

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 6 (630)
Июнь 2011 г.

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

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

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

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 11.07.11. Формат 70×108 1/16.
Усл. печ. л. 10,5+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 426.

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

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Немировский Ю.В., Янковский А.П. Исследование особенностей динамического поведения разрезной несущей колонны высотного здания с учетом взаимоупругой работы комбинированных компенсаторов при горизонтальных сейсмических воздействиях 3

Дукарт А.В., Тхань Бинь Фам. О переходных режимах колебаний одномассовой системы с ударным гасителем при заданных начальных условиях 16

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Черкасов В.Д., Дудынов С.В., Бузулуков В.И. Биомодификаторы строительного назначения 23

Файзиев Х., Шарипов Р.Р., Сайфиддинов С.С. Результаты исследования динамических свойств фосфогипса 30

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Климов А.С., Шилкин С.В. Реализация устройства с тензодатчиками асфальтоукладчика для управления процессом уплотнения 38

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Дегтярев В.В., Тарасевич В.В., Кушнерова О.Н. Математическое моделирование условий формирования заторов льда на реках	45
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Костин В.И., Федоров Б.А. Проблемы расчета воздухообмена в помещениях с избыtkами теплоты в теплый период	54
Бочкирев Г.Р., Пушкирева Г.И., Коваленко К.А. Сорбционная очистка водных сред от мышьяка с использованием природного и модифицированного брусита	59
Халтурин Т.И., Курилина Т.А., Чурбакова О.В. Изучение структуры и химического состава осадка сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, с использованием растровой (сканирующей) электронной микроскопии	65
Казаков В.Д., Пельменёва Н.Д. Исследование влияния схемы размещения аэраторов на основные параметры и эффективность работы действующего аэротенка-вытеснителя	71
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Дедов А.С., Зверева А.С., Абраменков Д.Э. Влияние положения канала форсажа на рабочие характеристики дроссельного пневмоударного механизма с форсажем холостого хода	79
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Изнаирская Е.М., Долнаков А.П. Структурно-функциональный потенциал главных городских магистралей как ресурс развития градостроительных систем	87
Масленникова Д.С. Возрождение монастырского строительства на Дальнем Востоке России	94
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Критерии прочности, применяемые в зарубежной практике расчета и проектирования каменных конструкций	101
Ильдияров Е.В., Холопов И.С. Напряженно-деформированное состояние трехслойной кровельной панели с ортотропным средним слоем	107
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Байджанов Д.О., Сихимбаев С.Р., Сихимбаев М.Р. Мельница для получения тонкого и сверхтонкого помола	115

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 539.3

Ю.В. НЕМИРОВСКИЙ, А.П. ЯНКОВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ РАЗРЕЗНОЙ НЕСУЩЕЙ КОЛОННЫ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ ВЯЗКОУПРУГОЙ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ*

Проведен анализ решений динамического поведения разрезных стальных колонн высотных зданий при горизонтальных сейсмических колебаниях грунта и прохождении поверхностных волн типа релеевских с учетом работы комбинированных компенсаторов, сопротивляющихся как поворотам сечений стоек, так и смещениям ползунов. Построены амплитудно-частотные характеристики таких колонн двух типов и объяснены особенности поведения этих характеристик. Показана высокая эффективность использования таких колонн по сравнению со сплошными колоннами и составными шарнирно-стержневыми колоннами при сейсмическом воздействии.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, разрезная колонна, высотное здание, динамическое деформирование, устойчивость, вязкоупругие компенсаторы.

В работах [1–3] авторы изучали динамическое поведение несущих колонн высотных зданий различного конструктивного исполнения при горизонтальных сейсмических колебаниях основания и прохождении поверхностных волн типа релеевских. При этом рассматривались сплошные колонны постоянного и переменного (определенные из условия равнопрочности) поперечного сечения при отсутствии каких-либо компенсаторов [1], аналогичные колонны при наличии компенсаторов [2], сопротивляющиеся поворотам поперечных сечений колонн в местах прикрепления сосредоточенных масс (см. рис. 1 в [2]), моделирующих влияние межэтажных перекрытий, а также составные колонны шарнирно-стержневого типа [3] с аналогичным типом компенсаторов (см. рис. 1 в [3]).

Однако более эффективным при сейсмическом воздействии может оказаться использование разрезных колонн при наличии компенсаторов комбинированного типа, которые, с одной стороны, сопротивляются поворотам поперечных сечений колонны в местах прикрепления сосредоточенных масс, а с другой стороны, ограничивают горизонтальные смещения сосредоточенной массы M_k относительно концов k -го и $(k+1)$ -го участков колонны, примыкающих к ней, если эта масса и соответствующие участки колонны образуют соединение, которое можно смоделировать ползуном с вязкоупругими связями (рис. 1, где для простоты изображены

* Работа выполнена в рамках программы Министерства образования и науки РФ (номер проекта 2.1.2/4822).

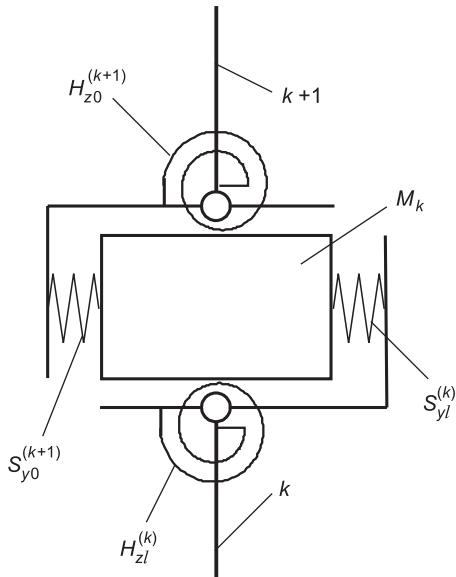


Рис. 1. Расчетная схема закрепления концов k -го и $(k + 1)$ -го элементов разрезной колонны на M_k -й сосредоточенной массе

перечное сечение кольцевой формы с отношением внутреннего радиуса к внешнему, равным 0,7. Площадь поперечного сечения $F = 150 \text{ см}^2$; масса колонны $M = \rho F L = 3528,9 \text{ кг}$. Нижний конец колонны упирается в опорную плиту и соединен с ней комбинированным компенсатором, расчетная схема которого подобна изображенной на рис. 1. Через каждые 3 м к колонне присоединены 10 сосредоточенных масс $M_k = 30 \text{ т}$ ($1 \leq k \leq K = 10$), моделирующих влияние межэтажных перекрытий десятиэтажного здания.

Крутильные¹

$$H_{z0}^{(k)} = H_{z1}^{(k)} = H_{z0} = 10 \text{ МН} \cdot \text{м} / \text{рад}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

и линейные

$$S_{y0}^{(k)} = S_{yl}^{(k)} = S_{y0} = 1 \text{ МН} / \text{м}, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

жесткости, моделируемые спиральными и винтовыми пружинами соответственно (см. рис. 1), одинаковы у всех комбинированных компенсаторов.

В естественных (статических) условиях эксплуатации наибольшие сжимающие напряжения в такой колонне возникают в нижнем поперечном сечении и определяются соотношением (1) из [2]. Используя эту формулу, определим условный коэффициент запаса статической прочности рассматриваемой колонны (без учета возможной потери устойчивости)

$$n_1 = R / |\sigma_{\max}| = 1,9898. \quad (3)$$

Это значение n_1 попадает в интервал $1,5 \leq n_{ct} \leq 2,5$ значений коэффициента запаса статической прочности, используемых на практике при проектировании металлоконструкций [4].

¹ Немировский Ю.В., Янковский А.П. Расчет и исследование поперечного деформирования несущей колонны высотного здания при горизонтальных сейсмических колебаниях основания и прохождении поверхностных волн. Сообщение 2. Метод расчета // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 4. С. 29–42.

лишь упругие элементы компенсаторов). Подобные комбинированные компенсаторы могут быть установлены и на опорной плите в основании колонны. По предположению, как и в [1–3], межэтажные перекрытия имеют большие моменты инерции относительно точек опирания на колонны, поэтому возможное вращение этих сосредоточенных масс M_k не учитывается.

Изучению динамического поведения колонн последнего типа и посвящено настоящее исследование.

Рассматриваются несущие колонны из стали С440 [4] с модулем упругости $E = 205 \text{ ГПа}$, пределом упругого сопротивления $R = 400 \text{ МПа}$ и объемной плотностью $\rho = 7800 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Исследуется динамическое поведение двух типов колонн.

Первый тип колонны (тип I).

Колонна высотой $L = 30 \text{ м}$ имеет по-

Второй тип колонны (тип II). Эта колонна полностью совпадает с колонной первого типа, но жесткости компенсаторов убывают по высоте колонны по следующему закону (ср. с (1), (2)):

$$\begin{aligned} H_{z0}^{(k)} &= H_{zl}^{(k)} = H_{z0}(K+1-k)/K, \quad H_{z0} = 10 \text{ МН}\cdot\text{м}/\text{рад}, \\ S_{y0}^{(k)} &= S_{yl}^{(k)} = S_{y0}(K+1-k)/K, \quad S_{y0} = 1 \text{ МН}/\text{м}, \quad k = 1, 2, \dots, K. \end{aligned} \quad (4)$$

Для каждого типа колонн расчеты проводились в трех вариантах.

Вариант А. Учитывалась только упругая работа комбинированных компенсаторов, т.е. коэффициенты линейной вязкости¹ компенсаторов принимались равными нулю:

$$\mu_{z0}^{(k)} = \mu_{zl}^{(k)} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad (5)$$

$$\eta_{y0}^{(k)} = \eta_{yl}^{(k)} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (6)$$

Вариант Б. Учитывались диссипативные свойства компенсаторов на горизонтальные смещения масс M_k относительно концов k -го и $(k+1)$ -го участков колонны, примыкающих к ней, т.е. вместо (6) соответствующие коэффициенты линейной вязкости принимались равными:

$$\eta_{y0}^{(k)} = \eta_{yl}^{(k)} = 1 \text{ МН}\cdot\text{с}/\text{м}, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (7)$$

Вариант В. Наряду с (7) учитывались диссипативные свойства компенсаторов на углы поворотов поперечных сечений колонны, т.е. вместо (5), (6) соответствующие коэффициенты линейной вязкости принимались равными (7) и

$$\mu_{z0}^{(k)} = \mu_{zl}^{(k)} = 1 \text{ МН}\cdot\text{м}\cdot\text{с}/\text{рад}, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (8)$$

З а м е ч а н и е 1. Далее для простоты записи будем говорить о расчете, например, колонны типа IIА или IIБ, понимая под этим расчет колонны второго типа по варианту А или Б (с учетом равенств (5), (6) или (5), (7)) и т.п.

Поведение колонн исследуется с учетом их гибкости. Расчеты, проведенные авторами в [1], показали, что результаты, полученные в двух постановках: 1) в предположении относительно большой жесткости колонн и 2) с учетом их гибкости, существенно различаются.

Предполагается, что при прохождении горизонтальных сейсмических волн опорная плита не поворачивается ($\Theta_z(t) \equiv 0$; см. [2]), а колеблется в горизонтальном направлении по закону $V(t)$ (см. (4) в [2]). График функции $V(t)$ при $v = 0,1$ Гц и $V_a = 0,01$ м изображен на рис. 3 в [2].

При прохождении поверхностных волн типа релеевских опорная плита может поворачиваться на угол $\Theta_z(t)$ без горизонтального смещения ($V(t) \equiv 0$). В этом случае принимается закон изменения угла $\Theta_z(t)$ в виде (5) из [2]. (Могут быть заданы и другие законы движения основания колонны, а также возможно и совместное действие сейсмических воздействий типа (4), (5) из [2]; в рамках разработанного ранее метода расчета¹ это не принципиально.)

Прежде всего, исследуем проблему устойчивости (в смысле Ляпунова) рассматриваемых колонн. Так как сосредоточенные массы изначально заданы, то при заданной форме поперечного сечения колонны (кольцевой) в качестве критического параметра выступает площадь поперечного сечения. Очевидно, что критическая площадь F_* будет зависеть от крутильной жесткости компенсаторов $H_{z0}^{(k)}, H_{zl}^{(k)}$ (в конечном итоге, от H_{z0} , см. (1), (4)), расположенных на k -м межэтажном перекрытии. На рис. 2 кривые 1, 2 характеризуют указанные зависимости $F_*(H_{z0})$ для колонн первого и второго типов

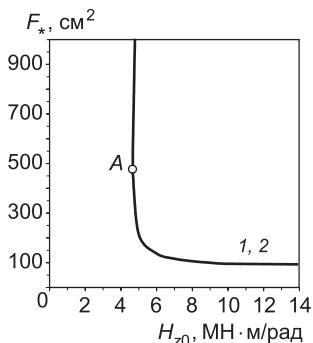


Рис. 2. Зависимости критических площадей колонн постоянного поперечного сечения от крутильных жесткостей компенсаторов

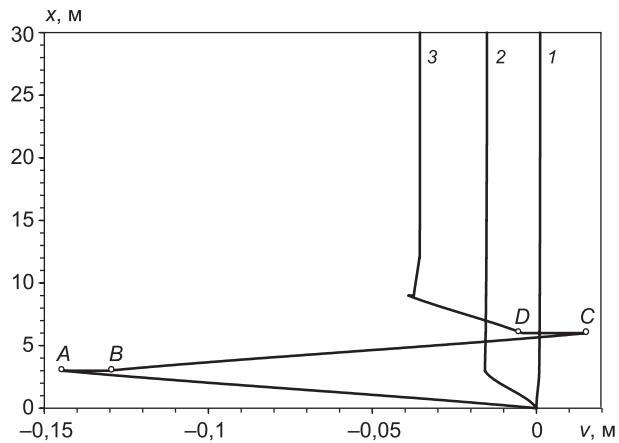


Рис. 3. Относительные положения разрезных колонн в предельных состояниях после потери устойчивости по Ляпунову

(x — осевая координата, v — прогиб)

соответственно. (Кривые 1, 2 на рис. 2 визуально не различаются.) При разных значениях H_{z0} такие колонны теряют устойчивость по разным формам. Так, на рис. 3 кривая 1 характеризует форму потери устойчивости колонны первого типа при значении критической площади F_* , соответствующей $H_{z0} = 100$ МН·м / рад; линия 2 соответствует значению F_* при $H_{z0} = 10$ МН·м / рад; кривая 3 получена при $H_{z0} = 4$ МН·м / рад. (Значения линейных жесткостей компенсаторов $S_{y0}^{(k)}, S_{yl}^{(k)}$ не влияют на устойчивость колонны.) Последнее значение H_{z0} не принадлежит области определения функции $F_*(H_{z0})$, график которой изображен на рис. 2. Действительно, кривые 1, 2, приведенные на рис. 2, имеют две ветви: одну возрастающую, лежащую выше точки A, и одну убывающую, лежащую ниже точки A. Между этими ветвями расположена область, точки которой (H_{z0}, F) гарантируют устойчивое динамическое деформирование колонны. Вне этой области расположены точки (H_{z0}, F), не обеспечивающие устойчивого динамического поведения соответствующих колонн.

Нижние ветви кривых 1, 2 на рис. 2 характеризуются локальной потерей устойчивости нижнего элемента колонны (см. кривые 1, 2 на рис. 3), когда изгибная жесткость колонны в этом элементе недостаточна для устойчивого движения колонны. Верхние ветви этих кривых определяются другой причиной потери устойчивости, а именно: при $F \geq F_*$ жесткость компенсаторов при заданном H_{z0} недостаточна для обеспечения устойчивости колонны, изгибные же жесткости элементов колонны являются даже избыточными. Форма потери устойчивости при этом подобна кривой 3 на рис. 3, т.е. колонна при потере устойчивости «складывается» в виде гармошки. (Изломы на кривой 3 рис. 3 соответствуют точкам врезанных шарниров в составной колонне, а горизонтальные участки, например AB и CD, — смещению ползунов, см. рис. 1.) Если значение H_{z0} лежит левее абсциссы точки A на рис. 2 ($H_{z0}(A) \approx 4,665$ МН·м / рад), например $H_{z0} = 4$ МН·м / рад, то крутильная жесткость компенсаторов будет недостаточной для устойчивого динамического поведения колонны при любых площадях ее поперечных сечений.

Как уже отмечалось, при $H_{z0} = 4 \text{ МН}\cdot\text{м} / \text{рад}$ форма потери устойчивости колонны характеризуется кривой 3 на рис. 3. Поведение этой кривой показывает, что для колонны первого типа согласно (1) жесткость компенсаторов на верхних межэтажных перекрытиях является избыточной (так как колонна складывается гармошкой лишь в нижней своей части). В силу того, что создание компенсаторов с большой жесткостью $H_{z0}^{(k)}, H_{zl}^{(k)}$ сопряжено с большими материальными и трудовыми затратами, целесообразно уменьшать жесткость компенсаторов (чтобы она не была чрезмерно избыточной) с увеличением номера элемента колонны, т.е. по высоте колонны. Именно поэтому авторы отдельно исследовали динамическое поведение колонн второго типа, для которых вместо (1) использованы соответствующие равенства (4).

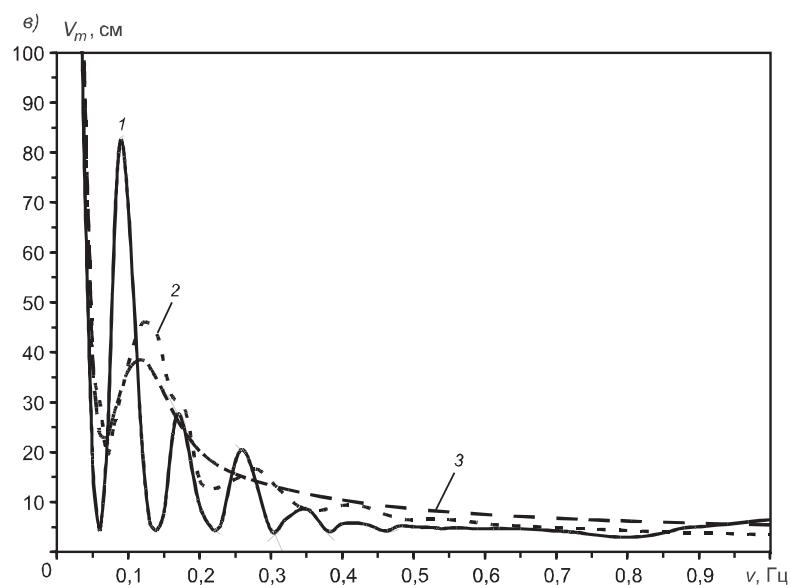
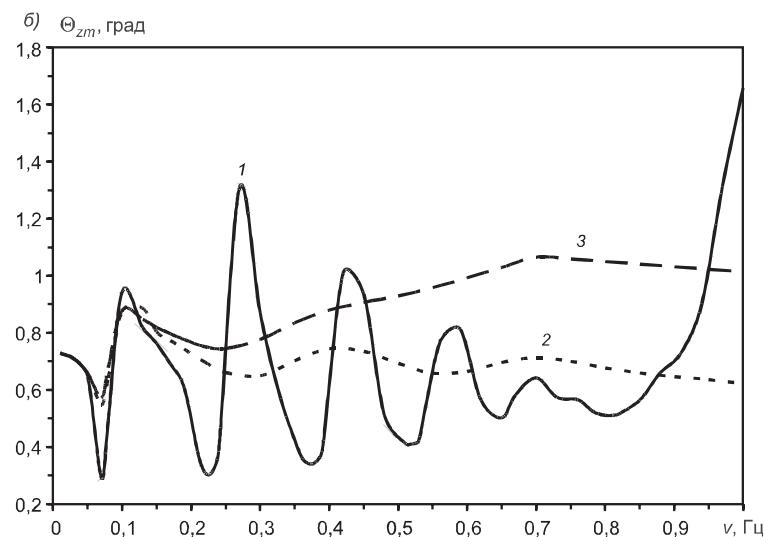
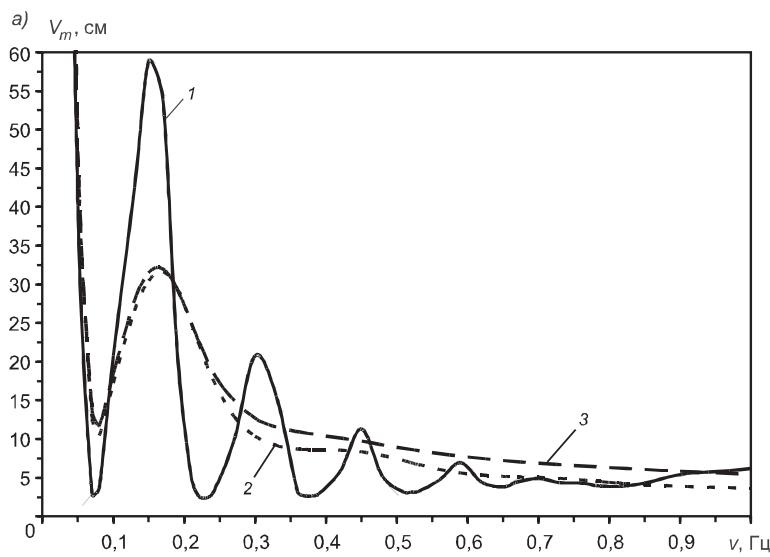
З а м е ч а н и е 2. В работах [1–3] помимо колонн постоянного поперечного сечения исследовалось динамическое поведение и равнопрочных колонн переменного по высоте поперечного сечения. Дополнительные расчеты, проведенные авторами, для равнопрочных колонн с комбинированными компенсаторами (типа изображенных на рис. 1) показали, что область устойчивости таких колонн характеризуется кривыми, которые визуально не отличаются от линий 1, 2 на рис. 5 в [3]. При этом равнопрочные колонны теряют устойчивость, либо складываясь гармошкой, подобно кривой 3 на рис. 3, либо теряют устойчивость локально на верхнем своем участке, где изгибная жесткость таких колонн минимальна (см. кривую 4 на рис. 4 в [3].) Анализ соответствующих расчетов показал, что при крутильной жесткости компенсаторов (1) или (4) равнопрочные колонны ведут себя устойчиво только тогда, когда их масса больше массы колонн постоянного поперечного сечения, рассматриваемых в настоящем исследовании. Поэтому в силу ограниченности объема статьи в данной работе не будем подробно исследовать динамическое поведение равнопрочных разрезных колонн.

Поведение кривых на рис. 2 показывает, что в диапазоне величин $4,7 \leq H_{z0} \leq 9 \text{ МН}\cdot\text{м} / \text{рад}$ критические значения F_* существенно зависят от H_{z0} , а при $H_{z0} > 9 \text{ МН}\cdot\text{м} / \text{рад}$ зависимость $F_*(H_{z0})$ незначительна. Учитывая именно это обстоятельство, далее в расчетах примем $H_{z0} = 10 \text{ МН}\cdot\text{м} / \text{рад}$ (см. (1), (4)). Кроме того, для обеспечения устойчивого динамического поведения колонны при сейсмических воздействиях нужно задать для колонн обоих рассматриваемых типов $F > F_*(H_{z0})$, где $H_{z0} = 10 \text{ МН}\cdot\text{м} / \text{рад}$. Исходя из этих соображений, для стоек первого и второго типов площадь поперечного сечения F была задана равной 150 м^2 (при этом, согласно кривым 1 и 2 на рис. 3, которые практически не различимы, имеем $F/F_* = 1,57$ и коэффициент запаса $n = n_1$, см. (3)).

Построим амплитудно-частотные характеристики $V_m(v)$, $\Theta_{zm}(v)$ (АЧХ) колонн рассматриваемых типов, понимая под $V_m(v)$, $\Theta_{zm}(v)$ такие значения амплитуд V_a , Θ_{za} в формулах (4), (5) из [2] при заданной частоте v , при которых в колоннах возникают начальные пластические деформации, т.е. выполняются равенства (6) из [2].

Если в естественном состоянии эксплуатации наиболее нагруженным сечением колонны является ее основание ($x = 0$), то в динамическом состоянии начальная пластическая деформация может возникнуть и в других сечениях колонны ($0 < x \leq L$), как это наблюдалось и в [1, 2].

На рис. 4, *a*, *b* изображены АЧХ рассматриваемых колонн первого типа, а на рис. 4, *в*, *г* — второго типа при низких частотах v горизонтальных (рис. 4, *a*, *в*) и угловых (рис. 4, *б*, *г*) колебаний опорной плиты (в по-



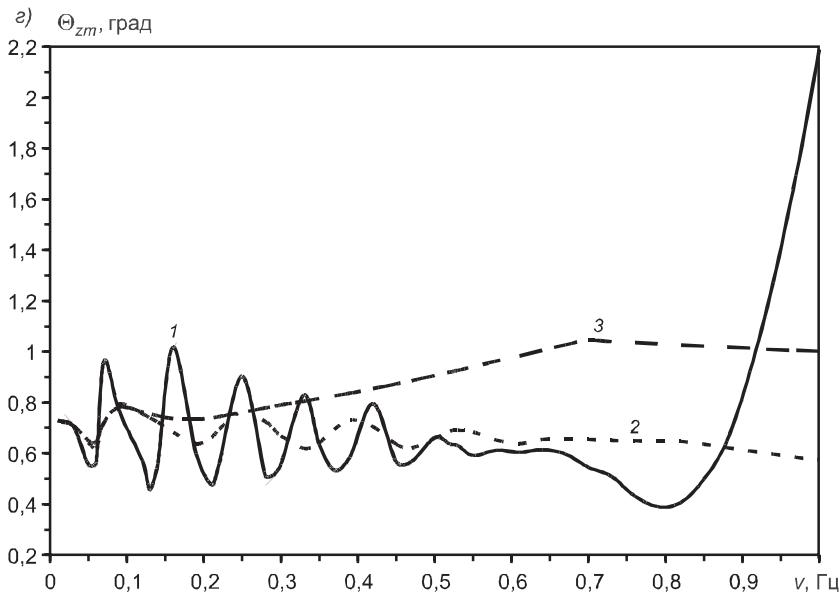


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики несущих колонн первого (а, б) и второго (в, г) типов при горизонтальных (а, в) и угловых (б, г) колебаниях опорной плиты

следнем случае — при прохождении поверхностных волн типа релеевских). Номера кривых 1, 2, 3 на этих рисунках соответствуют расчетам по вариантам А, Б, В (см. замечание 1).

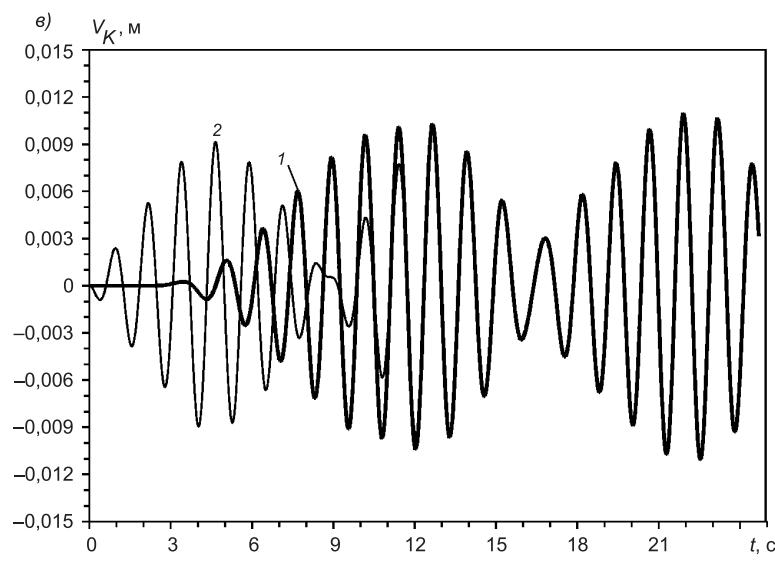
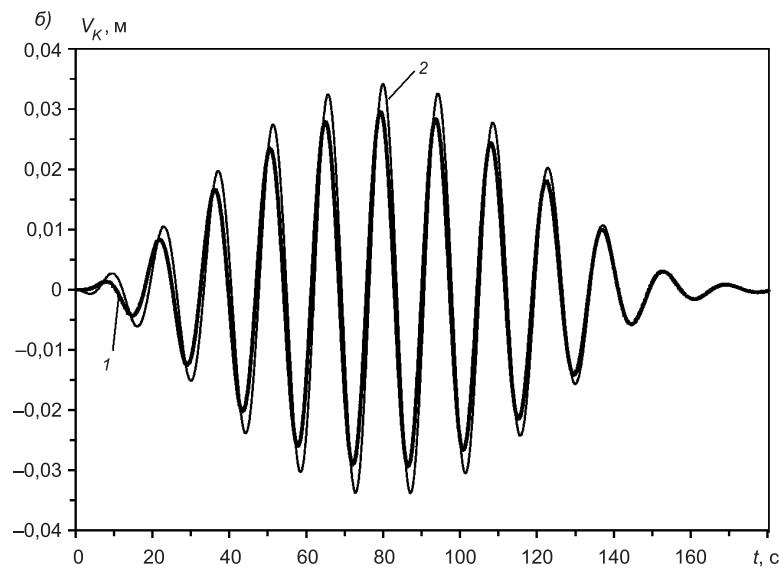
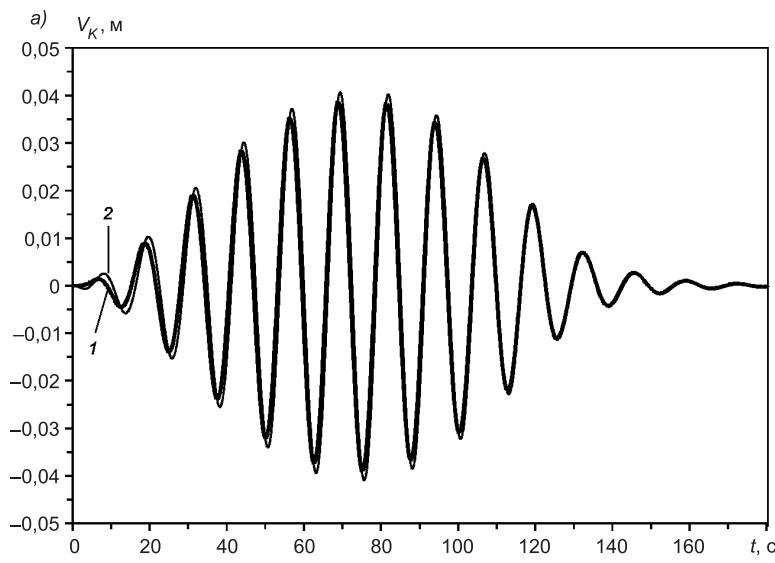
Замечание 3. При численных расчетах динамического поведения колонн использовались стержневые элементы высокого порядка той же длины, что и в [2] (см. там замечание).

Поведение кривых на рис. 4, а, в показывает, что при уменьшении частоты горизонтальных колебаний основания до нуля, как и в [1–3], предельно допустимые амплитуды V_m таких колебаний неограниченно возрастают ($V_m(v) \rightarrow \infty$ при $v \rightarrow 0$), т.е. чем плавнее в горизонтальном направлении колеблется основание, тем безопаснее динамическое состояние колонны, переходящее в пределе $v \rightarrow 0$ в квазистатическое состояние.

Согласно рис. 4, б, г подобное поведение колонны при $v \rightarrow 0$ не наблюдается в случае угловых колебаний опорной плиты.

Все кривые на рис. 4 имеют локальные минимумы, которые соответствуют резонансным частотам колонны (v_p). Движение верхней массы для колонны типа IA при нижней резонансной частоте $v_p = 0,07$ Гц подобно движению, изображенному на рис. 8 в [2]. Качественно подобные колебания получаются и для колонны типа IIА при низшей резонансной частоте колебаний опорной плиты как горизонтальных, так и угловых.

Из рис. 8 в [2] видно, что при отсутствии демпфирования в компенсаторах и прохождении сейсмических волн низшей резонансной частоты амплитуда колебаний верхней массы монотонно возрастает и после прекращения движения основания ($t > T$, см. (4), (5) в [2]) остается постоянной. При наличии же вязкой работы компенсаторов верхняя масса движется иначе. Так, на рис. 5 приведены кривые движения верхней массы колонны типа IB (рис. 5, а) и типа IIВ (рис. 5, б) при первых резонансных частотах и $V_a = 1$ см. Жирные кривые 1 на рис. 5 характеризуют абсолютное движение верхней массы $V_k(t)$, а тонкие линии 2 — относительное



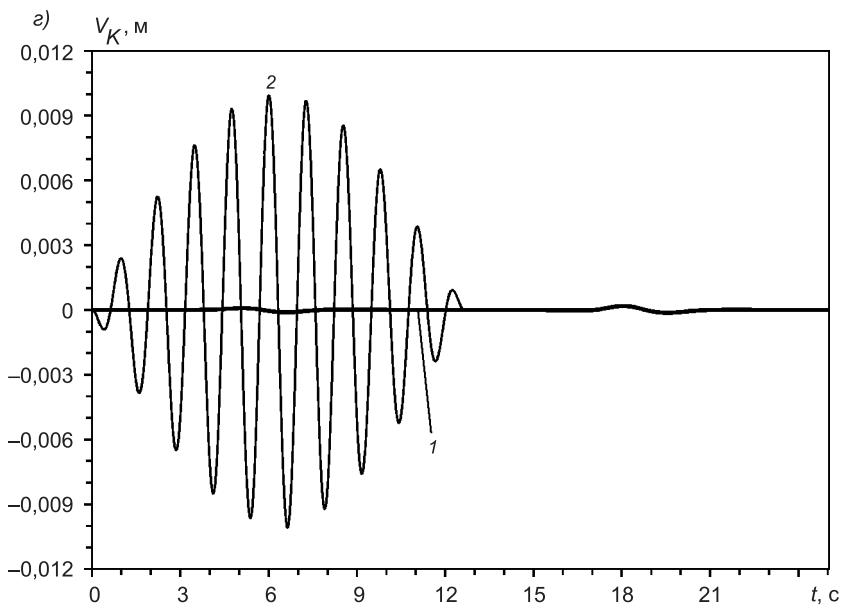


Рис. 5. Колебания верхней сосредоточенной массы колонны типа IB (а) и ПВ (б) при первых резонансных частотах и колонны типа IA (в) и ПА (г) при высших резонансных частотах

движение $V_K(t) - V(t)$ (см. (4) в [2]) — движение верхней массы относительно опорной плиты.

Как видно из рис. 5, а, б, в этих случаях после прохождения сейсмического воздействия ($t > T$) за счет демпфирующих свойств компенсаторов с вязкостями (7), (8) колебания верхней массы быстро затухают. При этом максимальная амплитуда колебаний верхней массы существенно меньше, чем в колоннах типа IA или ПА при одинаковых амплитудах V_a колебаний опорной плиты.

Если при низшей резонансной частоте кривые 1 и 2 на рис. 5, а, б различаются незначительно, то при высших резонансных частотах абсолютное движение верхней массы $V_K(t)$ может существенно отличаться от относительного движения $V_K(t) - V(t)$. Так, на рис. 5, в, г жирные кривые 1 характеризуют абсолютное, а тонкие линии 2 — относительное движение верхней массы на колоннах типа IA (рис. 5, в) и ПА (рис. 5, г) при высших резонансных частотах $v_p = 0,81$ Гц и $v_p = 0,79$ Гц соответственно и при $V_a = 1$ см.

Как видно по поведению кривой 1 на рис. 5, в на начальном отрезке времени $0 \leq t \leq 3$ с абсолютное движение верхней массы колонны типа IA при $v_p = 0,81$ Гц вообще отсутствует, хотя относительное движение (см. кривую 2 на этом же участке времени) значительно развивается, что наглядно демонстрирует задержку процесса движения верхней массы (примерно на 3 с), вызванную конечностью скорости распространения динамического процесса по высоте колонны рассматриваемого типа. При $t > 3$ с начинает активно развиваться абсолютное движение верхней массы колонны типа IA, причем максимальная амплитуда колебаний абсолютного движения в этом случае (в отличие от рис. 5, а, б) несколько больше максимальной амплитуды относительного колебания. После завершения сейсмического воздействия (при $t > T$) верхняя масса движется как бы в пульсирующем режиме (амплитуда ее периодически то возрастает, то убывает).

Принципиально по-другому движется верхняя масса колонны IIА примерно при той же частоте сейсмических колебаний (а именно при $v_p = 0,79$ Гц). Поведение кривой 1 на рис. 5, *г* показывает, что абсолютное движение верхней массы колонны типа IIА можно считать пренебрежимо малым, т.е. несмотря на колебания опорной плиты (линия 2 на рис. 5, *г*) верхняя масса даже при отсутствии демпфирования в компенсаторах остается практически неподвижной.

При наличии же вязкой работы компенсаторов поведение кривых, характеризующих абсолютное движение верхней массы рассматриваемых колонн, при высших резонансных частотах качественно подобно поведению линий 1 на рис. 5, *а, б, г*, т.е. после прекращения сейсмического воздействия (при $t > T$) эти колебания при линейных вязкостях (7), (8) быстро затухают.

Поведение кривых на рис. 8 в [2], рис. 5, *а, б* и линии 1 на рис. 5, *в* показывает: чем больше количество проходящих сейсмических волн резонансной частоты, тем больше максимальная амплитуда колебаний со средоточенных масс, а значит, тем меньше будет предельно допустимая амплитуда $V_m(v_p)$ или $\Theta_{zm}(v_p)$ колебаний опорной плиты, при которой возникают начальные пластические деформации в колонне. При этом сравнение кривых 2, 3 с линиями 1 на рис. 4 показывает, что наличие демпфирования в компенсаторах позволяет существенно (в два и более раза) повысить динамическую сопротивляемость рассматриваемых колонн на резонансных частотах (в особенности же на высших резонансных частотах).

На рис. 6 приведены относительные положения колонн типа IA, IIА в предельных состояниях, определенные для трех первых резонансных частот и характеризующие соответствующие формы собственных колебаний этих колонн. Номера кривых на этом рисунке соответствуют номерам резонансных частот. Сплошные жирные линии 1'-3' характеризуют поведение колонны типа IA, а пунктирные тонкие кривые 1''-3'' — колонны типа IIА. Как видно, на кривых отчетливо наблюдаются горизонтальные участки, соответствующие смещениям ползунов, установ-

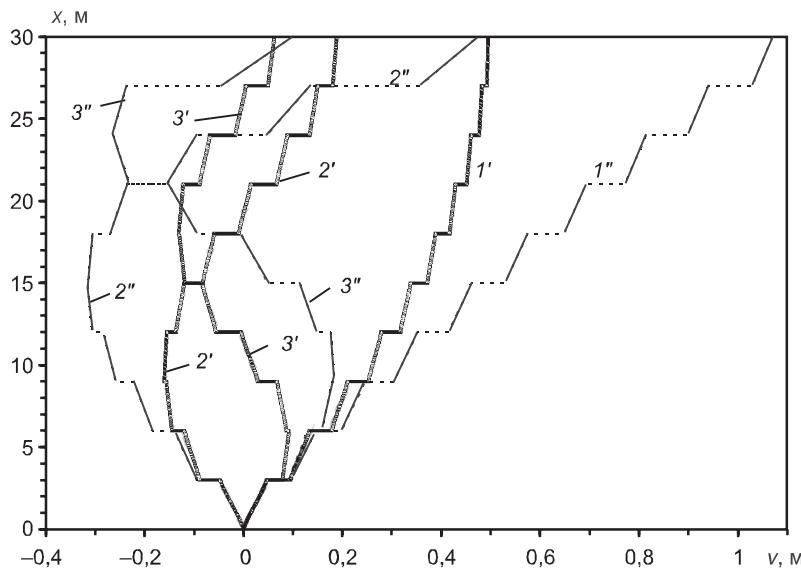


Рис. 6. Относительные положения разрезных колонн в предельных состояниях при резонансных частотах сейсмического воздействия

ленных в местах присоединения сосредоточенных масс — межэтажных перекрытий.

При прохождении сейсмических волн нерезонансной частоты сосредоточенные массы движутся иначе, а именно: в случае отсутствия демпфирования — подобно тому, как это изображено на рис. 10 в [2]; при наличии же вязкой работы компенсаторов после прохождения сейсмических волн колебания сосредоточенных масс быстро затухают, как на рис. 5, *a*, *b*, *g* настоящего исследования.

Расчеты показали, что начальные пластические деформации в колоннах рассматриваемых типов, как правило, возникают в их корневых сечениях ($x = 0$).

Сопоставление кривых с одинаковыми номерами на рис. 4, *a*, *b* показывает, что линии на рис. 4, *b* в основном лежат выше соответствующих кривых на рис. 4, *a*, т.е. динамическая сопротивляемость колонн второго типа лучше, чем колонн первого типа.

Согласно кривым, изображенными на рис. 4, *b*, *g*, колонны являются весьма чувствительными к угловым колебаниям опорной плиты, так как максимальные углы поворотов Θ_{za} опорной плиты порядка одного градуса являются уже опасными.

Кривые 2, 3 на рис. 4, *a*, *b* в основном лежат выше линий 1; кроме того, кривые 3 расположены выше линий 2. Следовательно, использование вязких элементов в конструкции компенсаторов позволяет повысить сопротивляемость колонн сейсмическим воздействиям. Однако этот эффект наблюдается не при всех частотах колебаний основания колонны. Так, правые участки кривых 1 на рис. 4 лежат выше линий 2, 3 (причем на рис. 4, *b*, *g* существенно выше), т.е. при частотах сейсмического воздействия $v \approx 1$ Гц колонны типа IA и IIА имеют большую динамическую сопротивляемость, чем колонны IB, IV и IIБ, IIВ, компенсаторы которых обладают вязкими элементами.

Чтобы избежать негативного влияния угловых колебаний опорной плиты на динамическое поведение колонны при сейсмическом воздействии, целесообразно на опорной плите крутильную жесткость компенсатора и соответствующую вязкость задать равными нулю ($H_{z0}^{(1)} = 0$, $\mu_{z0}^{(1)} = 0$). При этом угловые колебания опорной плиты вообще не будут передаваться на несущую колонну. Однако такая замена типа закрепления колонны на опорной плите может оказаться на характеристиках устойчивого деформирования колонны. Следовательно, в этом случае потребуется проведение дополнительных исследований устойчивости колонны и специальный подбор параметров жесткости компенсаторов $H_{z0}^{(k)}$, $H_{zl}^{(k)}$ и площадей поперечных сечений элементов колонны, обеспечивающих ее устойчивое динамическое поведение при наличии сейсмического воздействия. (Изучение этих вопросов выходит за рамки настоящего исследования.)

Кроме того, если на опорной плите линейная жесткость компенсатора, связанная с ползуном, и соответствующая вязкость равны нулю (т.е. $S_{y0}^{(1)} = 0$, $\eta_{y0}^{(1)} = 0$), то на несущую колонну не будет передаваться и сейсмическое воздействие от горизонтальных колебаний опорной плиты.

Колонну, в которой на опорной плите $H_{z0}^{(1)} = 0$, $\mu_{z0}^{(1)} = 0$, $S_{y0}^{(1)} = 0$, $\eta_{y0}^{(1)} = 0$, можно было бы считать оптимальной по ее сопротивляемости горизонтальным сейсмическим колебаниям и поверхностным волнам типа релеевских. Однако на практике коэффициенты линейной вязкости $\mu_{z0}^{(1)}$, $\eta_{y0}^{(1)}$ не могут быть равны нулю, так как всегда в опорном шарнире и в пол-

зуне на опорной плите при движении последней будет возникать трение качения и / или скольжения (т.е. всегда $\mu_{z0}^{(1)} > 0$, $\eta_{y0}^{(1)} > 0$). Более того, обязательно должно быть $S_{y0}^{(1)} > 0$, иначе корневое сечение колонны после завершения сейсмического воздействия не сможет вернуться в исходное положение. В силу указанных причин невозможно на практике создать такую конструкцию закрепления колонны на опорной плите, чтобы сейсмическое воздействие рассматриваемых типов не передавалось на колонну.

С точки зрения рационального проектирования колонн, эффективно сопротивляющихся сейсмическим воздействиям, нужно, по-видимому, рассматривать колонны переменного поперечного сечения, но не равнопрочные (по причинам, указанным в замечании 2), а такие, закон изменения поперечных сечений которых по высоте колонны определяется из условий эффективного динамического сопротивления сейсмическому воздействию. Критерием такого рационального проектирования может служить, например, условие равной локальной устойчивости всех элементов колонны. (Изучение этих вопросов также выходит за рамки настоящего исследования.)

В заключение проведем сравнительный анализ динамической сопротивляемости колонн, исследованных в настоящей работе и в [1–3]. Для этого сравним значения предельно допустимой амплитуды горизонтальных колебаний опорной плиты $V_m^{(1)}$ (см. (6) в [2]) при первой резонансной частоте $v_p^{(1)}$ для соответствующих колонн. Сравниваются колонны постоянного поперечного сечения F одинаковой высоты и с одинаковым количеством сосредоточенных масс одного веса. Результаты расчетов приведены в таблице.

