

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 (654)

Июнь 2013 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. Чернышов

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

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

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 21.06.13. Формат 70×108 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 11,90+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 3646.

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16.

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Овчинников И.И., Ми-
гунов В.Н.** Напряжен-
но-деформированное со-
стояние и долговечность
железобетонной пластины
при одновременном дейст-
вии нагрузки и хлоридной
агрессии 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МА- ТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

**Машкин Н.А., Еле-
син М.А., Низамутди-
нов А.Р., Ботвиньева И.П.** Гидрохимическое модифи-
цирование бетонных смесей
затворением в известково-
серном отваре 16

**Каклюгин А.В., Трищен-
ко И.В., Козлов А.В.,
Мирская М.В.** Мелкозер-
нистый керамзитобетон на
основе безожигового ан-
гидритового вяжущего 23

**Колпаков А.В., Абдра-
химов В.З.** К вопросу о
фазовом составе керамиче-
ских материалов на основе
межсланцевой глины, отхо-
дов горючих сланцев и уг-
леобогащения 30

ЭКОНОМИКА И ОРГА- НИЗАЦИЯ СТРОИ- ТЕЛЬСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРО- ИТЕЛЬНОГО ПРОИЗ- ВОДСТВА

**Гныря А.И., Титов М.М.,
Кузнецов С.М.** Комплекс-
ная оценка надежности

применения поворотного бункера для электроразогрева бетонных смесей	43
Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А., Аникин В.Н. Экспериментальное исследование радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами	52
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В., Миллер Ю.В. Экспресс-оценка эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий	57
Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л. Повышение эффективности очистки речных вод с высоким содержанием органических соединений	64
Назиров Р.А., Белов Т.В. Особенности формирования температурных полей вблизи анкера крепления каркаса навесных вентилируемых фасадов	76
Кононова М.С. Сравнительный анализ технико-экономических показателей некоторых конструкций бесканальной прокладки тепловых сетей	84
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Носов С.В. Пути повышения эффективности уплотнения асфальтобетонных смесей и грунтов в дорожном строительстве на современном этапе	91
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Пузанок А.И., Ходаков И.В. Моделирование отрывного течения на входе в квадратный всасывающий канал	97
Готман А.Л., Соколов Л.Я. Исследования работы комбинированных свай переменного сечения на горизонтальную нагрузку и их расчет	105
Козлов И.М. Комплексный подход при формировании комплекта оборудования для обеспечения энергоэффективности многоэтажного жилого дома	115
Романович А.А. Исследования направленной подачи анизотропных материалов в ПВИ с валковым устройством	125
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Столповский Г.А., Лисов С.В., Аркаев М.А. Оценка влияния конструктивных параметров витого стержня крестообразного поперечного сечения на его несущую способность при выдергивании	130

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.073.012.45.042

И.И. ОВЧИННИКОВ, В.Н. МИГУНОВ

НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ И ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ

Рассмотрены вопросы использования теории структурных параметров при построении модели армированной пластины при воздействии нагрузки и хлоридсодержащей среды с учетом феноменологического подхода. Приведены результаты расчета напряжено-деформированного состояния долговечности армированной жестко защемленной по контуру железобетонной пластины при воздействии равномерно распределенной нагрузки и агрессивной среды.

Ключевые слова: агрессивная среда, хлориды, железобетонный элемент, предельное состояние, обобщенная модель деформирования, напряжено-деформированное состояние.

Проблема оценки долговечности и анализа кинетики напряженного состояния армированной прямоугольной пластины, являющейся расчетной схемой для многих плоских железобетонных конструктивных элементов, находящих широкое применение в промышленном, гражданском и транспортном строительстве и испытывающих воздействие агрессивных сред, представляет интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения.

В нормативных документах различных стран пока еще отсутствуют достаточно надежные правила определения срока службы эксплуатируемых конструкций, а проектирование новых конструкций базируется все еще на традиционной методологии, сводящейся к выполнению нескольких требований к бетону: класс бетона, содержание цемента, водоцементное отношение, толщина защитного слоя и ширина раскрытия трещин.

Данная методология обеспечения заданной долговечности показала свою неэффективность. Выходом из этого положения является разработка моделей и методов прогнозирования напряжено-деформированного состояния железобетонных элементов, их долговечности при действии реальных нагрузок и агрессивных эксплуатационных сред. Существующие подходы к моделированию взаимодействия бетонов с хлоридсодержащей средой и разрушения бетона в хлоридсодержащих средах рассмотрены в работах [1–3]. Ниже предложен феноменологический подход, основывающийся на рассмотрении армированного материала как неоднородной среды с использованием методологии строительной механики [4] к моделированию кинетики изменения напряжено-деформированного состояния и определению долговечности прямоугольной армированной пластины, подвергающейся совместному действию нагрузки и хлоридсодержа-

щей среды. Обобщенная модель деформирования армированной пластины с учетом ее взаимодействия с агрессивной средой представлена в виде совокупности моделей: 1) модели конструктивного элемента; 2) модели наружения; 3) модели деформирования материалов пластины; 4) модели воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды; 5) модели разрушения материала, трактуемого как процесс накопления повреждений.

Модель конструктивного элемента пластины, исходя из технической теории изгиба с учетом соответствующих гипотез, дается в виде уравнения, описывающего равновесие пластины в усилиях:

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -p. \quad (1)$$

Здесь M_x, M_y — изгибающие моменты, H — крутящий момент, p — интенсивность внешней нагрузки.

Модель и программа нагружения пластины определяются видом моделируемого эксплуатируемого конструктивного элемента. В данной работе принимается, что пластина либо равномерно, либо локально нагружена статической нагрузкой по поверхности, причем нагрузка условно приложена к срединной плоскости.

Модель деформирования материала пластины, находящейся в плоском напряженном состоянии и подвергающейся воздействию хлоридсодержащей среды, принимается в виде физических соотношений для армированного материала как для железобетона. Основные соотношения, описывающие поведение элемента пластины в условиях плоского напряженного состояния, складываются из физических соотношений для бетона, работающего в условиях плоского напряженного состояния, и физических соотношений для арматуры, испытывающей одноосное напряженное состояние для каждого направления армирования. Влияние эффекта времени на процесс деформирования учитывается путем введения параметра поврежденности в физические соотношения и конструированием специальных уравнений накопления повреждения для этого параметра.

Физические соотношения для бетона принимаются в виде [4]:

$$\sigma_x^b = \frac{\Psi_j}{1-v_j^2} (e_x + v_j e_y); \quad \sigma_y^b = \frac{\Psi_j}{1-v_j^2} (e_y + v_j e_x); \quad \tau_{xy}^b = \frac{\Psi_j}{2(1+v_j)} e_{xy}, \quad (2)$$

где v_j — коэффициент поперечной деформации, $j = 1, 2$; $\sigma_x^b, \sigma_y^b, \tau_{xy}^b$ — компоненты тензора напряжений, e_x, e_y, e_{xy} — то же, деформаций, причем:

$$\begin{aligned} e_x &= \varepsilon_x + \chi_x z; \quad e_y = \varepsilon_y + \chi_y z; \quad e_{xy} = \varepsilon_{xy} + 2\chi_{xy} z; \\ \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \chi_x &= -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \chi_{xy} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \end{aligned} \quad (3)$$

В этих формулах $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ — деформации точек срединной поверхности, χ_x, χ_y — кривизны в этих точках, χ_{xy} — кручение, z — координаты рассматриваемых точек, отсчитываемые от срединной плоскости, u, v, w — перемещения в направлении осей x, y, z .

Принимается, что любая точка пластины находится в растянутом состоянии ($j = 1$), если $\sigma_0 \geq 0$, и в сжатом состоянии ($j = 2$), если $\sigma_0 < 0$. Здесь σ_0 — среднее напряжение, определяемое выражением:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}. \quad (4)$$

Функция Ψ_j имеет вид

$$\Psi_j = \frac{\Phi_j(e_u, C, \Pi)}{e_u}, j = 1, 2, \quad (5)$$

где Φ_j — функции, аппроксимирующие обобщенную кривую деформирования бетона $\sigma_u^b(e_u)$ при растяжении ($j = 1$) и при сжатии ($j = 2$); σ_u^b — интенсивность напряжений; e_u — интенсивность деформаций. Влияние концентрации хлоридсодержащей среды C и уровня поврежденности Π учитывается при задании выражений для Φ_j .

Физические соотношения для арматуры имеют вид:

$$a) \text{ для направления } x \quad \sigma_x = f_x(e_x); \quad (6)$$

$$b) \text{ для направления } y \quad \sigma_y = f_y(e_y). \quad (7)$$

Здесь f_x — функция, аппроксимирующая диаграмму деформирования стержневой арматуры, уложенной в направлении x , а f_y — в направлении y .

Модель воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды состоит из нескольких стадий: проникание среды в объем пластины; взаимодействие ее с материалом, приводящее к изменению механических характеристик бетона и коррозии арматуры; деформирование и разрушение с учетом происходящего процесса деградации.

Модель проникания хлоридсодержащей среды в пластину описывается с помощью уравнения диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \operatorname{div}(D \cdot \operatorname{grad}C) - g(C), \quad (8)$$

где t — время; D — коэффициент диффузии; $g(C)$ — скорость связывания проникшей среды.

Распределение концентрации хлоридсодержащей среды C по объему пластины в любой момент времени определяется решением этого уравнения с начальными и граничными условиями, соответствующими рассматриваемой задаче.

Модель воздействия хлоридсодержащей среды на бетон в предположении, что бетон является нелинейным разносопротивляющимся материалом, имеет вид

$$\sigma_u^b = [A_j^b(C) \cdot e_u - B_j^b(C) \cdot e_u^{m_j(C)}] / (1 + \lambda \Pi), \quad (9)$$

где $A_j^b(C)$, $B_j^b(C)$, $m_j(C)$ — функции, учитывающие влияние концентрации хлоридсодержащей среды C на деформирование бетона при растяжении ($j = 1$) и сжатии ($j = 2$), а функция $(1 + \lambda \Pi)$ учитывает влияние уровня поврежденности Π на деформирование бетона.

Включение функции поврежденности Π в физические соотношения для бетона (9) позволяет отразить влияние ползучести бетона на процесс его деформирования через изменение диаграммы деформирования с течением времени под влиянием поврежденности.

Модель воздействия хлоридсодержащей среды на арматуру при отсутствии изменения механических свойств арматуры принимается в виде диаграммы Прандтля:

$$\sigma = \begin{cases} E \cdot e, & \sigma < \sigma_t, \\ \sigma_t, & \sigma \geq \sigma_t, \end{cases} \quad (10)$$

где E — модуль упругости; σ_t — предел текучести.

Процесс коррозионного разрушения арматуры состоит из двух стадий: инкубационного периода t_i , в течение которого концентрация хлоридов в точке расположения арматурного стержня изменяется от начального до критического значения C_{kp} , и стадии интенсивного коррозионного разрушения, в течение которой происходит коррозионный (чаще всего локальный) износ арматуры.

Кинетика коррозионного износа арматуры описывается функцией [4]:

$$\delta = \begin{cases} 0, & t < t_i, \\ (\delta_k \cdot t) / (t + T), & t \geq t_i, \end{cases} \quad (11)$$

где δ_k — предельная глубина коррозии; T — параметр.

Исходя из развития коррозионного износа арматурного стержня круглого сечения с начальным диаметром d_0 по хорде, площадь его сечения с учетом коррозионного поражения имеет математическую зависимость в виде

$$F(t) = \begin{cases} (\pi \cdot d_0^2)/4, & t < t_i, \\ (\pi \cdot d_0^2)/4 - d_0^2 \cdot (S - \sin S)/8, & t \geq t_i, \end{cases} \quad (12)$$

где $S = 2\arccos(1 - (2 \cdot \delta / d_0))$.

Модель разрушения материала армированной пластины рассматривается с процесса разрушения бетона, так как в подавляющем большинстве случаев разрушение армированных конструкций начинается с разрушения бетонной матрицы. Процесс разрушения бетона рассматривается как процесс накопления дисперсных повреждений, распределенных по объему конструктивного элемента. Уровень поврежденности оценивается с помощью параметра поврежденности Π , равного нулю в начальный момент воздействия агрессивной среды и равного единице в момент разрушения. Скорость изменения параметра Π принимается зависящей от интенсивности напряжений σ_i^b , вида напряженного состояния, концентрации хлоридсодержащей среды C и достигнутого значения поврежденности Π . В результате уравнение накопления повреждений имеет вид

$$d\Pi/dt = a_j(C) [\sigma_i^b / (1 - \Pi)] \varphi_j(C), \quad \Pi(0) = 0, \quad \Pi(t_p) = 1, \quad j = 1, 2, \quad (13)$$

где t_p — время до разрушения точки пластины, в которой поврежденность достигает предельного уровня $\Pi = 1$; $a_j(C)$ и $\varphi_j(C)$ — коэффициенты уравнения накопления повреждений, зависящие от концентрации агрессивной среды C в точке пластины и от вида напряженного состояния в этой точке.

Здесь, как и ранее, принимается, что точка пластины находится в растянутом состоянии ($j = 1$), если $\sigma_0 \geq 0$, и в сжатом состоянии ($j = 2$), если $\sigma_0 < 0$.

Время до разрушения пластины в агрессивной среде t_p принимается в предположении, что локальное разрушение (в точке пластины) отождествляется с разрушением всей пластины.

Физические соотношения для усилий и деформаций в сечениях, возникающих в железобетонной пластине, складываются из усилий, воспри-

нимаемых бетоном, и усилий, воспринимаемых арматурой, причем на сдвиг работает только бетон.

С учетом этого имеем:

$$\begin{aligned} M_x &= M_x^b + M_x^a; \quad M_y = M_y^b + M_y^a; \quad H = H^b; \\ N_x &= N_x^b + N_x^a; \quad N_y = N_y^b + N_y^a; \quad S = S^b. \end{aligned} \quad (14)$$

Выражения для частей моментов и усилий, воспринимаемых бетоном:

$$\begin{aligned} M_x^b &= \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0} \sigma_{xj}^b z dz + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xi}^b z dz, \quad M_y^b = \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0} \sigma_{yj}^b z dz + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \sigma_{yi}^b z dz, \\ H^b &= \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0} \tau_{xyj}^b z dz + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \tau_{xyi}^b z dz, \quad N_x^b = \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0} \sigma_{xj}^b dz + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xi}^b dz, \\ N_y^b &= \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0} \sigma_{yj}^b dz + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \sigma_{yi}^b dz, \quad S^b = \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0} \tau_{xyj}^b dz + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \tau_{xyi}^b dz. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь $z = z_0(x, y)$ уравнение нейтральной поверхности, определяемой из условия $\sigma_0 = 0$ и отделяющей растянутую зону пластиинки от сжатой; i, j — индексы, характеризующие сжатую и растянутую зону пластиинки. Если нижняя зона изгибаемой пластиинки растянута, то $j = 1$, $i = 2$; если нижняя зона изгибаемой пластиинки сжата, а верхняя растянута, то $j = 2$, $i = 1$.

Выражения для z_0 получаются из условия:

$$\sigma_0^b = \frac{(\sigma_x^b + \sigma_y^b)}{3} = \frac{\Psi_j}{1 - \chi_j^2} [(1 + \chi_j)(e_x + e_y)] = 0, \quad (16)$$

$$z_0(x, y) = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{\chi_x + \chi_y}. \quad (17)$$

Для получения выражений для моментов и усилий, воспринимаемых арматурой, арматурные стержни в направлении координаты x заменяются сплошным эквивалентным слоем металла переменной толщины. Переменность толщины эквивалентного слоя в направлении координаты x определяется законами изменения площади поперечного сечения арматурных стержней в направлении координаты x . Переменность толщины эквивалентного слоя в направлении координаты y определяется аппроксимацией площадей арматурных стержней в направлении y некоторой функцией, задающей закон изменения толщины эквивалентного слоя в направлении y .

