений на них в сложных природно-климатических и грунтово-гидрогеологических условиях;

- применения в проектах новых эффективных дорожно-строительных материалов и конструкций;

- применения ресурсо- и энергосберегающих технологий производства работ;

- применения высокопроизводительной техники;

- использования новых технологий, приборов и оборудования при производстве изыскательских, лабораторных и контрольно-измерительных работ;

- применения современных информационных технологий, банков и баз данных, средств информатизации и связи.

В соответствии с Положением о подготовке и составе технического задания на проектирование, утвержденных Росавтодором, органы управления дорожным хозяйством предусматривают:

- в составе технического задания на разработку обоснования инвестиций – выполнение необходимых опытно-конструкторских работ;

- в составе технического задания на разработку проекта строительства (реконструкции) – в п. «Внедрение новых технологий, техники, конструкций и материалов»;

- в проекте капитального ремонта и ремонта – раздел «Применение инноваций» и раздел «Необходимость выполнения научно-исследовательских работ при проектировании».

Разделы технических заданий на разработку проекта строительства (реконструкции) «Внедрение новых технологий, техники, конструкций и материалов» и на разработку проекта капитального ремонта «Применение инноваций» содержат перечень рекомендуемых к применению прогрессивных технологий, техники, материалов и технических решений. Основой для подготовки перечня рекомендуемых инноваций является методическая докумен-

тация, регламентирующая применение прогрессивных технологий, техники и материалов, введенная в действие (одобренная) Росавтодором, а также информация, содержащаяся в отраслевом банке данных прогрессивных технологий. При этом учитывается эффективная область применения рекомендуемых технологий, существующий опыт строительства (реконструкции), ремонта и содержания автомобильных дорог региона, а также результаты диагностики дорог и искусственных сооружений.

Разделы технических заданий на разработку обоснования инвестиций «Необходимые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы» и на разработку проекта капитального ремонта «Необходимость выполнения научно-исследовательских работ при проектировании» соответствуют стадии внедрения и содержат состав НИОКР, требуемых для:

- выполнения опытно-экспериментальных работ по внедрению новых технологий, техники и материалов, ранее не применявшихся в рассматриваемых условиях строительства (реконструкции), ремонта и содержания дорог и искусственных сооружений;

- проверки и подтверждения пригодности инновационной продукции, от которой зависят эксплуатационные свойства дорог и искусственных сооружений, их надежность и долговечность, безопасность движения и экологическая безопасность (вновь разработанная инновационная продукция, требования к свойствам и условиям применения которой полностью или частично отсутствует в действующей нормативной или методической документации; инновационная продукция впервые осваиваемая по зарубежным технологиям, соответствующая зарубежным нормам);

- разработки проектов капитального ремонта крупных и сложных объектов.

При формировании состава таких НИОКР используется информация базы данных о завершенных НИОКР, выполненных по заказу Росавтодора (в том числе, не имеющих достаточной апробации на практике, по которым разработаны методические документы для опытного применения), стандарты организаций на применение новой отечественной и зарубежной инновационной продукции, оформленные в соответствии с ГОСТ Р 1.4-2004.

При определении стартовой цены на выполнение проектно-изыскательских работ учитываются затраты на выполнение опытно-конструкторских работ, рассчитанные в соответствии с Временными методическими рекомендациями по определению стартовой стоимости научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проведении конкурсных торгов на выполнение НИОКР (введены в действие распоряжением Минтранса России № РС-39-р от 30.01.03).

Если необходимость выполнения опытно-конструкторских работ выявится после проведения инженерных изысканий, проектная организация готовит аргументированное обоснование Заказчику, в котором приводятся причины необходимости выполнения опытно-конструкторских работ, объем работ и стоимость их проведения. Заказчиком принимается решение о целесообразности проведения опытно-конструкторских работ, и определяются источники финансирования.

Проектная организация в пояснительной записке к конкурсному предложению на торги указывает конкретные инновационные продукты, которые предусматривается внедрить при реализации проекта.