Сравнение динамической сопротивляемости колонн

Тип колонны	F , см ²	$v_p^{(1)}$, Гц	$V_m^{(1)}$, см
Сплошная, без компенсаторов [1]	1500	0,14	5,461
Сплошная, с компенсаторами [2]	150	0,06	1,916
Шарнирно-стержневая (с учетом демпфирования) [3]	150	0,1	3,813
Разрезная (тип IIВ, см. кривую 3 на рис. 4, в)	150	0,06	23,725

Из таблицы видно, что наличие компенсаторов позволяет существенно (в данном случае в 10 раз) уменьшить массу колонны. Кроме того, использование разрезной колонны с комбинированными компенсаторами позволяет в разы (почти на порядок) повысить сопротивляемость колонны горизонтальным сейсмическим колебаниям. Дальнейшая оптимизация такой колонны возможна за счет целенаправленного подбора жесткостей и вязкостей компенсаторов и за счет рационального выбора площадей поперечных сечений по ее высоте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Немировский, Ю.В. Анализ результатов расчетов поперечного деформирования сплошной несущей колонны высотного здания при горизонтальных сейсмических колебаниях основания и прохождении поверхностных волн [Текст] / Ю.В. Немировский, А.П. Янковский // Труды НГАСУ. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — Т. 13, № 1 (47). — С. 82–94.
- Немировский, Ю.В. Анализ результатов расчетов поперечного деформирования сплошной несущей колонны высотного здания с учетом работы компенсаторов при горизонтальных сейсмических колебаниях основания и прохождении поверхностных волн [Текст] / Ю.В. Немировский, А.П. Янковский // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 1. — С. 10–21.

3. Немировский, Ю.В. Анализ результатов расчетов поперечного деформирования составной несущей колонны высотного здания с учетом вязкоупругой работы компенсаторов при горизонтальных сейсмических колебаниях основания и прохождении поверхностных волн [Текст] / Ю.В. Немировский, А.П. Янковский // Труды НГАСУ. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — Т. 13, № 3 (49). — С. 12–30.
4. СНиП II-23-81*: Стальные конструкции / Госстрой России. — М. : ГУП ЦПП, 2003. — 90 с.

НЕМИРОВСКИЙ Ю.В., д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЯНКОВСКИЙ А.П., д-р физ.-мат. наук
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
СО РАН, г. Новосибирск

Получено после доработки 08.06.11

Nemirovsky Yu.V., doctor of physical and mathematical sciences, professor; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Yankovsky A.P., doctor of physical and mathematical sciences, Khristianovich Institute of theoretical and applied mechanics the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

RESEARCH OF HABITS OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF THE SPLIT SUPPORTING COLUMN OF THE HIGH-RISE BUILDING IN VIEW OF VISCO-ELASTIC WORK OF THE COMBINED COMPENSATORS AT HORIZONTAL SEISMIC LOAD

The analysis of solutions of dynamic behaviour of the split steel columns of high-rise buildings is lead at horizontal seismic oscillations of soil and passage of surface waves of Rayleigh type in view of work of the combined compensators opposing both turns of cross-sections of racks, and to displacement of slide blocks. Amplitude-frequency characteristics of such columns of two types are builited and habits of behaviour of these characteristics are explained. Tall efficiency of use of such columns in comparison with continuous racks and compound hinged-rod columns is shown at seismic load.

Key words: seismic load, the split column, high-rise building, dynamic straining, stability, is viscous-elastic compensators.

REFERENCES

1. Nemirovsky, Yu.V. The analysis of results of calculations of the transverse straining of a continuous supporting column of a high-rise building at horizontal seismic oscillations of the basis and passage of surface waves [Text] / Yu.V. Nemirovsky, A.P. Yankovsky // Works NSASU. — Novosibirsk : NSASU (Sibstrin), 2010. — Vol. 13, N 1 (47). — P. 82–94.
2. Nemirovsky, Yu.V. The analysis of results of calculations of the transverse straining of a continuous supporting column of a high-rise building in view of work of compensators at horizontal seismic oscillations of the basis and passage of surface waves [Text] / Yu.V. Nemirovsky, A.P. Yankovsky // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 1. — P. 10–21.
3. Nemirovsky, Yu.V. The analysis of results of calculations of the transverse straining of a compound supporting column of a high-rise building in view of is viscous-elastic work of compensators at horizontal seismic oscillations of the basis and passage of surface waves [Text] / Yu.V. Nemirovsky, A.P. Yankovsky // Works NSASU. — Novosibirsk : NSASU (Sibstrin), 2010. — Vol. 13, N 3 (49). — P. 12–30.
4. Building Regulations II-23-81*: Steel construction [Text] / Gosstroy of Russia. — M. : State Unitary Enterprise CPP, 2003. — 90 p.

УДК 534.014.2

А.В. ДУКАРТ, ТХАНЬ БИНЬ ФАМ

О ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ КОЛЕБАНИЙ ОДНОМАССОВОЙ СИСТЕМЫ С УДАРНЫМ ГАСИТЕЛЕМ ПРИ ЗАДАННЫХ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассматриваются свободные колебания двухмассовой механической системы, представляющей собой защищаемую конструкцию с ударным гасителем одностороннего действия, моделируемым линейными системами с одной степенью свободы. Эффект соударения масс оценивается соотношениями стереомеханической теории удара. В промежутках между соударениями рассеяние энергии в звеньях системы учитывается по теории частотно-независимого трения Е.С. Сорокина, причем предполагается, что исходная система обладает непропорциональным демпфированием. Изучается влияние параметров системы на характер переходных режимов колебаний масс защищаемой конструкции и гасителя.

Ключевые слова: защищаемая конструкция, ударный гаситель, коэффициент восстановления, частотно-независимое трение, свободные колебания, переходные режимы.

Для виброзащиты инженерных конструкций и сооружений, машин и установок (далее — защищаемые конструкции) наряду с применением виброизоляции и демпферов различных типов давно и успешно используются нерегулируемые, пассивные гасители колебаний — динамические¹ [1] и ударные [2, 3]. Многие прикладные задачи связаны [1] с необходимостью уменьшения длительности переходных режимов свободных затухающих колебаний конструкции при действии на нее кратковременных импульсов (толчков или ударов), вызванных внезапно приложенной или внезапно удаленной нагрузкой, начальным смещением опор и другими силовыми и кинематическими возмущениями. Такие задачи возникают, в частности, в связи с интенсификацией производственных процессов, когда время успокоения конструкции до состояния покоя больше времени, необходимого для выполнения намеченной операции.

Переходные режимы колебаний конструкций с динамическим гасителем, вызванные заданными начальными условиями, достаточно полно изучены^{2–4} [1, 4]. Исследований по ударному гашению нестационарных,

¹ Алексеев А.М., Сборовский А.К. Судовые виброгасители. М.: Судпромгиз, 1962. 196 с.

² Бартел (Bartel D.L.), Краутер (Krauter A.I.). Оптимизация временных характеристик динамического поглотителя колебаний // Тр. америк. об-ва инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. 1971. Т. 93. Серия В, № 3. С. 34–38.

³ Вульфсон М.Н. К вопросу о выборе параметров динамического гасителя колебаний // Нелинейные колебания и переходные процессы в машинах. М.: Наука, 1972. С. 347–354.

⁴ Нагаев Р.Ф., Степанов А.В. Об оптимизации коэффициента затухания свободных колебаний двухмассовой системы // Механика твердого тела. 1979. № 4. С. 24–28.

в том числе свободных колебаний конструкций сравнительно мало⁵⁻⁷ [2, 3] — практически рассматривалась только модель двустороннего ударного гасителя без упругой связи с защищаемой конструкцией. В литературе он называется также свободным или плавающим ударным гасителем.

Настоящая статья посвящена изучению переходных режимов движения защищаемой конструкции с ударным гасителем одностороннего действия при свободных колебаниях, вызванных заданными начальными условиями. Предполагается, что расчетные схемы конструкции и гасителя могут быть представлены системами с одной степенью свободы (рис. 1), причем в промежутках между соударениями они линейны. Соударения масс конструкции (главной массы) m_1 и гасителя m_2 принимаются мгновенными и оцениваются по стереомеханической теории удара⁸ коэффициентом восстановления $0 < R < 1$. Внутренние диссипативные свойства в звеньях системы учитываются в соответствии с гипотезой частотно-независимого трения Е.С. Сорокина⁹ комплексными жесткостями $c_j(u_j + iv_j)$, где $u_j = (4 - \gamma_j^2) / (4 + \gamma_j^2)$, $v_j = 4\gamma_j / (4 + \gamma_j^2)$; c_j , γ_j — соответственно квазиупругий коэффициент и коэффициент неупругого сопротивления защищаемой конструкции ($j = 1$) и гасителя ($j = 2$).

При указанных предположениях для определения колебаний рассматриваемой системы в интервалах времени, разделенных соударениями масс m_1 и m_2 , можно, в частности, воспользоваться подходом [2], связанным с пересчетом начальных условий движения ее масс для соответствующего интервала времени $t_k^+ \leq t \leq t_{k+1}^-$ между двумя последовательными соударениями. Здесь t_k — время k -го соударения; t_k^-, t_k^+ — моменты начала и окончания контактного взаимодействия масс, причем при использовании стереомеханической теории удара⁸ $t_k^+ - t_k^- \rightarrow 0$; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$, при этом $k = 0$ соответствует начальному моменту движения системы ($t = 0$), т.е. $t_0 = 0$. Обозначим также через $\dot{x}_{1,k}^-, \dot{x}_{2,k}^-$ — доударные и $\dot{x}_{1,k}^+, \dot{x}_{2,k}^+$ — послеударные скорости масс m_1 и m_2 , соответствующие времени k -го соударения.

⁵ Зевин А.А. Нестационарные колебания системы с ударным гасителем // Динамика и прочность тяжелых машин. Днепропетровск: ДГУ, 1980. Вып. 5. С. 23–28.

⁶ Романовский В.А. Ударное гашение собственных колебаний механической системы // Прикладная механика в приборостроении. Л.: ЛЭИ, 1978. С. 70–75.

⁷ Bapat C.N., Sankar S. Single unit impact damper in free and forced vibration // Journal of Sound and Vibration. 1985. Vol. 99, N 1. P. 85–94.

⁸ Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М.: Стройиздат, 1965. 449 с.

⁹ Сорокин Е.С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. М.: Стройиздат, 1960. 131 с.

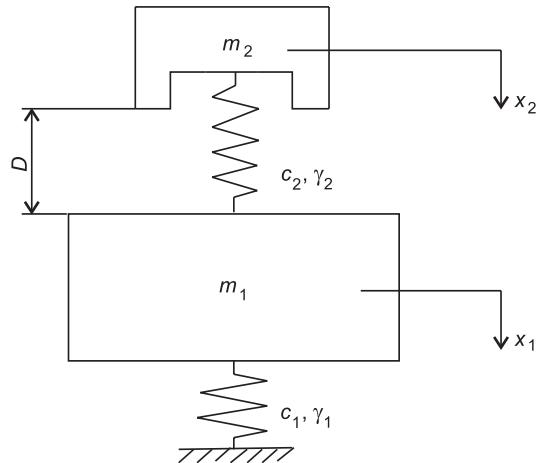


Рис. 1. Расчетная схема защищаемой конструкции с ударным гасителем колебаний одностороннего действия

Функции абсолютных координат (отклонений) $x_j(t)$ масс системы найдем, воспользовавшись решениями¹⁰, полученными в [4]. В общем случае начальных условий движения системы при $t = t_k$ в интервале времени $t_k^+ \leq t \leq t_{k+1}^-$

$$x_1(t_k) = x_{1,k}; \quad x_2(t_k) = x_{2,k}; \quad \dot{x}_1(t_k) = \dot{x}_{1,k}^+; \quad \dot{x}_2(t_k) = \dot{x}_{2,k}^+ \quad (1)$$

уравнения колебаний масс могут быть записаны в виде

$$x_j(t) = \frac{1}{\Delta_s} \sum_{v=1}^2 e^{-0.5h_v(t-t_k)} [\tilde{u}_{jv} \cos \omega_v (t - t_k) - \tilde{v}_{jv} \sin \omega_v (t - t_k)]; \quad j = 1, 2, \quad (2)$$

где ω_v, h_v — частоты свободных колебаний и соответствующие им коэффициенты демпфирования рассматриваемой системы, определяемые как для системы с двумя степенями свободы из решения характеристического уравнения (2) статьи [4];

$$\begin{aligned} \tilde{u}_{jv} &= x_{1,k} u_{jv}^{(1)} + x_{2,k} u_{jv}^{(2)} + \dot{x}_{1,k}^+ u_{jv}^{(3)} + \dot{x}_{2,k}^+ u_{jv}^{(4)}; \\ \tilde{v}_{jv} &= x_{1,k} v_{jv}^{(1)} + x_{2,k} v_{jv}^{(2)} + \dot{x}_{1,k}^+ v_{jv}^{(3)} + \dot{x}_{2,k}^+ v_{jv}^{(4)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Величины $u_{jv}^{(l)}, v_{jv}^{(l)}$ отвечают колебаниям системы, вызванным только одним из начальных возмущений (при нулевых значениях остальных): начальным смещением $x_{1,k}$ массы m_1 ($l = 1$) или $x_{2,k}$ массы m_2 ($l = 2$), начальной скоростью движения $\dot{x}_{1,k}^+$ массы m_1 ($l = 3$) или $\dot{x}_{2,k}^+$ массы m_2 ($l = 4$). Их вычисление производится, соответственно, по формулам (7) и (10)–(12) работы [4]. Значение Δ_s также определяется по формуле указанной работы.

Соответствующие скорости движения масс системы найдем, дифференцируя функции (2) по времени t :

$$\begin{aligned} \dot{x}_j(t) &= \frac{1}{\Delta_s} \sum_{v=1}^2 e^{-0.5h_v(t-t_k)} [(0.5h_v \tilde{v}_{jv} - \omega_v \tilde{u}_{jv}) \sin \omega_v (t - t_k) - \\ &\quad -(0.5h_v \tilde{u}_{jv} + \omega_v \tilde{v}_{jv}) \cos \omega_v (t - t_k)]. \end{aligned} \quad (4)$$

В (2)–(4) $u_{2,v}, v_{2,v}$ вычисляются через $u_{1,v}, v_{1,v}$, используя соотношения (9) статьи [4].

Соударения гасителя и защищаемой конструкции являются односторонними, поэтому относительные колебания массы m_2 гасителя ограничены начальным зазором D (рис. 1)

$$x(t) = x_2(t) - x_1(t) \leq D, \quad (5)$$

причем соударения масс происходят, когда в (5) выполняется равенство и относительная скорость $\dot{x}(t)$, соответствующая моменту соударения, положительна. Таким образом, для определения последующего ($k+1$)-го соударения масс из (5) следует уравнение $x(t_{k+1}) = D$, корень которого должен удовлетворять условию $\dot{x}^-(t_{k+1}) > 0$. Зная время соударения t_{k+1} , найдем начальные условия для интервала движения системы $t_{k+1}^+ \leq t \leq t_{k+2}^-$, при этом начальные отклонения масс $x_{j,k+1} = x_j(t_{k+1})$ вычисляются непосредственно, используя уравнения (2), а для определения начальных скоростей $\dot{x}_{j,k+1}^+$ необходимо сначала с помощью [4] найти доудар-

¹⁰ Дукарт А.В. Об установившихся колебаниях двухмассовой системы с демпфированием при произвольной периодической возмущающей нагрузке // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 3–4. С. 3–13.

ные скорости масс $\dot{x}_{j,k+1} = \dot{x}_j(t_{k+1})$, а затем воспользоваться известными соотношениями⁸ для вычисления послеударных скоростей

$$\dot{x}_{1,k+1}^+ = \frac{(m_1 - m_2 R) \dot{x}_{1,k+1}^- + m_2 (R + 1) \dot{x}_{2,k+1}^-}{m_1 + m_2};$$

$$\dot{x}_{2,k+1}^+ = \frac{(m_2 - m_1 R) \dot{x}_{2,k+1}^- + m_1 (R + 1) \dot{x}_{1,k+1}^-}{m_1 + m_2}.$$

Используя изложенную методику, рассмотрим влияние параметров ударного гасителя одностороннего действия на характер переходных режимов движения защищаемой конструкции и гасителя. Как и в [4] будем считать, что колебания системы при $t = 0$ ($t_0 = 0$) вызваны заданным отклонением $x_{1,0}$ главной массы m_1 . Учитывая, что на массу гасителя не наложены дополнительные удерживающие связи (за исключением упругой связи, соединяющей массу m_2 с массой m_1), начальное отклонение $x_{2,0}$ гасителя совпадает с начальным отклонением главной массы, т.е. $x_{2,0} = x_{1,0}$. Таким образом, начальные условия (1) движения системы имеют вид

$$x_1(0) = x_{1,0}; \quad x_2(0) = x_{1,0}; \quad \dot{x}_1(0) = 0; \quad \dot{x}_2(0) = 0. \quad (6)$$

С учетом (6) из (3) следуют соотношения для величин \tilde{u}_{jv} , \tilde{v}_{jv} на начальном этапе движения системы в интервале $0 \leq t \leq t_1^-$

$$\tilde{u}_{jv} = x_{1,0} (u_{jv}^{(1)} + u_{jv}^{(2)}); \quad \tilde{v}_{jv} = x_{1,0} (v_{jv}^{(1)} + v_{jv}^{(2)});$$

здесь t_1 — время первого соударения масс, определяемого из уравнения $x(t_1) = D$.

Для анализа функций абсолютных отклонений главной массы $x_1(t)$ и гасителя $x_2(t)$ воспользуемся безразмерными параметрами

$$\mu = m_2 / m_1; \quad s = \omega_{02} / \omega_{01}; \quad d = D / x_{1,0}; \quad y_j(\tau) = x_j(t) / x_{1,0}; \quad \tau = \omega_{01} t;$$

$$p_v = \omega_v / \omega_{01}; \quad \delta_v = h_v / \omega_{01},$$

где $\omega_{01} = \sqrt{c_1 / m_1}$ — частота собственных колебаний защищаемой конструкции без гасителя; $\omega_{02} = \sqrt{c_2 / m_2}$ — парциальная частота колебаний гасителя.

При демпфировании свободных колебаний конструкций используются различные критерии оптимальности параметров динамического и двустороннего (свободного) ударного гасителей^{2-4, 6, 7} [1].

В зависимости от принятого критерия качества виброзащиты, при оптимальных параметрах гасителей переходные режимы движения главной массы затухают либо практически равномерно, плавно, без биений (подобно свободным колебаниям системы с одной степенью свободы с высоким коэффициентом неупругого сопротивления), либо сопровождаются биениями и поэтому на достаточно большом интервале времени колебания массы m_1 затухают медленнее² [1, 3, 4]. Аналогичный характер носят свободные колебания защищаемой конструкции с присоединенным ударным гасителем одностороннего действия (рис. 1). Об этом свидетельствуют приведенные на рис. 2 графики переходных режимов движения главной массы, полученные при фиксированных значениях относительной массы $\mu = 0,05$ и настройки $s = 0,5$ гасителя, величин коэффициентов неупругого сопротивления $\gamma_1 = 0,025$, $\gamma_2 = 0,01$ и значениях коэффициента восстановления $R = 0,3; 0,7$ и начального зазора $d = 0,0; 0,25$. Для срав-

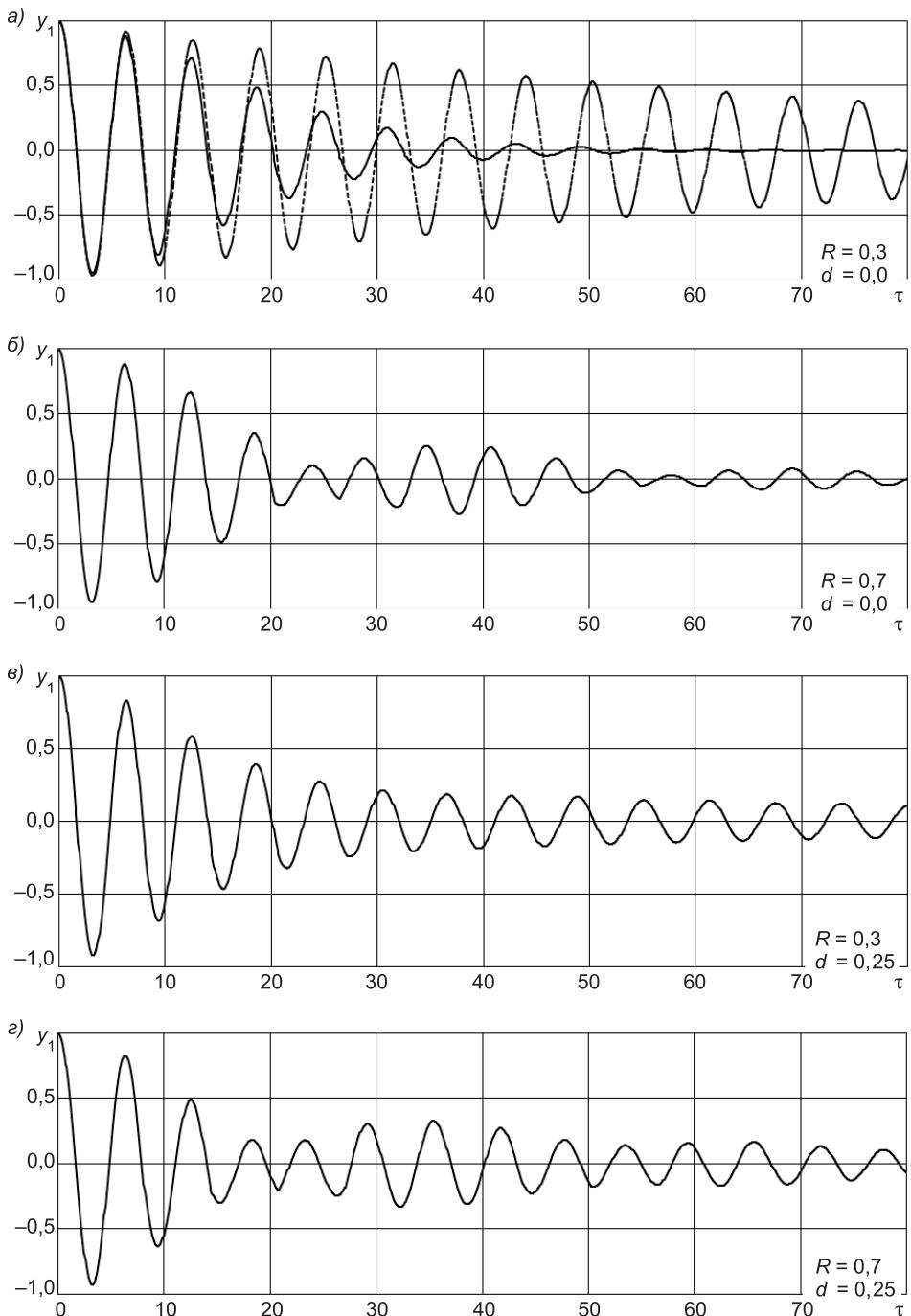


Рис. 2. Переходные процессы колебаний главной массы

нения на рис. 2, а пунктирной линией изображен график свободных колебаний массы m_1 системы с одной степенью свободы.

Представленные кривые $y_1(\tau)$ показывают существенную зависимость переходных процессов колебаний главной массы от величины коэффициента восстановления. Малым значениям коэффициента R соответствуют равномерно затухающие свободные колебания массы m_1 (рис. 2, а, в), причем затухание колебаний до определенного момента времени происходит практически по линейному закону. Такими же являются

ются колебания защищаемой конструкции, снабженной свободным ударным гасителем двустороннего действия⁷ [3]. С увеличением коэффициента восстановления свободные колебания главной массы сопровождаются биениями (рис. 2, б, г), при этом на начальном этапе затухание колебаний массы m_1 также происходит примерно по линейному закону.

Влияние начального зазора между массами защищаемой конструкции и гасителя на характер переходных режимов движения главной массы не столь значительно, как коэффициента восстановления. Вместе с тем от величины зазора d зависит уровень колебаний главной массы — для рассматриваемых значений параметров с его увеличением в первые несколько периодов колебаний (три — четыре) уровень отклонений массы m_1 сначала снижается, а затем возрастает.

Графики переходных процессов колебаний массы гасителя $y_2(\tau)$ для некоторых значений параметров, соответствующих кривым $y_1(\tau)$, приведены на рис. 3. Они свидетельствуют о том, что ударный гаситель колебаний одностороннего действия, как и динамический [1, 4] и свободный ударный [3] гасители, быстро включается в работу и обеспечивает повышенное демпфирование колебаний защищаемой конструкции, которое достигается за счет динамического взаимодействия главной массы системы и массы гасителя в результате соударений. При этом колебания массы гасителя после первоначального возрастания также либо плавно затухают (рис. 3, а), либо сопровождаются биениями (рис. 3, б).

Таким образом, параметры ударного гасителя колебаний оказывают существенное влияние на переходные режимы движения защищаемой конструкции, что позволяет решать задачу выбора оптимальных параметров гасителя для принятого критерия качества виброзащиты.

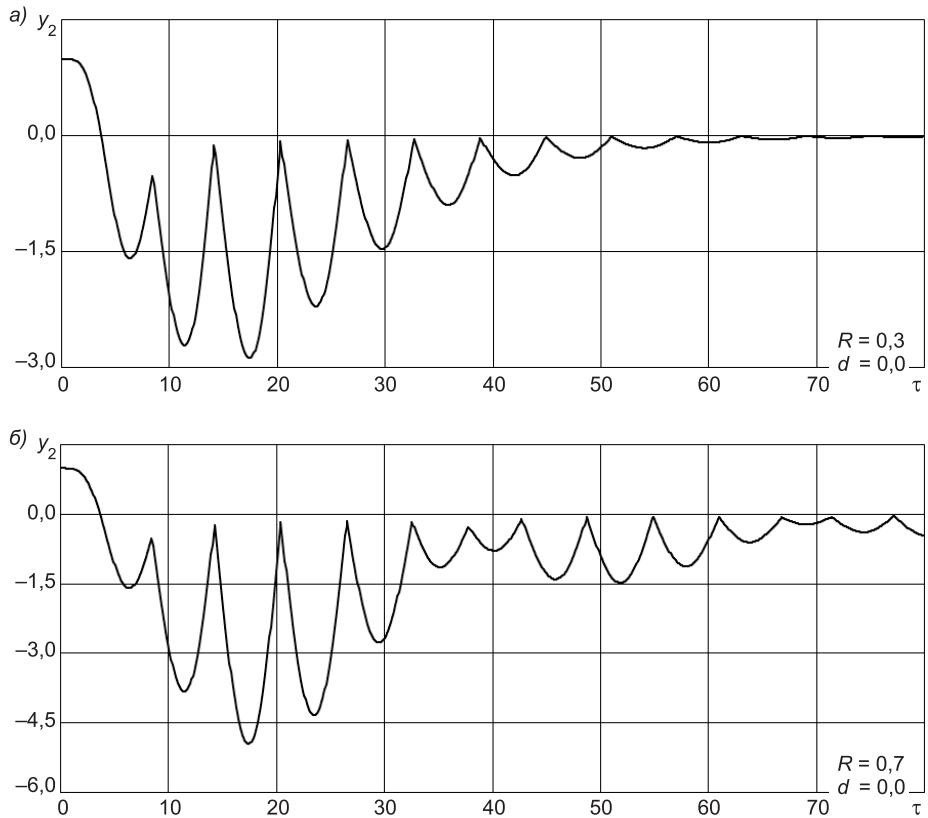


Рис. 3. Переходные процессы колебаний массы гасителя

Отметим также, что колебания рассматриваемой системы, сопровождающиеся односторонними соударениями ее масс, могут быть найдены и другим способом, в соответствии с которым полное движение системы определяется суммированием колебаний безударной системы, вызываемых заданным начальным возмущением, и колебаний, вызываемых последовательностью ударных импульсов. Этот способ широко применяется для анализа многомассовых виброударных систем и систем с ударными гасителями колебаний различных типов как при стационарных, так и при нестационарных динамических нагрузках^{5, 7} [2, 3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коренев, Б.Г. Динамические гасители колебаний: Теория и технические приложения [Текст] / Б.Г. Коренев, Л.М. Резников. — М. : Наука, 1988. — 304 с.
2. Дукарт, А.В. Задачи теории ударных гасителей колебаний [Текст] / А.В. Дукарт. — М. : АСВ, 2006. — 208 с.
3. Кобринский, А.Е. Виброударные системы (Динамика и устойчивость) / [Текст] / А.Е. Кобринский, А.А. Кобринский. — М. : Наука, 1973. — 592 с.
4. Дукарт, А.В. К определению свободных колебаний двухмассовой системы с демпфированием [Текст] / А.В. Дукарт, Вьет Нгок Фам, Тхань Бинь Фам // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 5. — С. 81–90.

ДУКАРТ А.В., д-р техн. наук, проф.

Московский государственный строительный университет

ФАМ Тхань Бинь, асп.

Московский государственный строительный университет

Получено 15.06.11

Dukart A.V., doctor of technical sciences, professor, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Pham Thanh Binh (Vietnam), post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

ON TRANSIENT VIBRATION REGIMES OF ONE MASS SYSTEM WITH IMPACT DAMPER FOR FIXED INITIAL CONDITIONS

The free oscillations of the two-mass mechanical system, including the protected structure and impact absorber with one-sided interaction, are examined. The impact effect is estimated by relations of the stereomechanical theory of blow. In intervals between impacts, dispersion of the system energy is evaluated via the theory of the frequency-independent friction by E. S. Sorokin. An effect of the system parameters on the vibrations of the masses of the protected structure and absorber is studied.

Key words: protected structure, impact absorber, restitution coefficient, frequency-independent friction, free oscillations, transient regimes.

REFERENCES

1. Коренев, Б.Г. Dinamic vibration dampers: Theory and engineering applications [Text] / B.G. Korenev, L.M. Reznikov. — M. : Nauka, 1988. — 304 p.
2. Dukart, A.V. Problems of theory impact vibration damper [Text] / A.V. Dukart. — M. : ASV, 2006. — 208 p.
3. Кобринский, А.Е. Vibroimpact systems (Dynamics and stability) [Text] / А.Е. Кобринский, А.А. Кобринский. — М. : Наука, 1973. — 592 p.
4. Dukart, A.V. To determination of free oscillations of two-mass system with damping / A.V. Dukart, V.N. Pham, T.B. Pham // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 5. — P. 81–90.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.31:678.06

В.Д. ЧЕРКАСОВ, С.В. ДУДЫНОВ, В.И. БУЗУЛУКОВ

БИОМОДИФИКАТОРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Высказывается предположение о возможных путях создания, выпуска и перспективах применения добавок для строительных и, в частности, цементных систем. Показана целесообразность использования природных полимеров в качестве основы экологически безвредных модификаторов. Предлагается задействовать микробный синтез для получения товарных продуктов. Приводятся данные результатов исследований цементных систем с модификаторами протеиновой группы.

Ключевые слова: добавки-модификаторы, строительные композиты, биоПАВ, протеины, микробный синтез, экологическая безвредность.

В последние годы в строительном материаловедении наблюдаются большие изменения как рецептурного, так и технологического характера. Не остались в стороне от этого процесса и цементные системы. Например, изменения произошли в составах смесей, неизменным компонентом которых теперь являются добавки-модификаторы. В качестве последних выступают как индивидуальные вещества, так и комплексы соединений. Причем среди многочисленных и разнообразных модификаторов особняком расположились пластифицирующие добавки — разжижители.

Помимо основного действия — пластификации цементной смеси они, как правило, обладают и мощными побочными эффектами. Например, известный пластификатор ЛСТ (лигносульфонаты технические) оказывает сильное влияние на процесс структурообразования и выступает одновременно эффективным замедлителем твердения. Среди негативных последствий этого явления следует отметить существенный сдвиг прочностных показателей готового бетона во времени, хотя общая тенденция к постепенному нарастанию прочности сохраняется.

Другой разжижитель — суперпластификатор на основе продуктов конденсации нафталин- или меламинсульфокислоты и формальдегида, известный под аббревиатурой СЗ, обладающий высоким разжижающим действием, при всех своих достоинствах относится к третьему классу опасности (способствует возникновению экземы), что не прибавляет плюсов к числу его характеристик.

Начатый перечень можно продолжить, и у любого из существующих модификаторов обнаружатся серьезные изъяны. Общий недостаток, объединяющий известные пластификаторы, — их искусственное происхождение. Обычно это соединения химического синтеза, не существующие в природе, тогда как в наши дни экологическая составляющая выступает как доминирующий фактор в любой технологии. Отсюда вытекает следующее.

Для полноценного производства экологически безвредных продуктов необходимы большие финансовые вложения на строительство предпри-

ятий по их производству, разработке технологий получения товарной продукции, оснащения соответствующим технологическим оборудованием с выполнением монтажных и пусконаладочных работ. Как видно, перечень мероприятий, предшествующих выпуску готовой продукции, весьма обширный и насыщенный. Кроме того, отложенное производство, за редким исключением, невозможно переориентировать на выпуск другой продукции (без затрат, сопоставимых с новым производством). В итоге складывается тупиковая ситуация, разрешение которой без финансового «кровопролития» невозможно.

Перспективные пути решения проблемы с модификаторами строительного назначения следует искать в кооперации возможностей, предоставляемых смежными областями научных знаний. Так, задача может быть успешно решена при выявлении природных продуктов, способных пластифицировать цементные системы. Больше того, смело можно утверждать, что в природе существует многочисленная группа соединений, которые могут разжижать строительные смеси на самых разнообразных связующих как по происхождению — неорганических, органических, комбинированных, так и по твердению — воздушных, гидравлических, низких или высоких температурах, влажности и т.д. [1–3].

Относительно технологической составляющей процесса получения модификаторов предлагается следующее решение.

Поскольку любая передовая технология со временем устаревает и требуется модернизация производства, следовало бы по максимуму использовать имеющееся оборудование, а не отправлять его на переработку. Такие процессы имеют место быть в биотехнологии. Следовательно, производство добавок-модификаторов строительного назначения необходимо базировать на биосинтезе.

Главной составляющей биосинтетических производств является «правильная» культура-продуцент. Поэтому глубокая модернизация биопроизводства возможна без кардинальной смены оборудования, путем простой замены микробной культуры; изменения состава питательной среды либо параметров технологического процесса, например, температуры или pH. Огромный плюс биотехнологии — возможность организации широкомасштабного производства в любой климатической зоне, без больших затрат и в кратчайшие сроки¹ [4].

Следовательно, из-за массовости применения цементных систем можно использовать модификаторы, отличающиеся экологической безвредностью, т.е. природные соединения или продукты, составленные из фрагментов природных веществ. Причем технология получения также должна основываться на процессах, характерных для природы, поскольку они отличаются высоким коэффициентом полезного действия и исключают образование вторичных продуктов — так называемых отходов. Подобные условия характерны и этим требованиям соответствуют технологии, основанные на микробном синтезе.

Беглый анализ наиболее известных, широко распространенных и относительно изученных природных веществ неизменно подводит к соединениям протеиновой группы. Сюда входят белки, их производные и комплексы с липидами, углеводами и др.

С химической точки зрения протеины интересны тем что известные природные белки составлены двадцатью аминокислотами. Зная свойства аминокислот, в некоторой степени можно прогнозировать и свойства

¹ Грачева И.М. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и биоэнергия. М.: Колос, 1992. 383 с.

синтезируемых из них белков. Отметим, что как собственно белки, так и их производные комплексы представляют собой типичные полимеры, а действие модификаторов в полимерной форме, как известно, эффективнее мономерных аналогов.

Важнейшая характеристика протеинов, которая собственно и определяет их свойства, — их структурная организация. У белков чрезвычайно сложная структура. Не детализируя строение белков, отметим лишь, что здесь присутствует принцип «структура в структуре», когда низшая степень является основой для более высокой. В то же время — белки очень компактны.

Интересна первичная структура, представленная аминокислотной цепью. Сопоставляя ее со строением наиболее эффективных пластификаторов цементных систем, нетрудно заметить принципиальное сходство обеих, а боковые цепи, имеющиеся у некоторых аминокислот, могут быть как гидрофильными, так и гидрофобными.

С учетом изложенных предпосылок разработана группа протеиновых биоПАВ, из числа которых для исследований произвольно отобраны соединения, обозначенные ПМ1 и ПМ2. Эти вещества получены в отличающихся технологических процессах, а испытания проводили на различных цементных системах — пастах, растворных и бетонных смесях, бетоне.

О степени влияния модификаторов протеиновой группы на процесс твердения цементных паст можно судить по приведенным в табл. 1 данным.

Известно, что поверхностно-активные вещества препятствуют гидратации цемента, одновременно снижая скорость растворения вяжущего. Как следствие, тормозится упрочнение структур в ранние сроки, что облегчает механическое разрушение системы. Именно это подтверждают сроки схватывания цементных композиций с добавкой протеинового биоПАВ и известного суперпластификатора С3.

Таблица 1
**Сроки схватывания цементных композиций с биоПАВ
протеиновой группы и С3**

Дозировка добавки, % цемента	Сроки схватывания, мин				
	С3		ПМ1		ПМ2
	конец	начало	конец	начало	конец
0	250	55	250	55	250
0,05	300	225	375	215	265
0,1	330	255	355	300	315
0,25	380	285	395	345	335
0,5	530	365	490	315	420

В то же время в цементных системах, содержащих протеиновые соединения, наблюдается существенное ускорение нарастания прочности после фиксации начала схватывания. Отрезок времени от начала до конца схватывания в контрольном (бездобавочном) составе составляет 195 мин, а аналогичный период в смесях с биодобавками колеблется от 55 до 150 мин.

По всей видимости, причиной этого явления могут быть сульфаты, неизбежно образующиеся при получении разжижителя (по разработанной технологии) и действующие как ускорители схватывания. Тот факт, что образование фазовых контактов в присутствии поверхностно-активных веществ сильно затрудняется, подтверждает и продолжительность периода структурообразования. С увеличением дозировки добавки в цементной системе возрастает и разница между началом и концом схватывания.

Условия процесса модифицирования исходного сырья сильно отражаются на свойствах конечного соединения, в части его влияния на формирование структуры цементных систем. В целом же группа добавок с индексом ПМ2 в меньшей мере отодвигает начало схватывания цементной пасты, чем ПМ1. Одновременно продолжительность периода твердения составов, содержащих этот реагент, несколько увеличивается относительно смесей с равнозначными расходами ПМ1.

Как правило, практически любые добавки, вводимые в цементные системы, приводят к изменению водопотребности последних. Не являются исключением из этого положения и разработанные соединения, относящиеся к категории поверхностно-активных веществ. Величина водоцементного отношения равноподвижных бетонных смесей с пластификатором из группы протеинов монотонно снижается по мере увеличения расхода добавки (табл. 2).

Таблица 2
Значение водоцементного отношения
равноподвижных бетонных смесей
с протеиновым биоПАВ

Дозировка добавки, % цемента	В/Ц
0	0,55
0,1	0,51
0,25	0,475
0,5	0,455
1,0	0,450

рофильным поверхностям дифильных вещества. Снижая дисперсность кристаллов зародышей посредством адсорбционного модифицирования, замедляя их рост блокированием адсорбционными слоями, а также изменяя условия роста кристаллов и обрастаия каркаса, можно управлять стадией возникновения и развития новой фазы в индукционный период формирования структуры. Кроме того, вследствие замедления гидратации вяжущего и процессов возникновения новообразований высвобождается часть воды затворения, усиливая тем самым водопонижающий эффект.

О степени влияния модификатора протеиновой серии на водопонижение равноподвижных бетонных смесей можно судить по зависимости, приведенной на рис. 1.

Наиболее сильно значение водопонижения изменяется при расходе пластификатора до 0,5 % массы цемента, в то время как дальнейшее увеличение дозировки не столь эффективно. Наблюдаемые явления связаны с насыщением поверхностей дисперсных образований цементной систе-

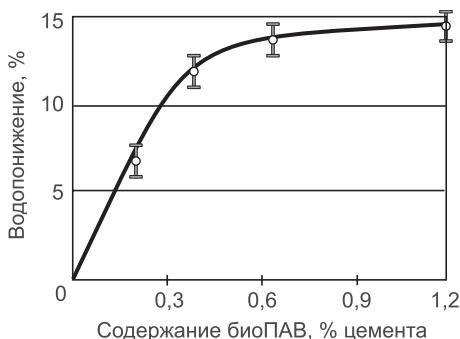


Рис. 1. Влияние расхода биоПАВ протеиновой группы на водопонижение бетонной смеси

категории поверхностно-активных веществ. Величина водоцементного отношения равноподвижных бетонных смесей с пластификатором из группы протеинов монотонно снижается по мере увеличения расхода добавки (табл. 2).

Введение ПАВ в систему затрудняет образование фазовых контактов между кристаллами, что связано с появлением на поверхности тел в результате адсорбции двухмерных структур, состоящих из ориентированных полярными группами к гидрофильным поверхностям дифильных вещества. Снижая дисперсность кристаллов зародышей посредством адсорбционного модифицирования, замедляя их рост блокированием адсорбционными слоями, а также изменяя условия роста кристаллов и обрастаия каркаса, можно управлять стадией возникновения и развития новой фазы в индукционный период формирования структуры. Кроме того, вследствие замедления гидратации вяжущего и процессов возникновения новообразований высвобождается часть воды затворения, усиливая тем самым водопонижающий эффект.

Наиболее сильно значение водопонижения изменяется при расходе пластификатора до 0,5 % массы цемента, в то время как дальнейшее увеличение дозировки не столь эффективно. Наблюдаемые явления связаны с насыщением поверхностей дисперсных образований цементной систе-

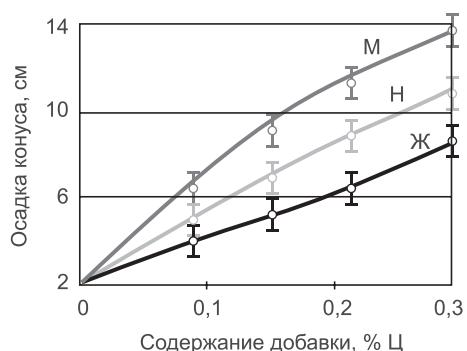


Рис. 2. Подвижность бетонных смесей (расход цемента: М — низкий, Н — нормальный, Ж — высокий) с протеиновой добавкой

мы молекулами биоПАВ при расходе добавки не более 0,5 % массы цемента. Дальнейшая концентрация молекул протеинового модификатора хотя и приводит к некоторому разжижению дисперсионной среды, одновременно сильно затрудняет образование фазовых контактов, замедляя тем самым процесс формирования новой структуры.

Разжижающее действие биоПАВ определяется во многом расходом и качеством цемента в бетонной или растворной смеси. Были приготовлены тощие (содержание цемента 180 кг/м³), нормальные (360 кг/м³) и жирные (540 кг/м³) бетонные смеси с постоянным водоцементным отношением и различным содержанием добавки (рис. 2).

Выявлена практически линейная зависимость подвижности от количества модификатора независимо от расхода цемента. Однако разжижающее действие модификатора возрастает при переходе от много- к малоцементным смесям, т.е. эту добавку предпочтительнее применять в цементных системах с невысоким расходом вяжущего.

При малых дозировках добавки — 0,1 ÷ 0,5 % от массы цемента — бетоны, полученные из равноподвижных смесей, отличаются более высокой (до 20 %) прочностью в сравнении с контрольным составом.

Вместе с тем введение в состав бетона модификатора протеинового типа в повышенном количестве снижает прочностные показатели готового бетона (рис. 3). Это характерно для всех материалов — как с большим расходом цемента, так и с малым.

Результаты испытаний материалов, прошедших тепловлажностную обработку и дальнейшее твердение в нормальных условиях в течение месяца, имели предел прочности при сжатии на 10 % меньше набиравших прочность только в нормальных условиях. Одновременно следует отметить отсутствие значимых изменений структуры новообразований при введении 0,1 ÷ 0,2 % пластификатора. Причем максимальное содержание добавки не должно превышать 0,5 % массы вяжущего. Дальнейшее увеличение дозировки модификатора влечет за собой снижение прочности материала. По всей видимости, это связано с замедленным формированием структуры цементного камня в присутствии ПАВ.