Обозначим η_x, η_y — толщины эквивалентных армирующих слоев в верхней части пластиинки, сопоставимых арматуре в направлениях соответственно x, y ; λ_x, λ_y — толщины эквивалентных армирующих слоев в нижней части пластиинки, сопоставимых арматуре в направлениях соответственно x, y ; z_{η_x}, z_{η_y} — ординаты центров тяжести эквивалентных

армирующих слоев в верхней части пластинки; $z_{\lambda_x}, z_{\lambda_y}$ — ординаты центров тяжести эквивалентных армирующих слоев в нижней части пластины.

Изменение сечений арматурных стержней под влиянием коррозионного износа приводит к изменению толщин $\eta_x, \eta_y, \lambda_x, \lambda_y$ эквивалентных армирующих слоев, однако не касается величины координат центров тяжести $z_{\eta_x}, z_{\eta_y}, z_{\lambda_x}, z_{\lambda_y}$. Таким образом, под влиянием коррозионного износа толщина эквивалентных армирующих слоев будет изменяться с неизменным их положением по толщине пластины.

С учетом введенных гипотез получим выражения для части моментов и усилий, воспринимаемых арматурой:

$$\begin{aligned} M_x^a &= \sigma_x^a(z_{\lambda_x})\lambda_x z_{\lambda_x} + \sigma_x^a(z_{\eta_x})\eta_x z_{\eta_x}, \\ M_y^a &= \sigma_y^a(z_{\lambda_y})\lambda_y z_{\lambda_y} + \sigma_y^a(z_{\eta_y})\eta_y z_{\eta_y}, \\ N_x^a &= \sigma_x^a(z_{\lambda_x})\lambda_x + \sigma_x^a(z_{\eta_x})\eta_x, \\ N_y^a &= \sigma_y^a(z_{\lambda_y})\lambda_y + \sigma_y^a(z_{\eta_y})\eta_y. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь $\sigma_x^a(z_{\lambda_x})$ — напряжение в эквивалентном армирующем слое, работающем в направлении оси x и расположенным в нижней части пластины на расстоянии z_{λ_x} от срединной поверхности; $\sigma_x^a(z_{\eta_x})$ — напряжение в эквивалентном армирующем слое, работающем в направлении оси x и расположенным в верхней части пластины на расстоянии z_{η_x} от срединной поверхности; $\sigma_y^a(z_{\lambda_y})$ — напряжение в эквивалентном армирующем слое, работающем в направлении оси y и расположенным в нижней части пластины на расстоянии z_{λ_y} от срединной поверхности; $\sigma_y^a(z_{\eta_y})$ — напряжение в эквивалентном армирующем слое, работающем в направлении оси y и расположенным в верхней части пластины на расстоянии z_{η_y} от срединной поверхности.

С учетом условия отсутствия продольных усилий в сечении пластины получаются следующие окончательные выражения для M_x, M_y и H :

$$\begin{aligned} M_x &= D_{11}\chi_x + D_{12}\chi_y, \\ M_y &= D_{21}\chi_x + D_{22}\chi_y, \\ H &= D_3\chi_{xy}, \end{aligned} \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} D_{11} &= [f_{11}(J_1^b + J_{x1}^a) + (J_2^b + J_{x2}^a) + f_{21}I_1^b], \\ D_{12} &= [f_{12}(J_1^b + J_{x1}^a) + f_{22}I_1^b + I_2^b], \\ D_{21} &= [f_{21}(J_1^b + J_{y1}^a) + f_{11}I_1^b + I_2^b], \\ D_{22} &= [f_{22}(J_1^b + J_{y1}^a) + (J_2^b + J_{y2}^a) + f_{12}I_1^b], \end{aligned}$$

$$D_3 = \left[2T_2^b - 2 \frac{(T_1^b)^2}{T_0^b} \right]. \quad (20)$$

В выражениях (20):

$$\begin{aligned} f_{11} &= \frac{I_0^b I_1^b - (J_0^b + J_{y0}^a)(J_1^b + J_{x1}^a)}{(J_0^b + J_{x0}^a)(J_0^b + J_{y0}^a) - (I_0^b)^2}, \\ f_{12} &= \frac{I_0^b (J_1^b + J_{y1}^a) - (J_0^b + J_{y0}^a) I_1^b}{(J_0^b + J_{x0}^a)(J_0^b + J_{y0}^a) - (I_0^b)^2}, \\ f_{21} &= \frac{I_0^b (J_1^b + J_{x1}^a) - (J_0^b + J_{x0}^a) I_1^b}{(J_0^b + J_{x0}^a)(J_0^b + J_{y0}^a) - (I_0^b)^2}, \\ f_{22} &= \frac{I_0^b I_1^b - (J_0^b + J_{x0}^a)(J_1^b + J_{y1}^a)}{(J_0^b + J_{x0}^a)(J_0^b + J_{y0}^a) - (I_0^b)^2}. \end{aligned} \quad (21)$$

Определим жесткости, входящие в эти выражения для бетона:

$$\begin{aligned} J_k^b &= \int_{\frac{h}{2}}^{z_0} \alpha_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \alpha_i z^k \partial z, \quad \kappa = 0, 1, 2; \\ I_k^b &= \int_{\frac{h}{2}}^{z_0} \alpha_j v_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \alpha_i v_i z^k \partial z, \quad \kappa = 0, 1, 2; \\ T_k^b &= \int_{\frac{h}{2}}^{z_0} \beta_j z^k \partial z + \int_{z_0}^{\frac{h}{2}} \beta_i z^k \partial z, \quad \kappa = 0, 1, 2; \end{aligned} \quad (22)$$

для арматуры:

$$J_{xk}^a = E_a (\lambda_x z_{\lambda_x}^k + \eta_x z_{\eta_x}^k), \quad J_{yk}^a = E_a (\lambda_y z_{\lambda_y}^k + \eta_y z_{\eta_y}^k), \quad \kappa = 0, 1, 2. \quad (23)$$

В формулах:

$$z_0 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{\chi_x + \chi_y} = -\frac{\chi_x (f_{11} + f_{21}) + \chi_y (f_{12} + f_{22})}{\chi_x + \chi_y}, \quad (24)$$

$$\alpha_j = \frac{\Psi_j}{1 - v_j^2}, \quad \alpha_i = \frac{\Psi_i}{1 - v_i^2}, \quad \beta_j = \frac{\Psi_j}{2(1 + v_j)}, \quad \beta_i = \frac{\Psi_i}{2(1 + v_i)}.$$

Предполагается, что при выводе вышеприведенных выражений арматура и бетон работают совместно, несмотря на коррозионный износ арматуры.

Разрешающее дифференциальное уравнение изгиба армированной пластины в условиях хлоридной коррозии определяется путем подстановки (19) в (1) с учетом (3):

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[D_{11} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[D_{12} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[D_3 \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[D_{21} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[D_{22} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right] \right) = p(x, y). \end{aligned} \quad (25)$$

Решение уравнения (25) с соответствующими граничными условиями позволяет определить напряжения и деформации в любой точке армированной пластины в рассматриваемый момент времени. Полученное дифференциальное уравнение изгиба армированной пластины в сочетании с уравнениями проникания хлоридсодержащей среды, уравнениями накопления повреждений в бетоне и уравнениями коррозионного износа арматуры дают возможность рассчитывать пластины при разном характере нагружения, при разных схемах опирания пластины по контуру (шарнирное, жесткое, их сочетания), разных программах воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды (среда сверху, снизу, среда с обеих сторон и среда, действующая на часть поверхности) с определением времени до разрушения пластины.

Методика расчета напряженно-деформированного состояния и долговечности армированной бетонной пластины в хлоридсодержащей среде предполагает учет задаваемых программ нагружения и схем воздействия хлоридсодержащей среды.

Ниже приведена методика расчета напряженно-деформированного состояния и долговечности армированной пластины с учетом последовательности выполнения следующих этапов расчета:

- прикладывание определенной нагрузки к пластине, которая создает в ней соответствующее напряженно-деформированное состояние;

- при выдерживании этой нагрузки в течение времени от $t = 0$ до $t = t_0$ в бетоне накапливаются повреждения в соответствии с уравнениями (13), но при этом коэффициенты этих уравнений принимаются как для бетона, не поврежденного воздействием хлоридсодержащей среды;

- в момент ($t = t_0$) на поверхности пластины проявляется физическая активность хлоридсодержащей среды, проникающей в материал пластины в соответствии с уравнением диффузии (8) и вызывающей изменение механических характеристик бетона (изменение его диаграммы деформирования). Начинается накопление повреждений в бетоне в соответствии с кинетическими уравнениями (13), коэффициенты которых уже учитывают влияние хлоридсодержащей среды, коррозия арматуры по уравнениям (11), (12), приводящее к изменению напряженно-деформированного состояния;

- при наступлении предельного состояния, вследствие достижения предельного уровня поврежденности ($\Pi = 1$) в любой точке бетонного массива или вследствие достижения предельного уровня напряжений в арматуре, пластина выходит из строя.

Характерные последовательные стадии процесса взаимодействия армированной пластины с хлоридсодержащей средой представлены на рис. 1.

Для решения дифференциального уравнения 4-го порядка в частных производных $D(W) = p$ применяется метод конечных разностей, из-за достаточной простоты в применении, легкости алгоритмизации. Он хоро-

Стадия 0. К пластине прикладывается внешняя нагрузка, хлоридсодержащая среда отсутствует. В пластине возникает исходное напряженно-деформированное состояние



Стадия 1. Под влиянием напряженного состояния происходит накопление повреждений в точках материала пластины, приводящее к изменению характера обобщенной кривой деформирования и соответствующему изменению напряженно-деформированного состояния пластины вследствие влияния повреждений на процесс деформирования. К концу этой стадии ($t = t_0$) в пластине устанавливается определенное напряженно-деформированное и поврежденное состояние



Стадия 2. Устанавливаются граничные условия модели воздействия хлоридсодержащей среды; в нашем случае принимается, что концентрация хлоридов для поверхности пластины увеличивается от 0 до C_0 за определенный промежуток времени $t_{\text{тр}}$



Стадия 3. Происходит проникание хлоридсодержащей среды в бетон и деградация бетона защитного слоя. При этом в пластине изменяется напряженно-деформированное и поврежденное состояние вследствие совместного действия нагрузки, агрессивной среды и происходящего процесса накопления повреждений. Стадия продолжается до момента, когда концентрация хлоридов в месте расположения арматурного стержня, наиболее близкого к поверхности пластины, достигает критического уровня $C_{\text{кр}}$



Стадия 4. На этой стадии продолжается процесс деградации бетона, изменение его механических характеристик, накопление повреждений в нем, а также начинается и происходит коррозионный износ арматурных стержней, в месте расположения которых концентрация хлоридсодержащей среды превышает критическое значение $C_{\text{кр}}$. В результате этого изменение напряженно-деформированного состояния происходит вследствие деградации бетона, коррозии арматуры и накопления повреждений в бетоне



Стадия 5. Наступление предельного состояния какого-либо вида: достижение предельного уровня поврежденности ($\Pi = 1$) в любой точке бетонного сечения, а также достижение предельного уровня напряжений в арматуре

Рис. 1. Схема взаимодействия армированной пластины с хлоридсодержащей средой

шо себя зарекомендовал при расчете пластинок переменной толщины, уравнение изгиба которых внешне сходно с уравнением (25).

Рассмотрим исходные данные для расчета армированной пластины с учетом воздействия хлоридсодержащей среды. Геометрические размеры рассчитываемой армированной плиты (рис. 2) следующие: толщина $h = 0,17$ м; длина $a = 1,99$ м; ширина $b = 1,49$ м.

В расчетах используется зависимость

$$\sigma = (A_j \cdot \varepsilon_u - B_j \cdot \varepsilon_u^3)(1 - kC^\beta) \left(\frac{1}{1 + \lambda\Pi} \right),$$

в которой при растяжении $A_1 = 30,8 \cdot 10^3$ МПа, $B_1 = 130 \cdot 10^9$ МПа; при сжатии $A_2 = 45,2 \cdot 10^3$ МПа, $B_2 = 4,32 \cdot 10^9$ МПа; $k = 0,11$; $\beta = 0,447$; $\lambda = 1$; коэффициент Пуассона для бетона при растяжении и сжатии принят равным 0,2; модуль упругости арматуры $E_a = 180\,000$ МПа, интенсивность равномерно распределенной нагрузки $p = 0 - 0,35$ МПа, параметры уравнения коррозионного износа арматуры $\delta_0 = 3,06 \cdot 10^{-3}$ м, $T = 2414$ сут. Шаг сетки $16 \times 12 \times 72$ (рассматривается четвертая часть пластиинки; для полной пластиинки сетка имеет вид $32 \times 24 \times 72$).

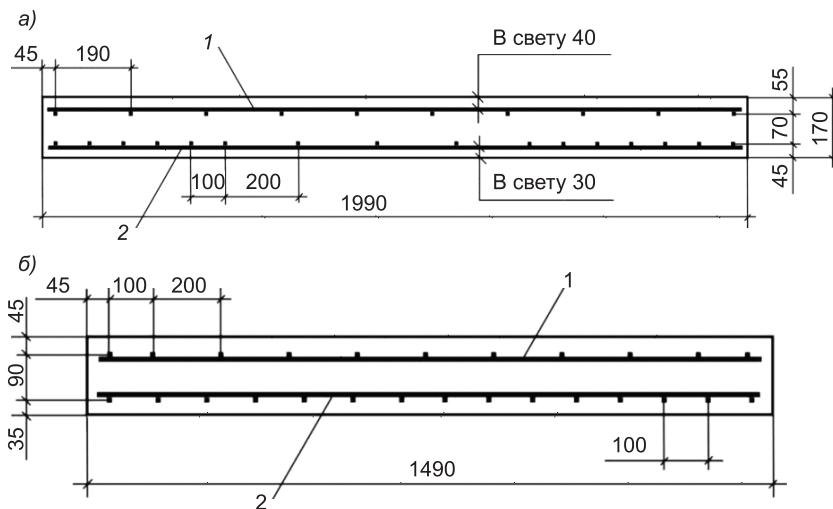


Рис. 2. Армирование плиты ПД 20.15.-6

a — в продольном направлении; *б* — в поперечном направлении; 1 — верхний пояс из арматуры класса АП Ø — 10; 2 — нижний пояс из арматуры класса АП Ø — 10

С использованием специально разработанного программного комплекса произведен расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности армированной пластинки из нелинейного разномодульного материала при совместном действии нагрузки и хлоридсодержащей среды. Рассмотрен случай, когда равномерно распределенная по верхней поверхности пластинки нагрузка действует статически.

Данные анализа напряженно-деформированного и поврежденного состояния пластинки, жестко защемленной по контуру при действии агрессивной среды на верхнюю поверхность пластинки, приведены на рис. 3–7, на которых графически показаны результаты расчета пластинки при интенсивности нагрузки 0,2 МПа.