Органы управления дорожным хозяйством при подведении итогов конкурсных торгов на выполнение проектных работ учитывают, в качестве одного из основных критериев при выявлении победителя, обоснованность предлагаемых инновационных решений и расчетный экономический эффект от внедрения новых технологий, материалов, конструкций, машин и механизмов, которые могут быть предусмотрены проектом.

Проектная организация, выигравшая торги при подготовке задания и программы изыскательских работ (в соответствии с утвержденным Заказчиком составом задания и требованиями к программе изысканий) ставит задачу изыскательской группе (отряду) о необходимости предусмотреть внедрение новых технологий, техники, конструкций и материалов. При защите материалов изысканий и при предварительном согласовании предполагаемых проектных решений проектная организация в отчете по изысканиям предлагает принципиальные

решения по новым технологиям, материалам, конструкциям, машинам и механизмам, которые предусматривается включить в состав проекта, а также уточненное техническое задание на выполнение НИОКР.

В проектах содержатся соответствующие разделы «Применение инноваций», «Внедрение новых технологий, техники, конструкций и материалов» и «Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы при проектировании».

Разделы «Применение инноваций» и «Внедрение новых технологий, техники, конструкций и материалов» содержат:

- перечень прогрессивных технологий, техники, конструкций и материалов, рекомендуемых к внедрению в проекте;
- новые технические спецификации и единичные расценки на производство дорожных работ, при которых используется инновационная продукция;
- пояснительную записку, содержащую обоснование принятых технических решений по применению инноваций и их экономическую целесообразность в заданных условиях проектирования, анализ соответствия проектных решений действующим в дорожном хозяйстве нормативно-техническим и методическим документам, подтверждающий надежность конструктивных решений и соблюдение требований безопасности.

Раздел «Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы при проектировании» содержит:

- обоснование допустимой области применения инновационной продукции, показатели и параметры, характеризующие ее надежность и безопасность;
- условия производства, применения и содержания инновационной продукции, а также контроля качества;
- отчеты по испытаниям инновационной продукции в соответствии с методами, позволяющими определить основные физико-механические, эксплуатационные и другие свойства продукции, установить ее расчетные характеристики, назначение и область применения с учетом требований нормативных и методических документов дорожного хозяйства к безопасности, надежности и долговечности дорог и искусственных сооружений, элементов инженерного оборудования и обустройства;
- проект отраслевой дорожной методики, регламентирующей применение инновационной продукции, оформленный в установленном порядке (подлежит рассмотрению и согласованию в Росавтодоре).

В проектах содержания дорог, разрабатываемых в соответствии с Методическими рекомендациями по разработке проекта содержания автомобильных дорог (утвержденными распоряжением Минтранса России от 09.10.02 №ОС-859-р) в случае применения по заданию Заказчика прогрессивных технологий, техники и материалов приоритетное внимание уделяется опытно-конструкторским разработкам, направленным на:

- опытно-экспериментальное внедрение новых технологий и материалов по борьбе с зимней скользкостью автомобильных дорог;
- применение новых технических средств механизации работ по содержанию дорог и искусственных сооружений;
- внедрению автоматизированных систем организации управления содержанием дорог;
- внедрению новых технологий и материалов содержания дорожных покрытий, освоению других новых технологий, техники и материалов, способствующих повышению уровня безопасности движения, обеспечению сохранности дорог.

К подготовке разделов проекта, связанных с освоением инноваций и проведением ОКР, в приоритетном порядке по согласованию с заказчиком на условиях субподряда привлекаются научные организации, являющиеся разработчиками, используемых в проекте инновационных продуктов (разработки соответствующих стандартов организаций).

Форма контрактной документации на разработку указанных разделов инженерного проекта соответствует указанной в «Положении по планированию, организации, приемке и

использованию результатов НИОКР в системе Федеральной дорожной службы России», утвержденном приказом ФДС России №79 от 18.12.97 (с изм. и доп. №221 от 19.05.2000).