Как выяснилось, использование биомодификаторов в оптимальных дозировках фактически не ухудшает морозостойкости. Этот показатель у бетона с биоПАВ из протеиновой категории при дозировке 0,2 ÷ 0,3 % массы цемента остается на уровне бездобавочного состава, о чем можно

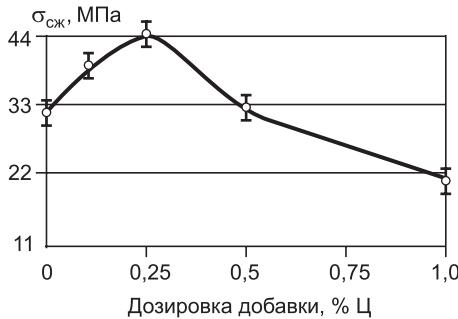


Рис. 3. Прочность при сжатии бетонов, отформованных из равноподвижных смесей, с модификатором протеиновой серии

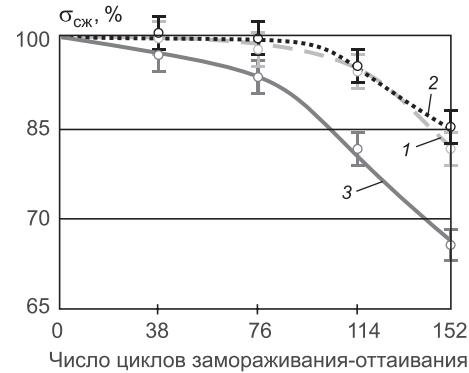


Рис. 4. Изменение прочности материала с различной дозировкой биомодификатора после переменного замораживания и оттаивания

1 — без добавки; 2 — 0,25 % биоПАВ; 3 — 0,6 % биоПАВ

судить по результатам испытания на сжатие образцов после определенного количества циклов замораживания-оттаивания (рис. 4).

До испытания образцы хранили в нормальных условиях в течение 120 сут. Повышенное содержание пластификатора в бетоне ($> 0,5\%$) приводит к формированию неустойчивой к воздействию температурных перепадов структуры.

В многообразном производстве строительного комплекса большую долю занимает продукция, изготовленная на вяжущем с минеральными добавками. Следовательно, несомненный интерес представляет изучение степени воздействия биомодификаторов на характеристики композитов, полученных как на цементах без минеральных добавок, так и с ними.

Если минеральные добавки сравнительно малоактивны и их гранулометрический состав близок к таковому для портландцемента, то обычно эффект от введения модификаторов выше, чем при их введении в составы на чистом портландцементе. Это объясняется тем, что минеральные компоненты смешанного цемента не столь интенсивно взаимодействуют с водой, как клинкер, и как бы «разбавляют» цемент, снижая — особенно в ранние сроки — количество гидратных новообразований, на которых сорбируются поверхностно-активные вещества².

Результаты эксперимента с модификатором из протеиновой серии хорошо согласуются с приведенным механизмом гидратации (рис. 5). Меньший же эффект пластификации биоПАВ при использовании в бездобавочном цементе вероятно связан с большим содержанием алюминатных

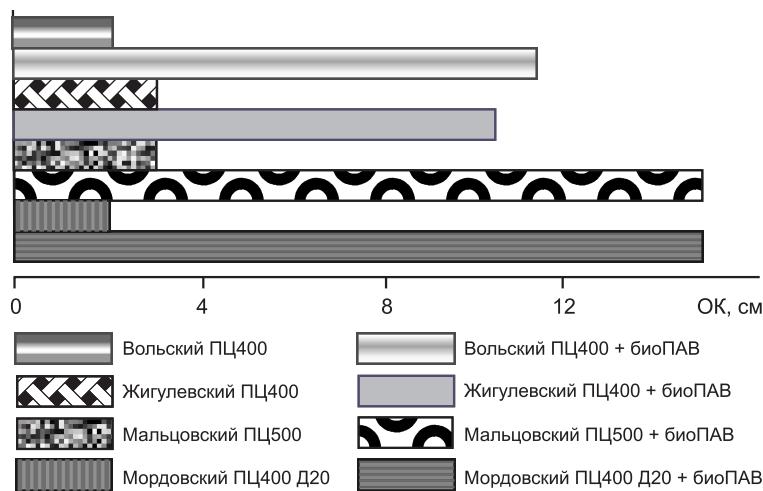


Рис. 5. Влияние протеинового разжижителя на подвижность бетонных смесей из различных цементов

фаз, так как данные многочисленных исследований всевозможных пластификаторов свидетельствуют о преобладающей адсорбции их алюминатными компонентами цементной смеси. При этом происходит интенсивное поглощение добавки из раствора, что сопровождается снижением подвижности дисперсной системы или требует увеличения дозировки пластификатора^{3,4}.

² Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1989. 187 с.

³ Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 768 с.

⁴ Кузнецова Т.В., Сычев М.М., Осокин А.П. и др. Специальные цементы. СПб.: Стройиздат, 1997. 315 с.

Выводы. Предложены экологически безопасные модификаторы широкого спектра применения, представляющие собой продукты модификации протеинсодержащих соединений. Введение биоПАВ в цементные системы повышает подвижность бетонной смеси на уровне сильных пластификаторов и не ухудшает морозостойкость бетона при оптимальном расходе. Ввиду возможного снижения прочности бетона целесообразно ограничить количественное содержание вводимого модификатора до 0,5 % массы цемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Финкельштейн, А.В. Физика белка [Текст] / А.В. Финкельштейн. — М. : Университет, 2002. — 376 с.
2. Координационная химия природных аминокислот [Текст]. — М. : ЛКИ, 2008. — 240 с.
3. Лениндже р, А. Молекулярные основы структуры и функции клетки [Текст] / А. Лениндже р. — М. : Мир, 1974. — 957 с.
4. Биосинтез, структура и функция биополимеров [Текст]. — Киев : Наук. думка, 1971. — 215 с.

ЧЕРКАСОВ В.Д., чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
ДУДЫНОВ С.В., д-р техн. наук, доц.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
БУЗУЛУКОВ В.И., д-р техн. наук, проф.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Получено после доработки 10.06.11

Cherkasov V.D., corr. mem. RAACS, doctor of technical sciences, professor, Mordovia State University, Saransk, Russia

Dudynov S.V., doctor of technical sciences, assistant professor, Mordovia State University, Saransk, Russia

Buzulukov V.I., doctor of technical sciences, professor, Mordovia State University, Saransk, Russia

BIOMODIFICATIONS BUILDING MATERIALS

It has been suggested on how to create, issue and prospects prieniya additives for construction and, in particular, cement systems. The expediency of using natural polymers as a basis for environmentally sound modifiers. It is proposed to use microbial synthesis to produce marketable products. Shows the results of studies of cement systems with a modifier of protein groups.

Key words: supplements-modifiers, building composites, biological surfactants, proteins, microbial synthesis, environmentally friendly.

REFERENCES

1. Finkelstein, A.V. Physics of the protein [Text] / A.V. Finkelstein. — M. : University, 2002. — 376 p.
2. Coordination chemistry of natural amino acids [Text]. — M. : LKI, 2008. — 240 p.
3. Lenindzher, A. Molecular basis of structure and function of cells [Text] / A. Lenindzher. — M. : Mir, 1974. — 957 p.
4. Biosynthesis, structure and function of biopolymers [Text]. — Kiev : Naukova Dumka, 1971. — 215 p.

УДК 691.55:661.33:539.4

Х. ФАЙЗИЕВ, Р.Р. ШАРИПОВ, С.С. САЙФИДДИНОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОСФОГИПСА

Приводятся результаты исследования динамических свойств фосфогипса по плотности, влажности, а также при различных параметрах внешних воздействий.

Ключевые слова: фосфогипс, плотность, влажность, водонасыщенный фосфогипс, колебание, ускорение колебания, разжижение, шламонакопитель, ограждающая дамба.

В настоящее время фосфогипсы успешно используются в качестве стройматериала для возведения ограждающих дамб и других конструктивных элементов накопителей отходов химических производств.

В этом направлении уже есть определенный положительный опыт использования фосфогипса.

При расположении этих объектов в несейсмических зонах ограничивались статическими исследованиями механических свойств фосфогипса. В случаях использования фосфогипсов для строительства в сейсмических районах следует рассматривать и его динамические свойства. Нами были опубликованы результаты исследований вибровязкости фосфогипса [1].

В связи с этим в данной статье приводятся результаты исследования динамических свойств фосфогипса, но не рассматриваются вопросы вибровязкости фосфогипса, опубликованные ранее [1].

Существует ряд методов оценки возможности перехода грунтов в динамически неустойчивое состояние: метод критических ускорений (Н.Н. Маслов), метод консолидации (П.Л. Иванов, Н.Н. Маслов), метод взрывного зондирования (В.А. Флорин, П.Л. Иванов) и др. Многообразие подходов и предложенных методик свидетельствует о сложности и достаточной трудоемкости изучения рассматриваемых процессов, невозможности однозначного и четкого установления показателей оценки наступления разжиженного состояния грунтов в условиях динамических воздействий. Вследствие этого в каждом конкретном случае изучения разжиженности грунтов и материалов приходится выбирать те или иные критерии, соответствующие намеченным исследованиям.

Наиболее изученным является метод критических ускорений, который использован в данной работе для исследования динамических свойств фосфогипса. Выбор метода критических ускорений обосновывается тем, что интенсивность землетрясения в количественном отношении принято характеризовать величиной расчетного $\omega_{расч}$ и критического $\omega_{кр}$ ускорений, что дает возможность произвести оценку динамической (сейсмической) устойчивости фосфогипса при тех или иных параметрах влажности, плотности и внешней пригрузки.

Показатель динамической устойчивости выражается условием

$$\omega_{расч} \leq \omega_{кр}, \quad (1)$$

где расчетные значения ускорений в зависимости от интенсивности землетрясения принимаются из табл. 1.

Таблица 1

**Расчетные значения ускорений в зависимости
от интенсивности землетрясения**

Интенсивность землетрясения, балл	6	7	8	9
Ускорение колебания, см / с ²	300–600	610–1200	1210–2400	2410–4800

Необходимое условие возникновения разжижения водонасыщенного грунта — нарушение его структуры и возможность уплотнения, которое возникает при $\omega_{\text{расч}} \geq \omega_{\text{кр}}$.

Процесс разжижения водонасыщенного фосфогипса и потери им динамически устойчивого состояния состоит в нарушении начальных структурных связей частиц материала; в развитии избыточного порового давления материала и перекладке частиц с уплотнением материала.

Исследования по изучению динамических свойств фосфогипса проводились с помощью одометра размерами 20 × 20 × 40 см, установленного на вибростенде горизонтального действия. Параметры динамических воздействий изменялись в следующих пределах: амплитуда колебаний — 1–4 мм; частота колебаний — 2–20 Гц; ускорение — 50–500 см / с², длительность воздействий — 5–60 с и более. Опыты выполнялись без нагрузки и с нагрузкой на поверхность образца до 0,1 МПа.

В связи с тем, что испытания проходили в условиях установившихся гармонических колебаний платформы, величины ускорений на каждой ступени динамической нагрузки определялись из известной формулы

$$\omega = 4\pi^2 f^2 A, \quad (2)$$

где f — частота колебания, Гц;

A — амплитуда колебания, мм.

В целом принятая в данной работе методика экспериментальных исследований сводится к нижеследующему:

фосфогипс — дигидрат в размельченном воздушно-сухом состоянии тонкой струйкой загружался в одометр, предварительно заполненный водой на 1/3 его высоты. При таком способе укладки фосфогипса начальная плотность его близка к максимально рыхлому сложению материала.

Влияние плотности, амплитуды и частоты колебаний на динамическую устойчивость фосфогипса. В соответствии с принятой методикой каждому заданному ускорению колебания соответствует своя плотность сложения фосфогипсов, достигнутая при его вибрации. В табл. 2 даны значения ускорений колебаний и соответствующие им плотности сложения фосфогипса.

Таблица 2

Плотность сложения фосфогипса при различных ω

$\omega, \text{ см} / \text{s}^2$	Плотность $\rho_d, \text{ г} / \text{см}^3$, при			
	$A = 1 \text{ мм}$	$A = 2 \text{ мм}$	$A = 3 \text{ мм}$	$A = 4 \text{ мм}$
50	1,136	1,120	1,106	1,104
100	1,164	1,146	1,134	1,125
150	1,188	1,170	1,157	1,146
200	1,210	1,194	1,180	1,167
250	1,234	1,216	1,204	1,186
300	1,254	1,238	1,224	1,205
350	1,274	1,260	1,245	1,225
400	1,293	1,282	1,256	1,242

Начальному ускорению $50 \text{ см}/\text{с}^2$ соответствуют плотности $1,136 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 1 \text{ мм}$); $1,120 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 2 \text{ мм}$); $1,108 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 3 \text{ мм}$); $1,104 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 4 \text{ мм}$), а конечному ускорению $400 \text{ см}/\text{с}^2$ — $1,293 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 1 \text{ мм}$); $1,282 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 2 \text{ мм}$); $1,256 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 3 \text{ мм}$); $1,242 \text{ г}/\text{см}^3$ ($A = 4 \text{ мм}$), т.е. с увеличением ускорения колебаний плотность сложения фосфогипса увеличивается, постепенно приближаясь к своему максимальному возможному (для данной амплитуды) значению.

В табл. 3 приводятся полученные значения плотности сложения фосфогипса при различных амплитудах и ускорениях колебаний, а также внешних пригрузках. Результаты еще раз подтверждают, что динамическая устойчивость фосфогипса увеличивается с возрастанием плотности сложения.

Таблица 3
Результаты определения ρ_d фосфогипса при различных ω , P и A

A, мм	$\omega, \text{см}/\text{с}^2$	Плотность $\rho_d, \text{г}/\text{см}^3$, при			
		P = 0 МПа	P = 0,05	P = 0,07	P = 0,1
1	200	1,210	1,191	1,181	1,168
	250	1,234	1,215	1,207	1,191
	300	1,254	1,238	1,229	1,215
	350	1,274	1,260	1,251	1,238
	400	1,293	1,280	1,272	1,260
2	150	1,170	1,152	1,144	1,135
	200	1,194	1,176	1,168	1,156
	250	1,216	1,200	1,190	1,180
	300	1,238	1,222	1,214	1,204
	350	1,260	1,244	1,234	1,224
	400	1,282	1,266	1,256	1,244
	450	—	—	—	1,164
3	150	1,157	1,148	1,144	1,135
	200	1,180	1,178	1,165	1,156
	250	1,204	1,190	1,186	1,178
	300	1,224	1,211	1,204	1,199
	350	1,245	1,232	1,228	1,224
	400	1,266	1,252	1,246	1,239
	450	—	—	—	1,258
4	150	1,146	—	—	—
	200	1,167	1,163	1,159	1,153
	250	1,186	1,180	1,176	1,170
	300	1,205	1,195	1,192	1,186
	350	1,225	1,211	1,208	1,204
	400	1,242	1,227	1,223	1,218
	450	—	—	—	1,233

Как показали опыты, амплитуда колебания оказывает заметное влияние на динамическую устойчивость фосфогипса. Меньшим значениям амплитуд соответствуют меньшие значения величин критических ускорений и наоборот.

Таким образом, при меньших значениях амплитуды колебания водонасыщенные фосфогипсы менее динамически устойчивы. Это явление вполне закономерно и подтверждает выводы, сделанные ранее (Н.Н. Маслов, В.В. Жихович, Х.З. Расулов, Ю.Н. Частоедов) о снижении ω_{kp} с увеличением частоты колебаний.

В табл. 4 приводятся данные влияния амплитуды на динамическую устойчивость водонасыщенного фосфогипса, подтверждающие вышеуказанный вывод о том, что если в опытах изменять амплитуду и частоту таким образом, чтобы ускорение колебания оставалось постоянным, то полученное уплотнение фосфогипса будет различным.

Таблица 4

Данные о влиянии амплитуды на динамическую устойчивость водонасыщенного фосфогипса

Ускорение ω , см/ s^2	Нагрузка P , МПа	Плотность ρ_d , г/ cm^3 , при			
		A = 1 мм	A = 2 мм	A = 3 мм	A = 4 мм
220	0	1,220	1,204	1,190	1,176
	0,05	1,202	1,196	1,178	1,170
	0,07	1,192	1,177	1,175	1,166
	0,1	1,178	1,168	1,165	1,160
250	0	1,234	1,218	1,204	1,186
	0,05	1,215	1,200	1,190	1,180
	0,07	1,207	1,190	1,185	1,176
	0,1	1,192	1,180	1,178	1,170
300	0	1,253	1,240	1,224	1,206
	0,05	1,238	1,222	1,210	1,197
	0,07	1,230	1,215	1,208	1,193
	0,1	1,215	1,204	1,200	1,186
350	0	1,274	1,250	1,244	1,224
	0,05	1,260	1,246	1,235	1,213
	0,07	1,250	1,236	1,228	1,208
	0,1	1,238	1,224	1,220	1,202
380	0	1,286	1,274	1,256	1,238
	0,05	1,272	1,256	1,248	1,220
	0,07	1,263	1,250	1,238	1,218
	0,1	1,250	1,236	1,232	1,214

Результаты исследования процесса разжижения фосфогипса. Исследования показали, что при незначительных по величине динамических воздействиях происходит полное разжижение фосфогипса. Так, например, для фосфогипса уложенного $\rho_d = 1,23$ г/ cm^3 полное разжижение происходит для слоя $Z = 16,5$ см при $\omega = 540$ см/ s^2 , а для слоя $Z = 28,5$ см при $\omega = 670$ см/ s^2 (рис. 1).

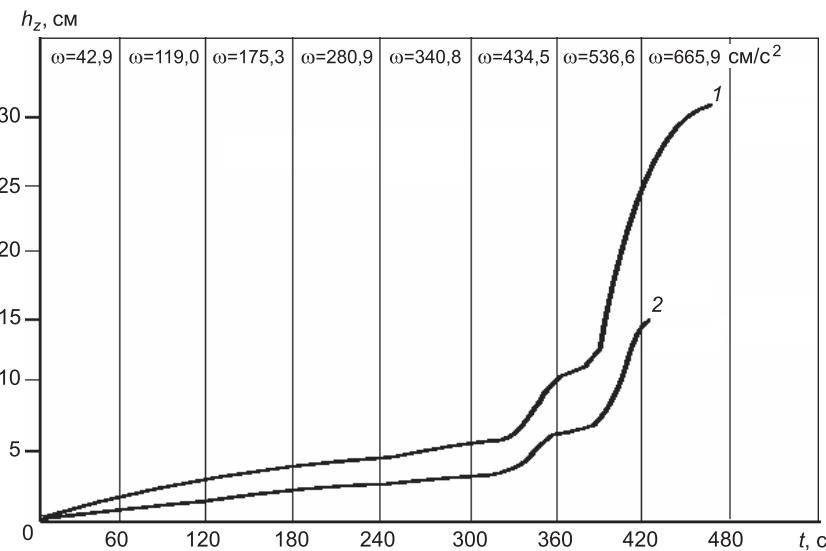


Рис. 1. Характер поведения фосфогипса при различных ускорениях колебаний для гипса уложенного $\rho_d = 1,23$ г/ cm^3 , полное разжижение происходит:
1 — для слоя $Z = 28,5$ см; 2 — для слоя $Z = 16,5$ см

На рис. 2 показано влияние фактора времени на уплотнение фосфогипса. Водонасыщенный фосфогипс подвергался вибрации при $\omega = 280 \text{ см}^2/\text{с}^2$ ступенчато через 45, 90, 300 и 600 с. При этом после каждого очередного сотрясения фосфогипс отстаивался в течение 30 мин. Величина деформации (уплотнения) фосфогипса после каждой вибрации носила возрастающий характер, т.е. при одной и той же нагрузке после возобновления вибрации происходило дополнительное уплотнение. Следовательно, кратковременные нагрузки способны нарушить только наиболее слабые структурные связи фосфогипса. Последующие сотрясения дают больший эффект в нарушении структурной связности фосфогипса и соответствуют его дальнейшему уплотнению. Уплотненный таким образом фосфогипс при последующих сотрясениях требовал уже больших динамических нагрузок (порядка $800-900 \text{ см}^2/\text{с}^2$) для нарушения своей структуры.

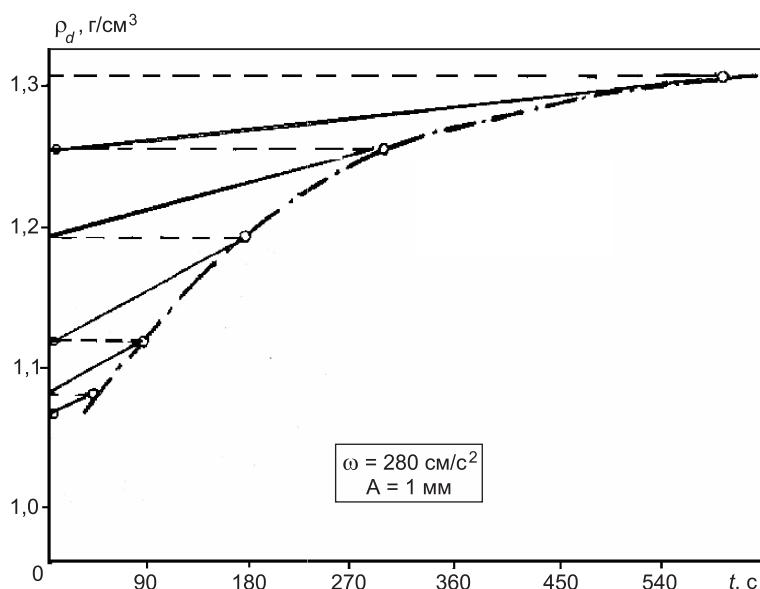


Рис. 2. Характер уплотнения водонасыщенного фосфогипса при различной длительности колебаний

Результаты исследования динамического напора в водонасыщенном фосфогипсе. Результаты опытов с водонасыщенными ($G = 0,8-0,96$) фосфогипсами показали, что динамический напор h_z в проводимых опытах соответствует 3–15 с после приложения динамической нагрузки. В целом данное явление зависит от интенсивности воздействия, плотности фосфогипса и внешней пригрузки. Так, например, при ускорении колебания $\omega = 185 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $\rho_d = 1,15 \text{ г}/\text{см}^3$, $P = 0,05 \text{ МПа}$ начало возникновения динамического напора произошло через 5 с (рис. 3, а); при $\omega = 105 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $\rho_d = 1,07 \text{ г}/\text{см}^3$, $P = 0$ — через 15 с; при $\omega = 65 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $\rho_d = 1,02 \text{ г}/\text{см}^3$, $P = 0$ — через 10 с (рис. 3, б); при $\omega = 350 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $\rho_d = 1,02 \text{ г}/\text{см}^3$, $P = 0$ — через 4 с (рис. 3, в).

На рис. 4 приведены результаты замеров динамических напоров фосфогипса во времени при воздействиях с $\omega = 288 \text{ см}^2/\text{с}^2$. В опыте, где внешняя пригрузка $P = 0,05 \text{ МПа}$ и плотность фосфогипса $\rho_d = 1,1 \text{ г}/\text{см}^3$, максимальный динамический напор был достигнут через 8 мин, а при $P = 0$ и $\rho_d = 1,04 \text{ г}/\text{см}^3$ — через 1 мин.

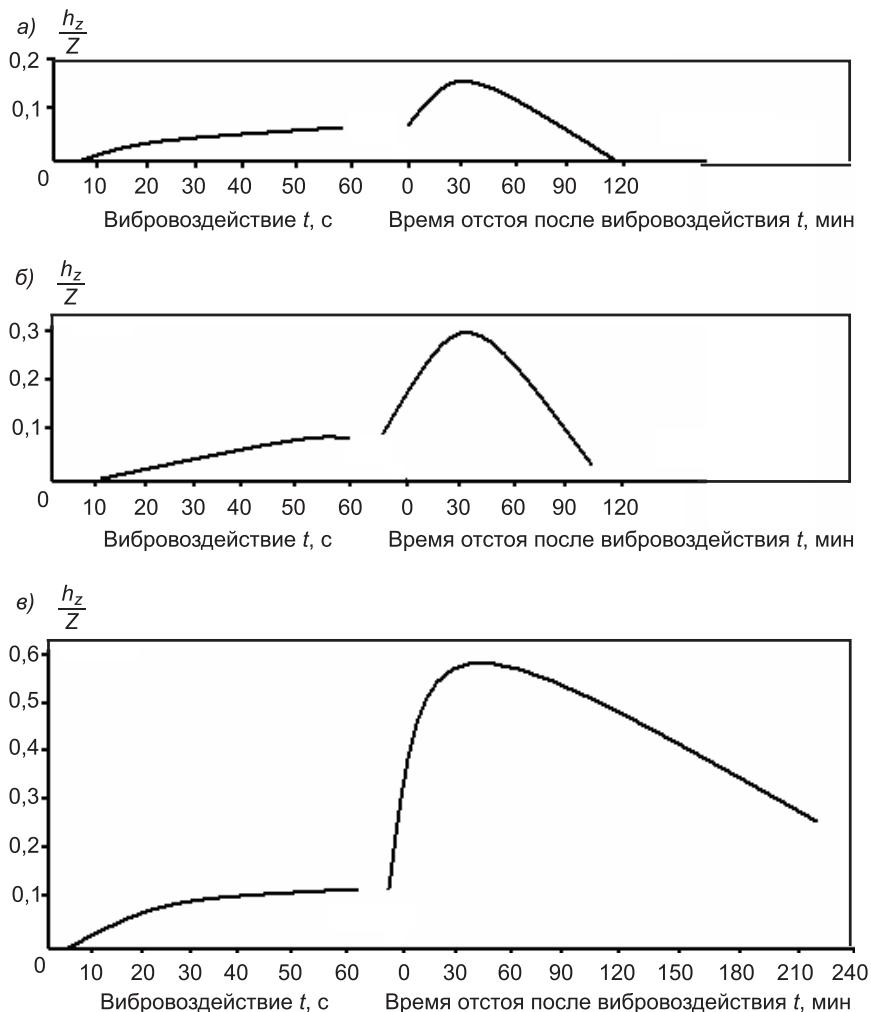


Рис. 3. Характер изменения порового давления водонасыщенного фосфогипса во времени

а) $\omega = 185 \text{ см} / \text{с}^2$, $P = 0,05 \text{ МПа}$, $\rho_{dh} = 1,15 \text{ г} / \text{см}^3$, $Z = 27,4 \text{ см}$; б) $\omega = 65 \text{ см} / \text{с}^2$, $P = 0$, $\rho_{dh} = 1,02 \text{ г} / \text{см}^3$, $Z = 31,4 \text{ см}$; в) $\omega = 360 \text{ см} / \text{с}^2$, $P = 0$, $\rho_{dh} = 1,18 \text{ г} / \text{см}^3$, $Z = 25,3 \text{ см}$

Выводы. 1. Динамическая устойчивость фосфогипса увеличивается с возрастанием плотности сложения. С увеличением ускорения колебаний плотность сложения фосфогипса повышается, постепенно приближаясь к своему максимально возможному значению.

2. При меньших амплитудах колебаний водонасыщенные фосфогипсы динамически менее устойчивы. Уплотнение фосфогипса будет различным при изменении амплитуды и частоты (при постоянстве ускорения колебания).

3. Исследования подтвердили отмеченное рядом авторов повышение сейсмической устойчивости грунтов под пригрузкой.

4. При нарушении динамической устойчивости фосфогипса отмечены некоторые особенности:

— скорость уплотнения в начальный момент приложения динамической нагрузки характеризуется небольшим значением;

— возникновение и рост динамического напора протекает весьма медленно;

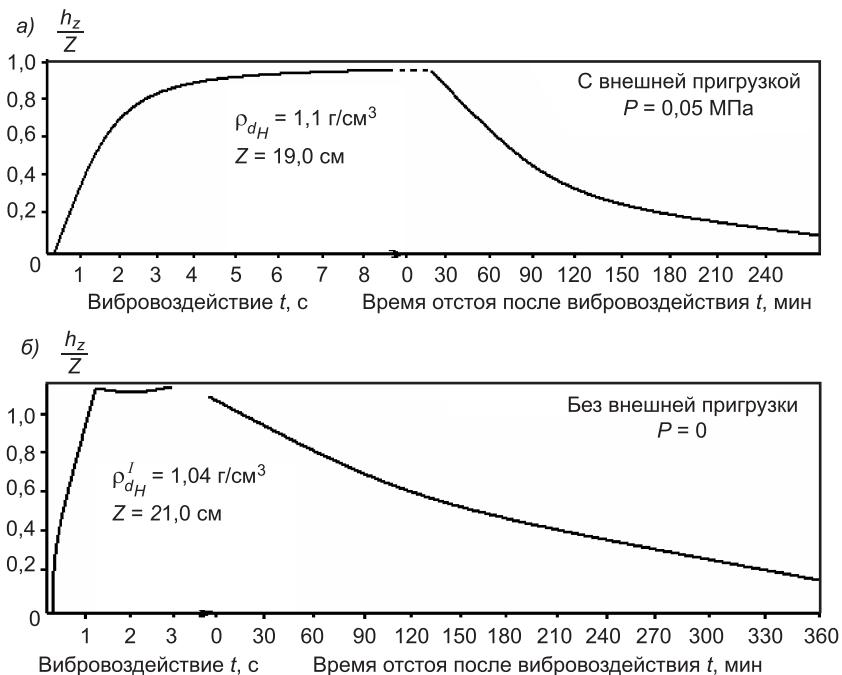


Рис. 4. Характер изменения порового давления водонасыщенного фосфогипса во времени

— после перехода в динамически неустойчивое состояние процесс стабилизации уплотнения фосфогипса может продолжаться от нескольких часов до нескольких суток.

5. Отношение динамического напора h_z к высоте слоя фосфогипса Z изменяется (при плотности укладки фосфогипса $\rho_d = 1,25 \text{ г}/\text{см}^3$) в зависимости от ускорения колебания следующим образом:

при $\omega = 50-100 \text{ см}/\text{с}^2$ — $h_z/z = 0,05-0,1$; при $\omega = 100-200 \text{ см}/\text{с}^2$ — $h_z/z = 0,1-0,2$;

при $\omega = 200-400 \text{ см}/\text{с}^2$ — $h_z/z = 0,2-0,9$; при $\omega = 400-600 \text{ см}/\text{с}^2$ — $h_z/z = 0,9-1,0$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Файзиев, Х. Результаты исследования вибровязкости фосфогипса [Текст] / Х. Файзиев, Р.Р. Шарипов, С.С. Сайфиддинов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 5. — С. 35–39.

ФАЙЗИЕВ Х., канд. техн. наук, доц.

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Узбекистан

ШАРИПОВ Р.Р., канд. техн. наук

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Узбекистан

САЙФИДДИНОВ С.С., канд. техн. наук, доц.

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Узбекистан

Получено после доработки 20.06.11

Fayziev H., candidate of technical sciences, assistant professor, Tashkent Architectural Building Institute, Uzbekistan

Sharipov R.R., candidate of technical sciences, Tashkent Architectural Building Institute, Uzbekistan

Sayfiddinov S.S., candidate of technical sciences, assistant professor, Tashkent Architectural Building Institute, Uzbekistan

RESEARCHING RESULTS OF THE PHOSPHOSYPSUM DYNAMIC FEATURES

Researching results of the phosphogypsum dynamic features in different state: density, wetness and also in different parameters of the exterior influence, including overloading of the material are siren in this article.

Key words: phosphosyppsum, density, wetness, water, saturation phosphosyppsum, vibrations, acceleration of vibrations, dilution, slime accumulator, protecting dam.

REFERENCES

1. Fayziev, H. Researching results of the phosphogypsum vibroviscosity [Text] / H. Fayziev, R.R. Sharipov, S.S. Sayphiddinov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 5. — P. 35–39.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 625.084:69.002.5–52

А.П. ПРОКОПЬЕВ, Р.Т. ЕМЕЛЬЯНОВ, А.С. КЛИМОВ, С.В. ШИЛКИН

РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА С ТЕНЗОДАТЧИКАМИ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УПЛОТНЕНИЯ

Рассматривается актуальная проблема управления дискретно-непрерывной динамической системой (на примере асфальтоукладчика). Дается описание устройства с тензодатчиками для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси. Приводятся результаты моделирования рабочего процесса непрерывно-дискретной динамической системы с применением программы MatLAB.

Ключевые слова: асфальтоукладчик, асфальтобетонная смесь, дискретно-непрерывная система, автоматическое управление, моделирование.

Для строительства асфальтобетонных дорожных покрытий применяются дорожно-строительные машины (ДСМ) — асфальтоукладчики, выполняющие укладку и уплотнение асфальтобетонной смеси. Рабочий процесс асфальтоукладочной машины характеризуется непрерывностью укладки и дискретностью во времени уплотняющего воздействия трамбующим бруском (брюсьями) и вибрационной плитой. Управление машиной оператором усложняется из-за нелинейности зависимостей, свойственных рабочему процессу. Следовательно, асфальтоукладчик может рассматриваться как нелинейная дискретно-непрерывная динамическая система. Проектирование систем автоматического управления нелинейными дискретно-непрерывными динамическими системами является актуальной задачей.

Цель научной работы: обеспечение эффективного управления процессами дорожного строительства для повышения качества асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог за счет использования современных информационных технологий и автоматизации процесса уплотнения.

Научные предпосылки автоматизации. В работе [1] было установлено, что варьирование режимов работы асфальтоукладчика (скорость движения, режимные параметры работы трамбующего бруса и плиты) оказывает значительное влияние на степень предварительного уплотнения различных асфальтобетонных смесей. Получены нелинейные зависимости коэффициента уплотнения от скорости движения, частоты трамбования, типа смеси. Значительные по объему экспериментальные исследования уплотняющих рабочих органов проведены в НПО «ВНИИстройдормаш» на стенде-укладчике, оборудованном тензометрической аппаратурой, при уплотнении аналога песчаной асфальтобетонной смеси

типа Д. Вид полученных зависимостей — нелинейный. Нелинейность зависимостей коэффициента уплотнения от режимных параметров асфальтоукладчиков подтверждается результатами научных исследований других авторов [2, 3].

В работах В.Б. Пермякова, С.Н. Иванченко и др. при теоретических исследованиях и моделировании асфальтобетонные смеси рассматриваются как упруговязкопластический материал, свойства которого зависят от изменения скорости деформирования и уровня напряженного состояния в уплотняемом слое. Один цикл уплотнения асфальтоукладчика представляет собой несколько ударов трамбующего бруса (при скорости 3,2 м/с и частоте трамбования 1300 мин⁻¹ — около 5 ударов на ударной части бруса размером 12 мм), после которых достигается требуемая степень уплотнения смеси асфальтоукладчиком. При постоянной скорости $V = \text{const}$ цикл уплотнения смеси характеризуется как одинаковый промежуток времени, за который в зависимости от частоты трамбования будет происходить несколько (4–6) ударов. Система автоматического управления должна обеспечивать необходимую (заданную) степень уплотнения за этот промежуток времени без участия оператора.

Недостатком известных методов моделирования уплотняемой среды на основе реологических моделей является возможность использования в основном для получения значений нагрузок в металлоконструкции дорожно-строительных машин и невозможность использования их при разработке алгоритмов автоматического управления рабочими процессами.

Устройство для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси. Задача создания устройства — повышение эффективности автоматического управления рабочим органом асфальтоукладчика за счет применения тензометрических преобразователей (датчиков) усилия в металлоконструкции трамбующего бруса, обеспечивающего заданную степень уплотнения асфальтобетонной смеси без непосредственного участия в управлении процессом уплотнения машиниста-оператора, а также увеличение производительности и эффективности дорожно-строительных работ.

Для решения поставленной задачи в устройстве для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси [4], осуществляющем электронным блоком управления асфальтоукладчика путем поступления в него информации с датчиков о текущей степени уплотнения, сравнения контролируемого параметра с заданным проектным значением и регулирования режимных параметров работы асфальтоукладчика, согласно изобретению, автоматическое управление процессом уплотнения осуществляют непрерывно при скоростях движения асфальтоукладчика, соответствующих проектным значениям. В качестве регулируемых режимных параметров работы асфальтоукладчика используют параметры его рабочего органа, а регулирование параметров рабочего органа осуществляют с помощью подсистемы автоматического управления режимами уплотняющего органа.

Устройство автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси, содержащее датчики контроля плотности уплотняемой поверхности, устанавливаемые на элементах асфальтоукладчика, фиксирующих напряжение в смеси, и связанные с ними аналого-цифровые преобразователи устройств ввода и вывода и микропроцессор, являющиеся элементами электронного блока управления, согласно новому решению, дополнительно содержит элементы подсистемы автоматического управления режимами уплотняющего органа со встроенным в ней

блоком перепрограммируемого постоянно запоминающего устройства (ППЗУ), связанным с микропроцессором.

Согласно источнику [4], устройство автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси установлено на асфальтоукладчике с трамбующими брусьями и дополнительно содержит тензометрические датчики, установленные в толкателях трамбующих брусьев, датчик действительной скорости движения асфальтоукладчика, датчик частоты вращения эксцентрикового вала привода трамбующих брусьев, связанные через устройство ввода и микропроцессор с блоком перепрограммируемого постоянно запоминающего устройства (ППЗУ) и являющиеся элементами подсистемы автоматического управления режимами уплотняющего органа. Микропроцессор снабжен обратной связью с устройствами ввода и вывода, при этом устройство вывода связано с золотниковым исполнительным механизмом, являющимся регулятором рабочего объема гидромотора, автоматически изменяющим частоту трамбования уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика при различных проектных значениях скорости движения асфальтоукладчика.

На рис. 1 приведена структурная схема устройства автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси с выделенным контуром подсистемы автоматического управления режимами уплотняющего органа, с помощью которых осуществляется автоматическое управление процессом уплотнения асфальтобетонной смеси.

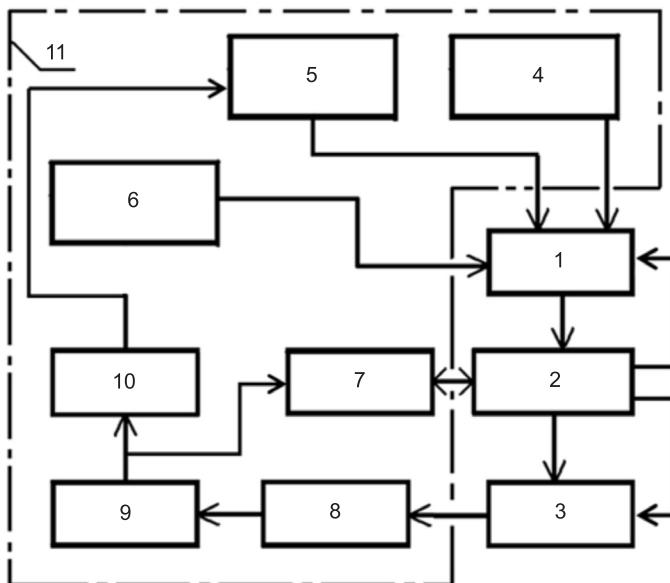


Рис. 1. Структурная схема устройства для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси

Устройство автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси, установленное на асфальтоукладчике с трамбующими брусьями, содержит устройство ввода 1, однокристальный микропроцессор 2, устройство вывода 3, блок ППЗУ 4, тензометрические датчики 5, установленные в толкателях трамбующих брусьев, датчик действительной скорости движения асфальтоукладчика 6, датчик частоты вращения эксцентрикового вала привода трамбующих брусьев 7. Указанные датчики связаны через устройство ввода 1 и однокристальный микропроцессор 2 с блоком ППЗУ 4 и являются элементами подсистемы

автоматического управления режимами уплотняющего органа. Однокристальный микропроцессор 2 снабжен обратной связью с устройствами ввода 1 и вывода 3. При этом устройство вывода 3 связано с золотниковым исполнительным механизмом 8, являющимся регулятором рабочего объема гидромотора 9, автоматически изменяющим частоту трамбования уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика (брюса) 10 при различных проектных значениях скорости движения асфальтоукладчика.

Способ управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси, осуществляемый с помощью устройства автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси, заключается в следующем. Датчик действительной скорости движения машины 6 и датчик частоты вращения эксцентрикового вала привода трамбующего бруса 7 преобразуют скорость и частоту в электрический (аналоговый) сигнал. Аналоговые сигналы с датчиков 6 и 7 поступают в аналого-цифровой преобразователь устройства ввода 1, в котором преобразуются в цифровые сигналы, и в цифровом виде поступают в однокристальный микроконтроллер 2. Однокристальный микроконтроллер 2 — это вычислительное микропроцессорное устройство, имеющее обратную связь с устройством ввода 1, блоком ППЗУ 4 и устройством вывода 3, выполняющее расчетные операции в соответствии с алгоритмом ППЗУ 4, а именно сравнивает поступившие цифровые сигналы из устройства ввода 1 с запрограммированным в ППЗУ 4 значением коэффициента уплотнения. Последний получен в результате экспериментальных исследований уплотняющей способности опытного образца асфальтобетонной смеси типа Б рабочим органом асфальтоукладчика с трамбующими брусьями и зависит от усилий на трамбующих брусьях, частоты трамбования и частоты вращения эксцентрикового вала при различных скоростях движения асфальтоукладчика. При несоответствии коэффициента уплотнения требуемому значению параметра из однокристального микроконтроллера 2 через цифро-анalogовый преобразователь устройство вывода 3 поступает аналоговый сигнал на электроуправляемый золотниковый исполнительный механизм 8, распределяющий и регулирующий поток жидкости в заданном направлении. Поток жидкости меняет рабочий объем гидромотора 9, что вызывает изменение частоты трамбования уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика 10.

Рабочий орган асфальтоукладчика 10 в зависимости от заданной регулятором рабочего объема гидромотора 9 частоты трамбования уплотняет асфальтобетонную смесь. На уплотняющем рабочем органе асфальтоукладчика 10 установлены тензометрические датчики 5, преобразующие растяжение и сжатие толкателей трамбующих брусьев в электрический (аналоговый) сигнал. Аналоговый сигнал с тензометрических датчиков 5 после преобразования в устройстве ввода 1 как усилие, соответствующее текущему коэффициенту уплотнения, поступает в цифровом виде в однокристальный микроконтроллер 2, и элементы подсистемы автоматического управления режимами уплотняющего органа, образующие контур 11, непрерывно продолжают свои действия до остановки асфальтоукладчика.

Алгоритм работы подсистемы автоматического управления режимами уплотняющего органа основан на экспериментальных данных [1], свидетельствующих о наличии заложенной в ППЗУ 4 программной зависимости коэффициента уплотнения (K_y) от усилия (F) в элементах привода уплотняющего бруса на завершающей фазе цикла уплотнения.

Функциональная схема системы управления. Для дальнейших исследований выбрана замкнутая САР с управлением по отклонению. Управляемая величина — частота вращения вала гидродвигателя (гидро-

мотора) может измеряться в процессе управления (регулирования). Функциональная схема САР с управлением по отклонению представлена на рис. 2. Схема включает два контура обратной связи, внутренний, с датчиком частоты вращения эксцентрикового вала (тахогенератор) и главный, с тензометрическим датчиком (тензодатчик).

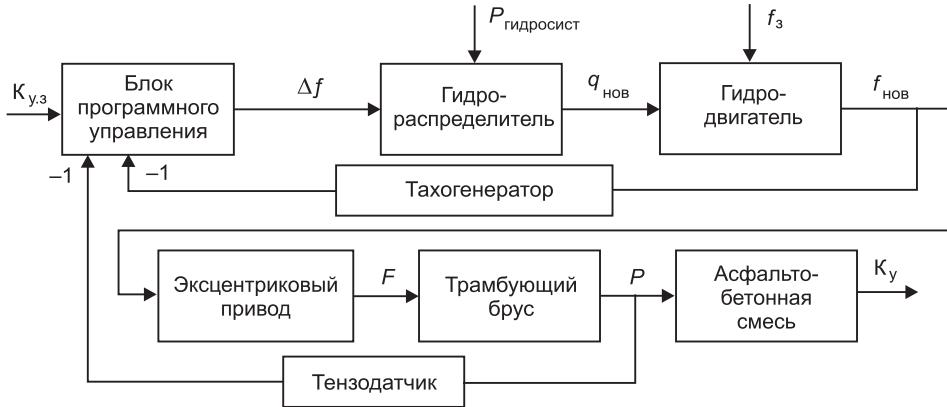


Рис. 2. Функциональная схема САР

$K_{y,z}$, K_y — коэффициенты уплотнения задания и достигнутый соответственно; Δf — сигнал корректировки; $P_{\text{гидросист}}$ — давление в гидроприводе; $q_{\text{нов}}$ — расход жидкости; f_3 и $f_{\text{нов}}$ — частота задания и новая соответственно; F — усилие на трамбующий брус; P — давление на смесь

В состав системы автоматического регулирования коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси входят: блок программного управления; гидораспределитель; гидродвигатель; эксцентриковый преобразователь (вал привода трамбующего бруса); трамбующий брус; тензодатчик; уплотняемая среда (асфальтобетонная смесь).

Моделирование системы автоматического регулирования.

Основные требования, предъявляемые к системе управления:

- обеспечение требуемого коэффициента уплотнения;
- отсутствие перерегулирования системы в процессе работы;
- простота в настройке.

Для программной реализации виртуального исследовательского стенда проектируемой САР использован программный комплекс MATLAB & SIMULINK. Исходные данные для моделирования: мощность гидродвигателя 130 кВт; максимальная частота вращения гидродвигателя 33 с^{-1} ; рабочая частота вращения гидродвигателя 18 с^{-1} ; максимальный поток жидкости в гидросистеме $1,6 \text{ л/с}$; толщина слоя смеси $0,1 \text{ м}$; скорость движения асфальтоукладчика $0,03 \text{ м/с}$; масса трамбующего бруса 500 кг ; ширина рабочего органа 3 м ; длина бруса $0,015 \text{ м}$; радиус эксцентрикового вала $0,007 \text{ м}$; давление больше рабочего $1,5 \text{ МПа}$; давление меньше рабочего $1,1 \text{ МПа}$.