На рис. 3, *a*, *б* приведены эпюры прогибов по главным сечениям пластинки в моменты времени $t = 1500$ сут (штриховая линия), $t = 5000$ (пунктирная линия) и $t = 11\,270$ сут (сплошная линия), а на рис. 4, *a*, *б* — эпюры соответствующих кривизн. Характер распределения поверхности z_0 , отделяющей сжатую зону пластинки от растянутой, показан на рис. 5, *a*, *б*. На

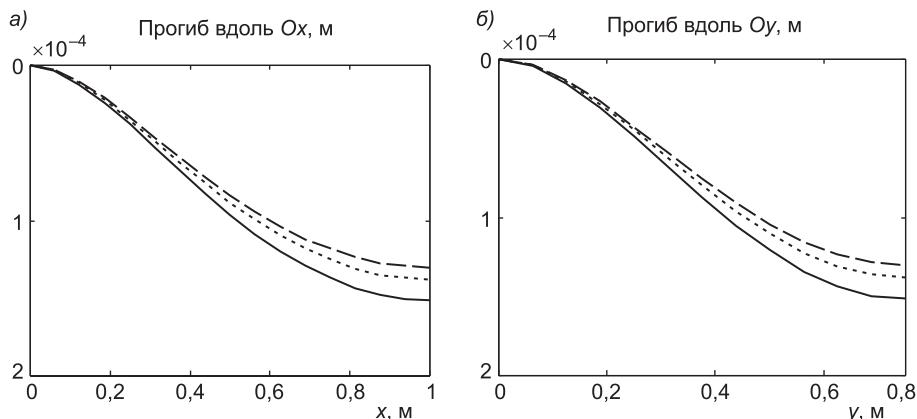


Рис. 3. Эпюры прогибов по главным сечениям пластинки
а — вдоль Ox ; *б* — вдоль Oy

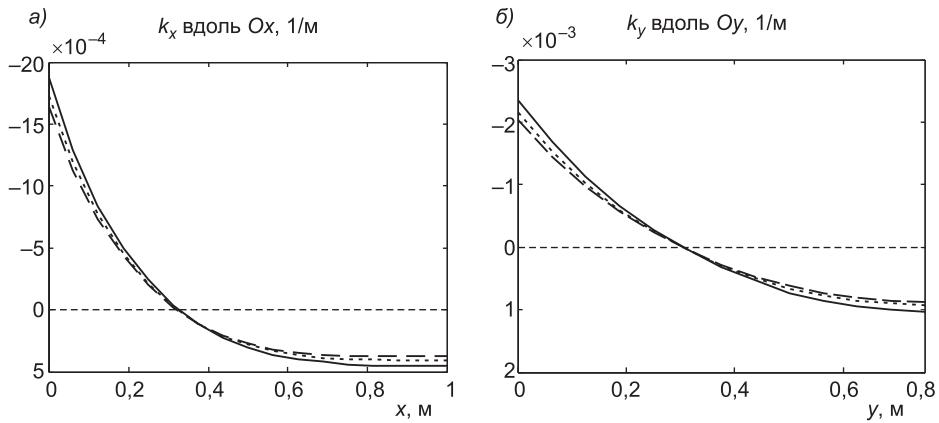


Рис. 4. Эпюры кривизны по главным сечениям пластинки
Условные обозначения см. на рис. 3

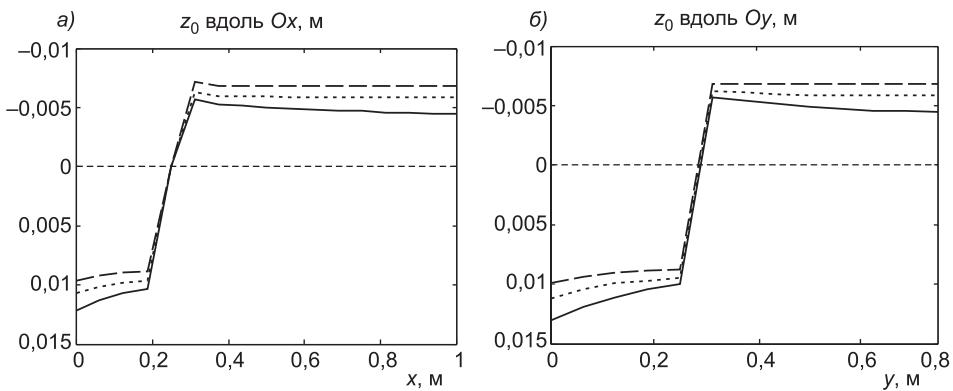


Рис. 5. Распределение поверхности, отделяющей сжатую зону пластинки от растянутой
Условные обозначения см. на рис. 3

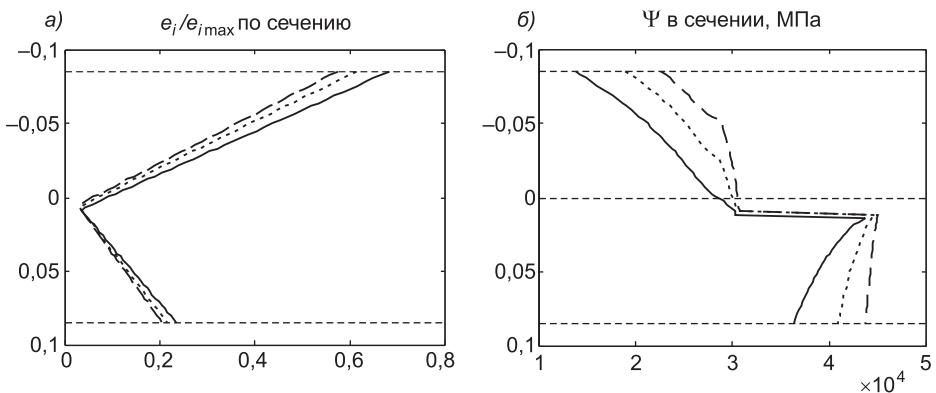


Рис. 6. Эпюры по толщине пластинки
а — e_i/e_{imax} в середине ее длинной стороны; б — ψ секущего модуля

рис. 6, а приведены эпюры e_i/e_{imax} по толщине пластинки в середине ее длинной стороны, а на рис. 6, б — в этом же сечении эпюры секущего модуля ψ для соответствующих моментов времени. На рис. 7, а изображены эпюры поврежденности по толщине в центральной точке пластинки в указанные моменты времени, а рис. 7, б иллюстрирует кинетику изменения

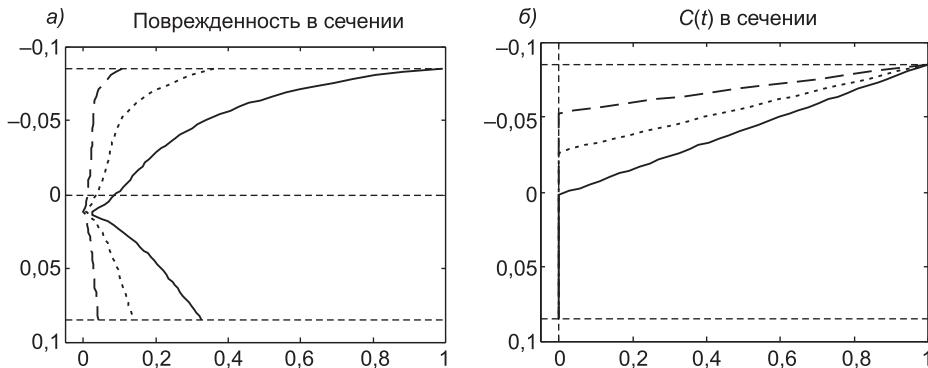


Рис. 7. Эпюра поврежденности по толщине в центральной точке пластинки в середине ее длинной стороны (а) и кинетика изменения эпюр концентрации хлоридсодержащей среды по толщине в средней точке пластины (б)

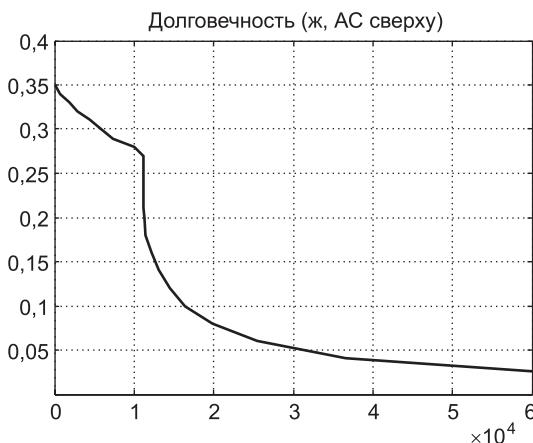


Рис. 8. Кривая долговечности пластины, жестко защемленной по контуру, при действии равномерной нагрузки и хлоридсодержащей среды на верхнюю поверхность пластины

вующего максимуму диаграммы деформирования материала, а на втором участке долговечность определяется достижением параметром поврежденности Π предельного значения в нижней точке середины длинной стороны пластины.

эпюр концентрации хлоридсодержащей среды по толщине в средней точке пластины.

На рис. 8 приведена кривая долговечности ($\times 10^4$) пластины, жестко защемленной по контуру (ж) при действии равномерной нагрузки и хлоридсодержащей среды (AC) на верхнюю поверхность пластины.

Анализ кривой на рис. 8 показывает, что на ней также наблюдаются два характерных участка, разрушение на первом наступает из-за того, что деформации в наиболее напряженной точке достигают предельного уровня, соответст-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчинников, И.Г. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред [Текст] / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, А.А. Землянский. — Саратов : СГТУ, 2000. — 232 с.
2. Овчинников, И.Г. Расчет прямоугольных пластин на упругом основании в условиях воздействия хлоридсодержащих сред [Текст] / И.Г. Овчинников, А.В. Кривцов, А.В. Матора // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 8. — С. 135–140.
3. Иванов, А.В. Моделирование кинетики проникания агрессивного агента в объем конструктивных элементов [Текст] / А.В. Иванов, И.И. Овчинников // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия физ.-мат. науки. — 2006. — Вып. 43. — С. 167–174.
4. Овчинников, И.И. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами [Текст] / И.И. Овчинников, Г.А. Наумова. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2007. — 272 с.

ОВЧИННИКОВ Илья Игоревич, канд. техн. наук, доц.

Саратовский государственный технический университет

МИГУНОВ Виктор Николаевич, канд. техн. наук, доц.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено после доработки 15.04.13

Ovchinnikov Ilya Igorevich, candidate of technical sciences, assistant professor,
Saratov State Technical University, Russia

Migunov Viktor Nikolaevich, candidate of technical sciences, assistant professor,
Penza State University of Architecture and Construction, Russia

STRESS-STRAIN STATE AND DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE PLATES UNDER SIMULTANEOUS ACTION OF THE CHLORIDE LOAD AND AGGRESSION

The problems of the theory of structural parameters in the model structure in reinforced plates under the influence of load and environmental chloride in view of the phenomenological approach. The results of calculation of the stress-strain state of reinforced durability rigidly clamped along the contour of the reinforced concrete plates under the action of uniformly distributed load and the corrosive environment.

Key words: aggressive medium, chloride, reinforced concrete element, the limit state, a generalized model of deformation, stress-strain state.

REFERENCES

1. Ovchinnikov, I.G. Modeling of the behavior of reinforced concrete structural elements under the action of chloride-containing environments [Text] / I.G. Ovchinnikov, V.V. Ratkin, A.A. Zemlyanskiy. — Saratov : SGTU, 2000. — 232 p.
2. Ovchinnikov, I.G. Calculation of rectangular plates on elastic foundation under the action of chloride-containing media [Text] / I.G. Ovchinnikov, A.V. Krivcov, A.V. Matora // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2003. — N 8. — P. 135–140.
3. Ivanov, A.V. Modeling the kinetics of penetration of aggressive agents in the scope of the structural elements [Text] / A.V. Ivanov, I.I. Ovchinnikov // Bulletin of the Samara State Technical University. Series Fiz.-mat. nauki. — 2006. — Fasc. 43. — P. 167–174.
4. Ovchinnikov, I.I. The accumulation of damage in rod and plate-reinforced structures that interact with aggressive media [Text] / I.I. Ovchinnikov, G.A. Naumova. — Volgograd : VolgGASU, 2007. — 272 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

666.97.015

Н.А. МАШКИН, М.А. ЕЛЕСИН,
А.Р. НИЗАМУТДИНОВ, И.П. БОТВИНЬЕВА

ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ЗАТВОРЕНИЕМ В ИЗВЕСТКОВО-СЕРНОМ ОТВАРЕ

Исследован метод химического модифицирования бетонных смесей затворением в известково-серном отваре (ИСО), который повышает прочность бетона.

Ключевые слова: модифицирование, бетонные смеси, известково-серный отвар.

Препарат ИСО (товарное наименование известково-серного отвара) в последние годы стал известен в качестве затворителя, активирующего гидратацию портландцемента [1, 2], а также в качестве пропиточного реагента для упрочнения изделий из низкомарочных бетонов [3, 4].

Для определения комплексного влияния составляющих компонентов ИСО (полисульфида CaS_n и тиосульфата кальция) на гидратационные процессы в зависимости от массы полнопревращенной полисульфидной серы и ее концентрации в жидкой фазе нами была проведена серия опытов на образцах типов бетонной смеси. Концентрацию серы в затворителе изменяли от минимальных 0,5 г/л до максимальных 220 г/л с колебанием нормативной прочности от 10 до 30 МПа. При этом оценивали динамику набора прочности как в ранние сроки твердения, так и в последующие до конечной 28-суточной.

В эксперименте использовали среднеалюминатный портландцемент М400 Норильского цементного завода (состав, %: C_3S — 58,42; C_2S — 17,35; C_3A — 7,8; C_4AF — 13,25), крупный заполнитель — известковый щебень, мелкий заполнитель — речной песок (соотношение между крупным и мелким заполнителем 4:1). Препарат ИСО получали растворением порошковой серы в нагретой до 90–95 °С суспензии гидроксида кальция. Весовой состав сухой смеси принимали в соотношении $\text{S}:\text{Ca}(\text{OH})_2 = 2:1$. Масса серы принималась из расчета 220 г/л в конечном суспендированном препарате. При такой высокой степени пересыщения известково-серного препарата соотношение в нем полисульфида серы ($\text{S}_{\text{поли}}$) и тиосульфатной ($\text{S}_{\text{тио}}$) приблизительно равно 4.

При затворении сухой части бетонной смеси сначала при перемешивании вводили расчетное количество препарата, а затем добавкой воды доводили до нормальной густоты теста, учитывая при этом как общее количество затворяющей жидкости, так и количество воды в препарате.