В случаях, когда проектная организация является разработчиком инновационных продуктов, применение которых предусмотрено заданием на проектирование, подготовка проекта может осуществляться собственными силами без привлечения научных организаций.

Государственные контракты на проектно-изыскательские работы, предусматривающие применение инноваций и выполнение НИОКР, содержат следующий пункт «После определения стоимости строительно-монтажных работ по дополнительному соглашению к государственному контракту предусмотреть выполнение авторского надзора». Затраты на выполнение авторского надзора определяются расчетом.

Освоение инноваций при строительстве (реконструкции), ремонте и содержании автомобильных дорог осуществляется подрядными строительными и эксплуатационными организациями, в соответствии с заключенными в установленном порядке контрактами на производство работ по инженерным проектам, которые предусматривают применение новых технологий, техники и материалов.

При производстве дорожных работ проектная организация выполняет авторский надзор за освоением инвестиций, который предусматривает контроль за внедрением новых технологий, техники, конструкций и материалов.

Освоение инноваций на стадии производства дорожных работ выполняется, как правило, с привлечением научных организаций и предприятий, участвовавших в разработке проекта по контрактам на инженерное сопровождение работ.

При освоении инноваций, не требующих выполнения проектных работ, допускается организация инженерного сопровождения освоения инноваций только на стадии производства. Такие работы могут выполняться по заданию Заказчика или по инициативе производственной организации (по согласованию с Заказчиком) по субподрядным контрактам на инженерное сопровождение работ по освоению инноваций с научными организациями и предприятиями, являющимися разработчиками внедряемых инновационных продуктов.

Контракт на инженерное сопровождение заключается между подрядной организацией (Заказчик) и организацией-разработчиком инновационной продукции (Исполнитель). При этом перечень инновационных разработок, при реализации которых требуется инженерное сопровождение, утверждается Заказчиком (отражается в Техническом задании на выполнение работ).

Порядок организации опытно-экспериментального внедрения новых дорожных технологий, техники, материалов на стадии производства дорожных работ аналогичен разделу «Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы при проектировании».

На стадии инженерного сопровождения строительства (реконструкции), ремонта и содержания дорог и дорожных сооружений, связанного с освоением инноваций, осуществляются следующие виды работ:

- разработка технологических карт на дорожные работы, связанные с применением новых технологий, техники и материалов;
- дополнительные опытно-конструкторские работы, связанные с реализацией инновационных продуктов в процессе производства дорожных работ;
- экспериментальные наблюдения, лабораторные испытания и контроль соблюдения новых технологических процессов и применения новых материалов, предусмотренных в спецификациях на выполнение работ, связанных с освоением инновационной продукции;
- передача технологий и обучение персонала подрядных строительных организаций видам работ, связанным с освоением инноваций;
- участие в сдаче Заказчику (органам управления дорожным хозяйством) работ, связанных с освоением инновационной продукции;
- разработка отраслевых дорожных методических документов для последующего массового распространения прогрессивных инновационных продуктов в дорожном хозяйстве.

В качестве информационных источников реализации инновационной деятельности в органах управления дорожным хозяйством используются следующие ресурсы:

- методическая документация, регламентирующая применение прогрессивных технологий, техники и материалов, введенная в действие (одобренная) Росавтодором;
- база данных научно-технических разработок, содержащая информацию о результатах завершенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в том числе и в порядке реализации планов важнейших НИОКР Росавтодора;
- отраслевой банк данных по мониторингу, планированию, сопровождению и вовлечению в хозяйственный оборот НИОКР дорожного хозяйства;
- отраслевой банк данных прогрессивных технологий, техники, материалов;
- отраслевой фонд алгоритмов и программ.

По результатам выполнения работ, предусматривающих освоение инноваций, органы управления дорожным хозяйством представляют в Росавтодор итоговые отчеты о выполненных работах за прошедший год. Отчеты представляются по установленной форме и используются Банка данных прогрессивных технологий.