Модель уплотняемой среды — асфальтобетонной смеси рассматривается на основе реологической модели процесса уплотнения упруговязко-пластичного материала [4].

При увеличении контактного давления (рис. 3), снимаемого с тензодатчика давления, система автоматически вычисляет новое значение потока жидкости от гидораспределителя к гидродвигателю. Уменьшая поток до необходимого значения, которое обеспечивает заданный коэффициент уплотнения, снижается частота вращения вала гидродвигателя (рис. 4), тем самым за меньшее количество ударов при возросшем давлении достигается необходимый коэффициент уплотнения.

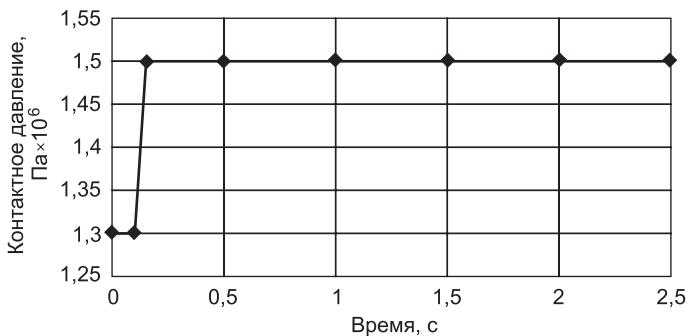


Рис. 3. Изменение контактного давления

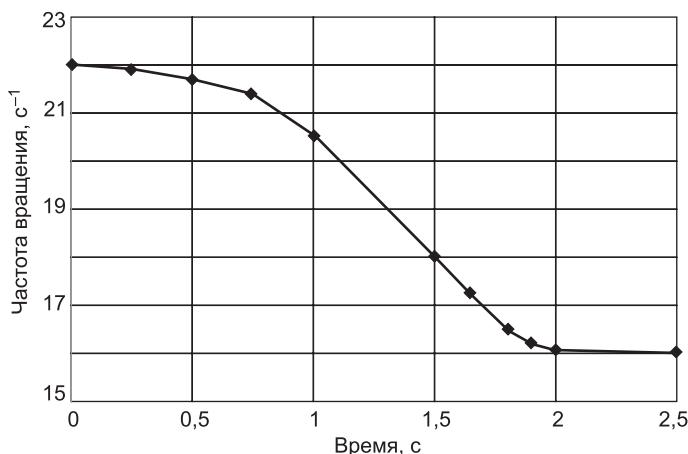


Рис. 4. Изменение частоты вращения вала гидродвигателя

В рассмотренном примере при увеличении давления с 1,3 до 1,5 МПа частота вращения вала гидродвигателя уменьшилась с 22 до 16 с^{-1} . При этом время перерегулирования составило 2 с, а коэффициент уплотнения смеси, достигаемый за 8 ударов трамбующего бруса при скорости движения асфальтоукладчика 0,03 м/с, равен величине 0,91.

Выводы. Преимущество нового технического решения заключается в повышении эффективности автоматического управления рабочим органом асфальтоукладчика вследствие непрерывного процесса уплотнения, за счет применения тензометрического преобразователя (датчика) усилия в металлоконструкции трамбующего бруса, обеспечивающего за асфальтоукладчиком заданную степень уплотнения асфальтобетонной смеси без непосредственного участия в управлении процессом уплотнения машиниста-оператора, что в целом может свидетельствовать об увеличении производительности и эффективности дорожно-строительных работ.

Предварительные исследования проектируемого устройства для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси с применением программного комплекса MatLAB&Simulink позволяют планировать дальнейшие теоретические и экспериментальные задачи разработки эффективной системы управления процессами нелинейной непрерывно-дискретной динамической системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Прокопьев, А.П. Исследование уплотняющего оборудования асфальтоукладчика [Текст] / А.П. Прокопьев // Изв. вузов. Строительство. — 1994. — № 4.

2. Костельев, М.П. Методы и средства контроля качества уплотнения дорожного земляного полотна, щебеночного основания и асфальтобетонного покрытия [Электронный ресурс] / М.П. Костельев, Ю.Е. Никольский, Ю.Э. Райский // Каталог-справочник «Дорожная техника». — 2003. — URL: <http://www.library.stroit.ru/v-series/j-2/p-1.html>.
3. Иванченко, С.Н. Научные основы формирования рабочих органов дорожных машин для уплотнения асфальтобетонных смесей [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Сергей Николаевич Иванченко. — СПб., 1997. — 34 с.
4. Пат. 95681 РФ, МПК В 01 С 19/42. Устройство для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси [Текст] / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. Клинов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». — № 2009118046/22; заявл. 12.05.2009; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19. — 2 с.

*ПРОКОПЬЕВ А.П., канд. техн. наук, доц.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
ЕМЕЛЬЯНОВ Р.Т., д-р техн. наук, проф.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
КЛИМОВ А.С., канд. техн. наук
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
ШИЛКИН С.В., ассист.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Получено после доработки 24.05.11

Prokopiev A.P., candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
Emelianov R.T., doctor of technical sciences, professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
Klimov A.S., candidate of technical sciences, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
Shilkin S.V., assistant, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

SALE DEVICE WITH STRAIN SENSOR OF JOINTS PAVERS FOR PROCESS CONTROL

The actual control problem of discrete-continuous dynamic system (for example, the paver). A description of the device with a load cell to control the compaction process of asphalt concrete mixtures. Results of modeling the workflow of continuous-discrete dynamic systems with application programs MatLAB.

Key words: asphalt, asphalt concrete mixture, discrete-continuous system, automatic control, simulation.

REFERENCES

1. Prokop'ev, A.P. Issledovanie uplotnyayushchego oborudovaniya asfal'toukladchika [Text] / A.P. Prokop'ev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 1994. — N 4.
2. Kostel'ov, M.P. Metody i sredstva kontrolya kachestva uplotneniya dorozhnogo zemlyanogo polotna, shchebenochnogo osnovaniya i asfal'tobetonnogo pokrytiya [Electronic resource] / M.P. Kostel'ov, Yu.E. Nikol'sky, Yu.E. Raysky // Katalog-spravochnik «Dorozhnaya tekhnika». — 2003. — URL: <http://www.library.stroit.ru/v-series/j-2/p-1.html>.
3. Ivanchenko, S.N. Nauchnye osnovy formirovaniya rabochikh organov dorozhnykh mashin dlya uplotneniya asfal'tobetonnykh smesey [Text]: avtoref. dis. ... d-ra techn. nauk / Sergey Nikolaevich Ivanchenko. — SPb., 1997. — 34 p.
4. Pat. 95681 RF, MPK V 01 S 19/42. Ustroystvo dlya upravleniya protsessom uplotneniya asfal'tobetonnoy smesi [Text] / R.T. Emelyanov, A.P. Prokop'ev, A.S. Klimov; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VPO «Siberian federal university». — N 2009118046/22; zayavl. 12.05.2009; publ. 10.07.2010, Byul. N 19. — 2 p.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.131:624.145.4.001.24

В. В. ДЕГТАРЕВ, В. В. ТАРАСЕВИЧ, О. Н. КУШНЕРОВА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАТОРОВ ЛЬДА НА РЕКАХ

Для моделирования заторов льда на реках рассматривается упрощенная одномерная постановка задачи, которая позволяет дать связную картину исследуемого явления. Представлена математическая схематизация ледохода, которая основывается на небольшом количестве исходных данных.

Ключевые слова: математическая модель, ледоход, ледовые заторы, краевые условия.

Образование ледовых заторов на реках представляет собой значительную угрозу расположенным на берегах населенным пунктам. Процесс заторообразования во многом определяется геолого-геоморфологическим строением речной долины, конфигурации русла, метеорологическими особенностями местности, гидрологическим режимом реки и другими фактами. Месторасположение заторов русского типа непостоянно. В отдельные годы наблюдалось формирование нескольких заторов одновременно в разных местах, даже на участках рек небольшой протяженности.

Обоснованное прогнозирование процесса возникновения и развития затора наиболее полным образом можно сделать, опираясь на математическое моделирование и компьютерные вычисления (при условии наличия необходимого объема адекватных исходных данных). Но даже и при отсутствии всего требуемого объема исходной информации математическое моделирование полезно для оценки качественной стороны процесса, определения характерных ситуаций, «узких мест» и т. п.

В настоящей работе рассматривается упрощенная одномерная постановка задачи, которая оперирует с осредненными характеристиками потока и ледяного покрова, позволяет дать интегральную картину описываемого явления. Более детальную информацию можно получить на основе двумерной (плановой) постановки задачи.

С другой стороны, следует помнить, что чем более детальная постановка задачи используется, тем больший объем информации для нее требуется и тем больше она чувствительна к точности используемых исходных данных.

Математическая постановка задачи. Ледоход моделируется совокупностью свободно плывущих льдин, имеющих среднюю толщину h_{di} (толщина погруженной в воду части льдины) и двигающихся со средней скоростью V_i . Истинная толщина льда h_i будет $h_i = h_{di}\rho / \rho_i$, где ρ — плотность воды, ρ_i — плотность льда. Движение воды в реке при этом рассматривается как безнапорное со средней скоростью течения V .

Средняя концентрация льдин σ (степень стесненности) на некотором участке русла от створа, соответствующего продольной координате x , от-

считываемой по оси русла, до створа, соответствующего координате $x + \Delta l$, выражается отношением площади S_i , занятой льдом на этом участке, к общей площади S поверхности воды на этом участке:

$$\sigma = S_i / S. \quad (1)$$

В пределе при $\Delta l \rightarrow 0$ получаем значение концентрации $\sigma = \sigma(x)$ в рассматриваемом створе, соответствующем координате x . В общем случае при изменении концентрации льда во времени $\sigma = \sigma(t, x)$.

Общая ширина ледяного фронта в створе x будет равна $B_i = \sigma \cdot B$, где B — ширина русла в этом створе.

При достижении некоторой критической концентрации плавущего льда σ_{kp} свободного водного пространства для движения льдин не остается, и они начинают наползать друг на друга и на берега, например, в случае формирования заторов торошения (рис. 1, 2). В результате толщина ледяного поля h_f начинает увеличиваться. Без особой погрешности можно считать, что $\sigma_{kp} \approx 1$.



Рис. 1. Затор на средней Лене



Рис. 2. Затор на р. Витим

При этом движение воды рассматривается как напорное. В результате гидродинамическое давление подо льдом может возрастать, что вызывает нарастание нагрузки на льдину со стороны воды. Следует отметить, что гидродинамическая нагрузка, вызываемая волной половодья, является активным фактором разрушения ледяного покрова. При превышении этого давления некоторого критического значения p_{fcr} , которое соответствует пределу прочности льда, льдина разрушается и вода выходит на ее поверхность. Вслед за образованием трещин ледяной покров разламывается на отдельные массивы и поля. При этом возможно разрушение затора или образование наледи. Предел прочности льда зависит от его толщины, т.е. $p_{fcr} = p_{fcr}(h_i)$.

Пренебрегая количеством льда, остающимся на берегах, можно записать баланс массы льда в отсеке между двумя сечениями x и $x + \Delta x$ за время с t до $t + \Delta t$:

$$\rho_i \sigma B h_i \Delta x \Big|_t^{t+\Delta t} = \rho_i \sigma B h_i V_i \Delta t \Big|_x - \rho_i \sigma B h_i V_i \Delta t \Big|_{x+\Delta x}. \quad (2)$$

При переходе к пределу при $\Delta x \rightarrow 0$ и $\Delta t \rightarrow 0$ уравнение приобретает вид

$$\frac{\partial}{\partial t}(\sigma B h_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\sigma B h_i V_i) = 0. \quad (3)$$

При $\sigma < \sigma_{kp}$ полагаем $h_i = h_{i0} = \text{const}$, где h_{i0} — средняя толщина льдин, тогда уравнение (3) фактически представляет собой уравнение относительно концентрации σ в дивергентной форме:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\sigma B) + \frac{\partial}{\partial x}(\sigma B V_i) = 0. \quad (4)$$

При достижении концентрации льдин критического значения $\sigma = \sigma_{kp} = \text{const}$ уравнение (3) будет уравнением на рост толщины льда h_i :

$$\frac{\partial}{\partial t}(B h_i) + \frac{\partial}{\partial x}(B h_i V_i) = 0. \quad (5)$$

Применение теорем импульсов к отсеку русла между двумя створами x и $x + \Delta x$ дает:

$$\begin{aligned} \rho_i \sigma B h_i \Delta x V_i \Big|_t^{t+\Delta t} &= \rho_i \sigma B h_i V_i^2 \Delta t \Big|_x - \rho_i \sigma B h_i V_i^2 \Delta t \Big|_{x+\Delta x} - \\ &- \rho g h_{di} \sigma B \Delta x \frac{\partial \zeta}{\partial x} \Delta t + \kappa \sigma B h_{di} \Delta x \Delta t + \tau_w \sigma B \Delta x \Delta t - f_b \Delta x \Delta t, \end{aligned} \quad (6)$$

где ζ — отметка водной поверхности;

κ — удельное напряжение лобового сопротивления льдин;

τ_w — напряжение трения воды о нижнюю поверхность льдины;

f_b — удельная сила трения о берега.

Здесь

$$\kappa = C_d (1-\sigma)^p \frac{\rho |V - V_i| (V - V_i)}{2 L_i}, \quad (7)$$

где C_d — коэффициент лобового сопротивления льдины;

L_i — характерный линейный (продольный) размер льдин;

p — эмпирический показатель степени;

$$\tau_w = \lambda \frac{\rho |V - V_i|(V - V_i)}{2}, \quad (8)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения. Отметим, что этот коэффициент должен учитывать и потери энергии движущейся жидкости, затрачиваемые на надвигание льдин на ледяной покров при достижении критической степени стесненности потока σ_{kp} , причем его величина возрастает по мере увеличения толщины льда.

Переход к пределу в (6) при $\Delta x \rightarrow 0$ и $\Delta t \rightarrow 0$, подстановка значения силовых характеристик в соответствии с формулами (7)–(8) и использование (1) позволяют получить уравнение

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\sigma B h_i V_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\sigma B h_i V_i^2)}{\partial x} + g h_i \sigma B \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \\ & = C_d \frac{|V - V_i|(V - V_i)}{2L_i} (1 - \sigma)^p \sigma B \left(\frac{\rho}{\rho_i} \right)^2 h_i + \lambda \frac{\rho |V - V_i|(V - V_i)}{2\rho_i} \sigma B - \frac{1}{\rho_i} f_b. \end{aligned} \quad (9)$$

Раскрывая производные в левой части (9) и используя уравнение неразрывности (3), находим:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_i}{\partial t} + V_i \frac{\partial V_i}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \\ & = C_d (1 - \sigma)^p \frac{|V - V_i|(V - V_i)}{2L_i} \left(\frac{\rho}{\rho_i} \right)^2 + \lambda \frac{\rho |V - V_i|(V - V_i)}{2\rho_i h_i} - \frac{1}{\rho_i \sigma B h_i} f_b. \end{aligned} \quad (10)$$

Соотношение в левой части последнего уравнения представляет собой связь полного ускорения при движении льда с уклоном водной поверхности, а слагаемые справа отвечают за различные силы, действующие на движущийся лед.

Ряд исследователей считают удельную силу трения о берега пропорциональной квадрату скорости движущегося льда:

$$f_b = \lambda_b h_i \frac{\rho_i |V_i| V_i}{2}, \quad (11)$$

где λ_b — коэффициент гидравлического трения о берега.

В этой формуле отсутствуют силы трения покоя, которые препятствуют троганию льда при его остановке.

В настоящей работе принят более упрощенный подход, но тем не менее учитывающий предельные напряжения трогания льда.

Из уравнения (10) выражается ускорение льда в явном виде:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V_i}{\partial t} + V_i \frac{\partial V_i}{\partial x} = \\ & = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + C_d (1 - \sigma)^p \frac{|V - V_i|(V - V_i)}{2L_i} \left(\frac{\rho}{\rho_i} \right)^2 + \lambda \frac{\rho |V - V_i|(V - V_i)}{2\rho_i h_i} - \frac{1}{\rho_i \sigma B h_i} f_b. \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь правая часть отражает все удельные силы, действующие на лед при его движении.

Воздействие водного потока на лед определяют следующие силы:

$$\begin{aligned} f_w(\sigma, V_i) = & -g\rho_i\sigma Bh_i \frac{\partial\zeta}{\partial x} + \\ & + C_d(1-\sigma)^p \rho_i\sigma Bh_i \frac{|V-V_i|(V-V_i)}{2L_i} \left(\frac{\rho}{\rho_i} \right)^2 + \lambda\sigma B \frac{\rho|V-V_i|(V-V_i)}{2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Состояние льдины, отвечающее покоя льда, соответствует случаю

$$V_i \equiv 0. \quad (14)$$

По уравнению (13) можно посчитать удельную силу реакции берегов при покоящемся льде, при этом предполагается, что лед может находиться в состоянии покоя только при достижении критической стесненности $\sigma = \sigma_{kp}$:

$$\begin{aligned} f_b^0 = f_w(\sigma_{kp}, 0) = & -\rho_i\sigma_{kp}Bh_i g \frac{\partial\zeta}{\partial x} + \\ & + C_d(1-\sigma_{kp})^p \sigma_{kp}B \frac{h_i}{L_i} \frac{\rho|V|V}{2} + \lambda\sigma_{kp}B \frac{\rho|V|V}{2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Тогда, если лед покоится, его движение не начнется до тех пор, пока

$$f_b^0 \leq f_{sfb}^0, \quad (16)$$

где f_{sfb}^0 — удельная сила трения покоя.

Если лед находится в состоянии покоя, вместо уравнения (10) используется уравнение (15) до тех пор, пока выполняется условие (16). Как только условие (16) нарушается, используется уравнение (10), где удельная сила трения о берега учитывается по формуле (11).

Допустим, что лед движется, т.е. $V_i > 0$. Согласно уравнению движения (12) и формулам (13) и (11), движение льда ускоряется при $f_w(\sigma, V_i) > f_b$ и тормозится при $f_w(\sigma, V_i) < f_b$. Поскольку функция $f_w(\sigma, V_i)$ при прочих равных условиях возрастает при убывании V_i , а функция f_b , наоборот, убывает с понижением V_i , то при уменьшении величины скорости V_i наступит момент, соответствующий некоторой скорости V_{kp} , при которой эти силы уравновесятся. Таким образом, значение V_{kp} можно определить из уравнения

$$f_w(\sigma_{kp}, V_{kp}) = f_b. \quad (17)$$

При дальнейшем убывании V_i , т.е. при $V_i > V_{kp}$, ускорение опять должно возрастать, что противоречит физике явления. Поэтому далее лед должен находиться в состоянии равномерного движения со скоростью V_{kp} . Однако если при этом выполнится условие (16), лед остановится.

Таким образом, для остановки льда необходимо одновременное выполнение двух условий: а) скорость движения льда V_i достигает минимально допустимого значения V_{kp} и б) выполнение условия (16).

Следует отметить, что здесь уклон водной поверхности $J_i = \partial\zeta/\partial x$ полагается известной функцией x .

Безнапорное движение воды описывается известными одномерными уравнениями Сен-Венана [1–3], где дополнительно учитывается трение воды о лед. Уравнение неразрывности в стандартной форме имеет вид

$$\frac{\partial\omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\omega V) = 0, \quad (18)$$

где $\omega = \omega(x, t) = \omega(x, h(x, t))$ — площадь поперечного сечения потока;
 $h(x, t) = \zeta(x, t) - z_d(x)$ — глубина потока;
 $z_d(x)$ — отметка дна русла.

Для получения динамического уравнения движения жидкости используется теорема импульсов. К числу внешних сил, действующих на выделенный объем жидкости, помимо сил давления и сил трения, действующих на твердой поверхности, следует отнести силы трения воды о льдины и силы реакции лобового сопротивления льдин. С учетом этого можно записать:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g\omega \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha_0 \frac{Q^2}{\omega} \right) = -\frac{\tau\chi}{\rho} - \frac{\tau_w \sigma B}{\rho} - \frac{\kappa \sigma B}{\rho}, \quad (19)$$

где Q — расход воды в реке;

χ — смоченный периметр русла;

α_0 — коэффициент Буссинеска;

τ_w и κ определены зависимостями (7) и (8).

Здесь τ — касательное напряжение трения о ложе русла, которое можно определять по формуле

$$\tau = \frac{\rho \cdot g |V| V}{C^2} = \frac{\rho \cdot g |Q| Q}{\omega^2 C^2}, \quad (20)$$

где C — коэффициент Шези¹ [4].

Полагая $\alpha_0 \approx 1$ и используя формулы (7), (8) и (20), уравнение движения можно записать в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\omega} \right) + g\omega \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{|Q| Q}{K^2} \right) = -\frac{\tau_w \sigma B}{\rho} - \frac{\kappa \sigma B}{\rho}, \quad (21)$$

где $K = \omega C \sqrt{R}$ — модуль расхода;

$R = \omega/\chi$ — гидравлический радиус.

Уравнение напорного движения воды подо льдом представляют собой обычные уравнения напорного одномерного движения [4].

Уравнение неразрывности можно применять в форме (18), где для «податливого» русла

$$\omega = \omega(x, t) = \omega(x, h(x, t)). \quad (22)$$

Здесь $h(x, t) = \zeta_i - z_d(x)$ — глубина воды подо льдом;

ζ_i — отметка нижней (смоченной) поверхности льда;

z_d — отметка дна, осредненная по поперечному сечению.

Уравнение напорного движения несжимаемой среды в русле можно представить в следующем виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g\omega \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_i + \frac{p_i}{\rho g} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha_0 \frac{Q^2}{\omega} \right) = -\frac{\tau\chi}{\rho} - \frac{\tau_w \sigma_{kp} B}{\rho} - \frac{\kappa \sigma B}{\rho}, \quad (23)$$

где p_i — гидравлическое давление подо льдом (на нижней стороне льдины).

¹ Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 224 с.

Отсюда видно, что уравнение движения для напорного потока отличается от уравнения безнапорного потока (19) только учетом сил давления, действующих на льдину снизу.

«Податливость» сечения потока будет иметь место только за счет податливости ледяного покрова, которую можно учесть с помощью закона Гука:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = k_f \frac{\Delta p_i}{E_i}, \quad (24)$$

где k_f — коэффициент податливости;

E_i — модуль упругости льда.

Отсюда с учетом (22):

$$\begin{aligned} \frac{\partial\omega}{\partial t} &= \frac{k_f\omega}{E_i} \frac{\partial p_i}{\partial t}, \\ \frac{\partial\omega}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \omega(x, p_i(x, t)) = \left[\frac{\partial\omega}{\partial x} \right]_p + \frac{k_f\omega}{E_i} \frac{\partial p_i}{\partial x}, \end{aligned} \quad (25)$$

где $\left[\frac{\partial\omega}{\partial x} \right]_p$ — член, учитывающий непризматичность русла (для призматических русел равен нулю).

Используя приведенные соотношения, можно выразить уравнение неразрывности (18) относительно скорости воды V и гидродинамического давления подо льдом p_i в следующем виде:

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} + V \frac{\partial p_i}{\partial x} + \rho a^2 \frac{\partial V}{\partial x} = -\rho a^2 \frac{V E_i}{\omega k_f} \left[\frac{\partial\omega}{\partial x} \right]_p, \quad (26)$$

где $a = \sqrt{E_i / (\rho k_f)}$ — скорость распространения малых возмущений при напорном движении потока подо льдом.

Используя уравнение неразрывности в форме (18) и полагая $a_0 \approx 1$, уравнение движения можно представить в виде:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial}{\partial x} \left(\zeta_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right) = -\frac{\tau\chi}{\rho\omega} - \frac{\tau_\omega \sigma_{kp} B}{\rho\omega} - \frac{\kappa\sigma B}{\rho\omega}. \quad (27)$$

Для однозначного решения нестационарной задачи необходимо задать еще граничные условия и начальные данные [3]. Для стационарной задачи достаточно только граничных условий.

В качестве начальных данных используется априорная (экспериментальная или расчетная) информация о распределении расходов воды и льда, толщины и концентрации льда и глубины потока вдоль русла в начальный момент времени.

В качестве граничных условий в начальном створе могут задаваться исходные значения расхода воды, отметки водной поверхности, толщина и концентрация льда как функции времени и др.

В конечном створе могут задаваться отметки водной поверхности. Часто в качестве граничных условий в конечном створе принимаются «мягкие» граничные условия, задающие приходящую со стороны нижнего створа волну возмущения. Иногда вместо этого условия берется так называемая кривая связи глубин и расходов воды в данном створе.

На границе, где безнапорный режим переходит в напорный, ставятся следующие условия:

а) баланс масс, который для несжимаемой жидкости будет выглядеть как

$$\omega_{\text{л}}(V_{\text{л}} - V_i) = \omega_{\text{п}}(V_{\text{п}} - V_i), \quad (28)$$

где $\omega_{\text{л}}$ и $V_{\text{л}}$ — площадь поперечного сечения потока и скорость воды слева от границы (безнапорное течение);

$\omega_{\text{п}}$ и $V_{\text{п}}$ — площадь поперечного сечения потока и скорость воды справа от границы (напорное течение).

Учитывая, что

$$\omega_{\text{л}} = \omega_{\text{п}} + \sigma_{\text{кр}} \cdot Bh_{di}, \quad (29)$$

условие (28) можно записать в виде

$$V_{\text{л}} = V_{\text{п}} \left(1 - \frac{\sigma_{\text{кр}} Bh_{di}}{\omega_{\text{п}}} \right) + \frac{\sigma_{\text{кр}} Bh_{di}}{\omega_{\text{п}}} V_i, \quad (30)$$

откуда видно, что на границе потоков будет иметь место скачок скоростей;

б) баланс давлений, который можно представить в виде равенства давлений (по непрерывности)

$$p_i = p_{\text{атм}} + \rho g h_{di}. \quad (31)$$

Методика расчета. Допустим, во входном створе имеется безнапорный режим течения с достаточно свободно плавающими льдинами. Расчет начинается с этого створа, при этом решается система уравнений (18), (21) совместно с (4) и (10) при постоянном значении $h_i = h_{i0}$, в результате чего определяются как параметры несущего потока V, ζ , так и параметры движения льда — концентрация льдин σ и средняя скорость их движения V_i .

При достижении критической концентрации льда $\sigma_{\text{кр}}$ поток рассматривается как напорный, т.е. решается совместно система уравнений (26)–(27) и (4) и (10) при $\sigma = \sigma_{\text{кр}}$, в результате чего определяются параметры потока V_i и p_i , толщина льда h_i и его скорость V_i . В створе, где происходит переход от безнапорного движения к напорному, параметры потока стыкуются по формулам (30)–(31).

Если давление подо льдом p_i достигает критического значения p_{fer} , считается, что лед разрушается. При этом на внутренней поверхности льда устанавливается давление, равное атмосферному $p_i = p_{\text{атм}}$.

Если скорость движения льда V_i становится ниже критической $V_{\text{кр}}$ при соблюдении условия стесненности $\sigma = \sigma_{\text{кр}}$ и выполнения условия (16), считается, что лед останавливается, т.е. полагается $V_i = 0$. При нарушении условия (16) лед трогается опять.

Выводы. Предложенная схема моделирования ледохода — вариант достаточно упрощенного подхода к описанию и расчету этого явления. Ее преимущество состоит в содержании небольшого количества экспериментальных констант (исходных данных).

В целом следует отметить, что эффективный расчет реальных процессов движения льда и образования заторов возможен при соблюдении разумного баланса между точностью модели, наличием доступных информационных и вычислительных ресурсов и требуемой точности прогноза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стокер, Дж.Дж. Волны на воде. Математическая теория и приложения [Текст] / Дж. Дж. Стокер. — М. : Изд-во иностр. лит., 1959. — 617 с.
2. Эббот, М.Б. Гидравлика открытого потока [Текст] / М.Б. Эббот. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 272 с.
3. Семчуков, А.Н. Оценка условий работы речных водозаборов в нижних бьефах ГЭС при суточном регулировании стока [Текст] / А.Н. Семчуков, А.А. Атавин, В.И. Квон, В.В. Дегтярев, Н.В. Алексеева // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 2. — С. 73–81.
4. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / П.Г. Киселев. — М. : Энергия, 1972. — 312 с.

ДЕГТЯРЕВ В.В., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

ТАРАСЕВИЧ В.В., канд. физ.-мат. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

КУШНЕРОВА О.Н., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 02.06.11

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

Tarasevich V.V., candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Kushnerova O.N., post-graduate student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

MATHEMATICAL MODELLING OF CONDITIONS OF FORMATION OF ICE JAMS IN RIVERS

A simplified one-dimensional formulation of the problem for modeling ice jams on rivers is considered for modeling ice jams on rivers, which allows us to give a coherent picture of the phenomenon. This mathematical schematization of ice flow is based on a small amount of input data.

Key words: a mathematical model, ice flow, ice jams, the boundary conditions.

REFERENCES

1. Stoker, J.J. Water waves: the mathematical theory with applications [Text] / J.J. Stoker. — M. : Inostrannaya literatura, 1959. — 617 p.
2. Abbot, M.B. Hydraulics of open flow [Text] / M.B. Abbot. — M. : Energoatomizdat, 1983. — 272 p.
3. Semchukov, A.N. Estimation of conditions of work of the river water intakes in the lower pools of power plants in the diurnal regulation of runoff [Text] / A.N. Semchukov, A.A. Atavin, V.I. Kwon, V.V. Degtyarev, N.V. Alekseeva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2003. — N 2. — P. 73–81.
4. Kiselev, P.G. Handbook of Hydraulic Calculations [Text] / P.G. Kiselev. — M. : Energia, 1972. — 312 p.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.92.001.24

В.И. КОСТИН, Б.А. ФЕДОРОВ

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ С ИЗБЫТКАМИ ТЕПЛОТЫ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД

Показано, что расчет воздухообмена на ассимиляцию избытков теплоты в теплый период по формуле (Л.1) СНиПа 41-01-2003 дает завышение величины расходов воздуха на вентиляцию.

Ключевые слова: воздухообмен, нестационарные теплопоступления, расчет.

В работах [1–3] показано, что один из эффективных путей снижения энергозатрат — учет теплоинерционных свойств ограждающих конструкций. Учет этого явления в практике проектирования длительное время сдерживался отсутствием доступной программы расчета. В настоящее время такая программа создана на основе методики Ю.А. Табунщикова [4]¹. Анализ возможности этой программы можно найти, например, в статье [3].

Цель данной работы — оценка влияния тепловой инерции ограждающих конструкций на расчет воздухообмена из условия ассимиляции избытков теплоты.

Расчеты проводились по двум методикам:

1. По формуле (Л.1) СНиПа 41-01-2003, в соответствии с которой воздухообмен определяется как

$$L = L_{w,z} + \frac{3,6Q - cL_{w,z}(t_{w,z} - t_{in})}{c(t_l - t_{in})}, \quad (1)$$

где $L_{w,z}$ — расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны;

Q — избыточный явный тепловой поток в помещение;

$t_{w,z}$ — температура воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны;

t_l — температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны;

c — объемная теплоемкость воздуха;

t_{in} — температура приточного воздуха.

2. По программе РНП «АВОК» 5.1–2008.

В качестве расчетной модели принималось промышленное здание объемом 14 400 м³. Теплонапряженность, создаваемая тепловыделением от технологического оборудования и от людей, $\bar{q} = 4$ Вт / м³. Кратность

¹ Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплопоступлениях. РНП «АВОК» 5.1–2008.

воздухообмена из расчета асимиляции токсических вредностей — 3. Категория работ — средней тяжести II-а. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций принималось в соответствии со СНиП 23-02-2003, а климатические данные по СНиП 23-01-99. Конструкция стен — кирпичная кладка толщиной 380 мм и панель с утеплителем URSA плотностью 85 кг/м³. Конструкция перекрытия — железобетонные плиты, утеплитель керамзитобетон.

Сравнения проводились для 12 городов: Архангельска, Екатеринбурга, Москвы, Новосибирска, Краснодара, Ростова, Владивостока, Норильска, Самары, Санкт-Петербурга, Хабаровска, Якутска.

При расчетах по второй методике варьировались факторы, не учитывающиеся в первой (формула (1)): сменность работы (одно-, двух- и трехсменная), суточные изменения температуры наружного, а значит и приточного воздуха, интенсивности солнечной радиации. Результаты расчета суточного изменения температур наружного t_n и внутреннего воздуха для города Новосибирска при трехсменной работе представлены на рис. 1, из которого видно, что температура в помещении будет в допустимых пределах. Расчеты производились при кратности воздухообмена 6,5 — с 8-00 до 18-00; 3 — с 19-00 до 7-00.

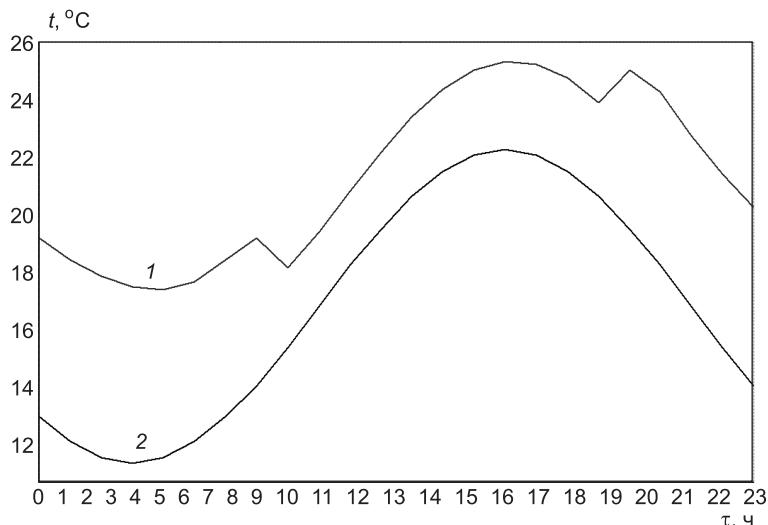


Рис. 1. Результаты расчета суточного изменения температур внутреннего (кривая 1) и наружного (кривая 2) для города Новосибирска

Сопоставление расчетов по обеим методикам показало, что полученные по второй методике кратности воздухообмена в 1,5 и более раз меньше, чем по первой (см. таблицу). Кроме того, расчеты по методике 2 позволяют определить оптимальный вариант регулирования вентиляции в течение суток, в частности, определить целесообразность ночных пропусканий при одно- и двухсменной работе.

Для варианта трехсменной работы сравнение проводилось также и для более высоких уровней внутренних тепловыделений: 8, 10, 15, 20 Вт/м³. На рис. 2 показано сопоставление максимальных величин воздухообменов, определенных по методике 2 и по формуле (1). Разница представлена в процентах по оси ординат. Из рис. 2 следует, что даже при $\bar{q} = 20$ Вт/м³ для подавляющего большинства регионов РФ отличие

Сопоставление расчетных воздухообменов

Город	Расчетная t_h , °C	Методика 1	Методика 2		
			Сменность работы		
			односменная	двухсменная	трехсменная
Архангельск	19,6	10	8-00–11-00–5 12-00–15-00–6,2	8-00–11-00–3 12-00–18-00–6 19-00–23-00–3	8-00–11-00–3 12-00–18-00–6 19-00–7-00–3
Екатеринбург	22	9,6	8-00–15-00–6 16-00–23-00–1	8-00–18-00–6 19-00–23-00–3	8-00–18-00–6 19-00–7-00–3
Новосибирск	22	9,9	8-00–15-00–6,8 16-00–7-00–1	8-00–11-00–6 12-00–18-00–6,5 19-00–23-00–6 0-00–7-00–1	8-00–18-00–6,5 19-00–7-00–3
Краснодар	27,4	13,7	8-00–15-00–9 16-00–7-00–1	8-00–11-00–8 12-00–18-00–9 19-00–23-00–3	8-00–11-00–8 12-00–18-00–9 19-00–7-00–3
Ростов	26,1	9,7	8-00–15-00–6	8-00–12-00–5 13-00–18-00–6 19-00–23-00–3	8-00–12-00–5 13-00–18-00–6 19-00–7-00–3
Москва	22,6	9,6	8-00–15-00–6 16-00–7-00–1	8-00–17-00–6 18-00–19-00–5 20-00–23-00–3	8-00–17-00–6 18-00–19-00–5 20-00–7-00–3
Хабаровск	23,5	10,2	8-00–11-00–5 12-00–15-00–7 16-00–7-00–1	8-00–11-00–5 12-00–19-00–7 20-00–23-00–3 0-00–7-00–1	8-00–11-00–5 12-00–19-00–7 20-00–7-00–3
Якутск	22,8	10,9	8-00–11-00–5 12-00–15-00–6 16-00–23-00–1	8-00–18-00–5 19-00–23-00–3	8-00–18-00–5 19-00–7-00–3
Санкт-Петербург	20,5	9,9	8-00–11-00–6 12-00–15-00–7	8-00–13-00–5 14-00–17-00–6 18-00–23-00–5	8-00–19-00–5 20-00–7-00–3
Самара	24,6	15,3	8-00–12-00–5 13-00–16-00–8 17-00–7-00–1	8-00–12-00–5 13-00–19-00–8 20-00–23-00–3 0-00–7-00–1	8-00–12-00–3 13-00–19-00–8 20-00–7-00–3
Норильск	15,7	9,9	8-00–10-00–4 11-00–15-00–9,9 16-00–23-00–1	8-00–10-00–4 11-00–19-00–9,9 20-00–23-00–3	8-00–10-00–3 11-00–19-00–9 20-00–7-00–3
Владивосток	21,4	7,9	8-00–11-00–5 12-00–15-00–6,5 16-00–23-00–1	8-00–11-00–5 12-00–20-00–6 21-00–23-00–3	8-00–11-00–5 12-00–20-00–6 21-00–7-00–3

составит более 10 %. Разница в расчетах для разных городов объясняется неодинаковостью суточных амплитуд колебаний температуры наружного воздуха t_h и спецификой стандартов России, ставящих предельную величину температуры в помещении в зависимость от t_h .

Заметим, что теплонапряженности порядка 20 характерны для промышленных зданий. В административных, общественных, офисных зданиях \bar{q} меньше, а период работы либо односменный в дневное время, либо в вечерние или (и) ночное время. Следовательно, для этой категории зданий расчет по формуле (1) для непромышленных зданий представляется нецелесообразным.

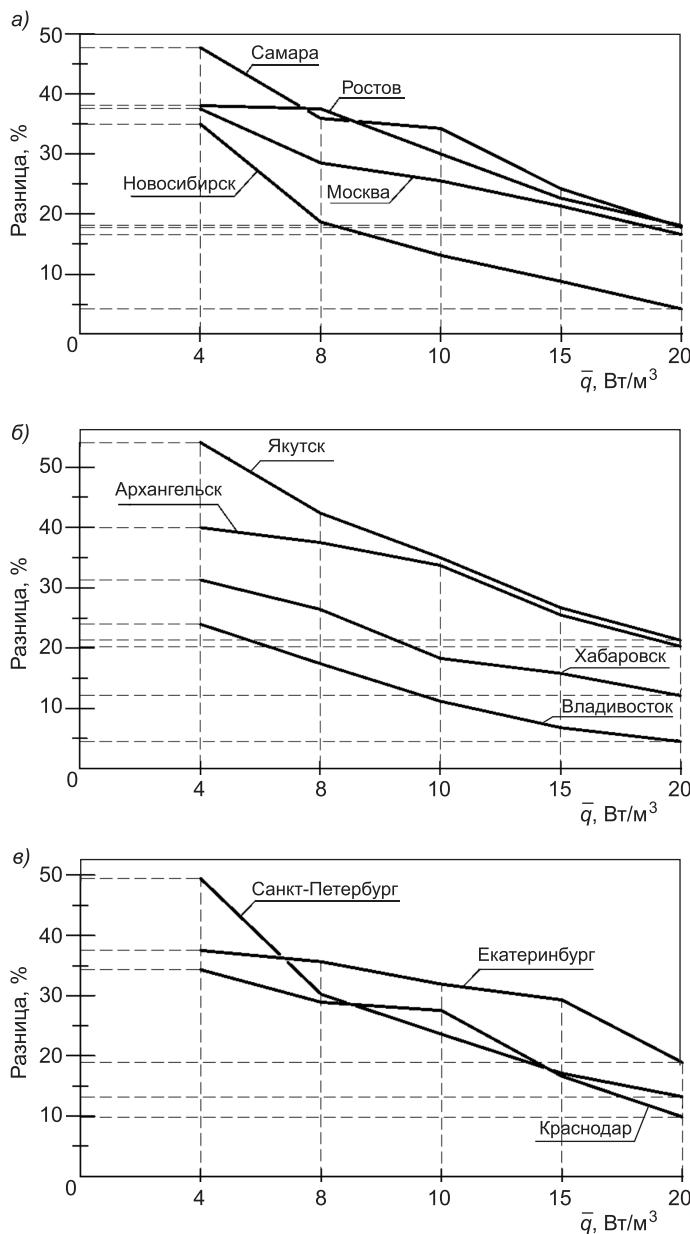


Рис. 2. Сопоставление расчетов воздухообмена для трехсменной работы по методикам 1 и 2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шилькорт, Е.О. Эффективное использование энергии — где и как? [Текст] / Е.О. Шилькорт // АВОК. — 2006. — № 7. — С. 4–6.
2. Костин, В.И. О путях сокращения энергозатрат системами климатизации зданий [Текст] / В.И. Костин // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 5. — С. 48–51.
3. Костин, В.И. Возможно ли энергосбережение без капитальных затрат [Текст] / В.И. Костин // АВОК. — 2010. — № 7. — С. 64–66.
4. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. — 194 с.

КОСТИН В.И., д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ФЕДОРОВ Б.А., студ.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 31.05.11

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

Fedorov B.A., student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

PROBLEMS OF CALCULATION OF AIR EXCHANGE IN PREMISES WITH SURPLUSES OF WARMTH DURING THE WARM PERIOD

It is shown that air exchange calculation on assimilation of surpluses of warmth during the warm period under formula (L.1) CN&R 41-01-2003 gives overestimate of size of expenses of air on ventilation.

Key words: air exchange, at non-stationary heat inputs, calculation.

REFERENCES

1. Shilkrot, E.O. Energy effective utilization — where and how? [Text] / E.O. Shilkrot // AVOK. — 2006. — N 7. — P. 4–6.
2. Kostin, V.I. On ways of power expenses reduction by buildings climatization systems [Text] / V.I. Kostin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 5. — P. 48–51.
3. Kostin, V.I. Whether the power saving without capital expenses are possible [Text] / V.I. Kostin // AVOK. — 2010. — N 7. — C. 64–66.
4. Tabunshchikov, Yu.A. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings [Text] / Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach. — M. : AVOK-PRESS, 2002. — 194 p.

УДК 628.16.09:556.3/5

Г.Р. БОЧКАРЕВ, Г.И. ПУШКАРЕВА, К.А. КОВАЛЕНКО

**СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДНЫХ СРЕД ОТ МЫШЬЯКА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО
И МОДИФИЦИРОВАННОГО БРУСИТА***

Представлены результаты сорбционного удаления мышьяка из водных сред на природном и термически обработанном минерале брусите. Изучение сорбционных свойств минерала проведено в статических условиях на модельных растворах и сточных водах. Установлено, что модифицированный брусит проявляет более высокую сорбционную активность по отношению к мышьяку, позволяет удалить его до санитарных норм и получить осадки, пригодные для захоронения.

Ключевые слова: мышьяк, брусит, сорбционная очистка, сточные воды.

Одним из наиболее опасных загрязнителей природных вод является мышьяк (As), который присутствует преимущественно в виде арсенатов As(V) и арсенитов As(III), причем вторая форма наиболее токсична. При длительном употреблении воды даже с незначительным содержанием этого токсиканта увеличивается риск развития у человека ряда хронических заболеваний. Предельно допустимая концентрация As для водоемов питьевого водоснабжения — 0,01 мг/л.

В районах разработки и переработки месторождений полиметаллических руд возникает опасность попадания высоких концентраций мышьяка в грунтовые и поверхностные воды. Ввиду несовершенства систем оборотного водоснабжения и очистных сооружений на предприятиях в сточных водах содержание мышьяка может достигать нескольких граммов на литр. Исследователи отмечают, что присутствие высоких концентраций мышьяка в питьевых и сточных водах — одна из главных санитарных и экологических проблем во многих странах мира.

Учитывая токсичность мышьяка и ограниченный спрос на его соединения, технологии обезвреживания мышьяксодержащих вод должны обеспечивать:

- получение очищенных растворов, удовлетворяющих санитарным нормам;
- концентрирование As в малотоксичные и слаборастворимые осадки, пригодные для захоронения.

В мировой практике для удаления мышьяка опробованы практически все существующие методы очистки воды, но использование ни одного из них не позволяет в полной мере удовлетворить указанным выше требованиям.