Данные составов образцов и их испытаний приведены в табл. 1–3. Их анализ показывает, что характер динамики набора прочности может быть различный в зависимости от концентрации серы в затворителе, а именно: устойчивый ход твердения без невосполнимого сброса, прочно-

© Машкин Н.А., Елесин М.А., Низамутдинов А.Р., Ботвиньев А.П., 2013

Таблица 1

Результаты испытания образцов, затворенных с различным расходом серы при содержании портландцемента в бетонной смеси 9,4 %

Компоненты смеси	Содержание, мас. % в составах								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Песок	25,4	25,6	25,4	25,6	25,6	25,6	25,44	25,3	25,4
Щебень	55,3	55,69	55,35	55,69	55,69	55,69	55,35	55,32	55,34
$S_{общ}$, г / л	0	1	1,5	2,5	5,5	12,0	28,0	65,0	220,0
CaO	0	0,09	0,11	0,13	0,18	0,22	0,38	0,98	1,84
Вода	9,91	8,8	8,7	8,5	8,76	8,76	8,76	7,34	8,3
Показатели									
Ж/Ц (В/Ц)	1,07 (1,07)	0,93 (0,96)	0,93 (0,96)	0,92 (0,95)	0,93 (0,96)	0,93 (0,96)	0,93 (0,96)	0,79 (0,95)	0,71 (0,96)
$R_{сж}$ 3-сут., МПа (%)	4,2 (42)	7,4 (63)	7,5 (65)	6,4 (58)	4,2 (44)	2,9 (35)	3,3 (35)	8,3 (56)	9,3 (52)
$R_{сж}$ 7-сут., МПа (%)	6,3 (63)	9,4 (80)	9,5 (82)	8,8 (79)	6,6 (69)	4,1 (49)	4,2 (45)	10,2 (69)	11,8 (72)
$R_{сж}$ 14-сут., МПа (%)	8,9 (89)	10,6 (90)	10,9 (94)	9,9 (89)	8,1 (85)	5,7 (68)	6,7 (71)	18,5 (126)	18,2 (94)
$R_{сж}$ 28-сут., МПа (%)	10,0 (100)	11,8 (100)	11,6 (100)	11,1 (100)	9,5 (100)	8,3 (100)	9,4 (100)	14,7 (100)	19,3 (100)

Таблица 2

Результаты испытания образцов, затворенных с различным расходом серы при содержании портландцемента в бетонной смеси 12 %

Компоненты смеси	Содержание, мас. % в составах								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Песок	24,33	24,1	24,4	24,3	24,5	24,4	24,4	23,9	23,3
Щебень	53,99	54,4	54,6	54,5	54,1	54,14	53,9	53,0	52,7
$S_{общ}$, г / л	0	1	1,5	2,5	9,5	16,0	30,0	60,0	220,0
CaO	0	0,08	0,1	0,15	0,18	0,36	0,71	1,08	2,04
Вода	9,72	9,02	9,0	8,35	8,96	8,35	7,68	8,1	8,6
Показатели									
Ж/Ц (В/Ц)	0,81 (0,81)	0,78 (0,79)	0,72 (0,75)	0,69 (0,72)	0,75 (0,78)	0,72 (0,79)	0,68 (0,8)	0,69 (0,84)	0,75 (0,8)
$R_{сж}$ 3-сут., МПа (%)	9,8 (58)	12,3 (64)	11,9 (63)	12,0 (59)	7,5 (48)	5,7 (38)	15,7 (78)	16,2 (97)	14,4 (76)
$R_{сж}$ 7-сут., МПа (%)	11,6 (68)	15,9 (83)	15,4 (81)	16,0 (80)	7,5 (48)	7,3 (49)	11,5 (57)	21,3 (127)	16,1 (85)
$R_{сж}$ 14-сут., МПа (%)	13,2 (90)	17,5 (91)	16,9 (89)	17,1 (85)	13,6 (88)	10,6 (71)	18,5 (92)	12,9 (77)	17,1 (90)
$R_{сж}$ 28-сут., МПа (%)	17,0 (100)	19,2 (100)	19,0 (100)	20,3 (100)	15,5 (100)	15,0 (100)	20,1 (100)	16,7 (100)	19,0 (100)

сти, наблюдаемый при малых дозах препарата ИСО (концентрация $S_{общ} = 0,5\text{--}2$ г / л), явно неустойчивый ход твердения, наблюдаемый в интервале концентраций серы в затворителе от 2,5 г / л растворенной серы до относительно высоких концентраций 150–180 г / л. И наконец, выделяем область высоких концентраций, соответствующих пересыщенным отварам (215–220 г / л).

Таблица 3

**Результаты испытания образцов, затворенных с различным расходом серы
при содержании портландцемента в бетонной смеси 15,78 %**

Компоненты смеси	Содержание, мас. % в составах								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Песок	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,4	23,39	22,55	22,0
Щебень	52,22	52,17	52,3	52,2	52,17	52,0	51,9	49,7	48,4
S _{общ} , г/л	0	1	1,5	2,5	7,2	14,0	20,0	60,0	220,0
CaO	0	0,038	0,04	0,045	0,18	0,36	0,69	1,24	2,52
Вода	8,47	8,20	8,18	8,29	8,33	7,89	10,1	9,3	9,6
Показатели									
Ж/Ц (В/Ц)	0,54 (0,54)	0,52 (0,50)	0,53 (0,50)	0,53 (0,53)	0,75 (0,78)	0,72 (0,79)	0,68 (0,8)	0,69 (0,84)	0,75 (0,8)
R _{сж} 3-сут., МПа (%)	16,0 (50)	21,9 (61)	22,4 (68)	14,4 (44)	12,7 (46)	11,5 (63)	9,7 (98)	18,0 (86)	19,8 (66)
R _{сж} 7-сут., МПа (%)	25,3 (82)	29,4 (84)	30,4 (89)	24,5 (75)	19,6 (70)	19,1 (105)	11,9 (120)	30,0 (143)	24,9 (83)
R _{сж} 14-сут., МПа (%)	26,9 (87)	32,2 (92)	28,0 (85)	27,6 (84)	23,5 (84)	18,8 (103)	10,2 (103)	22,0 (105)	27,3 (91)
R _{сж} 28-сут., МПа (%)	30,7 (100)	35,0 (100)	33,0 (100)	30,5 (100)	27,8 (100)	18,2 (100)	9,9 (100)	21,0 (100)	30,0 (100)

В сущности каждой области концентраций соответствует кинетический режим процесса твердения, по-разному влияющий на состав, структуру и конечную прочность цементного камня.

Так, в области малых концентраций наблюдается не только убыстрение набора ранней прочности, но заметное увеличение ее конечного значения в сравнении с эталонными образцами на воде.

Заметим, что эффективность малых добавок зависит также от концентрации портландцемента в бетоне. Наиболее эффективны добавки на низкомарочных составах, максимальный прирост конечной прочности из трех составов, в которых содержание цемента изменялось от 15,79 % в меньшую сторону, получен на составах, содержащих 9,4 % цемента, он составил 118 %. В отличие, например, от хлористого кальция, увеличивающего преимущественно раннюю прочность, малые дозы ИСО к тому же заметно увеличивают и ее конечную величину.

Большая часть приведенных в табл. 1–3 данных, соответствующих широкой области концентраций от 2,5 до 180 г/л, указывает на быстрый рост прочности образцов бетона в ранние сроки и депрессивный характер набора прочности в последующем, существенно ухудшающий конечный показатель R_{сж}. К тому же на высокомарочных составах наблюдается не-восполнимый сброс прочности после семи суток твердения.

И, наконец, третий режим гидратационного твердения образцов бетона характеризуется устойчивостью хода процесса, высокой ранней прочностью и ее конечным 28-суточным показателем, обусловленным ростом концентрации в пересыщенном затворителе вплоть до 220 г/л общей растворенной серы.

Если принять влияние добавок-ускорителей твердения условно эквивалентным увеличению портландцемента в смеси, то становится понятной их большая эффективность на низкомарочных составах. Такая тенденция просматривается и в действии препарата ИСО.

Несмотря на то что твердение бетонной смеси, содержащей $\approx 16\%$ портландцемента, становится устойчивым без промежуточного сброса прочности при максимальном содержании серы в затворителе на уровне 220 г/л, конечное ее значение остается на уровне эталонных образцов. По мере снижения в смеси содержания цемента растет и коэффициент упрочнения 28-суточных образцов. Так, при содержании цемента в смеси на уровне 12 % увеличение показателя $R_{сж}$ после 28-суточного твердения составило 112 %, а при содержании цемента 9 % уже 193 %, т.е. прочность почти в 2 раза выше, чем у эталонных образцов.

Резюмируя изложенное, заметим, что характер динамики набора прочности соответствует основным положениям ранее рассмотренного механизма гидратационного твердения цемента в ИСО при низких для обычных процессов гидратации в воде pH жидкой фазы, характеризующейся отрицательным редокс-потенциалом [5].

На рис. 1 приведена характеристическая кривая зависимости прочности бетона от концентрации серы в затворителе бетонной смеси, на рис. 2 показаны рентгенограммы затвердевшего цементного камня для трех характерных участков кривой.

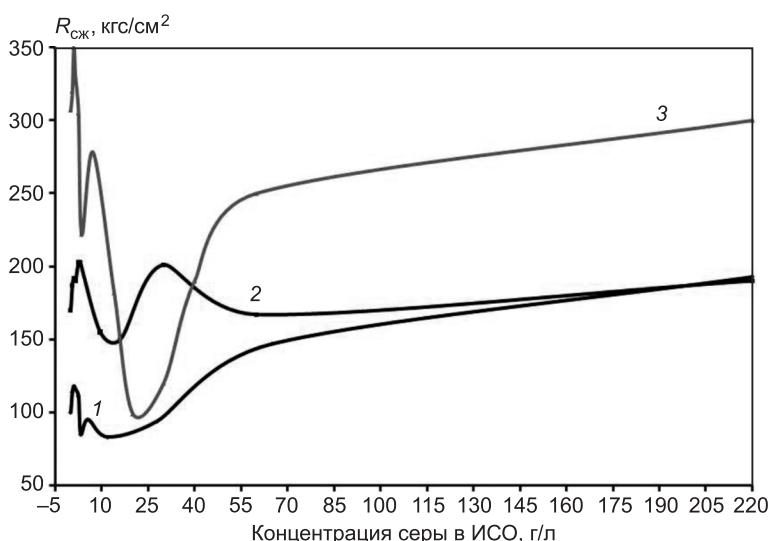


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии 28-суточных образцов от концентрации серы в ИСО при содержании цемента в бетонной смеси
1 — 9,4 %; 2 — 12 %; 3 — 15,78 %

Согласно данным рентгенограмм изменение показателя $R_{сж}$ на этих участках в полной мере согласуется с трактовкой кинетической модели твердения цемента в известково-серном отваре.

Так, сопоставляя кинетику набора прочности бетона при малых дозах ИСО (см. табл. 1–3) и его конечной прочности с данными рентгенограммы, приходим к выводу, что при малых дозах ИСО, не влияющих на потенциометрические показатели жидкой фазы, скорость набора прочности в ранние сроки обусловлена взаимодействием тиосульфата кальция с гидратирующим алюминатом кальция и сульфатом кальция с образованием новой устойчивой тиосульфатсодержащей фазы гидросульфоалюмината $C_8Al_8O_{12} \cdot SO_4 \cdot S_2O_3 \cdot 24H_2O$, что демонстрируется рентгенограммой (см. рис. 2). В свою очередь реакция хорошо растворимой тиосоли, убыстряя усваймость сульфата кальция, обуславливает быстрый набор прочности, а за счет некоторого снижения pH реакционной среды активирует

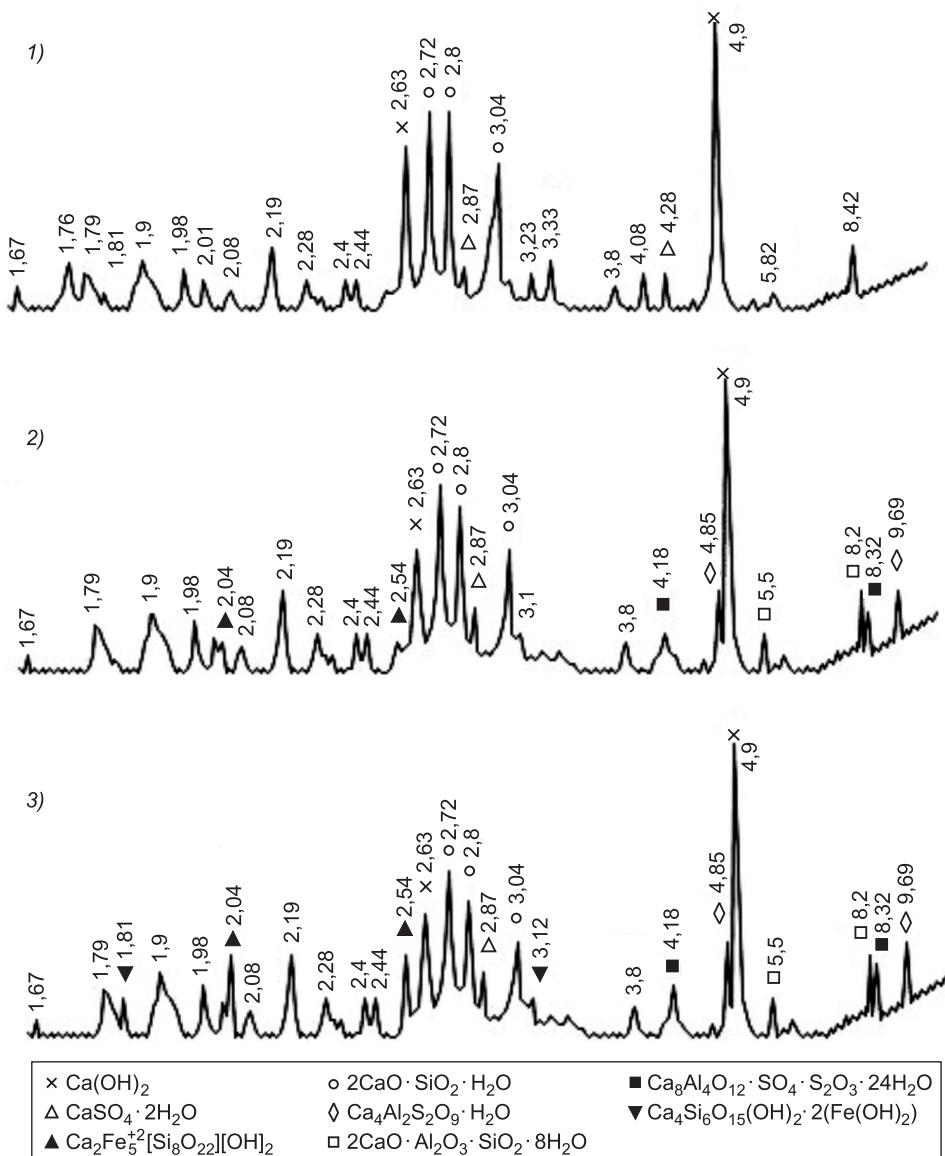


Рис. 2. Рентгенограммы продуктов гидратации вяжущих систем
 1 — портландцемент — вода; 2 — портландцемент — ИСО ($S_{\text{общ}} = 1 \text{ г/л}$); 3 — портландцемент — ИСО ($S_{\text{общ}} = 220 \text{ г/л}$)

полимеризацию кремнекислородного аниона, тем самым увеличивает концентрацию в твердом цементном камне силоксановых групп с прочной ковалентной связью, усиливает конечную 28-суточную прочность.

При больших же дозах препарата ИСО вызванный резким снижением pH процесс гидратации силикатов становится депрессивным, а кинетика вялотекущей. В данном случае в силу ограниченной массы в затворителе потенциалопределяющего полисульфида, способного в потенциале обеспечить восстановление Fe(III) до Fe(II), инициирующего гидратацию, данный процесс протекает кратковременно в ранние сроки твердения. При этом при максимально возможных дозах препарата, особенно это касается низких, преобразование цемента осложнено кинетическими ограничениями на стадии активной гидратации силикатов кальция. Соотнеся эти явления с данными табл. 1–3, приходим к выводу, что

оно вызвано депрессией кристаллизации обычных гидросиликатов, которые при низких рН жидкой фазы становятся неустойчивыми. Напомним, что депрессивное состояние характерно только в отсутствие условий производства в системе катион-модификатора Fe(II), инициирующего выделение устойчивых модифицированных форм новообразований в виде амфолитов.

Естественно, что механизм восстановления Fe(III) до Fe(II) полно может реализоваться только в низкоконцентрированных портландцементных системах с большой массой потенциалопределяющих S_n^{2-} и $S_2O_3^{2-}$ ионов. В системах с пониженной концентрацией данных ионов, обусловленной низким Ж/Ц, как это показано в табл. 1–3 и на рис. 2, тенденция к восстановлению Fe(III) до Fe(II) просматривается только при максимально возможной концентрации серы, когда в затворителе образуется легко кристаллизующийся гидросиликат в виде макромолекулярного амфолита $Ca_2Fe_5^{2+}[Si_8O_{22}](OH)_2$, благодаря образованию в жидкой фазе комплексных соединений Fe(II) с тиосульфат-ионом, в частности $[FeS_2O_3]^{+}$ и $[Fe(OH)_2 \cdot FeS_2O_3]^{2+}$.