На основании анализа полученных материалов в Росавтодоре составляется перечень новых технологий, техники, конструкций и материалов, рекомендуемых к использованию в дорожном хозяйстве и организуется информирование органов управления дорожным хозяйством, проектных и подрядных организаций дорожного хозяйства о разработках, включенных в перечень прогрессивных технологий, техники, конструкций и материалов, рекомендуемых к использованию в дорожном хозяйстве.

Средства на работы по опытно-экспериментальному внедрению и внедрению новых технологий, техники, конструкций и материалов предусматриваются в составе сметы на выполнение работ.

Затраты на выполнение проектно-изыскательских работ и услуг по ОКР на стадии проектирования включаются в стоимость проектных работ, в то время как затраты на авторский надзор и инженерное сопровождение предусматриваются в стоимости строительно-монтажных работ. Работы по авторскому надзору проводит проектная организация, а по инженерному сопровождению – организация, победившая в конкурсных торгах на инженерное сопровождение, при этом предпочтение отдается научным организациям и предприятиям, являющимися разработчиками внедряемых инновационных продуктов.

Затраты на выполнение работ и оплату услуг по ОКР включаются в главу «Прочие работы и затраты» Сводного сметного расчета стоимости строительства и принимаются в размере 1,5% себестоимости строительной продукции. Затраты на выполнение авторского надзора включаются в главу «Проектно-изыскательские работы, авторский надзор и экспертиза» Сводного сметного расчета и определяются расчетом. Затраты на выполнение инженерного сопровождения (оказание инжиниринговых услуг при сопровождении государственных инвестиционных программ) включаются в главу «Прочие работы и затраты» и принимаются в размере до 0,15% от суммы строительно-монтажных работ по главам 1-8 Сводного сметного расчета.

При определении базовых цен на проектирование автомобильных дорог и сооружений на них для формирования органами управления дорожным хозяйством планов проектных работ следует руководствоваться Методическими рекомендациями по определению стоимости проектных работ на строительство (реконструкцию) автомобильных дорог и сооружений на них. При этом стоимость работ по авторскому надзору, опытно-экспериментальных работ, а также инженерного сопровождения (инжиниринговых услуг, не относящихся к проектным работам) определяется на основании калькуляции затрат и включается в итоговую стоимость проектных работ.

Учет выполнения работ по контрактам, связанным с освоением инноваций, осуществляет заказчик (орган управления дорожным хозяйством). Система учета помимо стандартной информации включает сведения о наличии объектов интеллектуальной собственности (№ патентов, наименование объекта, патентообладатель, приоритет); наличии лицензионных соглашений; объектах интеллектуальной собственности, созданных в процессе выполнения работ (№ заявок на выдачу патентов и свидетельств, приоритет, заявитель).

Контроль хода выполнения работ по контракту и их приемка осуществляются заказчиком (органом управления дорожным хозяйством) и организацией, осуществляющей инженерное сопровождение опытного (опытно-экспериментального) объекта строительства (реконструкции). Контроль качества выполнения работ по объектам строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог и дорожных сооружений с применением инновационной продукции осуществляется на основании действующих нормативных документов с учетом установленных критериев качества. По результатам работ, выполняемых по разделу "Опытно-экспериментальное внедрение", предусматривается подготовка и представление органом управления дорожным хозяйством в Росавтодор научно-технических отчетов, включая результаты наблюдений, предложений по корректировке действующих нормативно-технических и методических документов, а также проекты новых отраслевых дорожных методических документов, утверждение и одобрение которых осуществляются Росавтодором в установленном порядке.

Мониторинг результатов реализации инновационных проектов осуществляется в рамках авторского надзора проектной организацией. Результаты мониторинга направляются для дальнейшего учета и обобщения в органы управления дорожным хозяйством.

Чванов В.В.

Кандидат технических наук

Чванов А.В.

Инженер

Тел.: 8-909-670-4993

Кочетков А.В.

Доктор технических наук, профессор

ФГУП «Российский дорожный научно-исследовательский институт «РОСДОРНИИ», г. Москва

Тел. 8-906-306-95-53

E-mail: soni.81@mail.ru

Уважаемые коллеги!