В последнее время проявляется повышенный интерес к сорбционным технологиям, способным обеспечить наиболее глубокую очистку вод от этого токсиканта. В качестве сорбентов рассматриваются активирован-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-00571).

ный уголь, железосодержащие материалы, гидроксиды металлов, биосорбенты, природные минералы, отходы различных производств и др.

В работе [1] приведены результаты сорбционного удаления арсенатов на искусственно полученных оксиде и гидроксида магния. Делается вывод, что эти соединения обладают сильным химическим средством к мышьяку и эффективно его удаляют из воды. Существенным недостатком метода является необходимость предварительной химической обработки магнийсодержащих материалов для получения этих сорбентов, что приводит к усложнению процесса и его удорожанию.

Цель наших исследований — изучить возможность использования природной гидроокиси магния минерала брусила для очистки водных растворов от мышьяка. Среди промышленных магнезиальных минералов брусит занимает первое место по содержанию оксида магния MgO . Ранее установлено, что минерал проявляет высокие сорбционные свойства по отношению к ионам цветных металлов. Обнаружено, что термическая обработка брусила при $t = 600 - 700$ °C приводит к значительному увеличению удельной поверхности минерала, образованию «дефектной» кристаллической структуры периклаза, обладающей более высокой сорбционной активностью [2, 3].

Эксперименты проводились на модельных растворах и реальных сточных водах одного из предприятий металлургического комплекса с использованием природного и термически модифицированного минерала в статических условиях.

Модельные растворы готовились из оксида мышьяка (III) и арсената натрия на водопроводной воде с содержанием от 1 до 100 мг / л As. Растворы помещались в колбы, добавлялись навески брусила крупностью 10–50 мкм и перемешивались на магнитных мешалках. Осадок отделялся фильтрованием, в фильтратах определялась остаточная концентрация мышьяка. Элементный анализ фильтратов выполнялся на атомно-эмиссионном спектрометре IRIS Intrepid II XSP Radial.

Результаты исследований показали, что равновесное состояние устанавливается за 60 мин; оптимальное значение pH = 5,0 – 8,0; изменение минерализации растворов в диапазоне от 60 до 700 мг / л не оказывает существенного влияния на сорбцию мышьяка на брусиите. Изотермы сорбции были построены методом переменных концентраций (рис. 1). Расход природного и модифицированного сорбента составил 4,0 и 0,5 г / л соответственно.

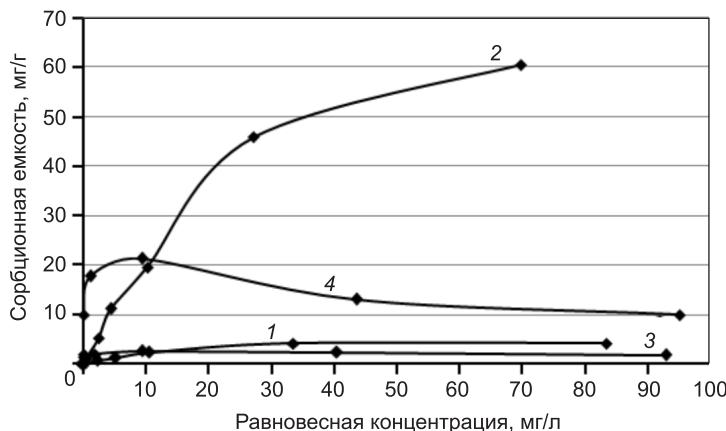


Рис. 1. Изотермы сорбции мышьяка (III), (V) на природном (1, 3) и модифицированном брусиите (2, 4)

Установлено, что сорбционная емкость модифицированного минерала по отношению к арсенитам и арсенатам составляет 20–60 мг/г, которая в 10–15 раз превышает этот показатель у природного минерала (2–4 мг/г). Необходимо отметить, что сорбционная емкость модифицированного брусита в 3 раза выше по отношению к As (III), чем к As (V). Это свойство выделяет брусит среди других сорбентов, проявляющих сродство к мышьяку, так как в основном эта зависимость носит обратный характер.

Обнаружено, что в зависимости от расхода модифицированного сорбента степень извлечения токсиканта из растворов с концентрацией 45–50 мг/л As может достигать 90–99 % (рис. 2).

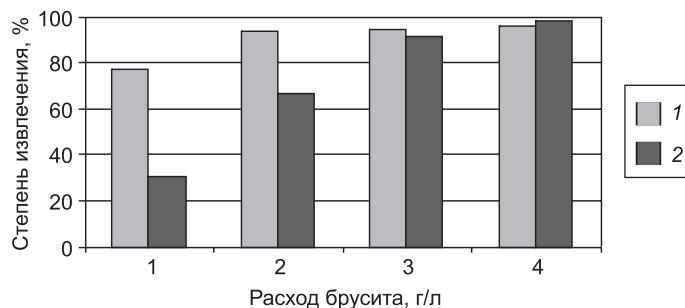


Рис. 2. Зависимость степени извлечения арсенитов (1) и арсенатов (2) от расхода модифицированного брусита

Методами ИК-спектроскопии и рентгенографии получены данные о механизме сорбции мышьяка (III) и (V) на брусите. Образующиеся в процессе сорбции мышьяка на поверхности брусита соединения рентгеноаморфны, о чем свидетельствует заметное увеличение аморфной

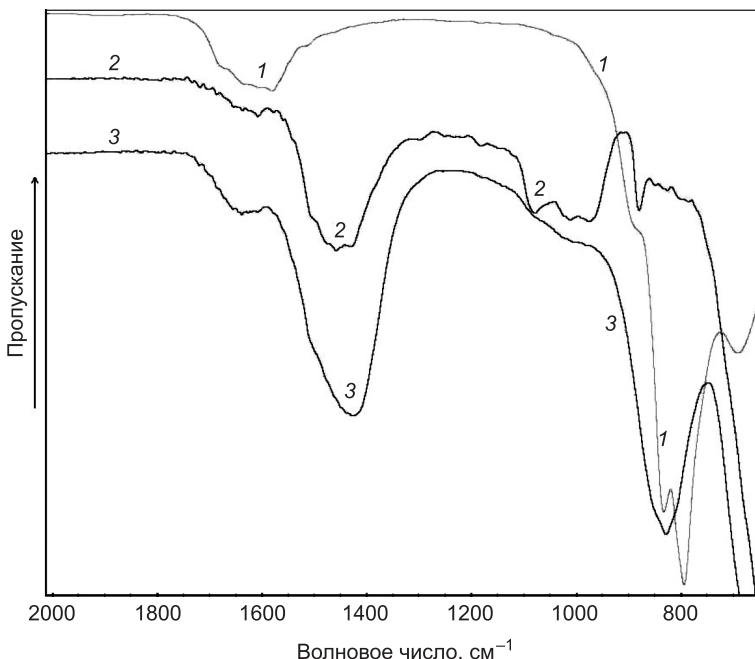


Рис. 3. ИК-спектры: арсенат магния (1); брусит с сорбированным арсенатом (2); модифицированный брусит с сорбированным арсенатом (3)

фазы на рентгенограммах. Анализ ИК-спектров сорбентов до сорбции и сорбентов с сорбированными арсенитами и арсенатами показал, что заметные изменения происходят на спектрах бруссита с сорбированным As (V). На рис. 3 размещены ИК-спектры арсената магния, природного и модифицированного бруссита с сорбированным арсенатом. В результате сорбции на модифицированном бруссите на спектре появилась интенсивная полоса в области 830 см^{-1} , совпадающая с полосами поглощения групп $(\text{AsO}_4)^{-3}$. Можно предположить, что сорбция мышьяка на бруссите происходит с образованием арсенатов магния и возможно с участием водородных связей OH-групп.

Очистку реальной сточной воды от мышьяка проводили в статическом режиме при расходе сорбентов 1–7 г/л в течение 60 мин. Основные компоненты производственного раствора — мышьяк, цинк, медь, железо, алюминий, марганец, никель, pH — 1,49.

Результаты исследований показывают, что при использовании как природного, так и модифицированного минерала удаляется не только As, но и присутствующие металлы (табл. 1). Бруссит является уникальным природным щелочным образованием и его применение позволяет исключить использование других химических реагентов для нейтрализации кислых сточных вод. Из табл. 1 видно, что модифицированный бруссит проявляет высокие щелочные свойства и позволяет обеспечить более полную очистку стока.

Осадки, полученные в результате сорбции, содержат мышьяк, магний и сорбированные металлы. Известно, что соединения мышьяка с

Таблица 1

Результаты сорбционного удаления мышьяка из стока на природном и модифицированном бруссите

№ пробы	Количество сорбента, г/л	pH	Концентрация, мг/л						
			As	Al	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Исходный раствор	—	1,49	43,0	0,7	32,0	3,5	0,5	1,0	168

Природный бруссит

1	1	1,88	25,7	0,6	21,0	2,9	0,3	0,6	130
2	2	2,76	25,6	0,6	20,7	3,5	0,4	0,1	128
3	3	4,98	24,0	0,2	16,5	н/о*	0,5	0,1	129
4	4	5,95	15,4	н/о	6,5	н/о	0,4	0,1	128
5	5	6,6	12,1	н/о	1,5	н/о	0,4	0,1	129
6	6	6,7	10,3	н/о	0,8	н/о	0,4	0,1	129
7	7	6,9	4,5	н/о	0,2	н/о	0,4	0,1	123

Модифицированный бруссит

1	1	2,04	26,0	0,7	22,0	3,1	0,3	0,2	142
2	2	6,85	5,6	н/о	0,5	н/о	0,4	0,2	132
3	3	7,14	0,21	н/о	0,07	н/о	0,4	0,03	94,1
4	4	7,36	0,09	н/о	0,04	н/о	0,4	0,02	46,6
5	5	8,45	н/о	н/о	0,02	н/о	0,3	0,01	1,25
6	6	9,65	н/о	н/о	н/о	н/о	0,006	н/о	0,2

*н/о — на грани обнаружения.

Таблица 2

Растворимость некоторых труднорастворимых соединений мышьяка [4]

Формула	Произведение растворимости
AlAsO_4	$1,6 \cdot 10^{-16}$
$\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2$	$2,1 \cdot 10^{-20}$
FeAsO_4	$5,8 \cdot 10^{-21}$
$\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2$	$3,1 \cdot 10^{-26}$
$\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)_2$	$1,9 \cdot 10^{-29}$
$\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$	$7,6 \cdot 10^{-36}$

этими металлами относятся к труднорастворимым (табл. 2) и пригодным для захоронения. Следует добавить, что брусит абсолютно безопасен в применении и не токсичен, что делает его еще более привлекательным.

Таким образом, результаты исследований показывают реальную перспективу эффективного использования брусиата в сорбционной технологии глубокой очистки сточных вод от мышьяка, позволяющей получить очищенные растворы и осадки, удовлетворяющие санитарным нормам для их захоронения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 6821434 США, МПК⁷ C02F 9/00. Способ и устройство для удаления из воды мышьяка [Текст] / Robert C. Moore, D. Richard Anderson. — № 10/0255718; заявл. 19.12.2001; опубл. 23.11.2004.
2. Пушкарева, Г.И. Сорбционное извлечение металлов из моно- и поликомпонентных растворов с использованием брусиата [Текст] / Г.И. Пушкарева // ФТПРПИ. — 1999. — № 6. — С. 110–113.
3. Пушкарева, Г.И. Влияние температурной обработки брусиата на его сорбционные свойства [Текст] / Г.И. Пушкарева // ФТПРПИ. — 2000. — № 6. — С. 90–93.
4. Набойченко, С.С. Мышьяк в цветной металлургии: монография [Текст] / С.С. Набойченко, С.В. Мамяченков, С.В. Карелов. — Екатеринбург : УрО РАН, 2004. — 240 с.

БОЧКАРЕВ Г.Р., д-р техн. наук, проф.; E-mail: grboch@misd.nsc.ru

Учреждение Российской академии наук, Институт горного дела Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

ПУШКАРЕВА Г.И., ст. науч. сотр.

Учреждение Российской академии наук, Институт горного дела Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

КОВАЛЕНКО К.А., мл. науч. сотр.; E-mail:kovalenko-ksusha@mail.ru

Учреждение Российской академии наук, Институт горного дела Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

Получено 17.05.11

Bochkarev G.R., doctor of technical sciences, professor, E-mail: grboch@misd.nsc.ru, Establishment of the Russian Academy of Sciences, Institute of Mining Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Pushkareva G.I., senior researcher, Establishment of the Russian Academy of Sciences, Institute of Mining Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
Kovalenko K.A., junior researcher, E-mail: kovalenko-ksusha@mail.ru, Establishment of the Russian Academy of Sciences, Institute of Mining Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

ARSENIC REMOVAL FROM WATER MEDIA BY SORPTION ONTO NATURAL AND MODIFIED BRUCITE

The research data on arsenic sorption onto natural and thermally treated brucite mineral are reported. Sorption properties of the mineral are studied in standardized test solutions and waste water under static conditions. It is established that modified brucite exhibits higher sorption activity to arsenic, makes it possible to reduce arsenic content down to sanitary standards and to obtain sediments suitable for burial ground disposal.

Key words: arsenic, brucite, sorption treatment, waste water.

REFERENCES

1. Patent USA 6821434 Int.Cl⁷ C02F 9/00. System for removal of arsenic from water [Text] / Robert C. Moore, D. Richard Anderson. — N 10/025718; apld. 19.12.2001; publ. 23.11.2004.
2. Pushkareva, G.I. Sorption extraction of metals from mono- and multicomponent solutions using brucite [Text] / G.I. Pushkareva // Journal of Mining Science. — 1999. — N 6. — P. 110–113.
3. Pushkareva, G.I. Effect of temperature treatment of brucite on its sorption properties [Text]/ G.I. Pushkareva // Journal of Mining Science. — 2000. — N 6. — P. 90–93.
4. Naboichenko, S.S. Arsenic in nonferrous metallurgy [Text] / S.S. Naboichenko, S.V. Mamyachenkov, S.V. Karellov. — Ekaterinburg : Ural Branch Russian Academy of Sciences, 2004. — 240 p.

УДК 628.336.022.612

Т.И. ХАЛТУРИНА, Т.А. КУРИЛИНА, О.В. ЧУРБАКОВА

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ
И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД,
СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ,
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТРОВОЙ (СКАНИРУЮЩЕЙ)
ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

Представлены результаты экспериментальных исследований по изучению структуры и химического состава осадка, образующегося после гальванокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих ионы Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , с использованием растровой (сканирующей) электронной микроскопии для разработки технологии утилизации.

Ключевые слова: осадки, сточные воды, гальваническое производство, растровая электронная микроскопия, утилизация.

В связи с ужесточением требований к охране окружающей природной среды поиск эффективных путей утилизации осадков сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, является актуальным. Для разработки технологии обезвоживания и утилизации осадка необходимо определить структуру, свойства и химический состав осадка. Известно [1, 2], что методы сканирующей электронной микроскопии нашли широкое применение для определения микроструктуры материалов, которые зависят от электронного строения и химического состава.

В данной работе проводились исследования структуры и химического состава осадка, образующегося после гальванокоагуляционной обработки усредненных сточных вод, содержащих ионы Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , при этом $C_{\text{исх}}^{\text{Cu}^{2+}} = 60 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{исх}}^{\text{Ni}^{2+}} = 15 \text{ мг/дм}^3$, $C_{\text{исх}}^{\text{Zn}^{2+}} = 20 \text{ мг/дм}^3$, на сканирующем электронном микроскопе JSM 7001F фирмы JEOL (Япония) с системой микроанализаторов фирмы Oxford Instruments (Великобритания). Разрешение микроскопа до 1,2 нм при ускоряющем 30 кВ (изображение во вторичных электронах), ускоряющее напряжение — от 0,5 до 30 кВ, увеличение — от $\times 10$ до $\times 1\,000\,000$, ток пучка до 200 нА, элементный анализ — от В до U. Пробоподготовка исследуемых образцов осадков гальванокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих ионы Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , проводилась на комплексе оборудования фирм Jeol (Japan) и Gatan (USA). Результаты были получены при использовании ряда специальных программ, таких как, например: качественного и количественного элементного анализа — INCA Point and ID, картирования — Mapping и QuantMap, количественного распределения фаз и включений — Feature.

На рис. 1–3 приведены структуры порошков осадка, а в табл. 1–3 представлен локальный элементный состав поверхностных слоев образца осадка гальванокоагуляционного обезвреживания сточных вод, содержащих ионы Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , с использованием гальванопары Fe – СГН (углеродминеральный сорбент) при разном увеличении (10 000–15 000),

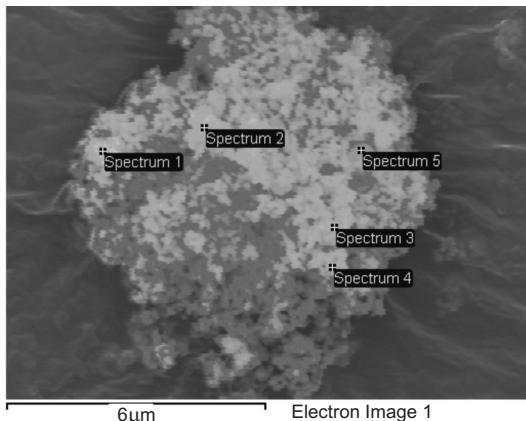


Рис. 1. Снимок порошка осадка

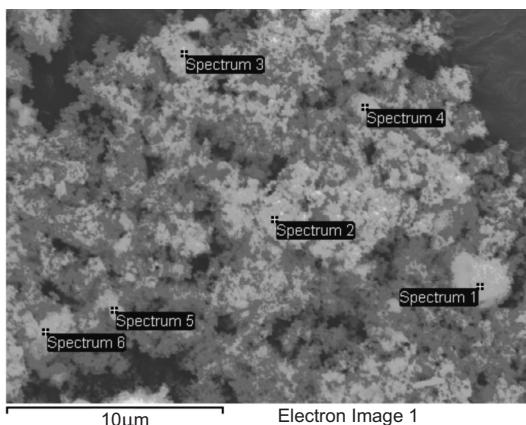


Рис. 2. Снимок порошка осадка

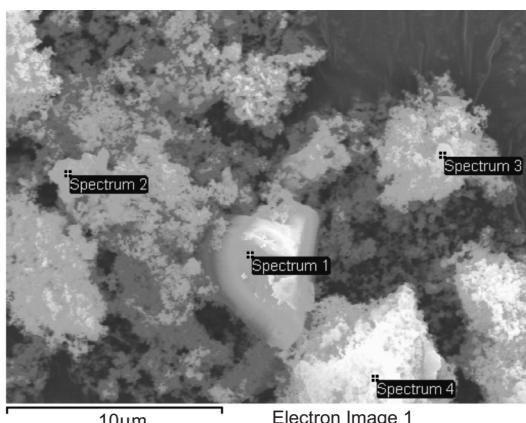


Рис. 3. Снимок порошка осадка

Исследование микроструктуры образцов сопровождалось микрорентгеноспектральным анализом, характерной особенностью которого является локальность — максимальная область возбуждения составляет 1 мкм. Рентгеноспектральный микроанализ в аналитическом комплексе JEOL JSM 7001F представлен рентгеновским спектрометром с дисперсией по энергии рентгеновских квантов (модель INCA Energy-350) и рент-

в разных микроучастках наблюдаемого под электронным микроскопом поля.

Известно [3], что изучение структуры осадков дает возможность охарактеризовать процесс его обезвоживания для последующей утилизации.

Как видно из представленных снимков (рис. 1–3), образцы осадка гальванокоагуляционного обезвреживания с использованием гальванопары (Fe – СГН) имеют зернистую компактную структуру, состоящую из дисперсных пластин и сфер размером значительно менее микрона, что объясняет хорошие водоотдающие свойства, характеризующиеся удельным сопротивлением фильтрации, значение которого составляет $\rho = 27,07 \cdot 10^{10}$ см / г. Это указывает на то, что процесс механического обезвоживания такого осадка будет эффективным и обеспечит получение кека, пригодного для последующей утилизации. Осадок представлен в основном оксидами железа с отдельными включениями зерен оксидов CuO, ZnO, NiO.

Сканирующая электронная микроскопия позволяет одновременно исследовать размеры и форму зерен, распределение зерен и фаз по размерам, определить состав фазы и распределение химических элементов по ее площади и по площади исследуемого образца, химическую неоднородность по площади шлифа, а также получить изображение объекта в широком диапазоне увеличений во вторичных и отраженных электронах (см. рис. 1–3 и табл. 1–3).

Таблица 1

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	C	O	Mg	Si	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn
Spectrum 1	59,59	35,60		0,23	0,51	3,08	0,09	0,67	0,22
Spectrum 2	50,52	42,14	0,16	0,35	0,73	4,83	0,12	0,91	0,24
Spectrum 3	54,73	38,01	0,15	0,34	0,70	4,76	0,13	0,91	0,26
Spectrum 4	66,37	29,17		0,18	0,42	2,91	0,07	0,65	0,23
Spectrum 5	57,10	32,34	0,18	0,37	1,00	7,35	0,14	1,13	0,38
Max	66,37	42,14	0,18	0,37	1,00	7,35	0,14	1,13	0,38
Min	50,52	29,17	0,15	0,18	0,42	2,91	0,07	0,65	0,22

All results in atomic %.

Таблица 2

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
Spectrum 1	11,35	69,22	0,78	3,01	5,58	0,11	4,08		4,57	0,11	0,88	0,31
Spectrum 2	10,38	69,13	0,86		1,01	0,34	2,31		11,86	0,47	2,95	0,71
Spectrum 3	31,63	53,40	0,53		0,60	0,18	1,56		9,38	0,35	1,89	0,49
Spectrum 4	16,90	62,85		4,23	3,78	0,31	6,14		4,53		0,88	0,39
Spectrum 5	19,35	66,03	0,50	0,18	0,50	0,33	1,75	0,09	9,74	0,27	0,91	0,35
Spectrum 6	30,99	55,05	0,33		0,48	1,79	3,62		6,04	0,14	1,17	0,38
Max	31,63	69,22	0,86	4,23	5,58	1,79	6,14	0,09	11,86	0,47	2,95	0,71
Min	10,38	53,40	0,33	0,18	0,48	0,11	1,56	0,09	4,53	0,11	0,88	0,31

All results in atomic %.

Таблица 3

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn
Spectrum 1	16,53	65,06	1,19	0,58	13,34	0,19	0,52	1,59	0,61		0,24	0,15
Spectrum 2	19,66	65,41	0,33	0,15	0,74				1,97	9,81	0,24	1,28
Spectrum 3	39,15	50,20	0,41	0,18	0,61				2,38	5,51	0,11	1,14
Spectrum 4	39,36	49,35	0,24	0,11	0,56				1,32	6,92	0,23	1,54
Max	39,36	65,41	1,19	0,58	13,34	0,19	0,52	2,38	9,81	0,24	1,54	0,40
Min	16,53	49,35	0,24	0,11	0,56	0,19	0,52	1,32	0,61	0,11	0,24	0,15

All results in atomic %.

геновским спектрометром с дисперсией по длине волн рентгеновского излучения (модель INCA Wave — 500). С помощью микрорентгеноспектрального анализа получены данные количественного элементного состава осадка по картам распределения химических элементов по площади (рис. 4).

В табл. 4 представлен состав фазы и распределения химических элементов по всей площади исследуемого образца осадка.

Таким образом, на образце железосодержащего осадка была исследована микроструктура и элементный состав фаз. Количественный элементный состав спектров позволил установить содержание элементов

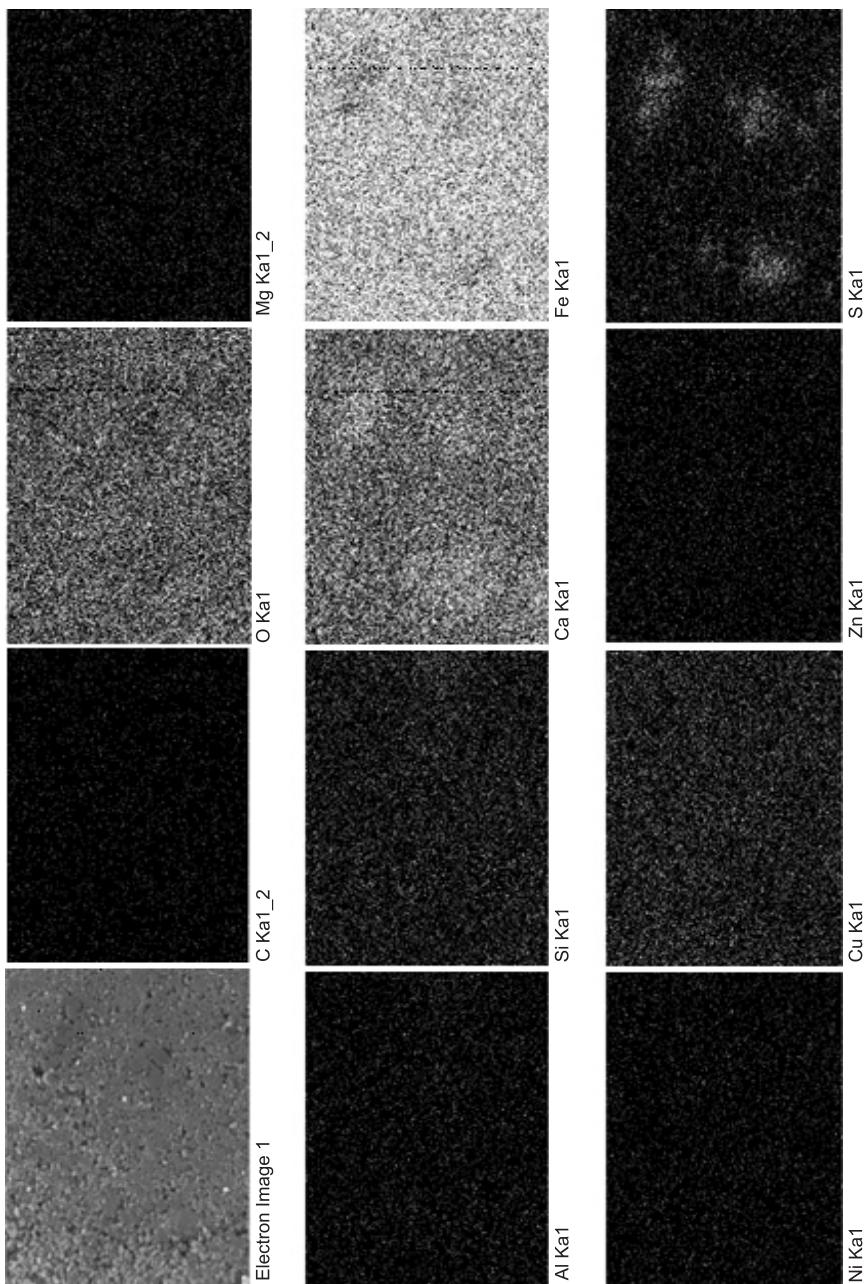


Рис. 4. Карты распределения химических элементов

(см. табл. 4) в осадке гальванокоагуляционной обработки с гальванопарой Fe – СГН.

Из литературных источников¹⁻³ [4] известно применение осадков сточных вод промышленных предприятий для производства строительных материалов и изделий. Учитывая химический состав осадка, была ис-

¹ Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. М.: Стройиздат, 1990. 352 с.

² Паничев А.Ю. Стеновая керамика с гальваническими осадками машиностроительных предприятий. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: НГАСА, 1995.

³ Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Курилина Т.А. Кондиционирование осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 9.

Таблица 4

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Ni	Cu	Zn
Sum Spectrum	4,69	63,53	0,50	0,33	1,16	0,65	5,69	18,55	0,46	3,60	0,84

All results in atomic %.

следована возможность его практического использования в производстве красного керамического кирпича и керамзита.

На основании расчета, который был проведен в соответствии с положением «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» от 15.06.2001 г. № 155, определен класс опасности отходов сточных вод, содержащих ионы Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} .

Показатель степени опасности (K_i) рассчитывался по формуле

$K_i = C_i / W_i$, где C_i — концентрация i -го компонента, мг/кг; W_i — коэффициент степени опасности i -го компонента отхода ($K_{\text{отх}} = 823,3$), что соответствует классу III опасности (опасные, $10^3 > K_i > 10^2$). Установлено, что при добавлении не более 5 % данного осадка для производства красного керамического кирпича не проявляются токсичные свойства осадка за счет воздействия высоких температур (900–1200 °C). При использовании добавки осадка улучшается внешний вид кирпича, значительно сокращается количество трещин, повышается прочность кирпича на сжатие в 1,5 раза, на изгиб в 2 раза, снижение себестоимости, так как снижается температура обжига. При утилизации осадков сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов в производстве керамзита, происходит двойная изоляция компонентов, сначала в глине, затем в бетоне строительных конструкций. Нами проводились эксперименты на токсичность предлагаемых строительных изделий. Была доказана их безопасность при добавлении осадков до 5 %, что согласуется с рекомендацией Роспотребнадзора по использованию данных осадков по направлению производства строительных материалов.

Таким образом, показана возможность сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа, заключающаяся в методах исследования микроструктуры осадка, определении количественного элементного его состава и построении карт распределения элементов с помощью аналитического комплекса, состоящего из сканирующего электронного микроскопа JSM 7001F фирмы JEOL (Япония) и спектрометров фирмы Oxford Instruments (Великобритания).

Все электронно-микроскопические исследования, представленные в данной работе, проведены в лаборатории электронной микроскопии Центра коллективного пользования Сибирского федерального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Зеер, Г.М. Применение сканирующей микроскопии в решении актуальных проблем материаловедения [Текст] / Г.М. Зеер, О.Ю. Фоменко, О.Н. Ледяева // СФУ журн. Серия Химия. — 2009. — № 4.
- Гоулдстейн, Дж. Растворная электронная микроскопия и рентгеновский микролюминесценция: в 2 т. [Текст] / Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин и др. — М. : Мир, 1984.
- Туровский, И.С. Обработка осадков сточных вод [Текст] / И.С. Туровский. — М. : Стройиздат, 1988. — 146 с.
- Евилевич, А.З. Утилизация осадков сточных вод [Текст] / А.З. Евилевич, М.А. Евилевич. — Л. : Стройиздат, 1988. — 247 с.

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

*Инженерно-строительный институт, Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск*

КУРИЛИНА Т.А., канд. техн. наук, ст. препод.

*Инженерно-строительный институт, Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск*

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

Политехнический институт, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено после доработки 17.05.11

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

Kurilina T.A., candidate of technical sciences, senior lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

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

STUDY OF STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF SEWAGE SLUDGE CONTAINING HEAVY METAL IONS USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

The article presents the results of experimental studies on the structure and chemical composition of the sediment formed after galvanokoagulyatsionnoy wastewater containing ions Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} using scanning electron microscopy for the development of recycling technologies.

Key words: precipitation, sewage, electroplating production, scanning electron microscopy, recycling.

REFERENCES

1. Z e e r, G.M. Application of scanning electron microscopy in material science [Text] / G.M. Zeer, O.Yu. Fomenko, O.N. Ledyanova // SFU journal. Series of Chemistry. — 2009. — N 4.
2. G ou l d s t e y n, J. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: 2 vol. [Text] / J. Gouldsteyn, D. Newbury, P. Echlin, etc. — M. : Mir, 1984.
3. T u r o v s k y, I.S. Treatment of sewage sludge [Text] / I.S. Turovsky // M. : Stroyizdat, 1988. — 146 p.
4. E v i l e v i c h, A.Z. Disposal of sewage sludge [Text] / A.Z. Evilevich, M.A. Evilevich. — L. : Stroyizdat, 1988. — 247 p.

УДК 628.356

В.Д. КАЗАКОВ, Н.Д. ПЕЛЬМЕНЁВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
СХЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭРАТОРОВ
НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ
ДЕЙСТВУЮЩЕГО АЭРОТЕНКА-ВЫТЕСНИТЕЛЯ**

На основании натурных исследований гидродинамики потоков жидкости на поверхности аэротенка и данных химической лаборатории КОС проведен мониторинг состояния очистки сточных вод и выявлен ряд причин, влияющих на нестабильную работу аэротенка-вытеснителя.

Ключевые слова: аэротенк, очистка сточной воды, система аэрации.

Увеличение или уменьшение проектной пропускной способности станций очистки сточных вод оказывает существенное влияние на качество очистки и санитарное состояние водоемов. Анализ работы биологических окислителей канализационных очистных сооружений г. Черемхово в Иркутской области позволил выявить некоторые причины этого влияния. Для оценки технологических и биохимических процессов очистки стоков был проведен мониторинг по основным показателям. С этой целью использовались данные исследований химической лаборатории очистной станции, осуществляющей систематический контроль состояния очистки сточных вод. Анализ данных лаборатории проводился путем сравнения среднесуточных, среднемесячных, среднегодовых показателей загрязнений до и после очистки, а также показателей, определяющих работу сооружений биологической очистки.

Очистка сточных вод г. Черемхово до 1976 г. производилась на станции механической очистки производительностью 4,5 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. В 1976 г. в связи с увеличением количества стоков до 20 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ были введены в эксплуатацию канализационные очистные сооружения первой очереди на полную биологическую очистку производительностью 22 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. К 1980 г. поступление сточных вод на станцию увеличилось до 26 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, вследствие чего произошло резкое снижение эффективности работы станции и качества очистки стоков. С увеличением количества стоков до 30–35 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ к концу 80-х годов возникла необходимость расширения существующих очистных сооружений и в 1987 г. была принята к строительству вторая очередь очистных сооружений производительностью 20 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Общая проектная производительность очистной станции равнялась 42 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Начиная с 1995 г. начался процесс уменьшения расхода поступления стоков на станцию. К 2000 г. количество стоков, поступающих на очистку, составляло в среднем 25–30 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. С 2005 г. и по настоящее время среднесуточное поступление стоков на очистные сооружения не превышает 20–22 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$.

В результате изменения расходов сточных вод изменились показатели загрязнений и соответственно показатели очистки сточной воды, что

отражалось на эффективности работы сооружений. По данным санитарно-химических показателей 1980 г. поступающая на очистные сооружения сточная вода имела следующие среднегодовые расчетные параметры: БПК₅ — 120 мг/л (наибольшее значение — 185 мг/л, наименьшее — 40 мг/л), взвешенные вещества — 180 мг/л (наибольшее значение — 350 мг/л, наименьшее — 95 мг/л). Очищенная сточная вода имела показатели: БПК₅ — 35 мг/л (наибольшее значение — 85 мг/л, наименьшее — 18 мг/л), взвешенные вещества — 40 мг/л (наибольшее значение — 60 мг/л, наименьшее — 29 мг/л). Проектные значения показателей: взвешенные вещества — 270 мг/л, БПК₅ — 190 мг/л.

С момента введения второй очереди очистных сооружений по настоящее время схема очистки сточных вод выглядит следующим образом. Сточные воды от г. Черемхово по самотечному коллектору поступают на механизированные решетки, горизонтальные песколовки, затем в первичные горизонтальные отстойники и аэротенки I и II очереди. Возвратный активный ил из вторичных горизонтальных отстойников эрлифтами подается в регенератор аэротенка I очереди. Избыточный ил из лотка, куда он подается эрлифтами, поступает в резервуар, а затем перекачивается в первичные отстойники для совместного уплотнения с сырым осадком. Из вторичных отстойников вода поступает в контактные резервуары, где происходит ее обеззараживание с помощью жидкого хлора. Очищенная вода поступает в р. Черемшанку, а затем в Ангару. Смесь сырого осадка и избыточного ила из первичных отстойников перекачивается в минерализаторы, а затем после обработки на иловые площадки.

Как указано выше, количество сточных вод, поступающее на канализационные очистные сооружения г. Черемхово, с 2005 г. составляет в среднем 20–22 тыс. м³/сут. В некоторые месяцы минимальный приток стоков составляет 13–15 тыс. м³/сут. То есть расход стоков, поступающих на КОС, более чем в половину меньше проектной производительности станции. Качественный состав поступающих стоков также существенно изменился. Средние годовые показатели БПК₅ не превышают 90 мг/л, максимальные значения этих показателей — 115 мг/л, а минимальные — 45 мг/л. Средние годовые показатели по взвешенным веществам — 120 мг/л. Средние годовые значения показателя БПК₅ в очищенной воде в целом удовлетворяют требованиям и составляют 15–24 мг/л. Среднесуточные показатели БПК₅ в очищенной воде колеблются в диапазоне от 8 до 40 мг/л. Показатели растворенного кислорода в очищенных стоках в пределах 4 мг/л. Среднесуточные показатели растворенного кислорода в аэротенке-вытеснике 0,5–3,5 мг/л.

Данные замеров растворенного кислорода в характерных точках аэротенка-вытеснителя свидетельствуют о неэффективном распределении кислорода в продольном и поперечном сечении коридора аэротенка. Значительные колебания санитарно-химических показателей дестабилизируют технологический процесс очистки, что отрицательно влияет на работоспособность биологических окислителей. Кроме того, количественные и качественные показатели стоков, поступающих на очистные сооружения, много меньше проектных, следовательно, сооружения не используются на полную проектную мощность. При этом в работе остаются все сооружения биологической очистки I и II очереди строительства. За период времени после введения в 1987 г. второй очереди очистных сооружений реконструкции подвергалась только система аэрации.

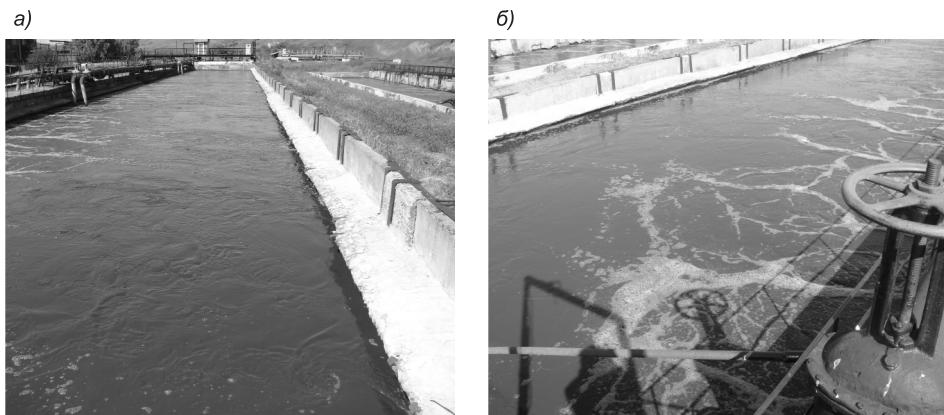


Рис. 1. Аэротенк-вытеснитель двухкоридорный

а — общий вид; б — первый коридор аэротенка

На очистных сооружениях г. Черемхово биологическая очистка стоков осуществляется в аэротенках двух типов: в аэротенке-вытеснителе (рис. 1), сооружении первой очереди строительства и в аэротенке-смесителе, сооружении второй очереди, построенном в результате расширения станции и увеличения расходов сточных вод, поступающих на очистку с 20 до 42 тыс. м³/сут. Аэротенки-вытеснители обеспечивают, как правило, высокое качество и стабильность очистки, но доза ила в них невелика и нагрузка на него распределяется неравномерно, вследствие чего окислительная мощность сооружения и скорость изъятия органических загрязнений ниже, чем в аэротенке-смесителе.

Рассматриваемый нами аэротенк-вытеснитель одноступенчатый, представляет собой железобетонный двухкоридорный резервуар прямоугольного сечения размерами: длина коридора аэротенка 75 м, ширина коридоров по 9 м, рабочая глубина аэротенка 4,5 м, объем двухкоридорной секции 6075 м³. Соотношение ширины коридора аэротенка к рабочей глубине 2 : 1. Коридоры в аэротенке-вытеснителе отделены друг от друга продольной направляющей перегородкой, не доходящей до одной из торцевых стен. Обычно в конструкции аэротенков-вытеснителей каналы для впуска и отведения сточной воды располагаются в торцах аэротенка. В рассматриваемом сооружении сточная вода из первичного отстойника поступает в аэротенк через затопленный дюкер в виде напорной трубы $d = 600$ мм. Со стороны первичного отстойника дюкер входит в нижний угол второго коридора аэротенка, далее как бы «ломается» и заводится в первый коридор по его центру (рис. 2).

Дюкер проложен по дну аэротенка на направляющих бетонных «подушках» высотой 0,5 м. Расстояние от края дюкера до торцевой стенки аэротенка 17 м. Активный ил из вторичного отстойника, совмещенного с аэротенком, подается навстречу сточной воде, поступающей из дюкера. Вода из второго коридора отводится во вторичный отстойник через водослив. В процессе эксплуатации аэротенка под регенератор было оставлено 17 м длины коридора, время регенерации составляет 1,6 ч. Вся оставшаяся длина коридора отведена под аэротенк. Доза ила в аэротенке-вытеснителе достигает 1,5–2 г/л, в регенераторе 3–4 г/л.

Для определения кислородного режима в аэротенке-вытеснителе были проведены замеры концентрации растворенного кислорода. На рис. 3 представлен график изменения показателей концентрации растворенного кислорода по длине аэротенка в первом коридоре. Точки замеров концентрации

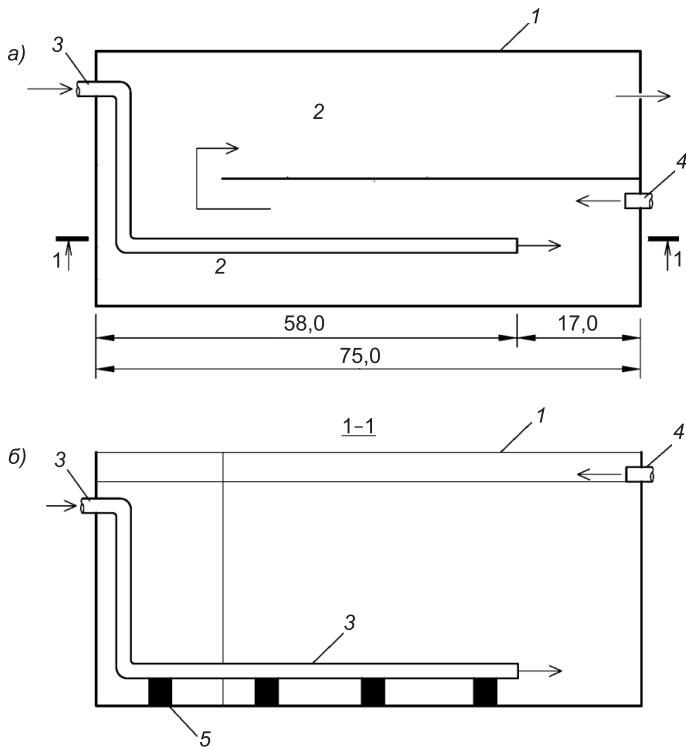


Рис. 2. Аэротенк-вытеснитель I очереди

а — план; б — разрез; 1 — аэротенк; 2 — коридоры аэротенка; 3 — трубопровод подачи сточной воды; 4 — труба подачи активного ила;
5 — бетонные опоры под подающий трубопровод

растворенного кислорода выбирались следующим образом. Нечетные номера с 1 по 11 располагались вдоль внутренней стенки аэротенка, где размещены аэраторы, на расстоянии 1–1,5 м от стенки и 12–13 м между собой. Четные номера со 2 по 12 располагались вдоль внешней стенки аэротенка, где аэраторы отсутствуют примерно на таком же расстоянии, как и нечетные номера. Средние значения показателей в указанных точках следующие: 1 — 3,08 мг/л; 2 — 1,5 мг/л; 3 — 3,4 мг/л; 4 — 2,0 мг/л; 5 — 2,90 мг/л; 6 — 1,35 мг/л; 7 — 2,25 мг/л; 8 — 1,15 мг/л; 9 — 2,7 мг/л; 10 — 1,35 мг/л; 11 — 2,35 мг/л; 12 — 1,25 мг/л. Замерам в точках с четными номерами

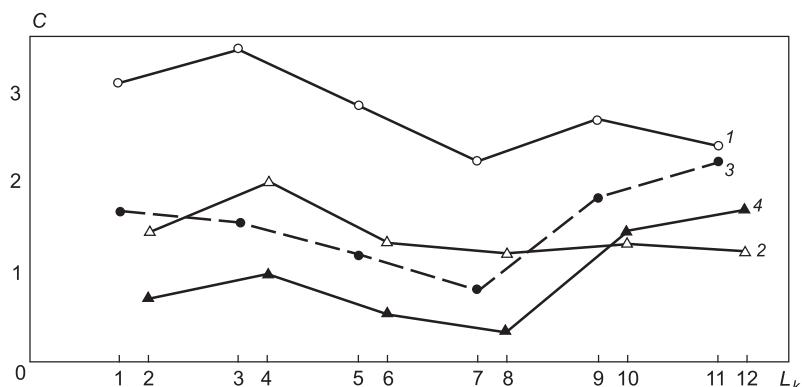


Рис. 3. График изменения концентрации кислорода C , мг/л, в зависимости от длины коридора L_k и места замера в первом коридоре аэротенка-вытеснителя

соответствует кривая 2, в точках с нечетными номерами — кривая 1. В результате серии замеров в течение суток в тех же точках «четной» и «нечетной» стороны аэротенка были определены показатели растворенного кислорода, которые отличались от средних значений. Этим показателям соответствуют значения: 1 — 1,65 мг/л; 2 — 0,8 мг/л; 3 — 1,5 мг/л; 4 — 1,0 мг/л; 5 — 1,2 мг/л; 6 — 0,65 мг/л; 7 — 0,8 мг/л; 8 — 0,55 мг/л; 9 — 1,8 мг/л; 10 — 1,5 мг/л; 11 — 2,2 мг/л; 12 — 1,8 мг/л. На рис. 3 они представлены кривыми 4 и 3 соответственно. Кривые свидетельствуют о неустойчивом кислородном режиме в первом коридоре аэротенка-вытеснителя, что в свою очередь дает основание предполагать, что часть поступающей в аэротенк воды не успевает смешиваться с активным илом, происходит проскок неочищенной воды вдоль продольной стенки, расположенной противоположно установленной системе аэрации. Этому способствует и конструкция аэротенка, а именно его геометрические размеры — большая ширина (9 м) и длина (75 м) коридора, а также одностороннее расположение системы аэрации. Наблюдения показали, что в отдельные часы кислород на выходе из аэротенка снижается до 0,5 мг/л. Затем величина кислорода устанавливается до 1–1,5 мг/л, хотя загрязнения в этот момент резких изменений не имеют. При опорожнении аэротенка для прочистки аэрационных устройств наблюдались застойные зоны с осевшим осадком вдоль торцевых стен, в углах аэротенка и вдоль стены, расположенной с противоположной стороны от аэрационной системы.