Таким образом, выделим главное техническое достоинство препарата ИСО в технологии бетонов, демонстрируемое данными табл. 1–3, отражающими динамику набора прочности в течение всего нормативного срока твердения в нормальных условиях. Прежде всего выделяется два режима отверждения с участием препаратов ИСО, обеспечивающих высокую скорость твердения. В одном из них препарат используется в качестве небольших добавок в пересчете на массу общей растворенной серы, а в другом в качестве суспендированного затворителя, содержащего в растворе и в суспендированной части максимально допустимую массу полисульфида и тиосульфата кальция. Такой плотный известково-серный отвар рассматривается как облегчающий достижение эффективного порога модификации, что в свою очередь облегчает реализацию кинетической модели гидратационного преобразования цемента, обеспечивающей как высокую раннюю прочность, так и конечную 28-суточную. Так, конечная прочность модифицированных образцов почти в 2 раза превышает нормативную контрольных образцов. При этом 3-суточная прочность модифицированных образцов нажатия близка к 28-суточной контрольных образцов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 4193811 США, C04B7/02. Состав высокопрочного бетона. — Опубл. 18.03.1980.
2. Пат. 4198245 США, C04B7/02. Способ получения высокопрочных бетонных конструкций. — Опубл. 15.04.81.
3. Пат. 4193809 США, C04B7/02. Высокопрочные бетонные изделия. — Опубл. 18.03.82.
4. Б о т в и н ь е в а, И.П. Обработка портландцементных строительных материалов пропиточными серными композициями [Текст] / И.П. Ботвиньева, А.Р. Низамутдинов, М.А. Елесин // Композиционные строительные материалы. Теория и практика. — Пенза : ПГУАиС, 2011. — С. 15–17.
5. Е л е с и н, М.А. Исследования гидратации портландцемента в растворе серы в гидроксиде кальция [Текст] / М.А. Елесин, А.В. Павлов, Ю.Б. Сокольская, Н.А. Машкин // Изв. вузов. Строительство. — 2000. — № 4. — С. 37–44.

МАШКИН Николай Алексеевич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЕЛЕСИН Михаил Анатольевич, канд. техн. наук, доц.
Норильский индустриальный институт
НИЗАМУТДИНОВ Анвар Равильевич, ст. препод.
Норильский индустриальный институт
БОТВИНЕВА Ирина Петровна, доц.
Норильский индустриальный институт

Получено 02.04.13

Mashkin Nikolay Alekseevich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Elesin Mikhail Anatolyevich, candidate of technical sciences, assistant professor, Norilsk Industrial Institute, Russia

Nizamutdinov Anwar Ravilevich, senior lecturer, Norilsk Industrial Institute, Russia

Botvinyeva Irina Petrovna, assistant professor, Norilsk Industrial Institute, Russia

HYDROCHEMICAL MODIFYING OF CONCRETE SME-SEY SOLUTION IN LIMY AND SULPHUR BROTH

The method of chemical modifying of concrete mixes by a solution in from-izvestko-vo-sulfur broth (ISO) which increases concrete durability is investigated.

Key words: modifying, concrete mixes, limy and sulfur broth.

REFERENCES

1. Pat. of 4193811 USA, C04B7/02. Composition of high-strength concrete. — Opubl. 18.03.1980.
2. Pat. of 4198245 USA, C04B7/02. Way of receiving high-strength concrete designs. — Opubl. 15.04.81.
3. Pat. of 4193809 USA, C04B7/02. High-strength concrete products. — Opubl. 18.03.82.
4. Botvinyeva, I.P. Processing of portlandcementny construction materials impregnating sulfuric compositions [Text] / I.P. Botvinyeva, A.R. Nizamutdinov, M.A. Elesin // Composite construction materials. Theory and practice. — Penza : PSUAC, 2011. — P. 15–17.
5. Elesin, M.A. Researches of hydration of a portlandcement in sulfur solution in calcium [Text] / M.A. Elesin, A.V. Pavlov, Yu.B. Sokolsky, N.A. Mashkin // News of Higher Education Institutions. Construction. — 2000. — N 4. — P. 37–44.

УДК 691.327:666.973.2:666.64–492.3

А.В. КАКЛЮГИН, И.В. ТРИЩЕНКО, А.В. КОЗЛОВ, М.В. МИРСКАЯ

**МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН
НА ОСНОВЕ БЕЗОБЖИГОВОГО
АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО**

Описаны методика и результаты исследований влияния важнейших рецептурных факторов на свойства мелкозернистого керамзитобетона на основе безобжигового ангидритового вяжущего. Приведены итоги оценки эффективности инвестиций в технологию производства перегородочных камней из предлагаемого материала методом вибропрессования.

Ключевые слова: безобжиговое ангидритовое вяжущее, аппараты вихревого слоя, мелкозернистый керамзитобетон, перегородочные камни, эффективность инвестиций.

В последние годы одним из важнейших направлений социально-экономической политики в нашей стране является увеличение объемов жилищного строительства. Это обуславливает необходимость значительного увеличения производства эффективных строительных материалов из местного сырья с учетом максимальной экономии материально- и топливно-энергетических ресурсов. Поставленная задача может быть решена за счет разработки новых и совершенствования существующих технологий производства ангидритовых вяжущих веществ и изделий на их основе [1].

На основании предыдущих исследований [2] нами предложен новый способ получения безобжигового ангидритового вяжущего путем кратковременного помола природного ангидритового камня совместно с активизаторами твердения в электромагнитных мельницах с вихревым слоем ферромагнитных элементов. Для получения вяжущего использовали ангидритовый камень Шедокского месторождения Краснодарского края, встречающийся на данном месторождении в виде подстилающего слоя в залежах гипсового камня. Сырье предварительно высушивали до влажности не более 1 %, измельчали до наибольшего размера зерен 2,5 мм, после чего подвергали помолу в мельнице вихревого слоя при соотношении по массе между ферромагнитными элементами и измельчаемым материалом, равном 1 : 1. В качестве щелочного активизатора твердения вяжущего применяли гашенную воздушную известь в количестве 5 % от массы ангидритового камня, которую вводили в мельницу совместно с ангидритовым камнем. Предложенный способ получения вяжущего по простоте, затратам времени и энергии представляется намного эффективнее известных ранее технологий получения ангидритовых вяжущих веществ, а само вяжущее характеризуется высокой степенью дисперсности, развитой поверхностью отдельных частиц и как следствие — повышенной гидратационной активностью.

Цель настоящей работы — исследование возможности производства стеновых и перегородочных изделий из легких бетонов на основе предложенного безобжигового ангидритового вяжущего и оценка их технико-экономической эффективности.

В лабораторных исследованиях применяли ангидритовое вяжущее, полученное помолом вышеуказанного сырья в мельнице вихревого слоя в течение 150 с. Удельная поверхность вяжущего, определяемая методом воздухопроницаемости на приборе Товарова, составила $5200 \text{ см}^2/\text{г}$. Вяжущее имело насыпную плотность $750 \text{ кг}/\text{м}^3$, истинную плотность $2800 \text{ кг}/\text{м}^3$.

В качестве заполнителя применяли пористый фракционированный керамзитовый песок. Его получали дроблением на щековой дробилке керамзитового гравия марки по насыпной плотности $250 \text{ кг}/\text{м}^3$ до наибольшей крупности зерен 5 мм. Гранулометрический состав песка подбирали по уравнению геометрической прогрессии при коэффициенте сбега $k = 0,81$, определяющем во сколько раз в смеси зерен количество последующей, более мелкой фракции меньше предыдущей. Насыпная плотность песка составила $240 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Для формования стеновых и перегородочных камней из легких бетонов на основе медленносхватывающихся и медленновerdeющих ангидритовых вяжущих веществ, на наш взгляд, наилучшим образом подходит метод вибропрессования, предусматривающий одновременно с вибрацией подпрессовку формуемых изделий. Достоинствами метода являются: возможность практически немедленной распалубки свежеотформованных изделий, снижение их себестоимости за счет исключения технологического процесса искусственной сушки, а также уменьшения средней плотности керамзитобетона за счет сокращения расхода вяжущего при получении равнопрочного искусственного камня.

С целью осуществления комплексной оценки влияния важнейших рецептурных факторов на физико-механические свойства вибропрессованного мелкозернистого керамзитобетона на основе безобжигового ангидритового вяжущего в настоящей работе выполнены экспериментально-статистические исследования с применением методов математического планирования эксперимента.

Использовали двухфакторный насыщенный композиционный план эксперимента. В качестве исследуемых факторов принимали соотношение по объему между безобжиговым ангидритовым вяжущим веществом и фракционированным керамзитовым песком (X_1) и водосодержание формовочной смеси сверх 100 % от массы сухих компонентов (X_2). Другие рецептурные и технологические факторы, оказывающие влияние на физико-механические свойства получаемого искусственного камневидного материала, на основании результатов предварительных опытов в процессе реализации плана эксперимента были стабилизированы. Интервалы варьирования исследуемых факторов представлены в табл. 1, а матрица планирования и натуральные значения переменных для каждой точки плана — в табл. 2.

Условия проведения эксперимента

Таблица 1

Код	Значение кода	Исследуемые факторы	
		X_1 — соотношение между вяжущим и заполнителем по объему	X_2 — водосодержание формовочной смеси, %
Основной уровень	0	1,0:2,0	18
Интервал варьирования	Δ	1 часть заполнителя	2
Верхний уровень	+1	1,0:1,0	20
Нижний уровень	-1	1,0:3,0	16

В соответствии с матрицей планирования эксперимента в каждом опыте отформовали по шесть контрольных образцов-цилиндров высотой и диаметром 71,4 мм. Для этого керамзитовый песок увлажняли водой в количестве, требуемом для получения бетонной смеси с необходимой формовочной влажностью, а затем при непрерывном перемешивании вводили ангидритовое вяжущее. Общая продолжительность перемешивания смеси составляла 3 мин. Уплотнение керамзитобетонной смеси при изготовлении образцов осуществляли ее виброрированием в стальной форме на лабораторной вибropлощадке, создающей вертикальные колебания с амплитудой 0,35 мм и частотой 3000 кол./мин, с одновременной подпрессовкой под давлением 0,05 МПа.

Образцы хранили в нормальных влажностных условиях, а перед испытаниями их высушивали в сушильном шкафу при температуре $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы. В возрасте 3 и 28 сут определяли предел прочности при сжатии и среднюю плотность керамзитобетона. Обработку результатов испытаний производили с использованием специальной программы.

Полученные в результате реализации плана эксперимента полиномиальные экспериментально-статистические модели (далее — ЭС-модели) исследованных свойств затвердевшего мелкозернистого вибропрессованного керамзитобетона на основе безобжигового ангидритового вяжущего имеют вид

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2, \quad (1)$$

где Y — исследуемое свойство;

X_1 и X_2 — исследуемые факторы;

b_0 , b_1 , b_2 , b_{11} , b_{22} , b_{12} — коэффициенты регрессии ЭС-модели.

Рассчитанные численные значения коэффициентов регрессии полученных ЭС-моделей приведены в табл. 3.

Полученные ЭС-модели всех исследованных свойств керамзитобетона адекватно описывают поведение системы, так как рассчитанные значе-

Таблица 2
Матрица планирования и натуральные значения переменных

Номер опыта	План эксперимента		Натуральные значения переменных	
	X_1	X_2	X_1 — соотношение между вяжущим и заполнителем по объему	X_2 — водосодержание формовочной смеси, %
1	-1	+1	1,0:3,0	20
2	0	+1	1,0:2,0	20
3	+1	+1	1,0:1,0	20
4	+1	0	1,0:1,0	18
5	+1	-1	1,0:1,0	16
6	-1	-1	1,0:3,0	16
7	0	0	1,0:2,0	18
8	0	0	1,0:2,0	18
9	0	0	1,0:2,0	18

Таблица 3
ЭС-модели физико-механических свойств керамзитобетона

Исследуемое свойство	Коэффициенты регрессии					
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
Предел прочности при сжатии в возрасте 3 сут Y_1 , кгс / см ²	24,437	15,186	9,169	4,333	2,316	4,917
То же, 28 сут Y_2 , кгс / см ²	31,241	19,148	8,464	6,320	1,870	3,775
Средняя плотность Y_3 , г / см ³	0,618	0,171	0,048	0,085	-0,006	0,024

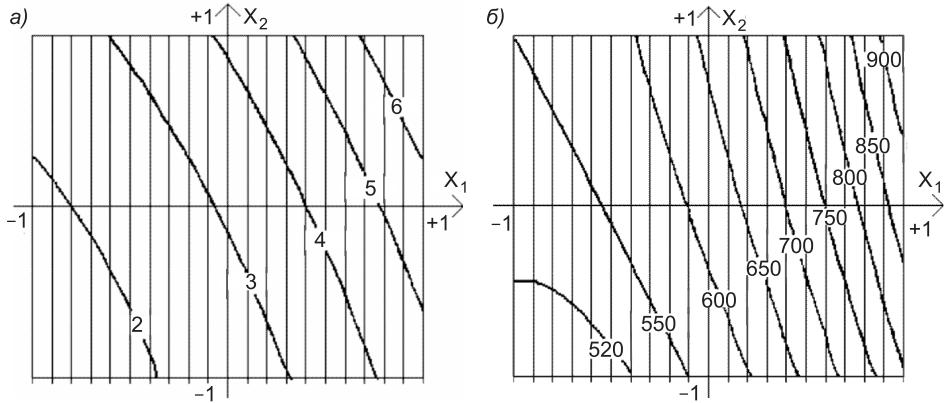


Рис. 1. Изолинии ЭС-моделей исследованных свойств керамзитобетона
а — предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа; б — средняя плотность, кг / м³

ния критерия Фишера оказались меньше его табличных требуемых значений [3]. Модели позволяют проводить всестороннюю оценку прочности и средней плотности материала при любых сочетаниях исследованных факторов в принятых интервалах их варьирования, а также определять условия получения керамзитобетона с заданными свойствами.

На рис. 1 показаны изолинии ЭС-моделей предела прочности керамзитобетона при сжатии в проектном возрасте и его средней плотности, а на рис. 2 — зависимость прочности материала от соотношения по объему между вяжущим и заполнителем.

Анализ представленных на рис. 1, 2 графических зависимостей показывает, что свойства получаемого материала во многом зависят от значений исследуемых рецептурных факторов. В принятых интервалах их варьирования керамзитобетон на основе безобжигового ангидритового вяжущего характеризуется достаточно широким диапазоном физико-механических свойств:

- предел прочности при сжатии в возрасте 3 сут — 1,2–6,1 МПа;
- то же, 28 сут — 1,6–7,1 МПа;
- средняя плотность — 500–950 кг / м³.

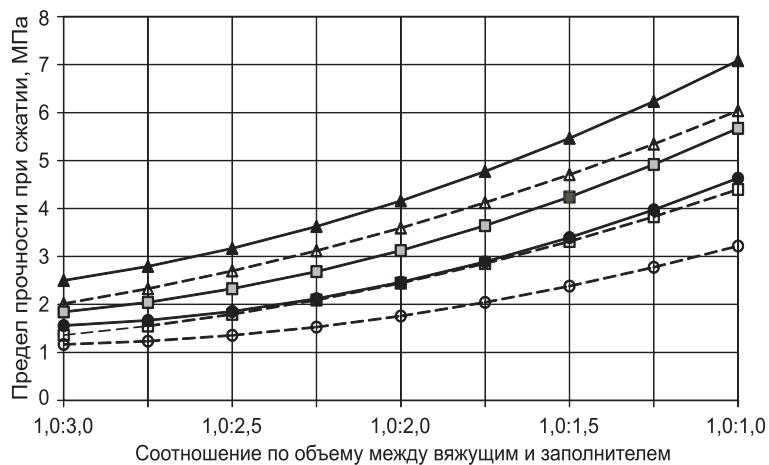


Рис. 2. Зависимость предела прочности керамзитобетона при сжатии от соотношения по объему между вяжущим и заполнителем
— в возрасте 3 сут, — то же, 28 сут; • водосодержание формовочной смеси 16 %, ■ то же, 18 %, ▲ то же, 20 %

В наибольшей степени прочность и средняя плотность мелкозернистого керамзитобетона зависят от соотношения по объему между безобжиговым ангидритовым вяжущим и керамзитовым песком. С увеличением расхода вяжущего на 1 м³ керамзитобетона прочность при сжатии в возрасте 3 и 28 сут, а также его средняя плотность возрастают. Выявлено, что для производства стеновых и перегородочных камней могут быть рекомендованы составы с соотношением по объему между вяжущим и заполнителем от 1,0 : 1,0 до 1,0 : 2,0. Керамзитобетон с большим содержанием фракционированного керамзитового песка не обеспечивает необходимую марку стеновых камней по прочности на сжатие, но может применяться для производства теплоизоляционных изделий.