В Орловском государственном техническом университете с 2004 г. ежеквартально издается научный журнал «Известия ОрелГТУ». Серия «Строительство. Транспорт», в котором Вы можете опубликовать свои статьи по широкому спектру проблем в следующих областях:

Строительство

- эффективные архитектурно-конструктивные решения зданий и сооружений;
- энергосберегающие технологии в строительном комплексе;
- развитие теории расчета сооружений и элементов строительных конструкций, оснований и фундамента;
- вопросы безопасности зданий и сооружений.

Транспорт

- современные технологии и технологическое оборудование, используемые для технического обслуживания, ремонта автомобилей и реновации их деталей;
- системный анализ, управление и обработка информации в транспортном комплексе;
- повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта;
- проблемы качества энерго- и ресурсосбережения на автомобильном транспорте;
- экологическая безопасность транспортного комплекса.

Журнал открыт для рекламы, оплата – на договорной основе.

Объем статьи, как правило, не должен превышать 7 стр., рекламного объявления – не более 1 стр. Материал принимается в файловом виде: по электронной почте, на дискетах 3,5 дюйма или на CD-диске, выполненный в любом из текстовых редакторов Word, с приложением распечатки. С аспирантов плата за публикацию не взимается.

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ:

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц (заполнение последней страницы – не менее 75 процентов; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию. Объем рекламного объявления не должен превышать 1 страницу.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- УДК (сверху слева) с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки – выровненные по центру страницы и набранные прописными буквами светлым шрифтом прямого начертания инициалы и фамилии авторов (ИВАНОВ И.И.).
- С пропуском одной строки – название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.

- С пропуском одной строки – краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке.
 - Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на английском языке, отделенная от предыдущей аннотации полуторным интервалом.
 - *Основной текст статьи.* Заголовки подразделов набирают с абзацным отступом полужирным шрифтом прописными буквами (размер 12 pt), выравнивание по левому краю. Заголовки и подзаголовки отделяют от основного текста полуторным интервалом сверху.
-

Пример оформления

УДК 539.4:620.179

МАЛИНИН В.Г., МАЛИНИН В.В.

ДВУХУРОВНЕВЫЙ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТНЫЙ КРИТЕРИЙ РАЗРУШЕНИЯ

На основе системного подхода структурно-аналитической мезомеханики формулируется двухуровневый структурно-механический, градиентный критерий разрушения, позволяющий развить методики оценки параметров трещиностойкости и учитывающий влияние зон структурных концентраторов на прочность в окрестности макроконцентратора напряжений.

On the basis of the system approach structural - analytical mezomechanic it is formed two-level structural - mechanical gradiental criterion of the destruction, allowing to develop techniques of an estimation of parameters crack of resistance and taking into account influence of zones of structural concentrators on durability in a vicinity of the macroconcentrator of stresses.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прочностное состояние нагруженного твердого тела находится между хрупким и вязким, различие между которыми в механическом аспекте зависит от вида напряженно-деформированного состояния, истории нагружения, эволюции дефектной структуры и определяется соотношением энергетических затрат на обратимые и необратимые явления деформирования. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения прочностного состояния материала в изделиях с макроконцентраторами с учетом влияния структурного состояния на микро- и мезомасштабном уровнях и влияния неоднородности макронапряженного состояния на локальные механические характеристики материала. Поставленную задачу можно решать в рамках градиентного подхода оценки локальной прочности в зоне концентрации напряжений, рассматривая состояние материала по двум критериям с непрерывным переходом из одного в другой.

Таблицы, рисунки, формулы

- Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.
- Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. Формулы, внедренные как изображение, не допускаются! Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.

- Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

- В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзачного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

- Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (11)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ – коэффициент концентрации напряжений; $d=2a$ – размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

- Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

- Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

- Подписи к рисункам выравнивают по ширине страницы, в конце подписи точка не ставится:

Рисунок 1 – Текст подписи

- Пояснительные данные набираются шрифтом прямого начертания 12 pt и ставят после наименования рисунка.