Наибольшее количество осадка было в правом коридоре в зоне регенератора. Визуальные наблюдения за движением потока жидкости на поверхности аэротенка, а также анализ показателей растворенного кислорода в местах отбора проб, представленный выше, дают основания считать, что жидкость в углах коридоров, а также часть объема аэротенка вдоль крайних стенок первого и второго коридоров практически не участвуют в аэрационном процессе. Показатели растворенного кислорода в этих местах аэротенка на 30–40 % меньше показателей в точках обычного забора проб. Эти зоны аэротенка-вытеснителя наиболее слабые места с точки зрения аэрирования смеси и гидродинамического режима (рис. 4), а именно: небольшая ширина аэрационной полосы на поверхности аэротенка (рис. 4, а) и практически полное отсутствие аэрационной полосы на поверхности аэротенка (рис. 4, б). А так как степень использования кислорода во многом зависит от отношения площади аэрационной полосы f к площади зеркала аэротенка

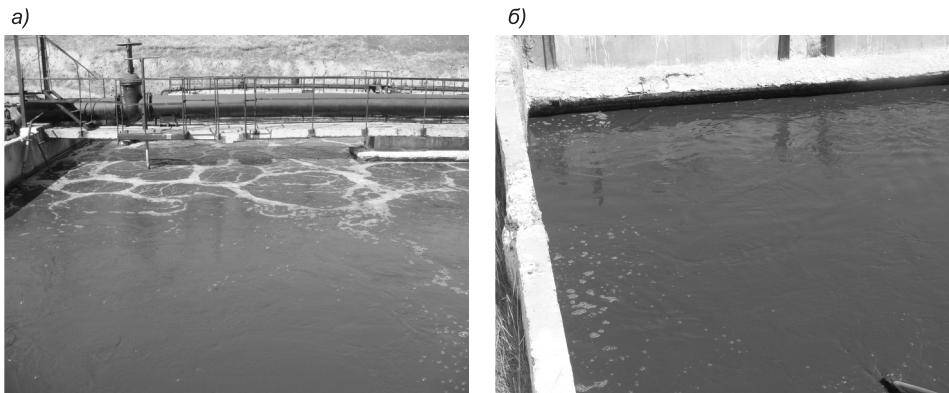


Рис. 4. Аэротенк-вытеснитель

а — нижний правый угол первого коридора; б — нижний левый угол второго коридора

F , то результаты натурных исследований указывают в первую очередь на плохое перемешивание активного ила и сточной воды, а также на нестабильную по длине аэротенка работу мелкопузырчатых диспергаторов.

Главными задачами существующих систем аэрации и их основных элементов — аэраторов является подача воздуха в аэрационные сооружения для обеспечения дыхания организмов активного ила, перемешивания иловой смеси и хемоокисления загрязняющих веществ. Известно, что при эксплуатации аэротенков-вытеснителей неизбежно наличие источников неоднородности поля концентраций в объеме [1–4]. Это связано с сосредоточенным характером ввода воды и ила. Существующие системы аэрации по конструктивным особенностям таковы, что воздух и сточная вода непосредственно контактируют в отдельных, относительно малых областях объема сооружений. Источником неоднородности является и то, что плотность хлопков активного ила превышает плотность воды, поэтому они оседают под действием силы тяжести. Условия нормального протекания процесса биологического окисления — равномерное распределение хлопков активного ила во всем объеме аэротенка и обеспечение переноса к ним растворенного кислорода. К перемешиванию могут применяться еще более жесткие требования, связанные с необходимостью снижения перепадов концентрации кислорода в объеме для повышения эффективности аэрации. Практика показывает, что скопление ила в придонных слоях или на дне аэрационных сооружений приводит к дефициту кислорода в этих зонах [2, 3]. В результате в них протекают анаэробные процессы, приводящие к вторичному загрязнению очищаемой сточной воды, а значит, к существенному снижению эффекта очистки. Для этого требуется создание условий подъема частиц активного ила и их распределение в объеме аэротенка. Объем и расположение застойных зон в аэротенках зависят от характера и интенсивности перемешивания сточной воды и активного ила, т.е. от принятой системы и схемы аэрации.

На КОС г. Черемхово система аэрации аэротенка-вытеснителя дважды подвергалась реконструкции. Первоначально она была выполнена в виде фильтросных пластин, которые впоследствии были заменены на металлические перфорированные трубы. В результате последней реконструкции в 2007 г. трубчатые аэраторы (перфорированные трубы) были заменены на полимерные аэраторы, смонтированные на базе пневматических аэраторов «ПОЛИПОР», по расчетам и рекомендациям НПФ «ЭТЕК ЛТД» (рис. 5). При этом двухстороннее размещение системы аэрации заменено на одностороннюю схему. В первом коридоре аэротенка

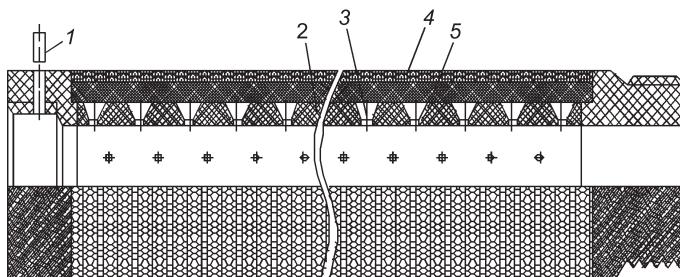


Рис. 5. Аэратор пневматический «ПОЛИПОР»

1 — штифт; 2 — каркас перфорированный трубчатый; 3 — воздухораспределительные отверстия; 4 — диспергирующее покрытие; 5 — крупнопористое покрытие

трубчатый каркас расположен вдоль средней перегородки аэротенка по всей его длине в три нитки, во втором коридоре аналогично в две нитки. Аэраторы «ПОЛИПОР» имеют несомненные преимущества перед ранее применяемыми на КОС г. Черемхово, но при этом они имеют и ряд недостатков. К основным недостаткам следует отнести хрупкость пористого слоя аэрационной системы, засорение и необходимость периодического проведения гидропневматической регенерации, промораживание в случаях простоя в зимнее время, боязнь прямых солнечных лучей, а в случае вывода сооружений из работы или при ремонте аэрационная система должна быть постоянно залита чистой водой, что усложняет процесс ремонта.

Анализ работы аэротенка-вытеснителя и принятой конструктивной схемы системы аэрации КОС г. Черемхово дает основание предположить, что несмотря на недостатки применяемых аэраторов нестабильность аэрационных процессов заключается не столько в системе «ПОЛИПОР», сколько в принятой схеме ее расположения.

Выводы. 1. Анализ количественного и качественного состава сточных вод на входе и на выходе из аэротенка показал нестабильность технологического процесса очистки сточных вод. Основные из этих показателей значительно ниже проектных, т.е. сооружения биологической очистки используются неэффективно.

2. Показатели растворенного кислорода в установленных технологическим режимом местах забора проб не соответствуют требуемым нормам и слабо зависят от расхода подаваемого воздуха в аэрирующую систему.

3. Существующая схема аэрации в аэротенке-вытеснителе не выполняет задачи перемешивания сточной жидкости во всем объеме аэротенка.

4. Необходима реконструкция системы аэрации аэротенка-вытеснителя, а именно разработка новой схемы размещения аэраторов, которая с точки зрения совершенствования гидродинамического режима работы аэротенка-вытеснителя позволит повысить эффективность очистки сточной жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н.С. Жмур. — М. : АКВАРОС, 2003. — 512 с.
2. Карелин, Я.А. Очистка производственных сточных вод в аэротенках [Текст] / Я.А. Карелин, Д.Д. Жуков, В.Н. Журов, Б.Н. Репин. — М. : Стройиздат, 1978. — 222 с.
3. Попкович, Г.С. Системы аэрации сточных вод [Текст] / Г.С. Попкович, Б.Н. Репин. — М. : Стройиздат, 1986. — 136 с.
4. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод : учеб. для вузов [Текст] / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. — М. : АСВ, 2004. — 704 с.

КАЗАКОВ В.Д., канд. физ.-мат. наук; E-mail: kazakov@istu.edu
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет

ПЕЛЬМЕНЁВА Н.Д., доц.; E-mail: pel@istu.edu
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет

Получено 28.06.11

Kazakov V.D., candidate of physical and mathematical sciences; E-mail: kazakov@istu.edu, National Research Irkutsk State Technical University, Russia
Pel'meneva N.D., assistant professor; E-mail: pel@istu.edu, National Research Irkutsk State Technical University, Russia

INFLUENSE RESEARCHERS SCHEMES OF AERATORS PLACING FOR MAIN PARAMETERS AND ITS AFICIENCY IN AEROTANK-DISPLACES WORKING

Based on the full-scale investigation of fluid flow hydrodynamics dates and of chemical-analysis laboratory KOS on the aerotank-displacer surface it was held the sewage purification condition monitoring and particularized the variety of reasons having an influence on unstable work of the aerotank-displacer.

Key words: aerotank, sewage purification, aerating systems.

REFERENCES

1. Zhmur, N.S. Engineering and biochemical processes of sewage water treatment in the facilities with aerotanks [Text] / N.S. Zhmur. — M. : AKVAROS, 2003. — 512 p.
 2. Karel'kin, Ya.A. Treatment of processing sewage water in the aerotanks [Text] / Ya.A. Karel'kin, D.D. Zhukov, V.N. Zhurov, B.N. Repin. — M. : Stroyizdat, 1978. — 222 p.
 3. Popkovich, G.S. Systems of sewage aeration [Text] / G.S. Popkovich, B.N. Repin. — M. : Stroyizdat, 1986. — 136 p.
 4. Yakovlev, S.V. Drainage system and sewage water treatment : Manual for institute of higher education [Text] / S.V. Yakovlev, Yu.V. Voronov. — M. : ASV, 2004. — 704 p.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

А.С. ДЕДОВ, А.С. ЗВЕРЕВА, Д.Э. АБРАМЕНКОВ

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КАНАЛА ФОРСАЖА НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРОССЕЛЬНОГО ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА С ФОРСАЖЕМ ХОЛОСТОГО ХОДА

Применение камеры форсажа холостого хода в дроссельном пневмоударном механизме обусловлено необходимостью увеличения ударной мощности, что ведет к более интенсивному разрушению обрабатываемой среды. Реализуется это за счет того, что при рабочем ходе уменьшается количество воздуха, сжимаемого в камере холостого хода, это позволяет ударнику увеличить свою предударную скорость, а следовательно, и энергию удара. При холостом ходе ударник получает дополнительный импульс за счет воздуха из форсажной камеры холостого хода, что позволяет ему ускорить время холостого хода и повысить частоту ударов и мощность машины.

Ключевые слова: дроссельный пневмоударный механизм, форсаж холостого хода, канал форсажа, импульсная диаграмма.

Принципиальная схема и физико-математическая модель пневмоударного механизма. Известна схема дроссельного пневмоударного механизма с камерой форсажа холостого хода ДПУМ(ФХ) [1, 2] (рис. 1, *a*). Для анализа и исследования механизма построим его принципиальную схему с обозначением энергетических характеристик и геометрических размеров всех элементов (рис. 1, *б*). Использование трубы в данном механизме обусловлено стремлением уменьшить габариты корпуса машины и сложность ее изготовления за счет закрепления за трубкой функций распределения воздуха для камер холостого хода и форсажа холостого хода (в противном случае для снабжения этих камер требуется выполнение каналов в стенках корпуса). Для облегчения исследования исключим трубку, оставив основные геометрические параметры механизма неизменными, функции воздухораспределения закрепим за каналами, выполненными в корпусе (рис. 1, *в*).

Пневматический механизм на рис. 1, *в* работает следующим образом. Сжатый воздух одновременно поступает в камеру рабочего хода (через ω_p), камеру холостого хода, через канал запуска ($\omega_{хзп}$) и камеру форсажа ($\omega_{фхп}$). Из камеры рабочего хода воздух будет выходить в атмосферу через выхлопное отверстие, площадь которого больше площади любого из дросселей. В камере форсажа воздух начнет сжиматься вплоть до давления сетевого воздуха, не оказывая при этом воздействия на ударник. В то же время в камере холостого воздуха сжимающийся воздух придаст импульс ударнику, который не встречая противодействия со стороны камеры рабочего хода, начнет удаляться от рабочего инструмента. По ходу

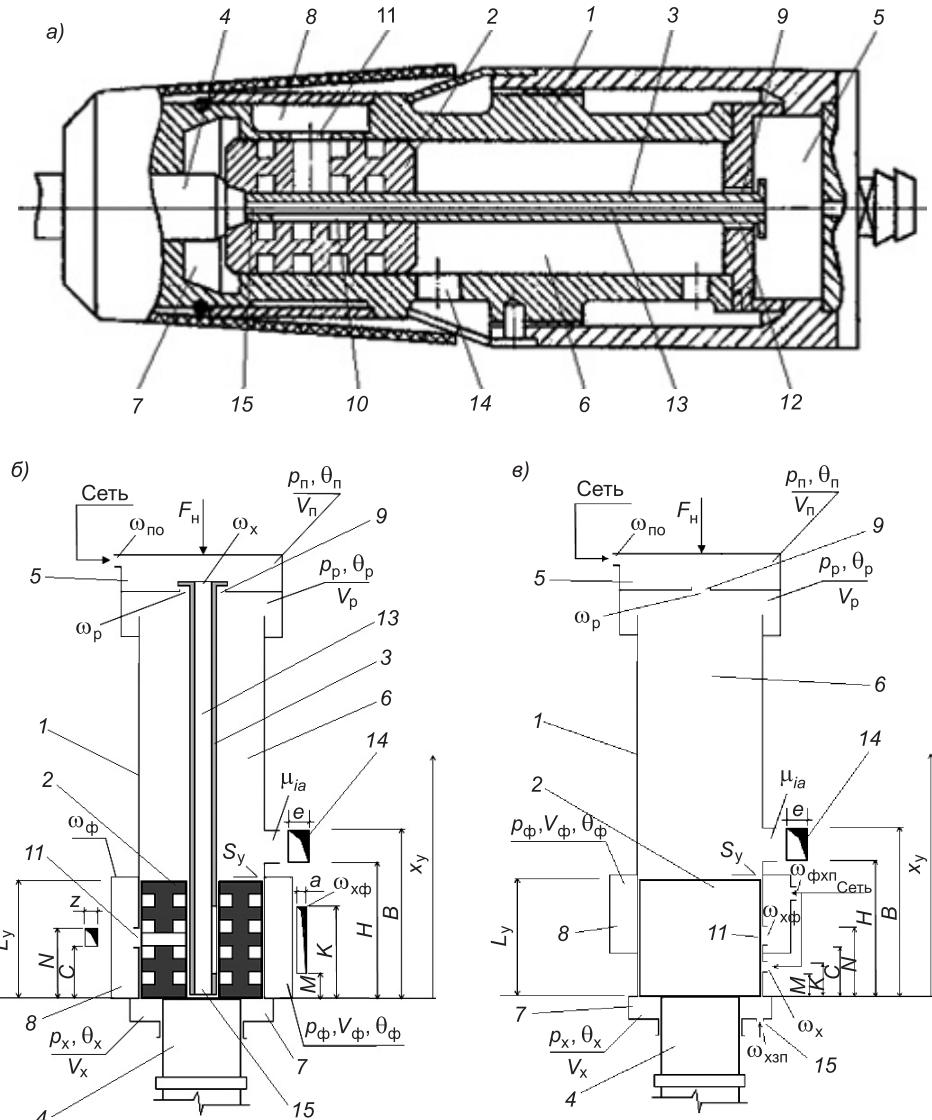


Рис. 1. Принципиальная схема ДПУМ(ФХ)

1 — корпус; 2 — ударник; 3 — трубка; 4 — хвостовик рабочего инструмента; 5 — предкамера; 6 — камера рабочего (прямого) хода; 7 — камера холостого (обратного) хода; 8 — камера форсажа; 9 — дроссель запуска в камеру рабочего хода; 10 — щель в трубке; 11 — канал форсажа; 12 — отверстие в крышке; 13 — сквозной канал в трубке; 14 — канал выхлопа в атмосферу; 15 — дроссель запуска в камеру холостого воздуха

движения ударник боковой поверхностью откроет канал $\omega_{x\phi}$ (вместе каналы $\omega_{xзп}$ и $\omega_{x\phi}$ соответствуют дросселю запуска с площадью ω_x). После перекрытия верхней кромкой ударника выхлопного отверстия воздух в камере рабочего начнет сжиматься. Двигаясь далее, ударник откроет канал перепуска из камеры форсажа в камеру холостого хода, придав дополнительный импульс ударнику, совершающему холостой ход. Когда нижняя кромка ударника откроет выхлопное отверстие, произойдет опорожнение камеры холостого хода и камеры форсажа и давление в них упадет до атмосферного. Ударник, двигаясь далее по инерции, остановится в расчетной точке за счет противодавления в камере рабочего хода и начнет движение в сторону рабочего инструмента. При перекрытии удар-

ником выхлопного отверстия, а затем канала форсажа воздух начнет скапливаться в камере холостого хода и камере форсажа. Достигнув рабочего инструмента, ударник наносит по нему удар, который передается на обрабатываемый материал. После этого цикл повторяется, но с учетом отскока ударника от рабочего инструмента.

Запишем физико-математическую модель для принципиальной схемы на рис. 1, в [3, 4]

$$\left\{ \begin{array}{l} dp_{\pi}/dt = k [W(\omega_{\pi}\phi_{\pi} - \omega_{\phi\pi}\phi_{\phi\pi} - \omega_p\phi_p - \omega_x\phi_x)]/V_{\pi}, \\ dp_{\phi}/dt = k [W(\omega_{\phi\pi}\phi_{\phi\pi} - \omega_{x\phi}\phi_{x\phi} + \text{sign}(y_{x\phi}\psi_{x\phi}))]/V_{\phi}, \\ dp_p/dt = k [W(\omega_p\phi_p - \mu_{ap}\phi_{ap} + \text{sign}(y_{x\phi}\psi_{x\phi}) + \text{sign}(y_{yk}\psi_{yk}) + \text{sign}(y_{yt}\psi_{yt})) + p_p(dx_y/dt)S_y]/[V_p - x_yS_y], \\ dp_x/dt = k [W(\omega_x\phi_x - \mu_{ax}\phi_{ax} + \omega_{x\phi}\phi_{x\phi} + \text{sign}(y_{x\phi}\psi_{x\phi}) + \omega_{xz\pi}\phi_{xz\pi} + \text{sign}(y_{yk}\psi_{yk}) + \text{sign}(y_{yt}\psi_{yt})] - p_x(dx_y/dt)S_y]/[V_x + x_xS_y]; \\ d\theta_{\pi}/dt = \theta_{\pi} [W(\omega_{\pi}\phi_{\pi}\Omega_{\pi} - \omega_{\phi\pi}\phi_{\phi\pi}\Omega_{\phi\pi} - \omega_p\phi_p\Omega_p - \omega_x\phi_x\Omega_x)]/p_{\pi}V_{\pi}, \\ d\theta_{\phi}/dt = \theta_{\phi} [W(\omega_{\phi\pi}\phi_{\phi\pi}\Omega_{\phi\pi} + \text{sign}(\omega_{x\phi}\psi_{x\phi}\Omega_{x\phi}))]/p_{\phi}V_{\phi}, \\ d\theta_p/dt = \theta_p [W(\omega_p\phi_p\Omega_p - \mu_{ap}\phi_{ap}\Omega_{ap} + \text{sign}(y_{x\phi}\psi_{x\phi}\Omega_{x\phi}) + \text{sign}(y_{yk}\psi_{yk}\Omega_{yk}) + \text{sign}(y_{yt}\psi_{yt}\Omega_{yt})] + (k-1)p_p(dx_y/dt)S_y]/[p_p(V_p - x_yS_y)], \\ d\theta_x/dt = \theta_x [W(\omega_x\phi_x\Omega_x - \mu_{ax}\phi_{ax}\Omega_{ax} + \omega_{x\phi}\phi_{x\phi}\Omega_{x\phi} + \omega_{xz\pi}\phi_{xz\pi}\Omega_{xz\pi} + \text{sign}(y_{x\phi}\psi_{x\phi}\Omega_{x\phi}) + \text{sign}(y_{yk}\psi_{yk}\Omega_{yk}) + \text{sign}(y_{yt}\psi_{yt}\Omega_{yt})] - (k-1)p_x(dx_y/dt)S_y]/[p_x(V_x + x_xS_y)]; \\ d^2x_y/dt^2 = [S_y(p_x - p_p) + \text{sign}(F_{yt} + F_{yk})]/m_y \quad \text{при } x_y \geq 0, \\ (dx_y/dt)_0 = -k_{yu}(dx_y/dt)_y \quad \text{при } x_y < 0; \\ d^2x_k/dt^2 = [(S_y - S_u)(p_x - p_p) + \text{sign}(F_{yk}) + F_h]/m_k \quad \text{при } x_k \geq 0, \\ (dx_k/dt)_0 = -k_{ku}(dx_k/dt)_y \quad \text{при } x_k < 0; \\ d^2x_t/dt^2 = [S_t(p_x - p_{\pi}) + \text{sign}(F_{yt})]/m_t \quad \text{при } x_t \geq 0, \\ (dx_t/dt)_0 = -k_{tu}(dx_t/dt)_y \quad \text{при } x_t < 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Обозначения имеют следующий физический смысл:

p_{π} , p_{ϕ} , p_p , p_x — давления воздуха в предкамере и камерах форсажа, рабочего и холостого ходов;

V_{π} , V_{ϕ} , V_p , V_x — объемы предкамеры, камер форсажа, рабочего и холостого ходов;

ω_{π} , ω_p , ω_x , $\omega_{\phi\pi}$, $\omega_{x\phi}$ — проходные сечения дросселей впуска в предкамеру и камеры рабочего и холостого ходов, из предкамеры, в форсажную камеру и из нее в камеру холостого хода; в камеру холостого хода из предкамеры;

μ_{ap} , μ_{ax} — площадь проходных сечений каналов выпуска отработавшего воздуха из камер рабочего и холостого ходов;

Φ_{π} , $\Phi_{\phi\pi}$, Φ_p , Φ_x — функции впуска воздуха в предкамеру, камеру форсажа и из нее в камеру холостого хода, в камеру рабочего и холостого ходов; в камеру холостого хода из предкамеры;

Ω_{ap} , Ω_x , $\Omega_{x\phi}$ — функции расхода воздуха в зависимости от изменения температуры на выпуске в атмосферу из камер рабочего и холостого ходов, камеры форсажа;

Ψ_{yk} , Ψ_{yt} , $\Psi_{x\phi}$ — функции перетечек через кольцевой зазор между ударником и корпусом, ударником и трубкой при расположении ударника в камере рабочего и холостого ходов при перекрытом ударником канале форсажа и открытом канале выпуска;

Ω_p , Ω_x , $\Omega_{x\phi}$, $\Omega_{x\pi}$ — функции расхода воздуха в зависимости от изменения температур со стороны камер рабочего и холостого ходов и камеры форсажа; камеры холостого хода и предкамеры;

y_{yk} , y_{yt} , $y_{x\phi}$ — площадь проходных сечений кольцевых каналов участка, на котором осуществляются перетечки;

$W = [2kR/(k - 1)]^{1/2}$; R — газовая постоянная; k — показатель процесса; θ_n , θ_ϕ , θ_p , θ_x — температура воздуха в предкамере и камере форсажа, рабочего и холостого ходов;

k_{uy} , k_{ki} , k_{tk} — коэффициенты «отскока» ударника и корпуса от инструмента и трубы от корпуса;

F_{yt} , F_{yk} , F_n — силы трения ударника о трубку и корпус и сила нажатия на корпус;

x_y , x_k , x_t — перемещение ударника, корпуса и трубы;

S_y , S_i , S_t — площади диаметральных сечений ударника, хвостовика инструмента и трубы;

t — время;

m_y , m_k , m_t — масса ударника, корпуса и трубы.

Цель исследования. Особый интерес представляет канал форсажа камеры холостого хода, поскольку он оказывает большое влияние на параметры работы (например, расположив канал форсажа ближе к рабочему инструменту, увеличим противодавление при рабочем ходе, но сможем сильнее разогнать ударник при холостом). При этом возможны, например, такие варианты выполнения канала форсажа:

1) обычный ДПУМ (без камеры форсажа) (рис. 2, *a*) $a \geq b$, $b > b_1 > b_2 > b_3$;

2) канал форсажа выполнен в виде вертикальной щели максимально возможной длины (рис. 2, *b*) $a \geq b$, $d < b_1$, $d < d_1 < d_2$;

3) канал форсажа выполнен в средней части камеры холостого хода (рис. 2, *в*) $a \geq b$, $b_2 < b_1 > b_3$, $d < d_1 < d_2$;

4) канал форсажа выполнен в верхней части камеры холостого хода (рис. 2, *г*) $a \geq b$, $b_3 < b_2 < b_1$, $d_2 > d_1 > d$;

5) канал форсажа выполнен в верхней части камеры холостого хода, также в камере холостого хода присутствуют дроссели, расположенные на трубке ДПУМ(ФХ) (рис. 2, *д*) $a \geq b$, $b_3 < b_2 < b_1$, $d_2 > d_1 > d$, $c \geq d$.

Исследования ДПУМ(ФХ) выполняются с применением теоремы, предложенной Б.В. Суднишниковым. *Перемещение массы M за время T в направлении какой-либо оси равно статическому моменту площади импульса, образованного за то же время проекцией на эту ось относительно прямой $t = T$, деленному на массу M , плюс проекция начальной скорости, умноженная на время T^1 .*

$$x = \frac{1}{M} \int_0^T (1-t) X(t) dt + x_0 T, \quad (2)$$

¹ Суднишников Б.В., Есин Н.Н. Элементы динамики машин ударного действия. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1965. 84 с.

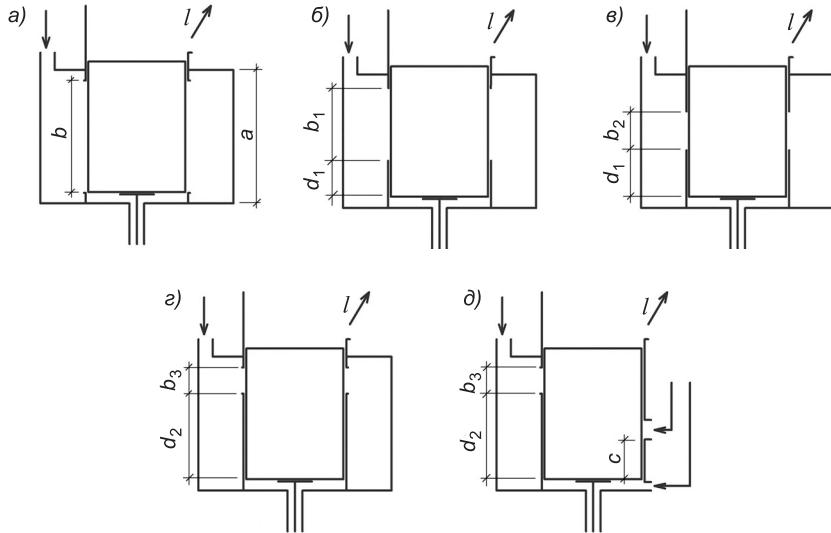


Рис. 2

где M — расчетная масса, кг;
 T — время прохождения пути, с;
 t — расчетное время, с.

При расчете пневматической машины ударного действия (ПМУД) в первую очередь производят расчет рабочего хода ударника (при движении в сторону рабочего инструмента). Для исследования параметров, влияющих на рабочий ход, применяется анализ импульсных диаграмм давлений в рабочих камерах ПМУД, т.е. диаграмм, на которых переменные давления в рабочих камерах изображаются в виде функции времени. В этом случае соответствующие площади диаграмм представляют импульсы давлений, которые действуют на ударник (в выбранном масштабе).

Основные соотношения, характерные для силовой диаграммы ПМУД, рассмотрим, воспользовавшись диаграммой результирующей силы $R(t)$, действующей на ударник за время цикла (при построении этой диаграммы, кроме давлений воздуха в рабочих камерах ПМУД, иногда нужно учитывать влияние собственного веса ударника)¹. В общем виде, с разделением на периоды рабочего и холостого хода, диаграмма представлена на рис. 3.

Дополнение диаграммы импульсами J_o и J_y , которые действуют на ударник в момент его соударения с хвостовиком инструмента и соответствуют первому и второму периодам удара, позволяют получить сумму статических моментов площадей положительных и отрицательных импульсов относительно оси ординат, равной

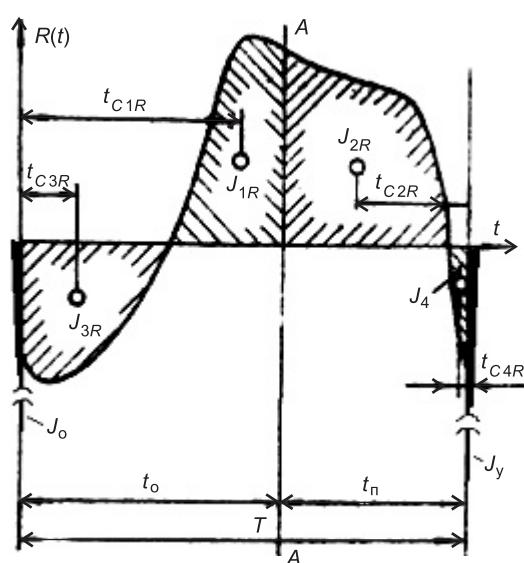


Рис. 3. Импульсная диаграмма ДПУМ(ФХ), разбитая на участки рабочего и холостого хода

нулю, так как по истечении периода цикла ударник возвращается в прежнее положение¹:

$$-J_{3R}t_{C3R} + J_R t_{CR} - J_{4R}(T - t_{C4R}) - J_y T = 0. \quad (3)$$

Из (3) находится импульс удара J_y

$$J_y = \frac{J_R t_{CR} - J_{3R}t_{C3R} - J_{4R}(T - t_{C4R})}{T}. \quad (4)$$

По величине импульса удара вычисляется предударная скорость и работа одного удара¹:

$$V_y = J_y / M; \quad A_y = J_y^2 / 2M, \quad (5)$$

где V_y — предударная скорость ударника;
 M — масса ударника.

Применяя (3) в виде $J_R = J_o + J_{3R} + J_{4R} + J_y$, можно рассчитать импульс отскока:

$$J_o = J_R - J_{3R} - J_{4R} - J_y. \quad (6)$$

По аналогии с (5) можно рассчитать скорость отскока ударника и совершающую при этом работу. По скорости до и после удара определяется коэффициент отскока ударника от рабочего инструмента:

$$k_o = V_o / V_y. \quad (7)$$

Если рассматривать импульсную диаграмму, разделенную на рабочий и холостой ход (см. рис. 3), то импульсы рассматриваются для каждого направления движения ударника по отдельности и затем объединяются в систему уравнений.

В соответствии с рис. 3 имеем:

$$\begin{cases} J_{1R} - J_{3R} - J_o = 0, \\ J_{2R} - J_{4R} - J_y = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом диаграмма имеет два участка, на которых выполняется условие $\sum J = 0$.

Так как перемещение ударника при холостом ходе равно по абсолютной величине перемещению при рабочем ходе, то сумма статических моментов (относительно прямой $t = 0$) площадей диаграммы за время холостого хода t_0 равна сумме статических моментов (относительно прямой $t = T$) площадей за время рабочего хода².

$$-J_{3R}t_{C3R} + J_{1R}t_{C1R} = J_{2R}t_{C2R} - J_{4R}t_{C4R} = SM. \quad (9)$$

Результаты исследования. Значения параметров импульсных диаграмм (рис. 4, а–д) для пяти вариантов (см. рис. 2) представлены в таблице.

Представленные варианты ДПУМ(ФХ) при некотором изменении координат, отсекающих границы форсажного канала, дадут другие сочетания значений параметров диаграмм, что может предопределить до 10...15 % изменения коэффициента отскока (k_o) в сравнении с указанными в данной таблице.

Выходы. В качестве критерия оценки формы диаграммы принят коэффициент отскока, который представляет собой отношение скоростей после и до удара. При одинаковых параметрах ДПУМ(ФХ) меньшего коэффициента отскока можно добиться, обеспечив большую предударную скорость или меньшую скорость отскока. Наиболее предпочтительным с

² Есин Н.Н. Методика исследования и доводки пневматических молотков. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1965. 71 с.

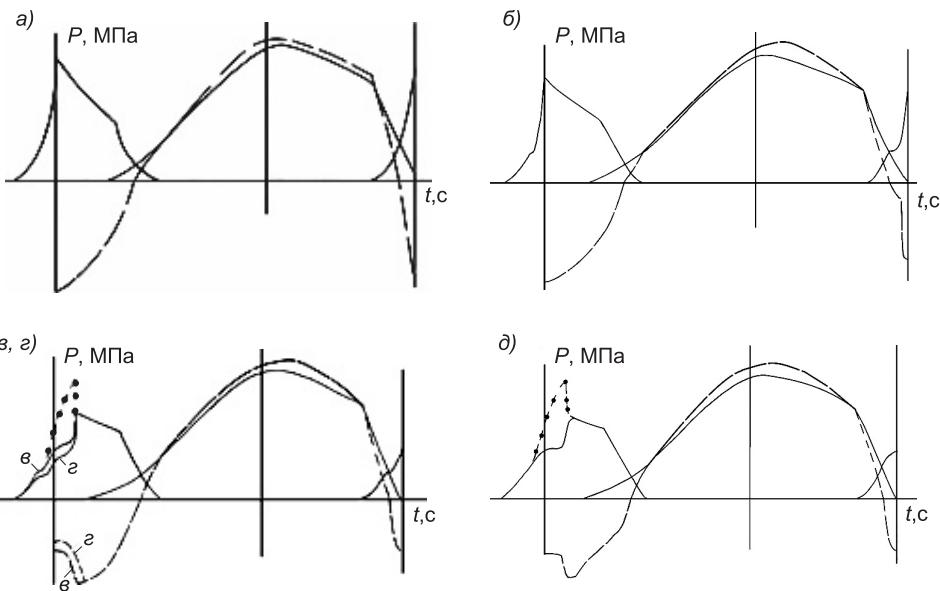


Рис. 4. а–д — диаграмма соответствует механизму рис. 2, а–д; сплошная и штрихпунктирная линия — диаграммы давлений, штриховая линия — диаграмма импульсов

Сравнительный анализ параметров импульсных диаграмм давления воздуха для ДПУМ(ФХ)

Параметры диаграмм	Варианты ДПУМ(ФХ)				
t_3	2,1	3,0	3,8	3,5	2,9
t_4	0,5	0,2	0,3	0,5	0,5
t_R	17,5	17,0	17,5	17,0	14,4
$(T-t_4)$	26,5	26,8	26,7	26,5	24,0
J_3	29,5	35,0	31,0	34,0	36,0
J_4	4,0	1,3	1,5	2,0	1,5
J_R	131,0	134,0	135,0	128,5	143,46
J_y	78,69	79,19	82,28	84,90	92,66
J_o	10,81	16,0	10,42	16,60	11,3
k_o	0,1373	0,2020	0,1266	0,1955	0,1219

этой точки зрения является механизм на рис. 2, д. При этом необходимо увеличить подачу воздуха в камеру холостого хода при ограничении по величине противодавления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Пат. 2336990 Российская Федерация, В25Д9/04, Е21В1/30. Пневматический молот с дроссельным воздухораспределением [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.Г. Гаревских, А.С. Дедов, Г.А. Мазалов, Е.С. Проскурникова ; заявитель и патентообладатель НГАСУ (Сибстрин). — № 2006125891/02 ; заявл. 17.07.2006 ; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 30.

2. Пат. 2327872 Российской Федерации, Е21С37/00, В25Д9/14. Пневматическое устройство ударного действия с дроссельным воздухораспределением [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Д.В. Браун, А.С. Дедов, Г.А. Мазалов, Д.Б. Потслюев ; заявитель и патентообладатель НГАСУ (Сибстрин). — № 2006126269/03 ; заявл. 19.07.2006 ; опубл. 27.06.2008, Бюл. № 18.
3. Дедов, А.С. Пневматическое устройство ударного действия с дроссельным воздухораспределением [Текст] / А.С. Дедов, В.Ю. Ильюченко, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков // Актуальные проблемы современности. Междунар. науч. журн. — Караганда, 2007. — № 2 (15). — С. 283–291.
4. Физико-математические модели и расчет пневматических механизмов машин ударного действия: Справочник [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, В.В. Аншин и др. — Новосибирск : НГАСУ, 2003. — Т. 3. — 376 с.

ДЕДОВ А.С., ст. препод.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЗВЕРЕВА А.С., асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 18.03.11

Dedov A.S., senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

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

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

EFFECT OF FORCING TO CHANNEL PERFORMANCE PNEUMATIC THROTTLE MECHANISM WITH FORCING IDLE

The use of camera afterburner idling throttle pneumatic percussive mechanism due to the need to increase the shock power, which leads to more intensive destruction of the treated medium. Realized is due to the fact that in the course of working decreases the amount of air compressed in the chamber of idling, it allows the drummer to increase its predudarnuyu speed, and hence the impact energy. When idling drummer gets an extra boost at the expense of air from the afterburner of idling, which allows it to accelerate time idling and increase the frequency of strikes and the power of the machine.

Key words: throttle pneumatic percussive mechanism, forsage idle, channel of forsage, pulse diagram.

REFERENCES

1. Path. 2336990 Russian Federation, B25D9/04, E21B1/30. Pneumatic hammer with throttle air distribution [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, A.G. Garevskikh, A.S. Dedov, G.A. Mazalov, E.S. Proskurnikova ; applicant and patentee NGASU (Sibstrin). — N 2006125891/02 ; appl. 17.07.2006, publ. 27.10.2008, Bull. N 30.
2. Path. 2327872 Russian Federation, Е21С37/00, В25Д9/14. Pneumatic percussion with throttle air distribution [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, D.V. Braun, A.S. Dedov, G.A. Mazalov, D.B. Potseluev ; applicant and patentee NGASU (Sibstrin). — N 2006126269/03 ; appl. 19.07.2006 ; publ. 27.06.2008, Bull. N 18.
3. Дедов, А.С. Pneumatic Impact with throttle air-distribution [Text] / А.С. Дедов, В.Ю. Ильюченко, Д.Э. Абраменков, Е.А. Абраменков // Actual problems of modern times. International Journal. — Karaganda, 2007. — N 2 (15). — P. 283–291.
4. Physical and mathematical models and calculation tools pneumatic mechanisms Impact : Handbook [Text] / D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, V.V. Anshin etc. — Novosibirsk : NGASU, 2003. — Vol. 3. — 376 p.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4.01

Е.М. ИЗНАИРСКАЯ, А.П. ДОЛНАКОВ

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГЛАВНЫХ ГОРОДСКИХ МАГИСТРАЛЕЙ КАК РЕСУРС РАЗВИТИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Статья посвящена особенностям развития главных магистралей как уникальных элементов структурного каркаса градостроительных систем. Обладая доминирующим структурно-функциональным, коммуникационным и социокультурным потенциалом, главные магистрали аккумулируют важнейшие свойства градостроительной системы и обеспечивают ее дальнейшее развитие.

Ключевые слова: главные магистрали, развитие, градостроительная система, ресурс.

Историко-генетический анализ динамично развивающихся градостроительных систем неизбежно ставит вопрос о механизмах их структурно-функциональной организации, закономерностях эволюции каркаса и его ведущих элементов.

Опыт исследования зарождения и развития крупнейших городов Сибирского региона подтверждает гипотезы, высказанные теоретиками градостроительства В. Лавровым, А.В. Иконниковым, А.Э. Гутновым, К. Линчем и др., о ведущей роли главных улиц города в формировании структурно-функционального каркаса градостроительных систем.

В представленном исследовании вводится рабочее понятие «главные городские магистрали» (ГГМ), которое способно отразить не только их важнейшую коммуникационную, но и генерирующую роль в развитии градостроительных систем.

В данной работе представлены результаты изучения ГГМ Новосибирска и Омска, имеющих принципиально разные пространственно-планировочные структуры и как следствие разные конфигурации каркаса ГС.

Сочетание внешних и внутригородских факторов в г. Новосибирске привело к закреплению роли Красного проспекта как основы А-каркаса новосибирской градостроительной системы (НГС). Омская радиально-кольцевая структура городского плана определила характеристики А-каркаса, включающего систему радиальных городских магистралей. В настоящее время основной городской магистралью, связывающей все районы города, является линия: проспект К. Маркса — ул. Гагарина — ул. Интернациональная — ул. Красный путь — проспект Мира, однако важного для города значения не утратили улицы Ленина и Герцена.

Историко-генетический анализ градостроительных систем Новосибирска и Омска, других крупных городов Западной Сибири (Тюмень, Томск, Барнаул) показал, что при своеобразии исторического пути, осо-

бенностей городского ландшафта, значения этих городов главные городские магистрали имеют сходные характеристики, позволяющие определять их как особые элементы каркасов градостроительных систем.

Установлено, что система главных магистралей формируется на начальном этапе образования градостроительных систем. Особенности рельефа территории, возможности преодоления препятствий различного характера, расположение градообразующих функций, сложившиеся внешние экономические взаимодействия и другие факторы оказывают влияние на рисунок главных улиц города. В их основе лежат, как правило, исторически сложившиеся на территории сухопутные направления.

Главная улица Новосибирска — Красный проспект закрепляет направление дороги с юга (г. Барнаул, г. Бердск) на север (с. Каменское, с. Красный Яр, г. Томск), существовавшей еще до образования города и учитывавшей особенности перехода через естественное препятствие (р. Каменка). В зоне основания проспекта, у первого градообразующего предприятия — стоящегося железнодорожного моста — начал развиваться поселок мостостроителей, превратившийся в XX в. в крупнейший город [1]. Направление развития Красного проспекта фиксирует направление межгородских экономических связей, преобладающее в развитии города вплоть до середины XX в.

В г. Омске важнейшая древняя дорога из Тобольска к Ямышеву озеру («соляная дорога») послужила основанием для двух главных городских улиц: проспекта К. Маркса и ул. Ленина [2]. Рисунок этой дороги, обходящей естественные препятствия (овраги), определил формирование в южной части города сдвоенного каркаса. Вылетные магистрали — Красный путь, ул. Герцена и ул. Гусарова зафиксировали рисунок дорог, сходящихся к воротам правобережной Омской крепости, построенной в 1765 г. Важно отметить и роль Соборной площади Омска, закрепившей положение крепостной эспланады [3].

В обоих городах на линиях главных магистралей образовались общегородские центры (ОГЦ). В процессе развития городов системы центров развивались по осям главных магистралей, ставших их важнейшими структурными элементами.

На линии Красного проспекта в Ново-Николаевске (Новосибирске) уже в 1906 г. организованы первые площади — Базарная (современная площадь Свердлова) и Ярмарочная (современная площадь Ленина). Во второй половине XX в. образована площадь Калинина — северная площадь городского центра. Пересечения главной магистрали с важными городскими улицами поперечного направления также насыщены общественными функциями. В результате пройденного пути развития главная магистраль превратилась в единый многофункциональный комплекс.