Повышение водосодержания формовочной смеси в принятых интервалах варьирования этого фактора также способствует некоторому повышению прочности искусственного конгломерата. Следует отметить, что в результате предварительных опытов было установлено, что применение формовочных смесей с водосодержанием свыше 20 % нецелесообразно, поскольку наблюдалось отделение воды в процессе формования образцов. Расход воды во всех опытах матрицы планирования эксперимента оказался достаточным, с одной стороны, для обеспечения необходимых формовочных свойств бетонной смеси, а с другой — для достижения необходимой степени гидратации вяжущего.

В принятых интервалах варьирования исследуемых факторов прочность керамзитобетона при сжатии в возрасте 3 сут составила 70–80 % его прочности в проектном возрасте (28 сут), а ее значения оказались достаточными для формирования транспортных пакетов стеновых камней.

Вышеизложенное позволило уточнить некоторые технологические факторы при производстве керамзитобетонных стеновых или перегородочных камней на основе разработанного безобжигового ангидритового вяжущего методом вибропрессования. В частности, технология должна предусматривать выдерживание свежеотформованных изделий в течение 3 сут на поддонах в камерах влажностного твердения, а сформированных после этого транспортных пакетов изделий еще в течение 11 сут на складе готовой продукции.

Для оценки эффективности инвестиций в предлагаемую технологию принят состав, соответствующий 7–9 опытам матрицы планирования эксперимента с соотношением между ангидритовым вяжущим и заполнителем по объему 1,0 : 2,0 и водосодержанием формовочной смеси 18 %. Расход сырьевых материалов на 1 м³ уплотненного керамзитобетона составляет: ангидритового вяжущего — 390 кг, керамзитового песка — 1,18 м³, воды — 120 л. Керамзитобетон характеризуется пределом прочности при сжатии в возрасте 3 и 28 сут соответственно — 2,4 и 3,1 МПа, средней плотностью 620 кг/м³.

Для оценки эффективности предлагаемой технологии в соответствии с [4] выполнены технико-экономические расчеты для трех альтернативных вариантов производства пустотелых стеновых камней методом вибропрессования:

1 — формование камней из смесей на основе низкообжигового гипсового вяжущего с последующим их выдерживанием в камерах вызревания в стеллажах, формирование и выгрузку которых осуществляют с помощью транспортно-складирующей группы;

2 — формование камней из смесей на основе безобжигового ангидритового вяжущего с последующим их выдерживанием в камерах вызревания на транспортных вагонетках;

Таблица 4

Эффективность инвестиций

Наименование показателей	Значения показателей по вариантам		
	1	2	3
Себестоимость 1000 шт. усл. кирпича, руб. В т.ч. стоимость сырья и материалов, руб.	3518 2344	3547 2118	3532 2118
Расход силовой электроэнергии на 1000 шт. усл. кирпича, кВт · ч (с учетом затрат на обжиг традиционного гипсового вяжущего и помол безобжигового ангидритового вяжущего)	42,28	24,18	24,18
Инвестиции, тыс. руб.	19835	23311	23645
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	4499	-52	137
Чистый доход, тыс. руб.	43611	37391	38540
Индекс доходности затрат	1,020	1,000	1,001
Индекс доходности инвестиций	1,227	0,998	1,006
Срок окупаемости, лет	4,2	5,0	5,1
Рентабельность производства, %	11,6	9,1	10,4
Рентабельность капитальных вложений, %	14,8	9,7	10,9

3 — то же, в камерах вызревания и выгрузкой из них согласно варианту 1.

Выбор методов формования изделий и составов бетонов в сравниваемых вариантах осуществляли с учетом особенностей твердения используемых вяжущих веществ, а также доступности серийно выпускаемого оборудования.

Рассматриваемые варианты предусматривают техническое перевооружение действующего производства с размещением проектируемой линии в существующем производственном корпусе, приобретением технологического оборудования и возведением необходимых спецсооружений. Для каждого из них выполнены детальная технологическая проработка и оценка эффективности инвестиций. Расчеты выполнены для технологических линий годовой производительностью 10 млн шт. усл. кирпича (табл. 4).

Из анализа приведенных данных следует, что эффективно производство изделий по вариантам 1 и 3. На наш взгляд, предпочтение следует отдать организации производства камней по 3-му варианту, что обусловлено дополнительными преимуществами предлагаемой технологии: расширение сырьевой базы для производства стройматериалов, снижение энергоемкости продукции, что отвечает обязательным требованиям Закона РФ «Об энергосбережении» к проектируемым объектам, уменьшение затрат на материальные ресурсы.

Экономическая и энергетическая эффективность производства керамзитобетонных стеновых и перегородочных изделий на основе безобжигового ангидритового вяжущего методом вибропрессования свидетельствует об их высокой конкурентоспособности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ферронская, А.В. Гипс в малоэтажном строительстве [Текст] / А.В. Ферронская; под общ. ред. А.В. Ферронской. — М. : Изд-во АСВ, 2008. — 240 с.
- Каклюгин, А.В. Получение безобжигового ангидритового вяжущего в аппаратах вихревого слоя [Текст] / А.В. Каклюгин, А.В. Козлов, М.В. Мирская // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 8. — С. 39–43.

3. В о з н е с е н с к и й, В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ [Текст] / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков; под общ. ред. В.А. Вознесенского. — Киев : Высш. шк., 1989. — 328 с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов/ М-во экономики РФ, М-во финансов РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике. — М. : ОАО «НПО Изд-во «Экономика», 2000. — 237 с.

КАКЛЮГИН Александр Викторович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kaklugin@gmail.com

Ростовский государственный строительный университет

ТРИЩЕНКО Инна Викторовна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: ivt523w@gmail.com

Ростовский государственный строительный университет

КОЗЛОВ Александр Владимирович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kozlov_rgsu@mail.ru

Ростовский государственный строительный университет

МИРСКАЯ Марина Валентиновна, асп.; E-mail: mirckaia@rambler.ru

Ростовский государственный строительный университет

Получено после доработки 24.04.13

Kaklyugin Alexander Viktorovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kaklugin@gmail.com, Rostov State University of Civil Engineering, Russia

Trishchenko Inna Viktorovna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: ivt523w@gmail.com, Rostov State University of Civil Engineering, Russia

Kozlov Alexander Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kozlov_rgsu@mail.ru, Rostov State University of Civil Engineering, Russia

Mirskaya Marina Valentinovna, post-graduate student; E-mail: mirckaia@rambler.ru, Rostov State University of Civil Engineering, Russia

FINE-GRAINED EXPANDED CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETE ON THE BASIS of ANHYDRITE NONFIRED BINDER

The article deals with methodology and results of researches of major factors' effect on properties of fine-grained expanded clay lightweight concrete on the basis of anhydrite nonfired binder. Authors describe results of assessment of efficiency of investments into the production technology of baffle stones by vibrocompression from the offered material.

Key words: anhydrite nonfired binder, crumb of a vortical layer, fine-grained expanded clay lightweight concrete, baffle stone, efficiency of investments.

REFERENCES

1. Ferronskaya, A.V. A gypsum in the low-rise constructing [Text] / A.V. Ferronskaya; Ed. by A.V. Ferronskaya. — M. : Publishing of Universities Association of Civil Engineering, 2008. — 240 p.
2. Kaklyugin, A.V. Production of nonfired anhydrite binder in the turbulent layer devices [Text] / A.V. Kaklyugin, A.V. Kozlov, M.V. Mirskaya // News of Higher Education Institutions. Construction. — 2007. — N 8. — P. 39–43.
3. Voznesenskiy, V.A. Numerical solution methods of construction and technological problems on electronic computers [Text] / V.A. Voznesenskiy, T.V. Lyashenko, B.L. Ogarkov; under the ed. of V.A. Voznesenskiy. — Kiev : Higher school, 1989. — 328 p.
4. Methodological recommendations to the evaluation of investment projects / Ministry of Economy of Russia, Russia's Finance Ministry, The State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy. — M. : Open Joint Stock Company «Research and Production Publisher «Economy», 2000. — 237 p.

УДК 691.4:666.31

А.В. КОЛПАКОВ, В.З. АБДРАХИМОВ

**К ВОПРОСУ О ФАЗОВОМ СОСТАВЕ
КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ МЕЖСЛАНЦЕВОЙ ГЛИНЫ,
ОТХОДОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ**

Использование отходов горючих сланцев и углеобогащения в керамических массах без применения природных традиционных материалов для получения керамических материалов способствует образованию муллита, анортита и волластонита, которые повышают физико-механические свойства изделий.

Ключевые слова: керамический материал, отходы горючих сланцев, межсланцевая глина, золошлаковая смесь, горелые породы, отходы флотации углеобогащения, муллит, анортит, кристобалит, гематит, волластонит.

Производство строительных керамических материалов — одна из самых материоемких отраслей народного хозяйства, поэтому рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором ее успешного развития в условиях проводимой экономической реформы. В связи с этим применение отходов производств в керамических материалах приобретает особую актуальность [1].

В производстве керамических материалов вопросу фазового состава, спеканию и физико-химическим процессам при обжиге изделий придается особое значение, так как именно они определяют главным образом эксплуатационные свойства изделий. Физико-механические и химические свойства керамических материалов зависят от фазового состава, а именно от содержания в изделиях стеклофазы, муллита, волластонита, анортита, гематита, магнетита, кристобалита, кварца и других минералов [2].

Цель работы — исследовать фазовые составы керамических изделий, полученных из отходов горючих сланцев и углеобогащения без применения традиционных природных материалов.

В качестве глинистого компонента для производства керамических материалов в данной работе использовалась межсланцевая глина, которая образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (на территории Самарской области это ЗАО «Медхим» в г. Сызрань) и является отходом. По числу пластичности межсланцевая глина относится к высокопластичному глинистому сырью (число пластичности 27–32) с истинной плотностью 2,55–2,62 г/см³. Имея высокое число пластичности, межсланцевая глина может связать до 50 % отощителей. Химический оксидный и поэлементный составы межсланцевой глины представлены в табл. 1, 2.

Минералогический состав межсланцевых глин разнообразен, однако общим для них является наличие кремнезема, гидрослюды, монтмориллонита и кальцита. Рентгенофазовый состав исследуемой межсланцевой

Таблица 1
Оксидный химический состав компонентов

Отход	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
1. Межсланцевая глина	45–47	13–14	5–6	11–13	2–3	3–4	9–20
2. Золошлаковая смесь	35–37	10–11	7,5–10	20–23	2–2,5	2–3	14–19
3. Горелые породы	41–42	7–9	7–8	19–19,5	2–3,5	0,5–1	14–15
4. Отходы флотации углеобогащения	50,40	18,56	6,4	1,51	0,50	4,78	16,5
5. Угольные шламы	28,4	13,7	5,83	1,53	1,24	1,24	47,38

Таблица 2
Поэлементный состав компонентов

Отход	Элементы										
	C	O	Na	Mg	Al+Ti	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
Межсланцевая глина	7,73	50,06	0,46	1,04	7,20	17,66	1,83	—	1,75	10,53	3,35
Золошлаковая смесь	7,44	47,38	0,81	0,93	5,65	16,9	1,58	—	1,53	12,2	5,58
Горелые породы	27,32	46,94	0,37	0,61	2,65	9,15	2,87	—	0,76	8,46	1,17
Отходы углеобогащения	8,84	56,19	—	—	11,64+0,29	19,03	0,28	0,08	2,39	0,38	0,88
Угольные шламы	8,84	56,19	—	—	11,64+0,29	19,03	0,28	—	2,39	0,38	0,88

глины проводился на дифрактометре ДРОН-6 с использованием СоКа-излучения при скорости вращения столика с образцом 1 град/мин. На рис. 1, А представлена рентгенограмма межсланцевой глины.

На дифрактограмме порошка межсланцевой глины отмечаются характерные интенсивные линии ($d/n = 0,190; 0,304$ и $0,350$ нм) кальцита, присутствие линии ($d/n = 0,227$ нм) обусловлено гематитом, линии ($d/n = 0,181; 0,212; 0,223; 0,244; 0,334$ и $0,335$ нм) кварцем, линии ($d/n = 0,198; 0,218$ и $0,238$ нм) гидрослюдой, линии ($d/n = 0,260; 0,282; 0,308$ и $1,420$ нм) монтмориллонитом, а линии ($d/n = 0,320$ и $0,387$ нм) полевым шпатом.

В качестве отщепителей, интенсификаторов спекания и частично выгорающих добавки для изготовления теплоизоляционного материала использовались горелые породы, золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев, отходы флотации углеобогащения и угольные шламы. Химический оксидный и поэлементный составы используемых добавок представлены в табл. 1 и 2. Рентгенофазовый анализ представлен на рис. 1.

Золы и шлаки образуются при сжигании горючих сланцев. Зола-унос — тонкодисперсный материал, состоящий из минеральной части сжигаемого топлива и улавливаемый из дымовых газов ТЭС. Размер частиц золы-уноса колеблется от 3–5 до 100–150 мкм. Плотность золы-уноса составляет $2\text{--}2,5$ г/см³, насыпная плотность $0,85\text{--}1,05$ г/см³, удельная поверхность $1150\text{--}1280$ см²/г [3]. Шлак — агрессивные и сплавившиеся частицы золы размером от 0,15 до 30 мм. Фазовый состав золошлаковой смеси представлен кварцем, кристобалитом, муллитом, гематитом и магнетитом (см. рис. 1, Б).