Пример оформления рисунка в тексте

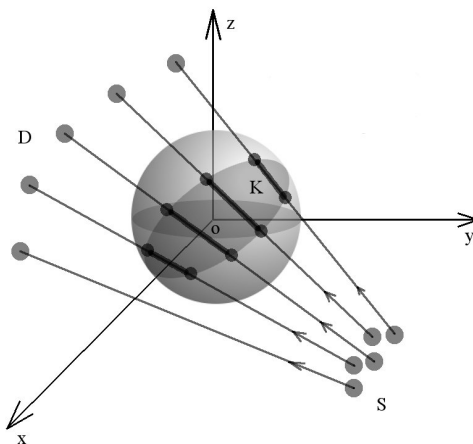


Рисунок 1 — Схема сканирования объекта: S – множество источников; D – множество детекторов; K – множество элементарных объемов тела, через которые прошел луч

- На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

- Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемо-

го материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

- Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы:

Таблица 1 – Текст названия

- Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: «Продолжение таблицы 1».

- Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте документа имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Примеры оформления таблиц в тексте

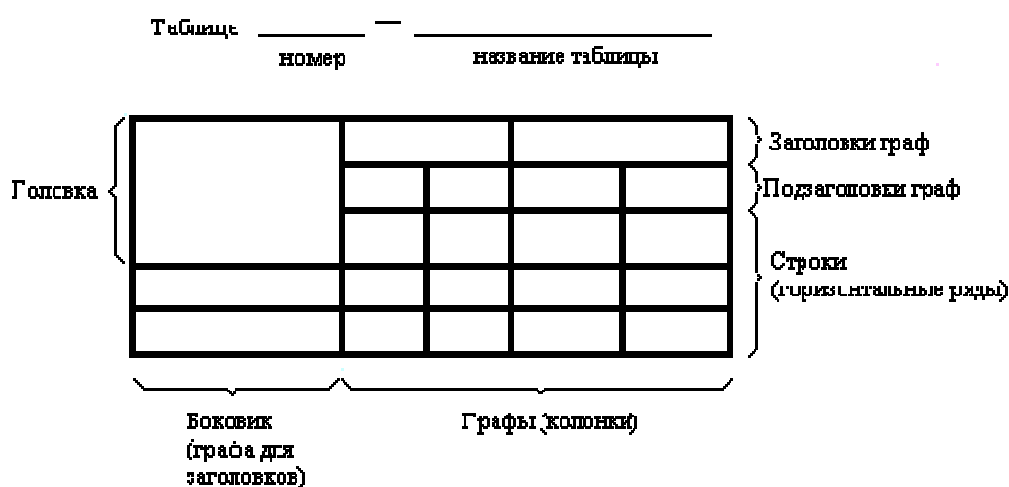


Таблица 1 – Название

Номинальный диаметр резьбы болта, винта, шпильки	Внутренний диаметр шайбы	Толщина шайбы					
		легкой		нормальной		тяжелой	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2,0	2,1	0,5	0,8	0,5	0,5	-	-
2,5	2,6	0,6	0,8	0,6	0,6	-	-

Список литературы

- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «ЛИТЕРАТУРА» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру. Литературные ссылки оформляются по ГОСТ 7.1 2003.

Пример оформления списка литературы

Литература

1. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией [Текст] / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 271с.

Сведения об авторах

• В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт).

Пример оформления сведений об авторах

Игорь Сергеевич Константинов

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, зав. кафедрой «Информационные системы», профессор

Тел. (4862) 40-96-14

E-mail: konstantinov@ostu.ru

Илья Валерьевич Бизин

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Ассистент кафедры «Информационные системы»

Тел. (4862) 43-26-19

E-mail: bizin@yandex.ru

Адрес редакции:

Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
8 (4862) 73-43-48
www.ostu.ru
E-mail: antc@ostu.ru

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Сдано в набор 02.02.2009 г.
Подписано в печать 15.02.2009 г.
Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,0.
Тираж 500 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.