Формирование общегородского центра в г. Омске началось на территории крепости. Организованная здесь площадь естественным образом обрела значение административного и военного центра города. Общественные функции вышли за пределы крепости. Центр общественной, культурной и духовной жизни горожан сформировался на месте крепостной эспланады, на пересечении внешних дорог различных направлений, сходящихся к крепостным воротам. Второй важный узел системы общегородского центра сформировался на противоположном берегу Оми, между улицами Дворцовой (современная улица Ленина) и Аптекной (современный проспект К. Маркса), образовав сдвоенный каркас системы. Современная система центра включает также подцентры районного значения в привокзальном районе и «городке нефтяников», объединенные с ядром ОГЦ главной магистралью.

Образование и закрепление важных общественных функций вдоль главных магистралей отмечается на всем протяжении развития градостроительных систем. Появление в городах новых градообразующих элементов, изменение их внешних и внутренних взаимодействий отражаются на характере формирования систем ГГМ, однако существует и обратная связь. Исторически на линии главных магистралей происходила концентрация важнейших городских объектов, с вытеснением прежних функций, потерявших свою актуальность. Изменения функционального наполнения застройки главных магистралей отражают важнейшие исторические события в жизни городов.

Роль г. Ново-Николаевска (Новосибирска) как бурно развивающегося важного торгового узла отражена в формировании купеческой застройки на Красном проспекте в начале XX в. Первые площади на линии проспекта на начальном этапе развития города носили торговый характер. Городской торговый корпус до настоящего времени является одним из символов города.

В 1921 г. Новосибирску присвоен статус столицы Западно-Сибирского края. Старобазарная площадь становится главной административной площадью города, здесь возводятся здания Крайисполкома и Сибревкома. Бывшие купеческие особняки занимают различные организации (например, типография революционных изданий разместилась в торговых помещениях бывшего дома Молчанова).

Наиболее яркие примеры влияния меняющейся государственной идеологии на городскую застройку связаны с приходом советской власти. Смена политических и идеологических ситуаций в государстве нашла отражение в последовательной замене Никольской часовни на Красном проспекте скульптурными изображениями, сначала рабочего, затем И.В. Сталина. В конце XX в. Никольская часовня восстановлена практически в первоначальном виде. Собор во имя Александра Невского, расположенный в начале Красного проспекта, после неудачных попыток сноса был передан под помещение проектных организаций, затем Западно-Сибирской студии кинохроники, а в 80-е гг. Новосибирской филармонии. Храм возвращен церкви в 1989 г.

С 1931 г. на площади Ленина возводится здание Дома Науки и Культуры (ныне Государственный Академический Театр Оперы и Балета), призванное отразить дух новой эпохи. С открытием театра в 1945 г. за площадью Ленина исторически закрепилась роль общественного и культурного центра города.

Система магистралей современного Омска сформировалась постепенно. Различные ее элементы доминировали на разных этапах развития города. Современные магистрали и сегодня отражают особенности той эпохи, когда им принадлежала ведущая роль.

На улице Спартаковской (ранее улица Глазенапа), главной улице правобережной Омской крепости, утратившей свое значение, сохранилось одно из старейших зданий города — здание гауптвахты. Постройка напоминает о первоначальном этапе развития крепости.

Застойка улицы Ленина характеризует Омск как торговый центр конца XIX — начала XX в. В южной части улицы Ленина, в границах бывшего Казачьего форштадта, сохранились здания, связанные с историей казачества в городе. Это здания казачьего Никольского собора и Сибирского кадетского корпуса. В этой части города улица Ленина имела историческое название Атаманской. Здесь находилась Омская станица — административный центр казачьего управления.

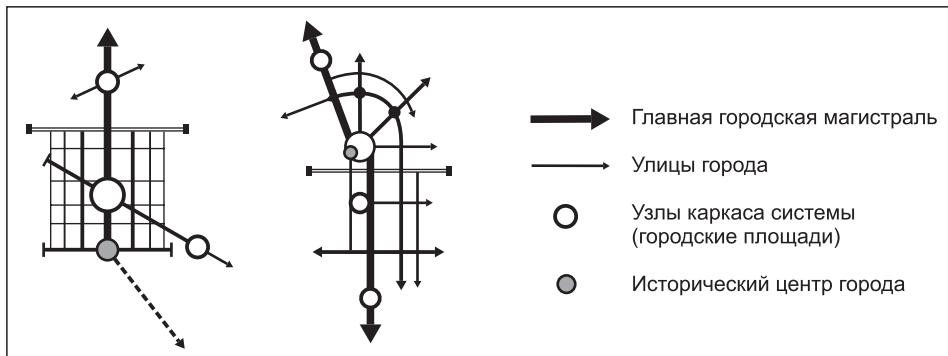


Рис. 1. Доминирующее положение главных городских магистралей в каркасе Новосибирской и Омской градостроительных систем

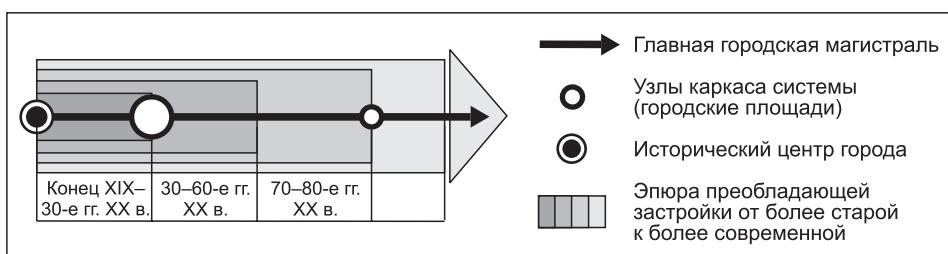


Рис. 2. Последовательное формирование застройки главных городских магистралей (на примере Красного проспекта г. Новосибирска)

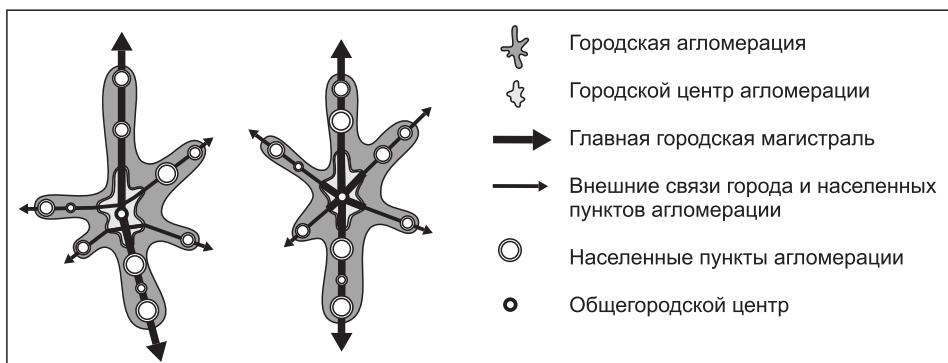


Рис. 3. Положение главных городских магистралей в структуре агломерационных связей градостроительных систем с прямоугольной и радиально-кольцевой планировочной структурой

Проспект К. Маркса приобрел важнейшее значение, обеспечивая связь города с железнодорожным вокзалом. Об этом напоминают здание Омского государственного университета путей сообщения (ранее управление Западно-Сибирской железной дороги) и привокзальный комплекс. На месте сквера 30 лет ВЛКСМ, расположенного перед зданием университета путей сообщения, когда-то находилась городская железнодорожная станция (городская ветка и станция были упразднены в 1930 г.).

Проведенный анализ позволил выявить множество примеров, доказывающих, что застройка ГГМ на каждом этапе развития характеризует социальные, культурные, политические и экономические процессы, происходящие в городе. Это обуславливает огромный социокультурный потенциал главных магистралей.

Особенности возникновения генетического кода Новосибирска и Омска, формирование и последующая эволюция их пространственно-планировочных конфигураций сформировали градостроительные системы открытого типа, где ГГМ являются центральным элементом каркаса и неизбежно вовлечены в процессы активного развития новосибирской и омской агломераций.

Являясь важными коммуникационными коридорами внутреннего и внешнего значения, главные городские магистрали соединяют с общегородским центром не только планировочные районы города, но и становятся трансляторами городских функций в масштабах агломерации.

Установлено, что положение главных магистралей в структурном каркасе градостроительных систем взаимоувязано с системами Б- и С-каркасов¹. На линии ГГМ в обоих городах формируются точки пересечения А-, Б- и С-каркасов, создающие возможности организации важнейших коммуникационных узлов и развития общественных функций. В настоящее время потенциал таких узлов, как пересечение Красного проспекта в г. Новосибирске с Транссибирской железнодорожной магистралью и станцией «Гагаринская» Новосибирского метрополитена, не реализован. В г. Омске предстоящее открытие метрополитена даст импульс формированию подобного узла на пересечении улицы Красный путь и кольцевой магистрали — улицы Фрунзе. Эффективное использование возможностей подобных узловых пространств на главных магистралях повышает открытость градостроительной системы и доступность ОГЦ.

Особую ценность имеет застройка главных магистралей. Выявлено, что к ним тяготеют лучшие здания каждой эпохи, составляющие основу городского архитектурного наследия. Охрана памятников, поиск оптимальных соотношений старого и нового — неизбежные проблемы развития главных магистралей обоих мегаполисов. Охрана памятников позволяет донести в максимально сохраненном виде лучшие образцы архитектуры прошлых лет. Появление современных зданий обеспечивает постоянное наращивание образного потенциала города.

Современная застройка Красного проспекта в Новосибирске отражает все периоды и стилевые направления архитектуры, представленной в городе, от наиболее старой застройки, в основании улицы до самой современной, ближе к ее завершению. Это связано с линейным характером развития города на начальном этапе. Однако для улиц-дублеров, развивающихся в аналогичном направлении, последовательная хронология застройки не характерна.

Радиально-кольцевая планировочная структура Омска затрудняет выявление какой-либо улицы, единственную характеризующей архитектуру города. Отмеченное выше последовательное формирование застройки выявлено в левобережной части улицы Ленина, на улицах Красный путь, проспект К. Маркса, ул. Герцена. Ценнейшие образцы архитектуры различных периодов сконцентрированы на улицах, доминирующих на данном этапе.

Реконструктивные процессы в ядре общегородских центров приводят к формированию здесь разнообразной по стилистическим и пространственным характеристикам застройки, отражающей различные этапы развития городов. Данное свойство определяет особую ценность данной территории с точки зрения сохранения градостроительного генетического кода.

Задоройка главных улиц Новосибирска и Омска не только летопись последовательной смены архитектурных стилей, но и практики градостроительного освоения городской территории. От принципов кварталь-

¹ Б-каркас — железная дорога, С-каркас — метрополитен.

ной застройки (конец XIX — середина XX в.) в Новосибирске и крепостных артикулов в Омске к выходу в 70–80-е гг. XX в. на ГГМ микрорайонной застройки.

Общей тенденцией для современного этапа развития ГГМ стало пространственное уплотнение линий застройки, от исторически сложившихся районов на всем протяжении магистралей. Среди горожан эта тенденция получила название «точечной застройки». С точки зрения теории развития градостроительных систем данная тенденция является закономерностью, обусловленной наличием значительных пространственных резервов в структуре ГГМ, куда объективно устремляются престижные общественные функции.

В процессе роста города главные магистрали преодолевают естественные и искусственные пороги, фиксируя переход всей системы на новый этап развития.

Примерами описанного явления в Новосибирске являются путепровод Транссибирской железной дороги, возведенный над Красным проспектом в 50-х гг. XX в., развитие городской застройки за реки 1-ю и 2-ю Ельцовки, предстоящее развитие магистрали в северо-восточном направлении [4]. В Омске возросший в середине XX в. потенциал проспекта К. Маркса предопределил строительство Комсомольского моста через р. Омь и перераспределение нагрузок в центральном ядре. Потенциал улиц, дублирующих главные магистрали, не позволяет им преодолеть существующие препятствия.

Проведенное исследование показало уникальную роль главных магистралей в различных аспектах развития городов. Особенности ГГМ, исследованные на примере Новосибирска и Омска, наблюдаются и в других западно-сибирских городах. Проспект Ленина в Томске, улицы Ленина и Республики в Тюмени, проспект Ленина и его дублеры — Комсомольский и Красноармейский проспекты в Барнауле подтверждают обнаруженные закономерности.

Сопоставление ГГМ (главных улиц города) с другими линейными элементами структурного каркаса (проспекты, жилые улицы, магистрали регулируемого и непрерывного движения) показывает, что по совокупности свойств, структурно-функциональному потенциалу ГГМ всегда занимает в каркасе системы доминирующее положение.

Выводы. 1. Количественные и качественные характеристики структурно-функционального потенциала ГГМ существенно превосходят все другие линейные и узловые элементы каркаса, что обеспечивает их доминирующее положение.

2. Красный проспект в Новосибирске, система магистралей (проспект К. Маркса, улица Красный путь, улица Ленина) в Омске составляют основу генетического кода градостроительных систем.

Главные городские магистрали как важнейшие элементы структурно-функционального каркаса оказывают большое влияние на развитие агломерационных связей, являясь генераторами и проводниками городских функций в масштабах формирующихся агломераций.

Обладая огромным структурно-функциональным и социокультурным потенциалом, главные городские магистрали стимулируют переход всей градостроительной системы на новый уровень развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Изнаирская, Е.М. О первоначальном этапе формирования Новосибирской градостроительной системы (НГС) [Текст] / Е.М. Изнаирская, А.П. Долнаков // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Новосибирск : НГАХА, 2009.

2. Матвеев, А.В. Сухопутные маршруты передвижения населения Среднего Прииртышья XVII — первой трети XVIII в. по данным письменных, картографических источников и этнографии [Текст] / А.В. Матвеев // Изв. Омск. гос. ист.-краевед. музея. — Омск : ОГИК музей, 2003. — Т. 10. — С. 163–169.
3. Кочедамов, В.И. Омск. Как рос и строился город. [Текст] / В.И. Кочедамов. — Омск, 1960. — С. 11–22.
4. Новосибирск. История генеральных планов в документах [Текст] / авт.-сост. В.Н. Шумилов. — Новосибирск, 2007. — 440 с.

ИЗНАИРСКАЯ Е.М., асп.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

ДОЛНАКОВ А.П., канд. архит., проф.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено 30.05.11

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

Dolnakov A.P., candidate of architecture, professor, Novosibirsk State of Academy Architecture and Fine Arts, Russia

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL POTENTIAL OF CITY MAIN STREETS AS THE RESOURSE OF URBAN SYSTEM DEVELOPMENT (WITH REFERENCE TO NOVOSIBIRSK AND OMSK)

This article is dedicated to specifics of main streets like unique elements of urban systems. The main streets have dominant structural, functional, communication and sociocultural potential. They accumulate significant properties of urban system and provide its further development.

Key words: main streets, development, urban system, resource.

REFERENCES

1. Iznairskaya, E.M. About prime stage of forming the Novosibirsk urban system (NUS) [Text] / E.M. Iznairskaya, A.P. Dolnakov // Materials of All-Russian research and practical conference. — Novosibirsk : NSAAFA, 2009.
2. Matveev, A.V. Overland routes of peoples movement in the Middle Irtysh region XVII — the first third of the 18th century according to written sources, spatial and ethnography [Text] / A.V. Matveev // News of the Omsk State Historical Museum. — Omsk : OGIK, 2003. — Vol. 10. — P. 163–169.
3. Kochedamov, V.I. Omsk. How the city grew and built [Text] / V.I. Kochedamov. — Omsk, 1960. — P. 11–22.
4. Novosibirsk. History of general layouts in documents [Text] / author-compiler V.N. Shumilov. — Novosibirsk, 2007. — 440 p.

УДК 726.7(576.6)

Д.С. МАСЛЕННИКОВА

ВОЗРОЖДЕНИЕ МОНАСТЫРСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

Монашеские обители на окраинных территориях Российского государства — уникальное явление, утверждение которого происходило в синтезе древних традиций и регионального своеобразия дальневосточной храмостроительной культуры. Рассмотрены типологические, объемно-планировочные, композиционные и стилистические особенности православного монастырского зодчества на Дальнем Востоке.

Ключевые слова: монастырское строительство, сакральная архитектура, стиль, традиция, типология.

Духовное возрождение общества вызвало растущий интерес к историко-религиозному наследию дальневосточного края и насущную необходимость в восстановлении, реставрации и строительстве новых храмов и монастырей.

Поэтому в современной высшей архитектурно-художественной школе России возникла потребность в научно-теоретических исследованиях и практических разработках, которые не служили бы частным дополнением к уже существующему опыту изучения древнерусского сакрального зодчества, а фактически заново формировали бы подобный опыт возведения новых и реконструкции старых монастырей и храмов, а также способствовали бы закладке фундамента всей профессиональной храмостроительной культуры, полностью утраченной в советскую эпоху.

Особенно остро эта потребность ощущается применительно к территории Дальнего Востока России, где такой многогранный и сложный феномен, как православный монастырский комплекс, с самого начала своего возникновения был отмечен чертами регионального своеобразия.

Сложность изучения архитектуры монастырей и храмов дальневосточного региона заключается в той особой пестроте явлений и различных факторов (социально-политических, географических, природно-климатических), которые предопределили формирование на окраинных территориях Российской государства самобытной, неповторимой школы сакрального зодчества, имеющей более чем трехсотлетнюю историю.

Еще во второй половине XVII в., в 1665–1666 гг. на месте отбитого Ерофеем Хабаровым у даурского князя Албазы городка группой казаков был воздвигнут острог. Вместе с этим отрядом, возглавляемым пятидесятником Н.Р. Черниговским, на Амур прибыл (по некоторым данным приведен насильно) афонский старец иеромонах Гермоген, стараниями которого недалеко от Албазинского острога был заложен в 1671 г. монастырь во имя Всемилостивого Спаса. Поначалу в скромной обители (рис. 1) жили всего четыре монаха, но тем не менее именно с этого мона-



Рис. 1. Монастырь во имя Всемилостивого Спаса в устье реки Ульдугучи (притока Амура) — самая древняя православная обитель на дальневосточной земле

стыря началась история монастырского строительства на дальневосточной земле.

Очевидно, что приблизиться к всестороннему пониманию региональной архитектуры храмов и монастырей невозможно без учета фактора влияний. Для процесса формирования религиозно-культурного наследия Дальнего Востока решающее значение имело привнесение опыта создания русских православных монашеских обителей на святой горе Афон. Ибо именно оттуда прибыли на окраинные земли Российского государства иеромонахи, имея при себе указания Святейшего Синода относительно устроения монастырской жизни по афонскому уставу.

По предположению автора, святогорский опыт монашеского жизнестроительства, который был взят за основу при организации обширной системы православных обителей в дальневосточном регионе, проявился не только на уровне соответствия богослужебному уставу, но и на уровне соответствия архитектурно-художественной организации монастырского комплекса.

Действительно, основанный в 1894 г. прибывшим с Афона схиигуменом Алексием (Осколковым) монастырь во имя Святой Троицы в Приморье (рис. 2) строился по идентичным с древними святогорскими прототипами принципам объемно-планировочного построения ансамбля, декоративно-художественного и стилистического оформления фасадов. Тип святогорского храма, взятый за основу при закладке собора в монастыре Святой Троицы в Приморье, послужил вместе с тем лишь ремесленным подспорьем в работе схиигумена Алексия, заложившего монастырский храм [1]. Его деятельность при строительстве храма по существу была творческой, богоодновенной, близкой к священнослужению.

Схиигумен Алексий, в своих воспоминаниях подробно описывает все этапы созидания обители в Уссурийской тайге. Географическое местоположение монашеского духовного центра не замедлило найти свое яркое отражение в топонимике — архитектурный ансамбль в большей степени известен под названием Уссурийский или Шмаковский (по названию близлежащей железнодорожной станции). Подобно своим древним образцам на Афоне, мужской монастырь охватил почти все отрасли сельского хозяйства: полеводство, пчеловодство, огородничество, животноводство. В полеводстве использовались методы передовой агрономии тех лет, монастырь имел полный комплект сельскохозяйственных машин и оборудования.



Рис. 2. Монастырь Святой Троицы в Приморье

В его обширном хозяйстве были кузница, мыловарня, лесопильная рама, слесарно-механическая, столярная, бондарная, корзиночная, шорная, сапожная, ткацкая мастерские; в число его предприятий входил епархиальный свечной завод [2].

Среди всеобщей разрухи экономики в стране в целом и Приморской губернии в частности мужской монастырь являлся островком благоденствия и процветания, что не могло не вызвать зависти. В 1923 г. монастырь был закрыт, все строения, промышленные предприятия, хозяйственное оборудование, инвентарь переданы во владение Приморского губернского управления.

Грандиозный ансамбль монастыря не сохранился в первозданном виде до настоящего времени: монастырский храм и все остальные сооружения обители были разрушены в советскую эпоху. Внешним обликом монастыря можно любоваться лишь благодаря картине неизвестного художника (см. рис. 2).

Не удалось избежать печальной участи быть разоренной еще одной монашеской обители, основанной схиигуменом Алексием. Идея основания монастыря в Приамурье принадлежала святому равноапостольному Иннокентию (Попову-Вениаминову), архиепископу Приамурскому, впоследствии (с 1868 г.) митрополиту Московскому. Стараниями схиигумена Алексия эта идея начала воплощаться, когда он в 1894 г. по просьбе епископа Камчатского, Курильского и Благовещенского обследовал амурские дебри в поисках подходящего участка под обитель и выбрал место на берегу Петропавловского озера (в 60 км от Хабаровска). С этого момента началась история старейшей в Приамурье монашеской обители — Петропавловского монастыря. За помощью в строительстве монастыря отец Алексий обратился к епископу Финляндскому Антонию и Валаамскому игумену. Таким образом, первыми строителями монашеской обители в Приамурье стали прибывшие с Валаама иноки — два иеромонаха Сергий (Озеров) и Герман (Богданов). Но возведение первых монастыр-

ских строений, в том числе и храма, было прекращено в 1905 г., когда революционно настроенные местные власти села Петропавловка, выросшего рядом с обителью, постановили ее закрыть, а все монастырское имущество конфисковать. Со временем сгорели или разрушились все недостроенные сооружения, исчезли все следы существования на берегу озера монашеской обители.

Но монастырская жизнь, строительство обителей еще продолжалось в глухих уголках Приамурья. В 1910 г. открылся мужской общежительный монастырь в честь Феодоровской иконы Божией Матери. Монастырь расположился на берегу реки Тунгуски (притока Амура), недалеко от села Архангеловка Хабаровского края. Основатель и первый строитель обители — прибывший с Афона иеромонах Иоасаф (Крупенин), являлся и первым настоятелем, в 1914 г. его сменил приехавший из московского Новоспасского монастыря иеромонах Филипп. Монастырь быстро разрастался, обзаводился хозяйственными постройками. К 1917 г. Богородично-Феодоровский Тунгусский монастырь насчитывал более 20 человек братии (иеромонахов), а вместе с трудниками (послушниками) в нем постоянно проживало около 40 человек.

Ядром монастырского ансамбля стала каменная церковь в честь Феодоровской иконы Божией Матери (1914 г.). В монастыре действовала выстроенная монахами церковно-приходская школа — в ней учились дети из близлежащих селений. Иноки духовно окормляли и язычников-гольдов, совершая миссионерские службы в местах расположения их стойбищ в бассейне реки Тунгуски. В 1919 г. многие монастырские постройки получили серьезные повреждения в ходе боев отряда белого казачьего офицера А. Пискунова с красным партизанским отрядом под командованием Н. Шевчука. После установления советской власти на Дальнем Востоке обитель была разогнана. Но некоторым инокам все же удалось остаться и продолжать жить на монастырской земле под видом хозяйственной артели. Вскоре к ним присоединились монахи из других разогнанных дальневосточных обителей. Таким образом, тайная монашеская жизнь на реке Тунгуске продолжалась вплоть до 1931 г., когда иноческую «артель» все же закрыли под предлогом неуплаты налогов. Абсолютно все монастырские постройки, которые еще оставались, разрушились с течением времени. В настоящее время бывшая монастырская земля является местом паломничества православных хабаровчан, предполагается возродить монастырь на его историческом месте.

К 1917 г. в дальневосточном регионе было выстроено 10 (3 — в Приамурье, 4 — в Приморье, 3 — на Камчатке) монастырей, храмов же насчитывалось 255 [3].

В среде теоретиков и практиков — исследователей церковного строительства сложилось мнение, что процесс реабилитации монастырей, особенно в российской провинции, идет крайне медленно. Но это утверждение является ошибочным в отношении Дальнего Востока, поскольку здесь православное монашество вступило в эпоху своего духовного возрождения и обусловило расцвет строительства новых монастырей и храмов.

Например, женская община во имя святых первоверховных апостолов Петра и Павла, основанная на месте уничтоженного Петропавловского монастыря, разрастается стремительными темпами. Решение о возрождении монастыря после почти столетнего периода забвения было принято в 2000 г. На сегодняшний день утвержден и частично начал воплощаться проект застройки обители. В основе концепции проекта ре-

конструкции Петропавловского монастыря — принцип сохранения традиционной функционально-типологической структуры древних монастырей, подразумевающей соответствующие монастырскому уставу объекты духовного содержания и сооружения хозяйственного назначения. Так, генеральный план предусматривает строительство сестринского корпуса на 40 человек, здание детского приюта, игуменского корпуса, часовни, архиерейского дома и других монастырских построек, в частности, иконописной и пошивочной мастерской. В первую очередь, конечно же, восстановлен и освящен храм во имя святых первоверховых апостолов Петра и Павла, началось строительство колокольни — главного вертикального акцента архитектурного ансамбля (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид возрождающейся Петропавловской обители. Новый храм освящен в 2006 г. (архит. Ю.Н. Кривопуск)

Монастырь — это сложная сакрально-архитектурная конструкция; многоуровневая структура из высших духовных и материально-бытовых составляющих, формирующаяся к тому же очень длительное время.

Естественно поэтому предположить, что завершение всего объема строительных работ по проекту восстановления Петропавловского монастыря не означает завершение архитектурно-пространственной и образно-символической эволюции. Отсюда следует, что прогностическая модель непременно должна присутствовать в проектах восстановления монастырей.

Например, хорошо было бы отразить в генеральном проекте застройки монастыря идею создания реабилитационного центра и хосписа, потребность в которых остро ощущается в Хабаровском крае; идею создания музейного центра, раскрывающего историю возникновения монашеских обителей и портреты святогорских подвижников-миссионеров, чьими стараниями зарождались духовные очаги на Дальнем Востоке и которые по праву могут именоваться основоположниками дальневосточной школы монастырского зодчества. Очевидна необходимость дальнейшего развития обители, направленного на создание условий для комфорtnого проживания паломников; обеспечение развитой сферы обслуживания туристов; на решение вопроса о монастырском кладбище и мемориальном храме. Кроме того, необходимо учесть и градостроительный фактор — село, возникшее в старину благодаря обители, с процессом ее возрождения, вне сомнения, преодолеет период деградации, вымирания и расширит свои границы. Поэтому перспективы будущего роста монастырского ансамбля надо рассматривать во взаимодействии с окружающей застройкой (рис. 4).



Рис. 4. Монастырская звонница и двухэтажный корпус трапезной Петропавловской обители

Отсутствие подобной прогностической модели и в проекте активно восстанавливающегося Шмаковского Свято-Троицкого монастыря свидетельствует о том, что дальневосточная архитектурно-строительная школа не обрела еще фундаментальной базы знаний, основанной на глубоких исследованиях эволюционного развития регионального монастырского зодчества.

В процессе восстановления, реставрации и реконструкции монашеских обителей на Дальнем Востоке России остаются нерешенными на сегодняшний день еще многие научно-практические и теоретические вопросы, касающиеся технологии и масштаба проводимых строительных работ, а также вопросы совмещения традиционных и новых функций монастырей, которые настоятельно требуются современному обществу. Расширение сферы функциональной основы строительства монастырей позволит включить в типологический спектр монастырских сооружений такие здания, как реабилитационно-восстановительные, туристические и художественные центры, мемориально-музейные объекты, заведения катехизаторских курсов для духовного просвещения паломников и туристов.

Хочется верить, что при восстановлении храма в обители будет сохранена древняя традиция преемственного развития церковной архитектуры и главная монастырская святыня не станет неудачным, с архитектурной точки зрения, образцом непрофессионального стилизаторства, таких, к сожалению, невероятно много появляется в последнее время в городах Дальнего Востока. Вопросы выбора стилистического оформления вновь возводимых храмов как монастырских, так и городских — наиболее злободневная, актуальная проблема.

Современная храмовая архитектура Дальнего Востока развивается по пути стилизации — художественного переосмысления образцов. Но храмы, являющиеся примерами скрупулезного копирования древнерусских прототипов, как ни странно, считаются в среде горожан самыми красивыми храмами из всех нововстроенных. Это говорит о недостатке теоретических работ и практического опыта в сфере храмостроительной культуры. Безусловно, возрождение византийской стилистики, с которой началось формирование архитектуры монастырских и многих городских храмов на Дальнем Востоке и которая была несправедливо забыта,

поможет решению многих спорных вопросов в деятельности проектировщиков храмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексий (Осколков), схиигумен. Воспоминания первого строителя Свято-Николаевского Уссурийского монастыря, что на дальнем Востоке Сибири [Текст] / А. Осколков. — Петроград, 1915. — 258 с.
2. Львов, Н. Свято-Николаевский монастырь на реке Уссури [Текст] / Н. Львов // Владивостокские епархиальные ведомости. — Владивосток, 1899. — 17 сентября. — С. 16–29.
3. РГИА ДВ. Ф. 702. Оп. 3. Д. 547. Л. 8-8 об. [Текст].

*МАСЛЕННИКОВА Д.С., канд. архит., доц.
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск*

Получено 24.05.11

Maslennikova D.S., candidate of architecture, assistant professor, Tihookeansky State University, Khabarovsk, Russia

REVIVAL OF THE BUILDING CONSTRUCTION OF THE ORTHODOX MONASTERIES IN THE RUSSIAN FAR EAST

The monasteries in the Russian Far East — cooperation of the ancient custom and of the local individual religious culture of the temples construction. We consider typological, space-planning, compositional and decorative features of the orthodox monasteries construction in the Russian Far East.

Key words: the temples and of the monasteries construction, religious architecture, style, custom, standart.

REFERENCES

1. Aleksey (Oskolkov). Recollection first builder Sant-Nicolaivskiy Ussuri monasterie in the Far East Siberia [Text] / A. Oskolkov. — Petrograd, 1915. — 258 p.
2. Lvov, N. Sant-Nicolaivskiy monasterie in river Ussuri [Text] / N. Lvov // Vladivostok eparhialny vedomosti. — Vladivostok, 1899. — 17 september. — P. 16–29.
3. RGIA DV. F. 702. Op. 3. D. 547. P. 8-8 ob. [Text].

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 693.22:539.4

Р.Б. ОРЛОВИЧ, В.Н. ДЕРКАЧ

КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Выполнен обзор и анализ содержащихся в зарубежных нормативных документах критериев прочности каменной кладки, работающей в условиях плоского напряженного состояния.

Ключевые слова: каменная кладка, критерий прочности, разрушение.

Каменная кладка является неоднородным композиционным материалом, состоящим из камней, объединенных растворными швами. В связи с этим даже в случае одноосного нагружения кладка работает в условиях сложного (трехосного) напряженного состояния¹. В инженерных расчетах данное обстоятельство обычно не учитывается, а кладка рассматривается как гомогенный анизотропный материал, прочностные свойства которого существенно зависят не только от направления усилий относительно главных осей анизотропии, совпадающих с горизонтальными и вертикальными растворными швами, но и от знака этих усилий (растяжения либо сжатия).

В стеновых конструкциях каменная кладка обычно работает в условиях одноосного, в том числе и внецентренного сжатия. Однако в ряде случаев возникает необходимость оценки прочности кладки на осевое растяжение, срез и изгиб. В отечественных нормах предусмотрена также проверка прочности кладки при действии главных растягивающих напряжений, которые являются результатом ее работы в условиях плоского напряженного состояния.

В таких условиях, например, работает стеновое заполнение каркасов при перекосе в плоскости стен, перегородки, опирающиеся на гибкие диски перекрытий, конструктивные элементы кладки, выполненные из материалов различной деформативности и т.д.

Оценка прочности и трещиностойкости таких конструкций может быть выполнена с применением соответствующих критериев прочности, которые могут быть получены теоретическим и эмпирическим путем. Одним из первых эмпирических критериев прочности каменной кладки, работающей в условиях плоского напряженного состояния, был критерий, предложенный Г.А. Гениевым².

¹ Пангаев В.В. Развитие расчетно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. 34 с.

² Гениев Г.А., Курбатов А.С., Самедов Ф.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов. М.: Интербук, 1994. 187 с.

Практическое применение эмпирических критериев прочности требует знания прочностных характеристик не только при одноосном растяжении, сжатии и срезе в направлении главных осей анизотропии, но и при комбинации этих усилий. Это требует проведения достаточно трудоемких и дорогостоящих испытаний лабораторных образцов. Альтернативой могут являться теоретические критерии, основанные на классических гипотезах прочности. Данные критерии прочности широко используются в зарубежной практике расчета каменных конструкций. При этом общей тенденцией является не построение единого универсального критерия прочности, а создание частных критериев, отражающих конструктивные особенности кладки и характера ее нагружения. Ниже приводится обзор и анализ таких критериев прочности.

В работе [1] предложен критерий прочности каменной кладки, выполненной из бетонных пустотных блоков, которая близка по своим характеристикам к изотропным материалам. В данном критерии прочности для двухосного растяжения и растяжения со сжатием используются линейные зависимости, а для двухосного сжатия — зависимость, полученная на основе гипотезы удельной энергии формоизменения (гипотеза Губера–Мизеса):

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 = f_c^2, \quad (1)$$

где σ_1, σ_2 — соответственно главные напряжения растяжения и сжатия; f_c — предел прочности кладки на одноосное сжатие.

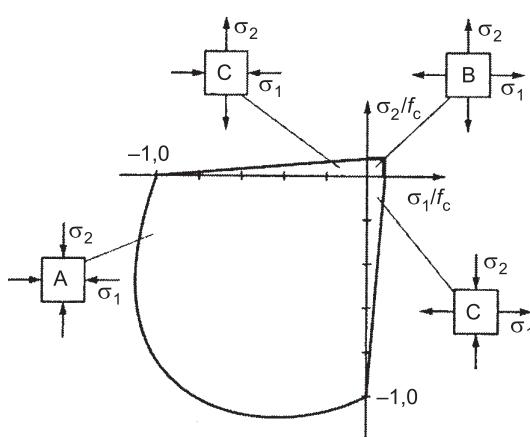


Рис. 1. Граничные кривые критерия прочности согласно [1]

А — двухосное сжатие, В — двухосное растяжение, С — сжатие с растяжением

в условиях плоского напряженно-деформированного состояния выражение (2) примет вид

$$\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \leq f_t \quad (3)$$

или

$$\tau_{xy}^2 - (\sigma_x - f_t)(\sigma_y - f_t) \leq 0. \quad (4)$$

Критерий (3) не учитывает анизотропные свойства кладки, тем не менее он применяется в отечественных нормах для оценки трещиностойкости кладки. Графическое изображение критерия прочности, полученного на основе гипотезы Рэнкина, показано на рис. 2.

Граничные кривые критерия прочности показаны на рис. 1.

Одним из первых критерий прочности, используемых для разрушающихся хрупко материалов, был критерий, построенный на основе гипотезы максимального нормального напряжения (гипотезы Рэнкина):

$$f_c \leq \sigma_{\max} \leq f_t, \quad (2)$$

где σ_{\max} — максимальное главное нормальное напряжение; f_c, f_t — пределы прочности кладки на одноосное сжатие и растяжение соответственно.

Для случая растяжения в

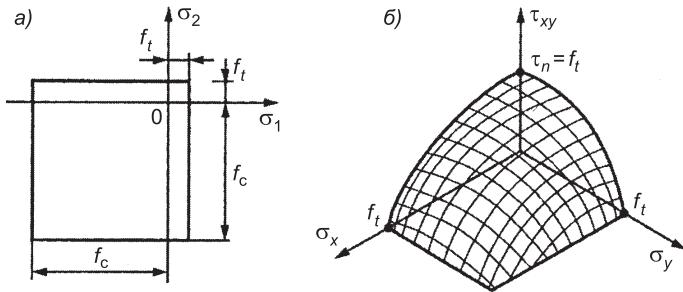


Рис. 2. Гипотеза максимального нормального напряжения Рэнкина

а — граничный контур в плоскости главных напряжений; б — двухосное растяжение со сдвигом

Принимая прочность кладки при растяжении $f_t = 0$, из (4) получим

$$\tau_{xy}^2 - \sigma_x - \sigma_y \leq 0. \quad (5)$$

Выражение (5) является критерием прочности каменной кладки при ее растяжении. С помощью данного критерия можно оценить возможность разрушения кладки вследствие разрыва кладочного элемента.

Принимая различные значения пределов прочности каменной кладки на сжатие в направлении вертикальных f_{cx} и горизонтальных растворных швов f_{cy} и используя выражение (4), получим критерий прочности каменной кладки при двухосном сжатии с учетом ее анизотропии (6):

$$\tau_{xy}^2 - (\sigma_x + f_{cx})(\sigma_y + f_{cy}) \leq 0. \quad (6)$$

При растяжении со сжатием в случае чистого сдвига, когда $\sigma_1 = -\sigma_2$ (или $\sigma_x = -\sigma_y$), принимая прочность кладки при растяжении близкой к нулю, получаем критерий прочности

$$\tau_{xy}^2 + \sigma_y(\sigma_y + f_{cy}) \leq 0. \quad (7)$$

Сдвиг в кладке чаще всего происходит в плоскости растворных швов. В этом случае при действии сжимающих напряжений σ_x для оценки прочности каменной кладки обычно используется критерий прочности Кулона–Мора

$$\tau_{xy}^2 - (c - \sigma_x \operatorname{tg}\varphi)^2 \leq 0, \quad (8)$$

где c — сопротивление кладки сдвигу в плоскости горизонтальных растворных швов при $\sigma_x = 0$ (когезия);

φ — угол внутреннего трения.

Принимая $c = 0$ из выражения (8), получим

$$\tau_{xy}^2 - (\sigma_x \operatorname{tg}\varphi)^2 \leq 0. \quad (9)$$

На рис. 3 представлена графическая интерпретация критериев прочности (5)–(7), (9). Представленная поверхность использована в нормах Швейцарии³.

Недостатком данных критериев является то, что ими не учитывается влияние на прочность кладки растягивающих напряжений и сил когезии.

В работе [2] предлагается учитывать сопротивление кладки сдвигу в плоскости горизонтальных растворных швов, преобразуя зависимость (8) к следующему виду:

³ Schweizer Norm SIA 177/2: Bemessung von Mauerwerkswänden, Ausgabe 1992 / Schweizerischer Ingenieur und Architekten Verein. Zürich, 1992. 38 p.

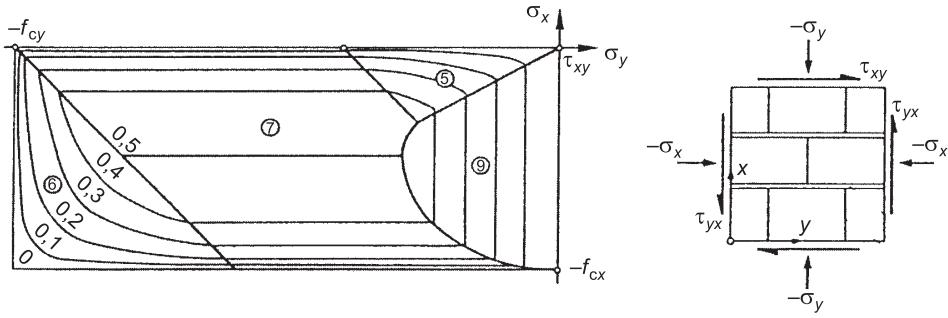


Рис. 3. Поверхность прочности каменной кладки для области двухосного сжатия со скальванием

$$\tau_{xy}^2 - \left(\frac{c}{2} \sigma_x \operatorname{tg} \phi \right)^2 \leq 0. \quad (10)$$

В соответствии с критерием прочности каменной кладки, предложенным в работе [3], различают три характерных механизма ее разрушения:

— сдвиг в плоскости горизонтальных растворных швов

$$\tau_R = \frac{c_{jx} - \operatorname{tg} \alpha \sigma_y + \frac{2\sigma_y}{\sigma_x} \operatorname{tg} \alpha \left(c_{jy} - \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \operatorname{tg} \alpha \sigma_y \right)}{1 + \frac{2\sigma_y}{\sigma_x} \operatorname{tg} \alpha}; \quad (11)$$

— разрушение камня от растяжения под углом к горизонтальным растворным швам

$$\tau_R = \frac{1}{2} \left(c_{jy} - \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \operatorname{tg} \alpha \sigma_y \right) + \frac{f_{bt}}{2,3} \sqrt{1 - \sigma_y \frac{1 + \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \frac{\sigma_x \sigma_y^2}{f_{bt}^2}}{f_{bt}^2}}; \quad (12)$$

— разрушения камня в результате действия локальных (местных) сжимающих напряжений

$$\tau_R = c_{jy} + \frac{\sigma_x}{2\sigma_y} f_b + \sigma_y \left(\frac{\sigma_x}{2\sigma_y} - \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \operatorname{tg} \alpha \sigma_y \right), \quad (13)$$

где c_{jx} , c_{jy} — силы когезии в плоскости горизонтальных и вертикальных растворных швов соответственно;

$\operatorname{tg} \alpha$, $\operatorname{tg} \alpha_y$ — коэффициенты внутреннего трения в плоскости горизонтальных и вертикальных растворных швов соответственно;

f_b , f_{bt} — предел прочности камня на сжатие и растяжение.

Критерий прочности, описанный зависимостями (11)–(13), хорошо согласуется с результатами испытаний образцов размером $200 \times 200 \times 50$ мм, подверженных двухосному сжатию и растяжению под углом к горизонтальным растворным швам. Однако его использование требует экспериментального определения шести независимых характеристик кладки: когезии и коэффициентов внутреннего трения в плоскости горизонтальных и вертикальных растворных швов, а также пределов прочности камня на сжатие и растяжение.

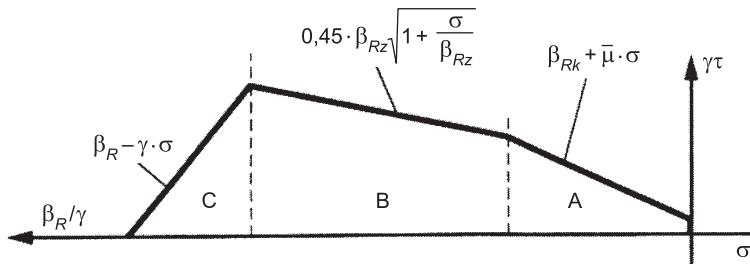


Рис. 4. Граничная поверхность прочности при сжатии и сдвиге
 γ — частный коэффициент безопасности каменной кладки; β_{Rz} — предел прочности камня на растяжение; β_R — предел прочности кладки на сжатие; β_{Rk} — предел прочности кладки на сдвиг; $\bar{\mu} = 0,4$ — тангенс угла внутреннего трения

На рис. 4 приведена граничная поверхность прочности согласно критерию, применяемому в немецких нормах⁴.

Три области поверхности прочности (A, B, C) связаны с различными механизмами разрушения кладки. Область A относится к сдвигу горизонтальных растворных швов, область B — к случаю, когда разрушение наступает в результате разрыва камня, область C описывает разрушение кладки вследствие исчерпания ее несущей способности при сжатии.

Построенный по такому же принципу критерий прочности приводится в нормах Норвегии⁵. В соответствии с данным критерием производится оценка прочности каменной кладки при сдвиге в плоскости растворных швов

$$\tau_{xy} \leq 0,7 f_v + \frac{0,6}{\gamma} \sigma_y, \quad (14)$$

где f_v — сопротивление кладки сдвигу в плоскости горизонтальных растворных швов при вертикальных сжимающих напряжениях $\sigma_y = 0$; γ — частный коэффициент безопасности каменной кладки.

Критерии прочности каменной кладки, аналогичные критериям, использованным в нормах Германии и Норвегии, применяются в большинстве других зарубежных нормативных документов. В соответствии с данными критериями оценка прочности каменной кладки осуществляется на базе простых зависимостей, отражающих прежде всего ее поведение при одновременном сжатии и сдвиге. Этот случай напряженно-деформированного состояния реализуется наиболее часто в каменных конструкциях, воспринимающих кроме вертикальных нагрузок сдвиговые деформации и перекосы, вызываемые горизонтальными воздействиями либо неравномерной осадкой основания фундаментов.

В заключение следует отметить, что использование перечисленных, как и ряда не упомянутых в настоящей статье критерии, в отечественной практике возможно лишь при наличии входных данных, отражающих прочностные характеристики конкретных видов каменной кладки при одноосных нагрузлениях.

⁴ DIN 1053 Teil 100: Mauerwerk nach Eignungsprüfung. Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts / Deutsches Institut für Normung. Berlin, 2004. 40 p.