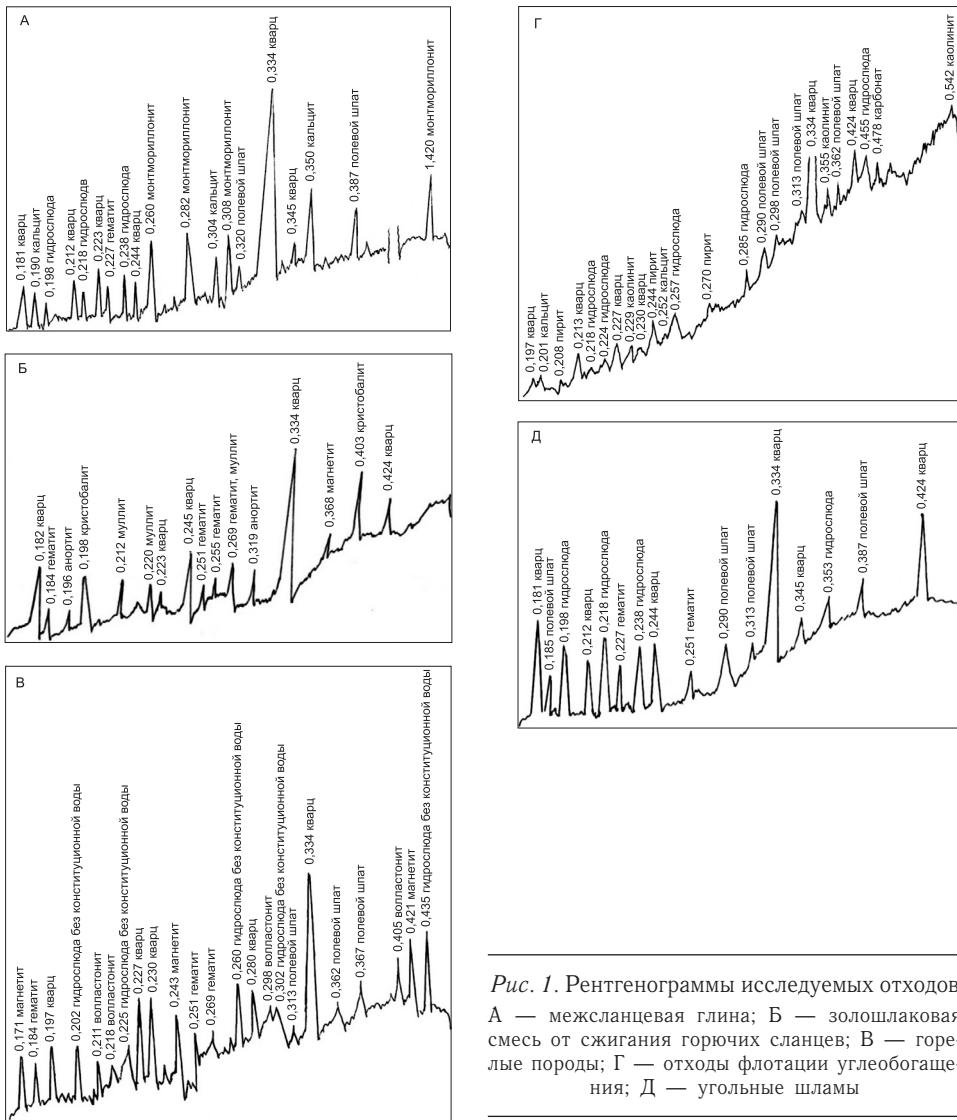


Рис. 1. Рентгенограммы исследуемых отходов
А — межсланцевая глина; Б — золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев; В — горелые породы; Г — отходы флотации углеобогащения; Д — угольные шламы

Горелые породы образуются в местах добычи сланцев. Сланец, который не удалось в процессе добычи отделить от пустой породы, направляется в отвал. В терриконах при совместном хранении пустых пород и сланцев за счет повышенного количества в смешанных отвальных массах органических соединений происходит самовозгорание, которое приводит к образованию большого количества отхода — горелых пород. Истинная плотность горелых пород Самарской области составляет 2,4–2,7 г/см³, средняя плотность — 1300–2500 кг/м³. Особенность горелых пород — высокая микропористость как следствие появления микрощелей и достаточно высокая адсорбционная активность. Горелые породы, хотя и являются отходами производства, но по химическому составу идентичны алюмосиликатному природному сырью для производства стеновых керамических материалов, что позволяет использовать их в производстве легковесного кирпича как основного компонента шихты [4]. Они, в отличие от глинистых компонентов, не обладают пластичностью и связующей способностью, поэтому керамические материалы на их основе требуют использования пластических компонентов.

В горелых породах присутствуют характерные минеральные новообразования: волластонит, гидрослюдя без конституционной воды, которая уже не обладает свойствами глины (пластичностью), оксиды железа из-за недостаточного доступа кислорода при горении пород восстанавливаются до магнетита (см. рис. 1, В).

Минералогический состав горелых пород разнообразен, однако общим для них является наличие активного глинозема в виде радикалов де-гидратированных глинистых минералов или в виде активных компонентов: глинозема, кремнезема и железистых соединений. В отличие от зол и шлаков горелые породы почти не содержат стекловидных компонентов и характеризуются высокой сорбционной способностью.

Отходы флотации углеобогащения ГОФ «Томусинская» (Кемеровская обл.) представляют собой глинисто-угольные суспензии. Плотность отходов флотации $1,8\text{--}2,0 \text{ г}/\text{см}^3$, зольность 50–80 %. Преобладающими минералами глинистого вещества отходов флотации углеобогащения являются гидрослюдя и каолинит в различных количественных соотношениях (см. рис. 1, Г). Исследуемые отходы флотации относятся к группе высокоглинистых, для которых характерны высокая степень дисперсности, повышенная жесткость, набухание и размокаемость. Петрографический анализ показал, что состав твердой фазы отходов флотации колеблется в зависимости от месторождения в следующих пределах, мас. %: органическая часть угля 6–24; пирит 4,4–9,4; карбонат 4,0–8,2; глинистое вещество 58–80 и кварц 4–7.

Угольные шламы ЦОФ «Обуховская» (Ростовская обл.) являются малосернистыми по сравнению с другими отходами энергетики. Содержание угольной составляющей может достигать 40 %, а минеральная часть представлена в основном гидрослюдой, кварцем, полевыми шпатами и слюдой. Органическая часть шламов флотационного углеобогащения представлена в большей степени антрацитом, за счет чего в них мало летучих компонентов и поэтому они трудно воспламеняются и горят коротким пламенем (температура обжига керамических изделий должна быть не менее 1050°C). Зольность шламов колеблется от 35 до 70 %, а теплотворная способность от 3000 до 4500 ккал/кг. На дифрактограмме порошка шламов флотации углеобогащения отмечаются характерные интенсивные линии кварца, гематита, гидрослюды и полевого шпата (см. рис. 1, Д).

Повышенные содержания в используемых добавках:

- 1) органических веществ способствуют обжигу кирпича;
- 2) оксидов железа и кальция — спеканию при относительно невысоких температурах ($1000\text{--}1050^\circ\text{C}$);
- 3) оксида алюминия — повышению прочности и морозостойкости.

Для анализа размера частиц используемых материалов был проведен металлографический анализ на микроскопе МИН-8М при увеличении в 200 раз (рис. 2). Как видно из рис. 2, А, в исследуемых образцах межсланцевой глины, как и в отходах флотации углеобогащения (рис. 2, Г), много крупных включений (размером более 2–5 мкм). Анализ золошлаковой смеси (рис. 2, Б) показал наличие в ней крупных включений размером более 3–7 мкм, горелой породы — размером более 10–15 мкм (рис. 2, В). Средний размер частиц шлама — 10 мкм, 50, 100, 150 мкм (рис. 2, Д, Е).

Электронно-микроскопический анализ материалов представлен на рис. 3. В шламах флотации углеобогащения повышенное содержание

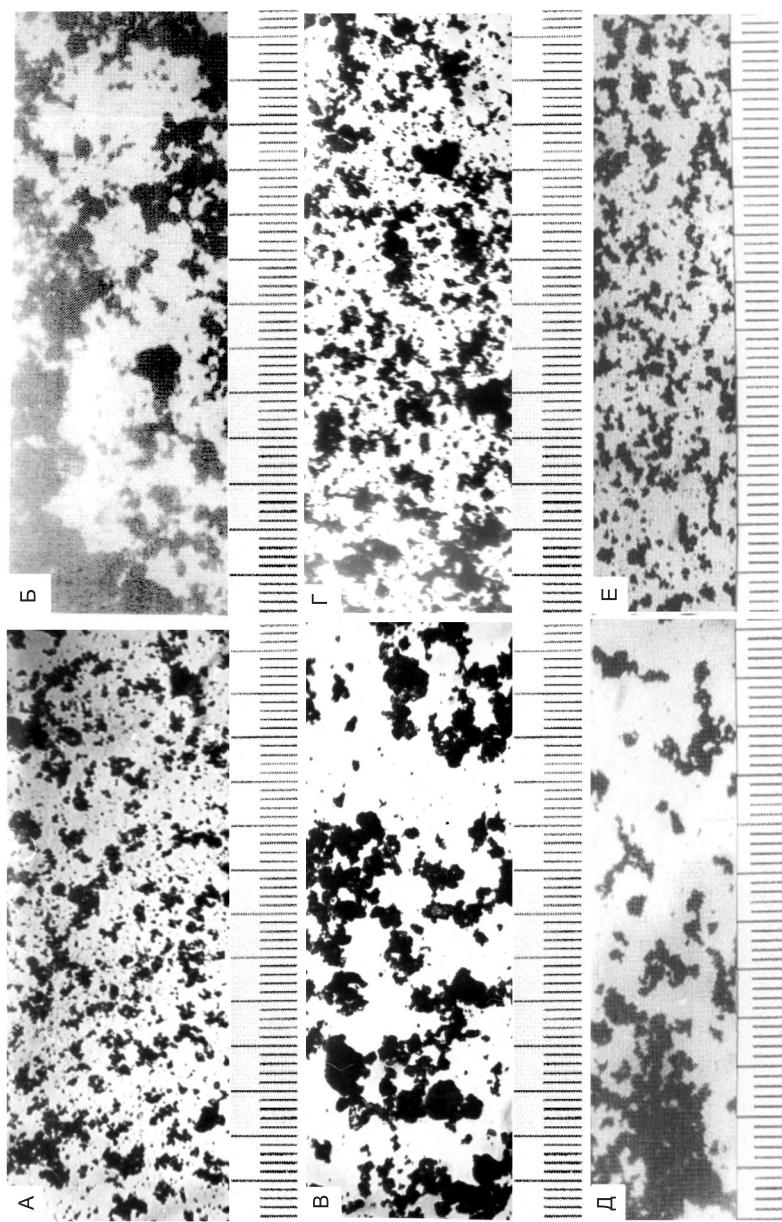


Рис. 2. Металлографический анализ исследуемых отходов
А — межсланцевая глина; Б — золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев; В — горелые породы; Г — отходы углеобогащения; Д, Е — угольные шламы

угольной составляющей, которая (как указывалось выше) может достигать более 40 % (рис. 3, Ж, З).

В табл. 3 даны составы керамических масс для получения теплоизоляционных материалов из отходов производств без применения природных традиционных материалов.

Составы керамических масс

Таблица 3

Отход	Содержание компонентов, мас. %			
	1	2	3	4
1. Межсланцевая глина	60	60	60	60
2. Золошлаковая смесь	40	—	—	—
3. Горелые породы	—	40	—	—
4. Отходы флотации углеобогащения	—	—	40	—
5. Угольные шламы	—	—	—	40

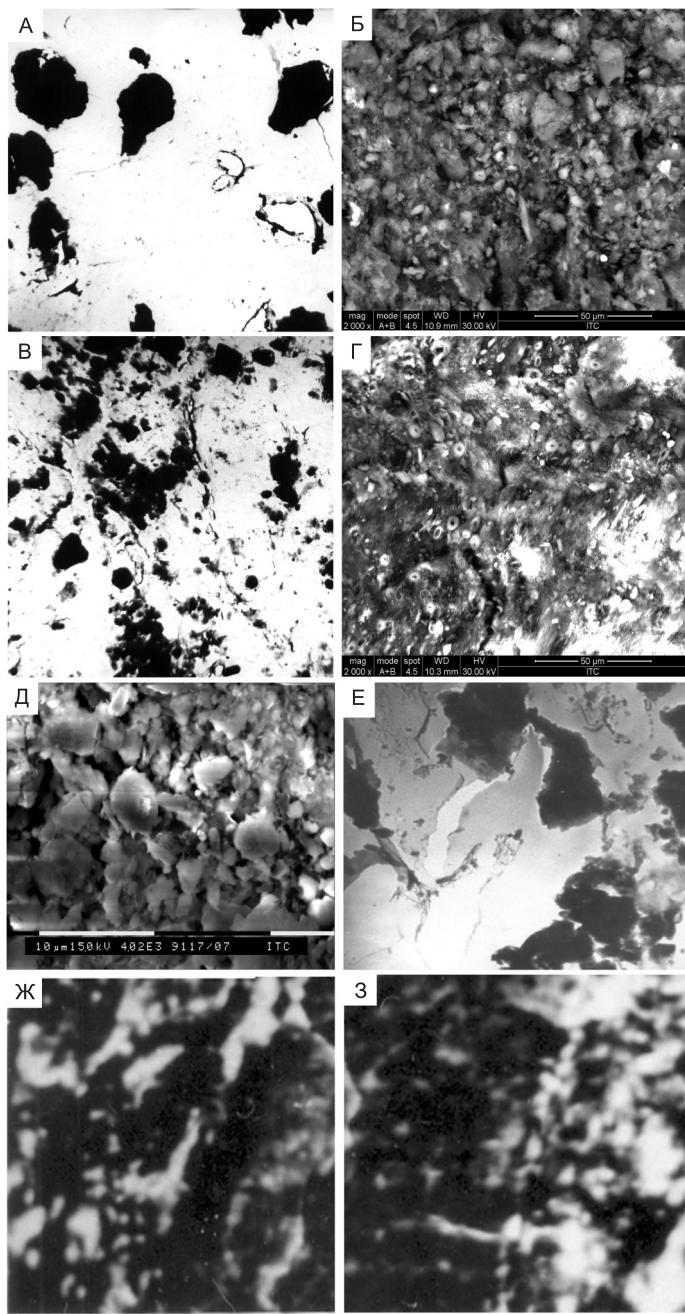
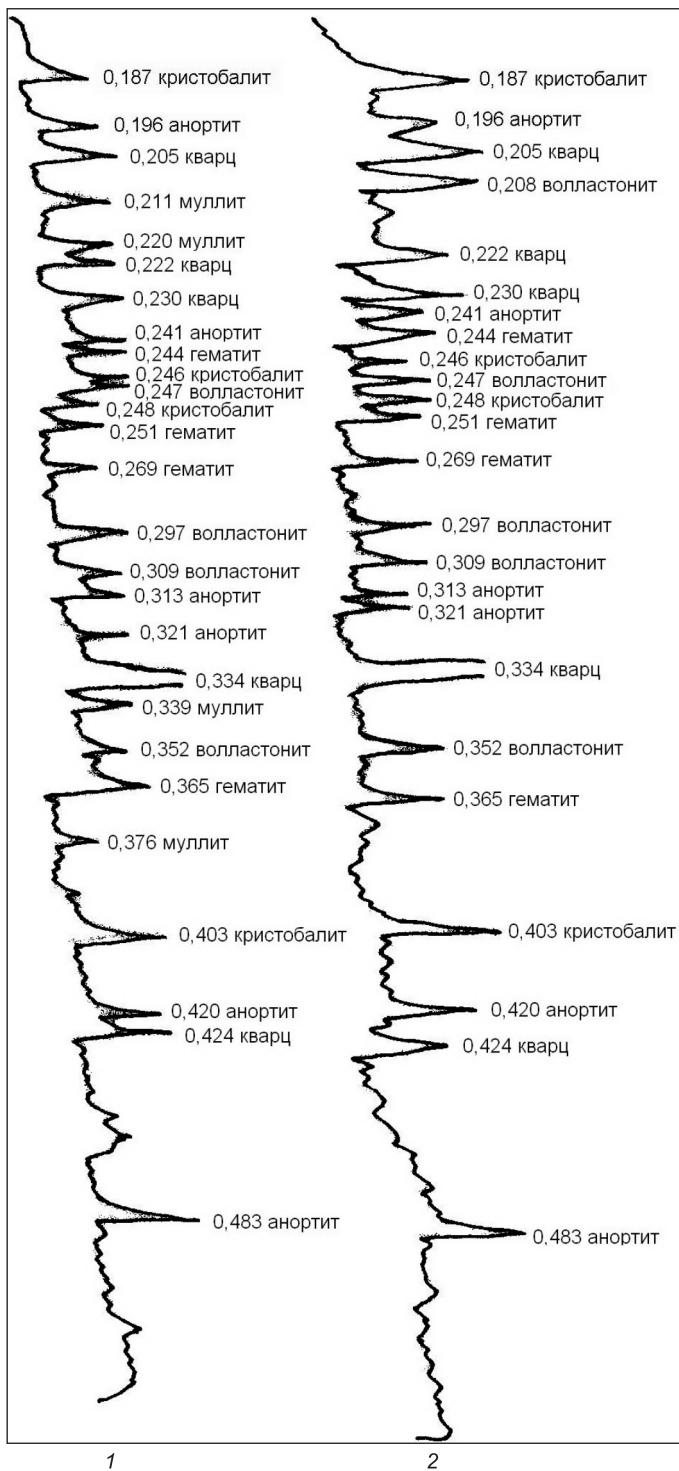


Рис. 3. Микроструктура исследуемых отходов
А, Б — межсланцевая глина; В, Г — горелые породы; Д — отходы флотации углеобогащения; Е — золошлаковая смесь; Ж, З — шламы флотационного обогащения.