⁵ NS 3475 Prosjektering av murkonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler. Oslo, 2004. 32 p.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hegemier, G.A. Behavior of concrete masonry under biaxial stresses [Text] / G.A. Hegemier, R.O. Nunn, S.K. Arga // Proceedings of the North American Masonry Conference. — Boulder, Colorado, 1978. — P. 76–84.
2. Mojsilovic, N. Versuche an kombiniert Mauerwerkswänden [Text] / N. Mojsilovic, P. Marti // Bericht, IBK ETH. — Zürich, 1994. — 203 p.
3. Mann, W. Failure of Shear-stressed Masonry—an Enlarged Theory, Tests and Application to Shear Walls [Text] / W. Mann, H. Muller // Proc. of the British Ceramic Society, 1982. — P. 223–235.

ОРЛОВИЧ Р.Б., д-р техн. наук, проф.

Западно-Померанский технологический университет, Республика Польша,
г. Щецин

ДЕРКАЧ В.Н., канд. техн. наук

«Институт БелНИИС» «Научно-технический центр», Республика Беларусь,
г. Брест

Получено после доработки 24.05.11

Orlovich R.B., doctor of technical sciences, professor, West Pomeransky technological university, Republic Poland, Szczecin

Derkach V.N., candidate of technical sciences, «Institute BelNIIS» «Scientific and technical centre», Republic of Belarus, Brest

THE STRENGTH CONDITIONS APPLIED IN FOREIGN PRACTICE OF CALCULATION AND DESIGNING MASONRY STRUCTURES

Overview and analysis of strength conditions of a masonry containing in foreign standard deeds working in the conditions of a difficult stress condition is made.

Key words: masonry, strength condition, destruction.

REFERENCES

1. Hegemier, G.A. Behavior of concrete masonry under biaxial stresses [Text] / G.A. Hegemier, R.O. Nunn, S.K. Arga // Proceedings of the North American Masonry Conference. — Boulder, Colorado, 1978. — P. 76–84.
2. Mojsilovic, N. Versuche an kombiniert Mauerwerkswänden [Text] / N. Mojsilovic, P. Marti // Bericht, IBK ETH. — Zürich, 1994. — 203 p.
3. Mann, W. Failure of Shear-stressed Masonry—an Enlarged Theory, Tests and Application to Shear Walls [Text] / W. Mann, H. Muller // Proc. of the British Ceramic Society, 1982. — P. 223–235.

УДК 624.073.016:691-419

Е.В. ИЛЬДИЯРОВ, И.С. ХОЛОПОВ

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ КРОВЕЛЬНОЙ ПАНЕЛИ С ОРТОТРОПНЫМ СРЕДНИМ СЛОЕМ

Рассмотрено объемное напряженно-деформированное состояние (НДС) панели в программном комплексе ANSYS. Предложена модель трехслойной кровельной панели с учетом ортотропных свойств среднего слоя. Получены данные о характере распределения напряжений в обшивках и среднем слое и произведено сравнение с экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: ортотропный средний слой, трехслойная кровельная панель, расчет трехслойной панели.

На сегодняшний день в строительстве широко применяются панели с минераловатным средним слоем. В отличие от панелей с пенопластом, минераловатный утеплитель является волокнистым материалом, пропитанным связующим на основе фенолформальдегидных смол. Волокна в панели располагаются перпендикулярно стальным обшивкам и приклеиваются к ним. Кроме того волокнистый утеплитель в панели разрезан и состоит из отдельных брусков (ламелей) длиной до 2400 мм и шириной 100 мм.

Эксперименты, выполненные по изучению прочностных и деформационных характеристик минераловатной плиты [1], показали, что материал обладает характеристиками (модуль деформаций, модуль сдвига и коэффициент поперечной деформации), существенно зависящими от направления волокон. Это свидетельствует об ортотропности материала. Однако методики расчета, учитывающие особенности работы панелей с волокнистым и ортотропным средним слоем, разрезанным на ламели, отсутствуют.

В данной работе поставлена задача разработать методику для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) изгибаемых кровельных панелей на основе создания пространственной расчетной модели, ориентированной на использование метода конечных элементов (МКЭ). При разработке расчетной модели использовался программный комплекс ANSYS, позволяющий учитывать ортотропные свойства среднего слоя панели.

Для введения в расчетную модель исходных данных использовались не только свойства материала, полученные одним из авторов из эксперимента [1], но и прочностные и деформационные характеристики минераловатных плит, приведенные в материалах различных фирм-изготовителей. Эти данные в ряде случаев отличаются в 2–3 раза в зависимости от производителя (рис. 1).

Кровельные панели у всех производителей имеют одинаковую структуру. Верхняя обшивка выполнена из оцинкованного листа толщиной 0,6–0,7 мм с несколькими продольными гофрами. Нижняя обшивка выполняется из плоского листа толщиной 0,5–0,6 мм или из слабо гофриро-

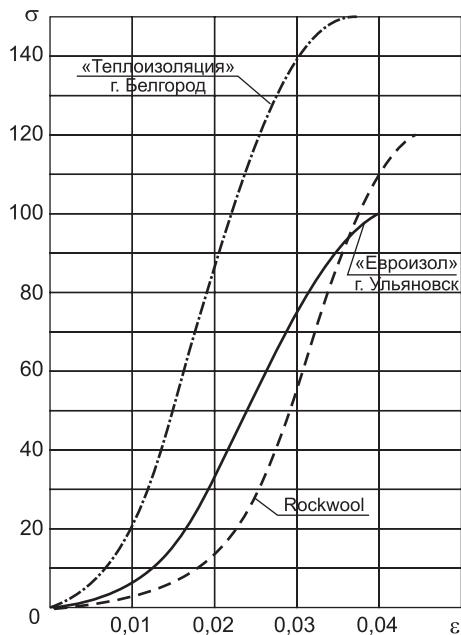


Рис. 1. Диаграмма работы на сжатие вдоль волокон минераловатной плиты различных производителей

свободы в каждом узле. Для моделирования трехмерный элемент solid185 с восемью узлами, позволяющий учитывать ортотропные свойства. Каждый узел имеет три степени свободы.

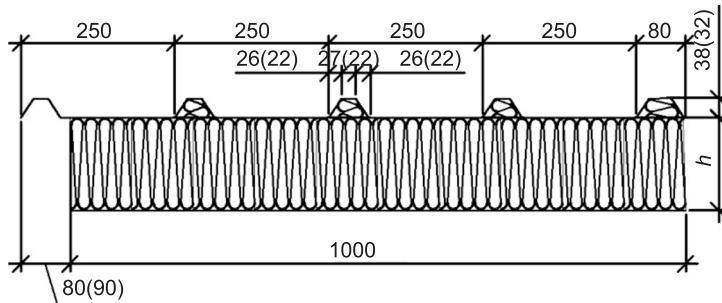


Рис. 2. Сечение панели, в скобках указаны размеры панелей различных производителей

Особое внимание уделялось сетке конечных элементов. Разработка сетки основывалась на данных, полученных в результате натурного эксперимента, выполненного при участии авторов статьи [3]. В процессе создания модели было учтено значительное изменение напряжений по высоте гофра, поэтому стенки и верхняя полка гофра делились на три элемента по ширине. Размеры элементов среднего слоя максимально приближены к форме куба. При расчете по однопролетной схеме на систему накладывались следующие связи закрепления: одна опора закреплялась от вертикальных и горизонтальных смещений, а другая — только от вертикальных. С помощью связей учитывалась ширина опорной зоны, которая по конструктивным требованиям должна быть не менее 60 мм.

При моделировании среднего слоя с использованием трехмерных элементов solid185 имеется возможность учитывать ортотропность мате-

ванного листа. Волокна утеплителя в панели ориентированы нормально к обшивкам, а волокна вставок в гофрах — параллельно. При этом средний слой набирается из ламелей шириной 100 мм и длиной до 2400 мм. Высота ламели зависит от толщины панели и составляет от 80 до 200 мм. Сечение исследуемых плит представлено на рис. 2.

В программном комплексе ANSYS разработаны модели трехслойной кровельной панели (рис. 3), которые позволили оценить влияние конструктивных особенностей, толщины утеплителя и свойств материала на напряженно-деформированное состояние конструкции. Обшивки моделировались элементами shell181 — пластинками прямоугольной формы. Данный элемент хорошо подходит для расчета оболочек с малой толщиной [2]. Элемент имеет четыре узла и шесть степеней

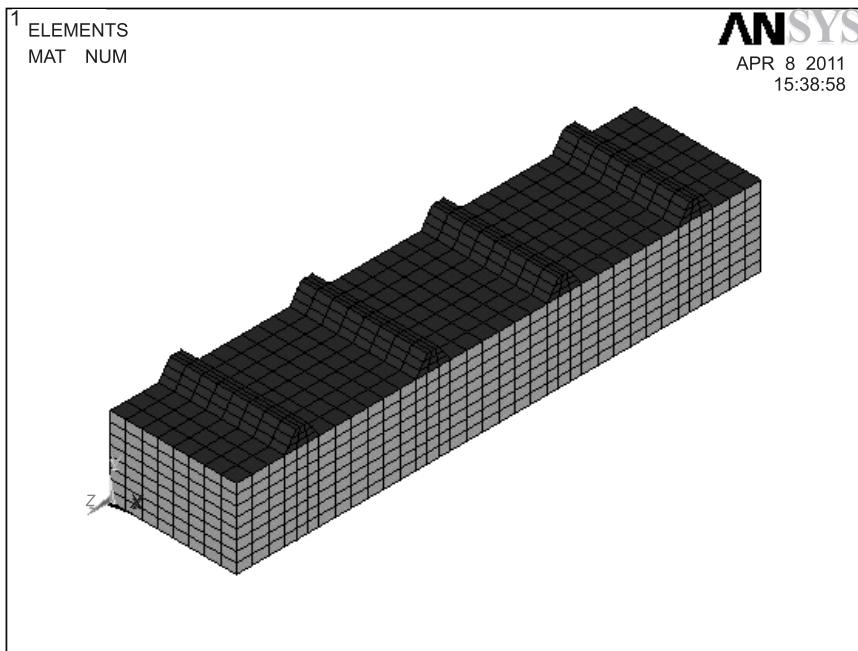


Рис. 3. Фрагмент конечно-элементной модели трехслойной кровельной панели с ортотропным средним слоем

риала путем задания различных модулей деформации, модулей сдвига и коэффициентов поперечной деформации. Для того чтобы оценить влияние ортотропности на НДС панели, в расчетные модели элементов были введены усредненные характеристики, соответствующие изотропной работе материала, и параллельно заданы характеристики ортотропности, принятые по данным экспериментов и литературы [1]. В изотропной модели свойства среднего слоя задавались по среднему из максимальных модулю деформации, модулю сдвига и соответствующему коэффициенту поперечных деформаций. В ортотропной модели свойства среднего слоя задавались в зависимости от направления волокон в конструкции, учитывалось изменение физических свойств вставок внутри гофра.

Для оценки качества данных, полученных с помощью предложенных моделей, результаты расчета сравнивались с результатами экспериментальных исследований панелей с минераловатным утеплителем, произведенных на кафедре металлических и деревянных конструкций Самарского государственного архитектурно-строительного университета [3]. Для сравнения была выбрана панель при работе по однопролетной схеме пролетом 3 м, толщиной обшивок 0,6 мм, высотой гофа 32 мм и шириной 66 мм, толщиной утеплителя 150 мм и средним слоем производства «Евроизол». Результаты расчетов моделей и сравнение с экспериментальными данными при нагрузке 0,98 кПа представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, результаты расчета по разным моделям близки, разница не превышает 10 %. Напряжения в обшивках в середине пролета почти полностью совпадают. Распределение напряжений по длине панели (σ_x) ортотропной модели в верхней, гофрированной обшивке и в нижней представлено на рис. 4. Из рис. 4, а видно, что в середине пролета верхняя обшивка полностью сжата. Наиболее нагруженным элементом гофрированной обшивки является верхняя полка. Напряжение в верхней полке $\sigma_x = -34$ МПа, а в нижней полке верхней обшивки

Таблица 1

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов

Показатели	Результаты расчета по моделям		Экспериментальные данные	Расхождение результатов расчета на модели с ортотропным материалом и экспериментальными данными, %
	изотропная	ортотропная		
Напряжения в верхней полке гофрированной обшивки, МПа	-34,2	-33,7	-34	0,9
Напряжения в нижней обшивке, МПа	10,8	10,9	11,2	2,7
Прогиб в середине, мм	5,05	5,52	5,43	1,6

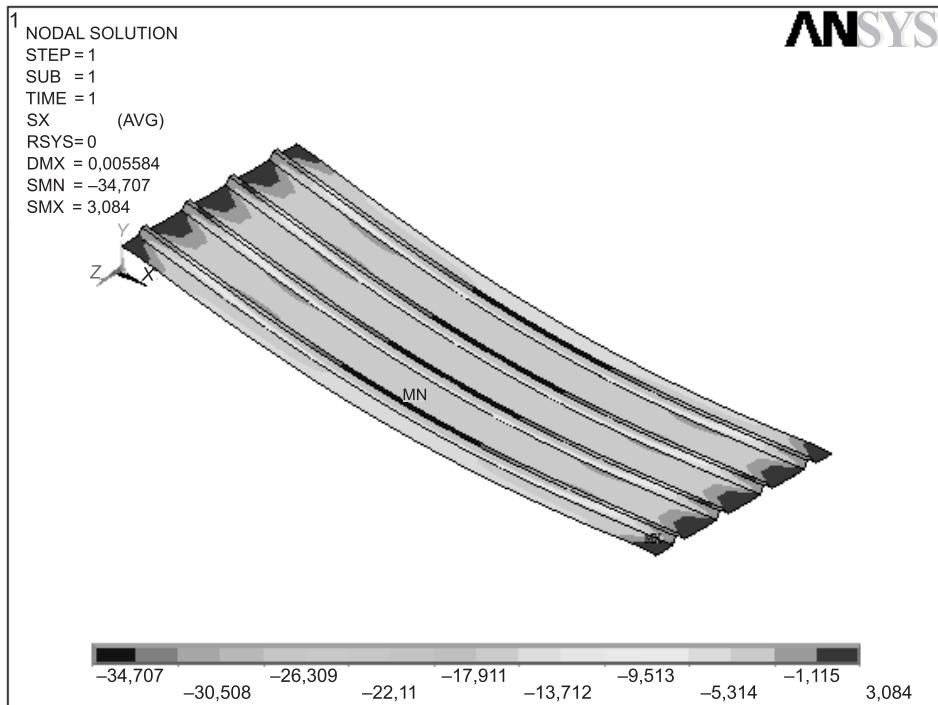
$\sigma_x = -2, -4$ МПа. Интересным представляется то, что нижняя полка верхней обшивки над опорой растянута (напряжение — до 3 МПа). В процессе работы утеплитель над прогоном обжимается, и верхняя обшивка, обладая достаточной жесткостью, поворачивается и удерживается нижней полкой за утеплитель, поэтому в ней и возникает растяжение. Совпадение результатов в середине пролета для разных моделей связано с тем, что средний слой в пролете практически не воспринимает нормальных напряжений по длине панели, а все усилия от момента воспринимаются обшивками. Характер распределения напряжений в изотропной модели аналогичен. Однако по сравнению с изотропной в ортотропной модели отмечены большие деформации утеплителя над опорой. За счет этого происходит дополнительное увеличение прогиба в середине пролета.

Из рис. 4, б видно, что вся нижняя обшивка в пролете растянута, напряжения в середине пролета не превышают $\sigma_x = 11$ МПа. В районе опор, в месте опирания обшивки на прогон, отмечен значительный скачок напряжений до $\sigma_x = 33$ МПа (в три раза больше, чем в пролете), а в изотропной $-\sigma_x = 22$ МПа. Это связано также с обжатием утеплителя и местным, локальным воздействием прогона на нижнюю обшивку. Факт обмятия нижней обшивки подтверждается результатами экспериментальных исследований. После испытаний на нижней обшивке в месте опирания панели на прогон отмечались пластические деформации.

Использование моделирования в программных комплексах позволяет оценить НДС элементов, которые сложно, а порой и невозможно оценить в экспериментальных исследованиях. К таким элементам относится минераловатный средний слой. Из рис. 5–7 видно, что в пролете утеплитель практически не нагружен, нормальные напряжения по толщине панели σ_y не превышают 0,12 кПа, а касательные — 8 МПа. Наибольшие напряжения возникают в районе опоры и изменяются по толщине панели. Самыми нагруженными являются слои, наиболее близкие к прогону, напряжения σ_y в них достигают 12,5 кПа, а касательные — 12,8 кПа. Учитывая, что предел линейной работы утеплителя на сжатие составляет 50 кПа, а на сдвиг — 25 кПа, предел линейной работы панели при однопролетной схеме работы пролетом 3 м не превысит 2 кПа, что также подтверждается экспериментальными данными.

По представленным данным видно, что ортотропная модель точнее учитывает особенности работы данной панели. Сравнение данных расчета по модели с результатами экспериментальных исследований показало достаточную сходимость, разница в значениях не превышает 5 %. Очевидно, что ортотропная модель может быть использована и для расчетов

a)

**ANSYS**

б)

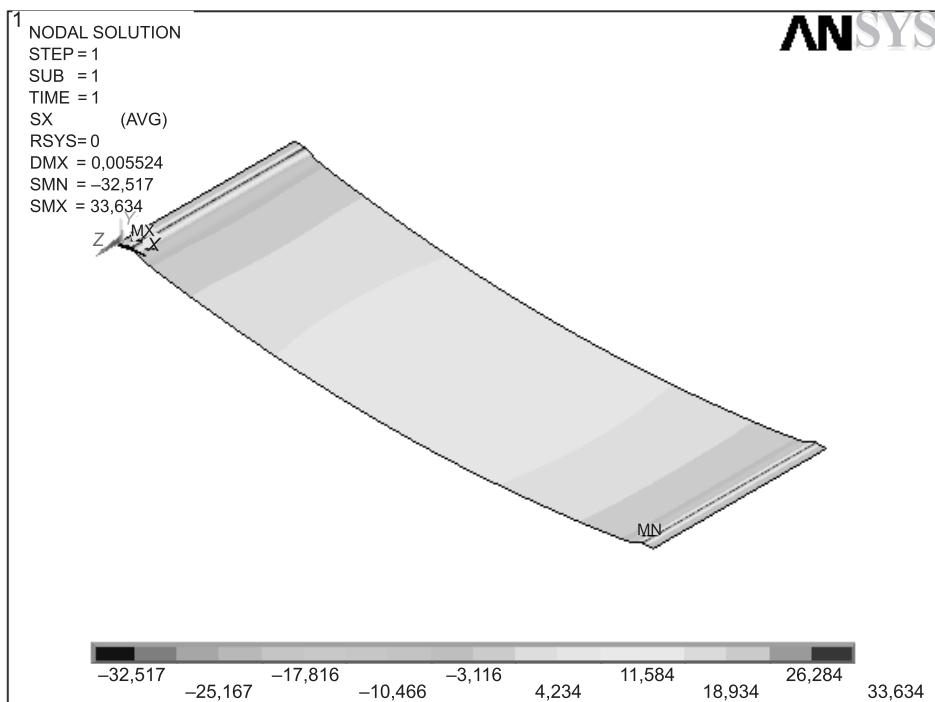
**ANSYS**

Рис. 4. Распределение нормальных напряжений σ_x в верхней (а) и нижней обшивке (б)

панели с другими исходными данными (толщина панели, размеры гофра, свойства утеплителя).

В данной работе выполнены расчеты трехслойной плиты с ортотропным слоем с высотой гофра 32 мм, с толщиной утеплителя 100, 150 и

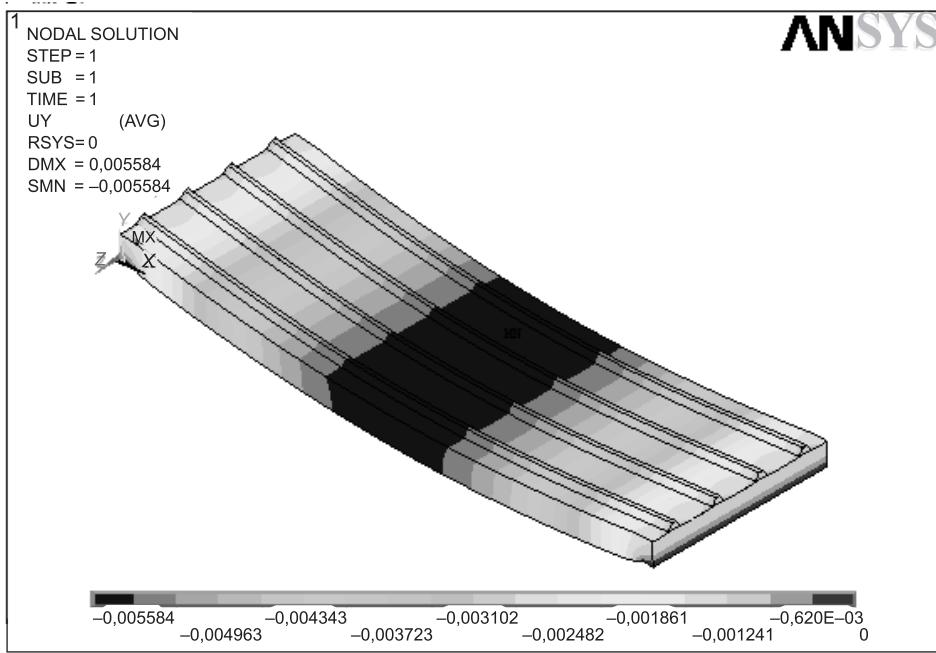


Рис. 5. Распределение вертикальных перемещений (UY) по длине панели

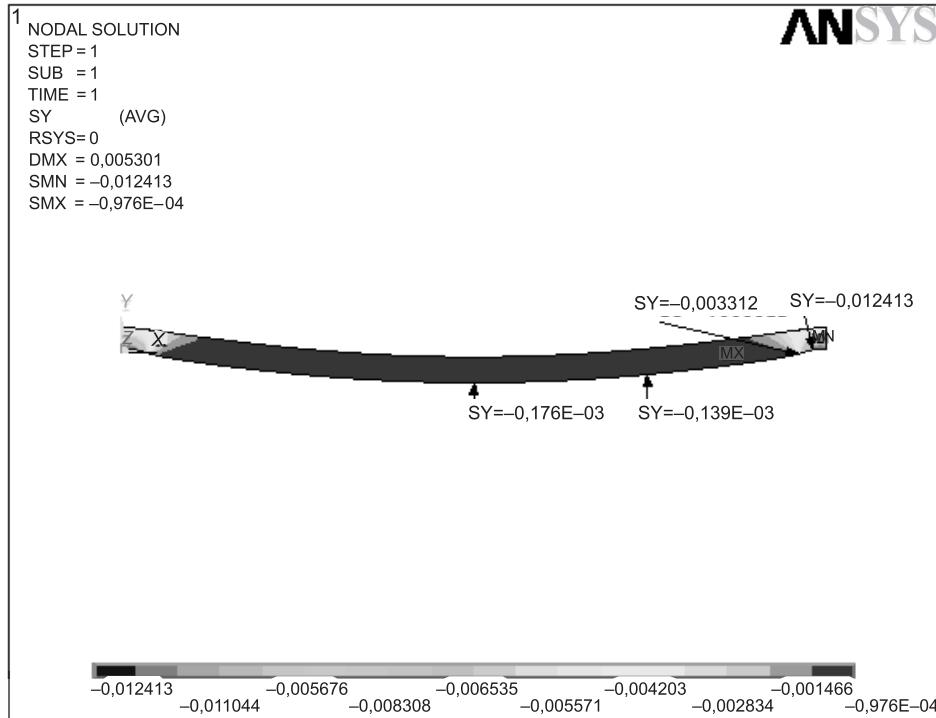


Рис. 6. Распределение вертикальных напряжений (σ_y) в утеплителе по длине панели

200 мм и средним слоем производства «Теплоизоляция» (г. Белгород), «Rockwool» и «Евроизол» (г. Ульяновск). Результаты расчета представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Как и следовало ожидать, увеличение толщины панели при одинаковой нагрузке приводит к уменьшению напряжения в обшивках за счет изменения расстояния между обшивками (см. табл. 2).

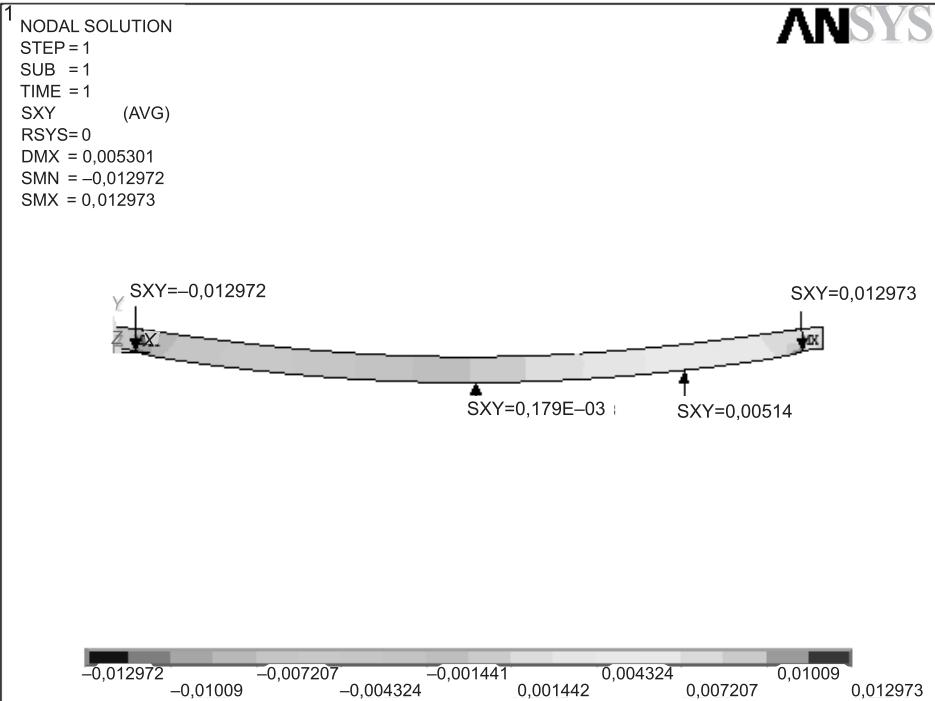


Рис. 7. Распределение касательных напряжений (τ_{xy}) в утеплителе по длине панели

Таблица 2
Результаты расчета панели с разной толщиной утеплителя

Показатели	Толщина утеплителя, мм		
	100	150	200
Напряжения в верхней полке гофрированной обшивки, МПа	-49,5	-33,7	-25,5
Напряжения в нижней обшивке, МПа	15,4	10,9	8,5
Прогиб в середине, мм	7,6	5,52	4,5

Таблица 3
Результаты расчета панелей толщиной 150 мм с утеплителями разного производства

Показатели	Производители мин. плиты		
	«Евроизол» $E_y = 3$ МПа, $G_{xy} = 1,7$ МПа	Rockwool $E_y = 5$ МПа, $G_{xy} = 3$ МПа	«Теплоизоляция» $E_y = 6$ МПа, $G_{xy} = 3,5$ МПа
Напряжения в верхней полке гофрированной обшивки, МПа	-33,7	-20,9	-19,7
Напряжения в нижней обшивке, МПа	10,9	11,2	11,3
Прогиб в середине, мм	5,52	2,5	2,18

Варьирование исходных данных в расчетной модели позволило с достаточной степенью точности получить параметры напряженно-деформированного состояния панели, не прибегая к проведению дорогостоящих экспериментальных исследований.

Выводы. По результатам расчетов панели с ортотропным средним слоем установлено, что несущая способность панели зависит не только от величины напряжений и деформаций в середине пролета, но и от об-

жатия среднего слоя и возникновения неупругих деформаций в обшивках на опорах.

Сравнение экспериментальных данных и результатов расчета с использованием разработанной пространственной расчетной модели показало хорошее (до 5 %) совпадение с экспериментальными данными по напряжениям и деформациям. Разработанные модели и методика расчета могут использоваться для исследования напряженно-деформированного состояния панелей с различной толщиной среднего слоя и различными параметрами ортотропности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильдияров, Е.В. Экспериментальное определение физико-механических характеристик элементов панели [Текст] / Е.В. Ильдияров, С.М. Петров, Н.В. Попков, И.С. Холопов // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных сооружений: Материалы I Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 24-26 мая 2006 г. — Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. — Кн. 2. — 288 с.
2. Басов, К.А. ANSYS [Текст] : справочник пользователя. — М. : ДМК Пресс, 2005. — 640 с.
3. Холопов, И.С. Экспериментальные исследования кровельных панелей «сэндвич» с базальтовым утеплителем [Текст] / И.С. Холопов, М.Д. Мосесов, Е.В. Ильдияров, А.В. Соловьев, С.М. Петров, Н.В. Попков // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 2. — С. 107–111.

ИЛЬДИЯРОВ Е.В., ст. препод.

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ХОЛОПОВ И.С., д-р техн. наук, проф.

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 11.05.11

Ildiyarov E.V., senior lecturer, Samara State of Architecture and Civil Engineering University, Russia

Holopov I.S., doctor of technical sciences, professor, Samara State of Architecture and Civil Engineering University, Russia

STRESS-STRAIN STATE OF THREE-LAYER ROOF PANELS WITH ORTHOTROPIC MIDDLE LAYER

We consider the volumetric stress-strain state of panel in software package ANSYS. We proposed a model of a three-layer roof panel is taking into account the orthotropic properties of the middle layer. We have received the data on the distribution of stresses in the casing and the middle layer, and compared them with the experimental studies.

Key words: orthotropic middle layer, three-layer roof panel, the calculation of sandwich panels.

REFERENCES

1. Ildiyarov, E.V. Experimental determination of physical and mechanical characteristics of the panel elements [Text] / E.V. Ildiyarov, S.M. Petrov, N.V. Popkov, I.S. Holopov // Problems of design, construction and operation of transportation facilities: Proceedings of the I All-Russia scientific - practical conference of students and young scientists, 24-26 May 2006. — Omsk : SibADI, 2006. — Book 2. — 288 p.
2. Basov, K.A. ANSYS [Text] : user's guide. — M. : DMK Press, 2005. — 640 p.
3. Holopov, I.S. Experimental studies of roof panels «sandwich» with basalt insulation [Text] / I.S. Holopov, M.D. Mosesov, E.V. Ildiyarov, A.V. Solov'ev, S.M. Petrov, N.V. Popkov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 2.— P. 107–111.

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 621.926.4

Д.О. БАЙДЖАНОВ, С.Р. СИХИМБАЕВ, М.Р. СИХИМБАЕВ

МЕЛЬНИЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОГО И СВЕРХТОНКОГО ПОМОЛА

Приводятся сведения о технологической линии с использованием мельницы ударного импульса, предназначеннной для тонкого и сверхтонкого измельчения сыпучих материалов и получения безклинкерного активного вяжущего (цемента) высоких марок, в котором реализуется энергонапряженный режим измельчения материала.

Ключевые слова: технологическая линия, безклинкерные активные вяжущие, меха-ноактивация, механохимия, мельница ударного импульса.

Тонкое измельчение способствует улучшению однородности смесей при производстве строительных материалов; ускорению и повышению глубины протекания гетерогенных химических реакций; повышению интенсивности сочетаемых с ним других технологических процессов (перемешивание, сушка, обжиг, химические реакции); снижению применяемых температур и давлений; улучшению физико-механических свойств и структуры материалов и изделий (бетон, керамика, огнеупоры и т.п.); повышению красящей способности пигментов и красителей; активности адсорбентов и катализаторов; переработке полимерных композиций, включающих высокодисперсные наполнители, отходов производства, бракованных и изношенных изделий.

В Карагандинском государственном техническом университете группой ученых была сконструирована технологическая линия с использованием мельницы ударного импульса (МУИ), предназначенная для тонкого и сверхтонкого измельчения сыпучих материалов и получения безклинкерного активного вяжущего (цемента) высоких марок, в котором реализуется энергонапряженный режим измельчения материала.

Экспериментальные испытания мельницы проводились с целью проверки работоспособности, эксплуатационной надежности, определения производительности, а также качества полученного помола и соответствия требованиям безопасности.

Основные узлы мельницы (рис. 1), являющейся высокоскоростным устройством, — роторы, на которых по концентрическим окружностям расположены било-пальцы; корпус, состоящий из двух соприкасающихся цилиндров, с обеих сторон закрытый крышками; валы, служащие осью вращения роторов; электродвигатели.

Роторы приводятся во вращение от электродвигателя посредством клиноременной передачи. Количество оборотов более 5 000 в минуту.



Рис. 1. Мельница ударного импульса

Все агрегаты расположены на станине, которая жестко закреплена анкерными болтами на массивном фундаменте.

В бункер мельницы производится подача измельчаемого материала с модификаторами посредством шнеков. Масса подаваемых через шnek материалов регулируется дозаторами.

Необходимость применения нескольких шнеков обусловлена физико-механическими свойствами и разновидностями исходного измельчаемого материала для получения требуемого помола. Управляет работой мельницы один оператор, а помольным комплексом — три оператора. Обслуживание мельницы приведено в инструкции по эксплуатации.

Технические характеристики МУИ

Производительность — 2,5 т/ч,
Мощность привода — 60 кВт,
Исходный материал — до 10 мм,
Тонкость помола — до 10^{-6} мкм,
Влажность материала — до 10 %,
Твердость материала — до 8 ед. по шкале Мооса,
Вес мельницы — 1200 кг,
Размеры — 2000 × 1500 × 2000 мм.

Состав комплекса. МУИ, конвейер, дробилка (молотковая, валковая), шнеки, пневмотранспорт, накопительный бункер, дозаторы, микро-

дозаторы, смесители (вибро- и воздушные), упаковочный агрегат, циклоны, вентилятор высокого давления, комбинированный смеситель.

Данные об испытательном пространстве. Эксперименты проводились в закрытом помещении (бывший цех ТОО КМЗ им. Пархоменко) габаритами $30 \times 20 \times 8$ м.

Данные об измерительной аппаратуре. Весы складские, напольного типа с пределами взвешивания от 1 до 2000 кг CAS DB-1H-150; весы электронные, лабораторные, гидростатические ВЛ-МГ4; сита лабораторные; секундомер; тахометр 2235 А; прибор для определения удельной поверхности тонкодисперсных материалов.

Результаты испытаний. Мельница ударного импульса показала безотказную работоспособность в течение 4 ч непрерывной работы, соответствует требованиям безопасности, эксплуатационной надежности и удобствам в управлении. Поломок во время испытаний не наблюдалось. Исследования физико-механических свойств тонкомолотых вяжущих веществ были произведены в специализированной лаборатории («Институт Карагандинский Промстройпроект» Испытательный Центр).

Испытания образцов кубиков показали прочность на сжатие 61,3–65,7 МПа, а на сопротивление изгибу составили не менее 6,50–7,40 МПа. При взвешивании конечной продукции производительность МУИ оказалась равной при влажности 1 % — 3,44–3,55 т/ч; при влажности 10 % — 2,36–2,52 т/ч.

На этом оборудовании можно получать цементы различного характера:

- медленно твердеющие;
- нормально твердеющие;
- быстро твердеющие;
- особо быстро твердеющие.

Полученная марка безклинкерного цемента от М 300 до 800. Исследование полученного помола производилось на:

1) сканирующем электронном микроскопе VEGA\LSU. Источник электронов на основе вольфрамового катода (катода с термоэлектронной эмиссией):

- ускоряющее напряжение 200 В — 30 кВ, ток зонда 1 пА — 2 мкА;
- разрешение 3 нм (при 30 кВ), увеличение до $\times 1\,000\,000$;
- возможность работы при низком вакууме в камере (до 500 Па);
- детекторы вторичных электронов (SE), отраженных электронов (BSE);

2) системе микроанализа INCA Energy 350 с азотным энергодисперсионным спектрометром INCA PentaFETx3:

- детектор типа Si(Li);
- активная площадь кристалла детектора 30 мм^2 ;
- спектральное разрешение на линии Mn K_α не хуже 133 эВ;
- охлаждение детектора жидким азотом;
- система управления разверткой микроскопа;
- дополнительный программный модуль для элементного картирования (в том числе количественного).

Микроскопы TESCAN оснащены дополнительным программным модулем «Морфология». Этот модуль позволяет «оконтуриТЬ», а затем разделить отдельные частицы, исходя из информации о яркости объекта (в градациях серого). После выделения объектов построены распределения по различным параметрам частиц (по размерам, площадям, периметрам и т.д., всего 40 наименований) и классифицированы частицы по

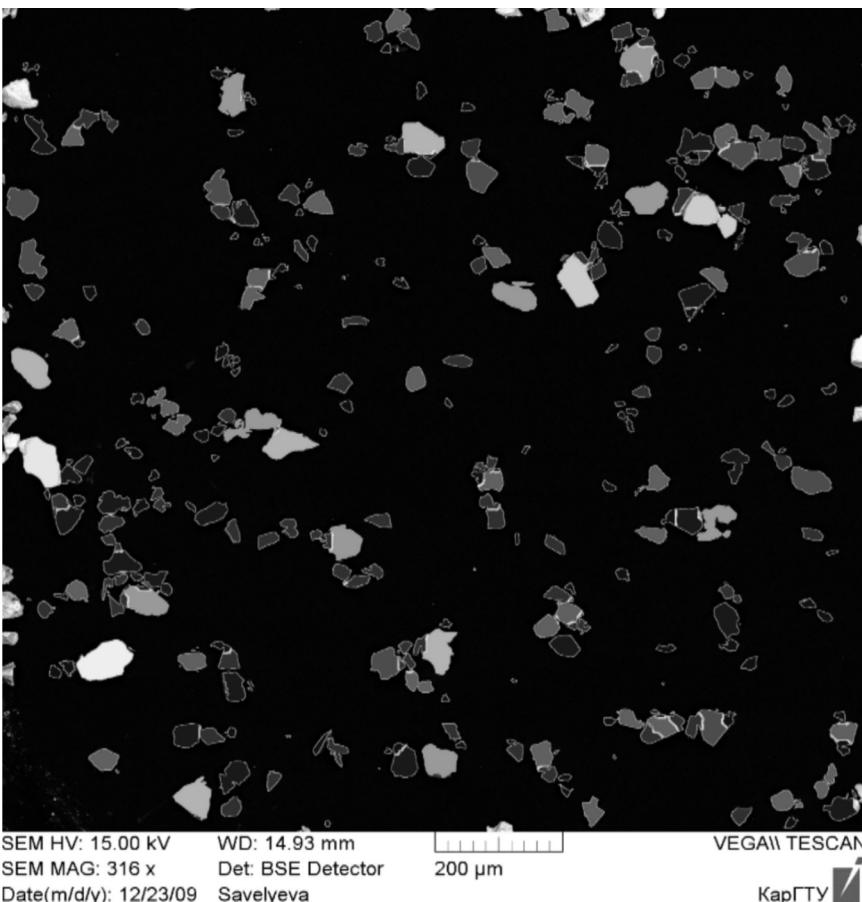


Рис. 2. «Оконтуривание» частиц на изображении с помощью программного модуля «Морфология»

заданным вручную условиям. В образце случайным образом выбран участок площадью 462,4 мкм². На рис. 2 приведены результаты «оконтуривания» частиц после помола.

Частицы окрашены в разные цвета в соответствии со своими площадями. Частицы, непосредственно прилегающие к границам изображения, не классифицируются, так как представлены на изображении неполностью.

Статистика распределений морфологических параметров

Параметры	Площадь, мкм ²	Длина, мкм	Ширина, мкм
Среднее	541,238	27,900	22,117
Стандартное отклонение	666,396	20,105	16,851
Минимум	1,567	1,770	0,885
Максимум	4097,242	86,690	76,511

Всего проанализировано 363 частицы, для каждой из которых были вычислены 3 параметра: длина, ширина и площадь. Сводка основных параметров приведена в таблице.

Кроме простого помола (снижение исходной крупности) требуется еще в процесс помола вводить и высокоэффективно перемешивать раз-

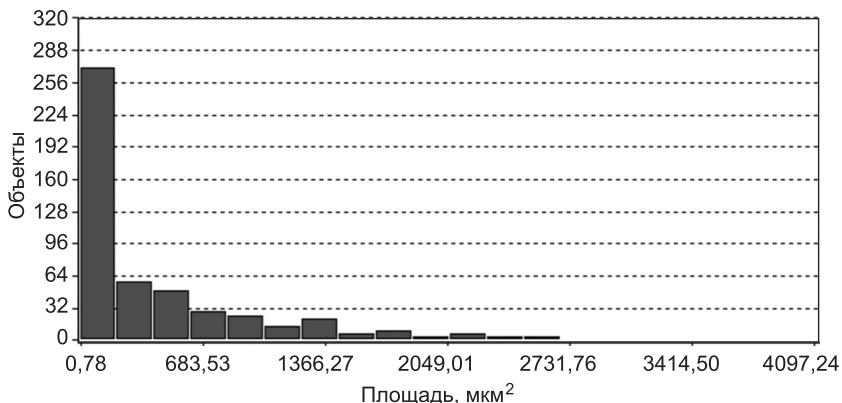


Рис. 3. Распределение частиц по площадям (вдоль оси OY — количество частиц данной площади)

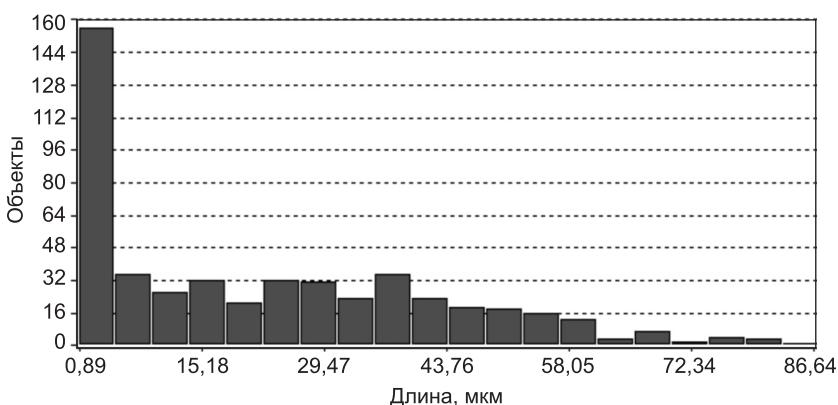


Рис. 4. Распределение частиц по длинам (вдоль оси OY — количество частиц данной длины)

личные добавки для снижения водопотребления, что мельнице ударного импульса также удается очень хорошо.

Общеизвестно, что сверхтонкий совместный помол клинкера и кварцевого песка (или цемента и кварцевого песка) позволяет снизить в 2–5 раз содержание клинкера в помоле и соответственно снизить себестоимость получаемого нового вяжущего с сохранением и даже увеличением его свойств по сравнению с чистым цементом. Единственная проблема до сих пор состояла в отсутствии оборудования для сверхтонкого помола песка ввиду чрезвычайно высокой абразивности последнего. Эту задачу можно решить с помощью мельницы ударного импульса. Кроме песка, в цементе для снижения стоимости последнего можно использовать тонкомолотые metallургические шлаки, а также золы теплоэлектростанций и т.п., что снизит на 20–30 % расход клинкерной части.

Все показатели качества помола оказались на уровне расчетных и по результатам лабораторных исследований (см. рис. 2–4) тонкость помола составила до 10^{-6} .

БАЙДЖАНОВ Д.О., д-р техн. наук, проф.

Карагандинский государственный технический университет, Казахстан

СИХИМБАЕВ С.Р., канд. техн. наук, доц.

Карагандинский государственный технический университет, Казахстан

СИХИМБАЕВ М.Р., д-р экон. наук, проф.

Карагандинский государственный технический университет, Казахстан

Получено после доработки 06.06.11

Baidzhanov D.O., doctor of technical sciences, professor, Karaganda State Technical University, Kazahstan

Sihimbaev S.R., candidate of technical sciences, assistant professor, Karaganda State Technical University, Kazahstan

Sihimbaev M.R., doctor of economic sciences, professor, Karaganda State Technical University, Kazahstan

MILL OF GETTING THIN AND EXACT THRESH

Information on a technological line with use of striking impulse mill intended for thin and superthin of crushing of loose materials and reception unclinkered active stickies (cement) of high marks in which are resulted the power busy schedule of crushing of a matereal is realized.

Key words: technological line, unclinkered active stickies, mechanoactivation, mechanochemistry, striking impulse mill.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
 - *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организациии. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5") или диске 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Суг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008);

— сведения об авторах: *фамилии, инициалы, ученые степени, звания* (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и *английском языках*;

— почтовые адреса, телефоны и *e-mail* авторов;

— *название статьи на английском языке*;

— *аннотацию на английском языке*;

— *ключевые слова на английском языке*;

— *библиографический список на английском языке*.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следуют набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. *Русские и греческие буквы* и индексы, а также *цифры*, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются *прямым шрифтом*. *Латинские буквы* набирать *курсивом*. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2011 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины и их обозначения, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052–78 (СН 528–80).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2011 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1260 р.

Цена отдельного номера — 210 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 6 (630) 2011

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Т.П. Петроченко*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*