Увеличение: А, В, Е×5000; Б, Г×2000; Д, Ж×1500; З×3000

Керамическую массу из составов (см. табл. 3) готовили пластическим способом при влажности 20–22 %, из которой формовали образцы размером 50×50×50 мм. Образцы высушивали до остаточной влажности не более 5 %, а затем обжигали при температуре 1050 °С.

Рентгенофазовый состав керамических составов № 1–4, как и отходов, проводился на дифрактометре ДРОН-6. На рис. 4, линия 1 представлен фазовый состав образцов из состава № 1.



На дифрактограмме порошка состава № 1 отмечаются характерные интенсивные линии ($d / n = 0,187; 0,246; 0,248$ и $0,403$ нм) кристобалита, присутствие линии ($d / n = 0,196; 0,241; 0,313; 0,321; 0,420$ и $0,483$ нм) обусловлено анортитом, линии ($d / n = 0,205; 0,222; 0,230; 0,334$ и $0,424$ нм) кварцем, линии ($d / n = 0,211; 0,220; 0,339$ и $0,376$ нм) муллитом, линии ($d / n = 0,247; 0,297; 0,309$ и $0,352$ нм) волластонитом, линии ($d / n = 0,251; 0,269$ и $0,365$ нм) гематитом. Кристаллизации кри-

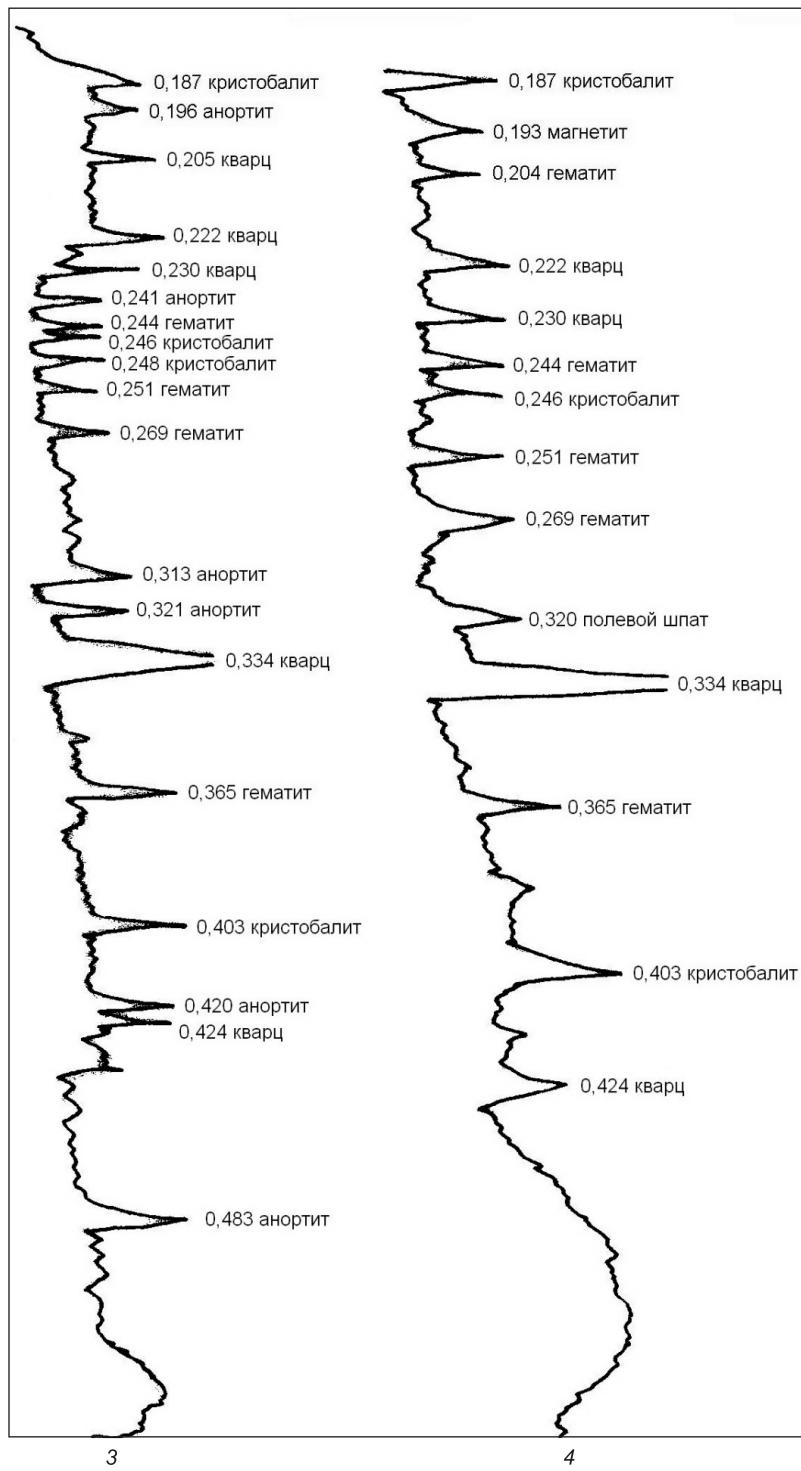


Рис. 4. Рентгенограммы составов № 1–4

стобалита в образцах при температуре обжига 1100 °С подтверждается и увеличение полосы поглощения $\nu = 1010 \text{ см}^{-1}$ на ИК-спектре (рис. 5, линия 1).

ИК-спектры поглощения исследуемых керамических композиционных материалов из составов № 1–4 были получены на спектрофотометре

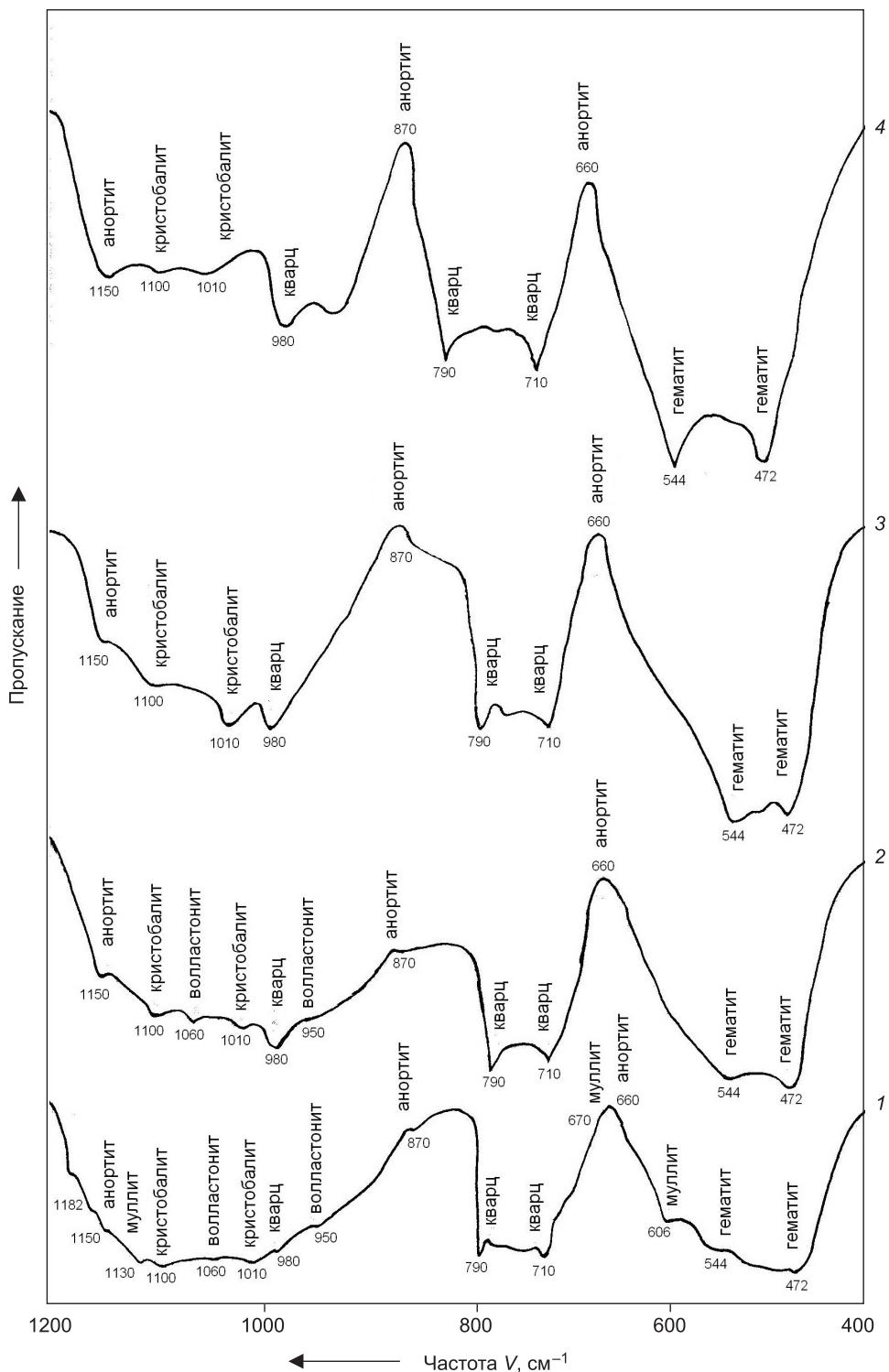


Рис. 5. ИК-спектры составов № 1–4

«Spekord-75JR». Образцы были приготовлены в виде суспензии порошка с вазелиновым маслом.

Содержание кристобалита снижает механическую прочность изделий, а образование его из аморфного кремнезема, выделившегося в ре-

зультате муллитизации, обуславливает проницаемость изделий^{1, 2}. В связи с этим необходимо найти способы регулирования процессов фазообразования, происходящих при обжиге керамических изделий.

Электронно-микроскопические исследования подтвердили данные рентгенофазового и ИК-спектрскопических анализов, что при температуре обжига 1050 °С отмечается появление кристобалита, стеклофазы, муллита, гематита, анортита и волластонита (см. рис. 5, линия 1 и рис. 6, А).

Информация о процессах формирования кристаллических новообразований анортита и его влиянии на рост прочности при обжиге керамических материалов в литературе встречается крайне редко^{2, 3}.

Наличие муллита в образцах состава № 1 в керамических материалах подтверждают полосы поглощения 605, 1130 и 1182 см⁻¹ на ИК-спектре (см. рис. 5, линия 1).

Волластонит создает плотный каркас, препятствующий изменению прежнего объема, т.е. заметно снижает напряжения и усадку керамических изделий. Волластонит является исключительно интересным, но, к сожалению, пока еще относительно плохо изученным материалом^{4, 5}. Наличие волластонита в образцах состава № 1 в теплоизоляционных материалах подтверждают полосы поглощения 950 и 1060 см⁻¹ на ИК-спектре (см. рис. 5, линия 1).

Гематит — самый низкотемпературный оксид железа, поэтому он может образовываться в области низких температур (ниже 500 °С)⁶⁻⁸. Гематит в керамических материалах способствует образованию железистого стекла, которое инициирует образование муллита⁶.

Наличие гематита в образцах состава № 1 в теплоизоляционных материалах подтверждают полосы поглощения 472 и 544 см⁻¹ на ИК-спектре (см. рис. 5, линия 1) и электронно-микроскопические снимки (см. рис. 6, А).

На дифрактограмме порошка состава № 2 (см. рис. 4, линия 2) отмечаются характерные интенсивные линии ($d/n = 0,187; 0,246; 0,248$ и 0,403 нм) кристобалита, присутствие линии ($d/n = 0,196; 0,241; 0,313$;

¹ Абдрахимова Е.С., Абдрахимов А.В., Абдрахимов В.З. Полиморфные превращения SiO₂ в глинистых материалах различного химико-минералогического состава // Материаловедение. 2002. № 7. С. 35–41.

² Литвинова Т.И., Пирожкова В.П., Петров А.К. Петрография неметаллических включений. М.: Металлургия, 1972. 184 с.

³ Абдрахимов В.З. Исследование железосодержащего традиционного природного и техногенного сырья на спекание керамических материалов. Влияние ионов Fe²⁺ и Fe³⁺ на образование низкотемпературного муллита. Самара: Самар. гос. архит.-строит. ун-т, 2009. 427 с.

⁴ Абдрахимов В.З. Волластонит в керамических материалах // Огнеупоры и техническая керамика. 2006. № 7. С. 41–47.

⁵ Абдрахимов В.З. Влияние волластонита на фазовые превращения при обжиге облицовочных плиток на основе отходов производств // Комплексное использование минерального сырья. 1998. № 5. С. 79–83.

⁶ Абдрахимов В.З. Исследование роли оксида железа на формирование фазового состава при обжиге керамических композиционных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 9. С. 40–44.

⁷ Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Химическая технология керамического кирпича с использованием техногенного сырья. Самара: Самар. гос. архит.-строит. ун-т, 2007. 431 с.

⁸ Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Основы материаловедения. Самара: Самар. гос. архит.-строит. ун-т, 2006. 495 с.

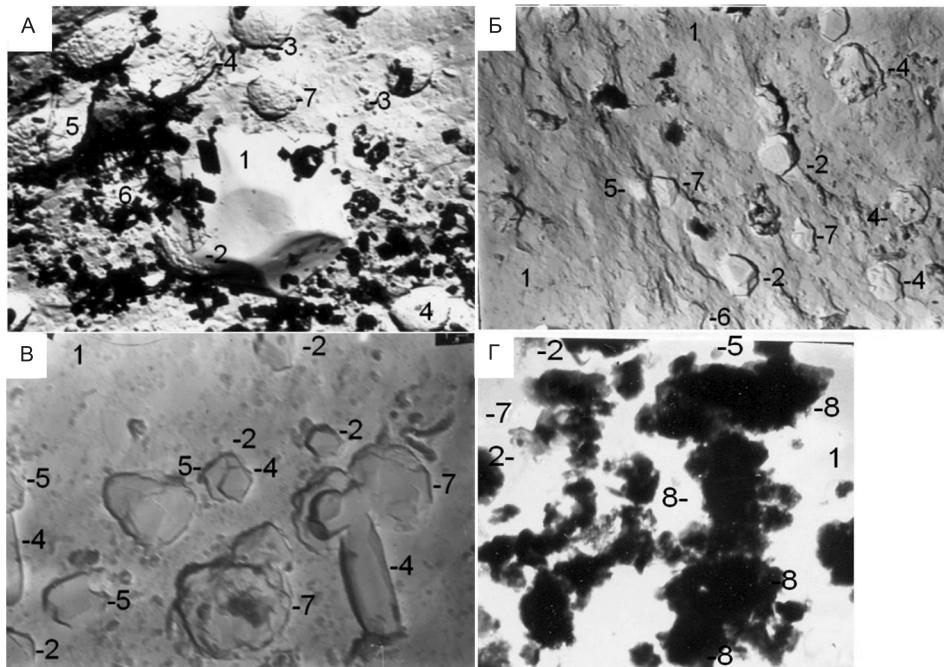


Рис. 6. Микроструктура образцов составов № 1–4

А — № 1; Б — № 2; В — № 3; Г — № 4. 1 — стеклофаза; 2 — кристобалит, 3 — муллит; 4 — кварц; 5 — аортит; 6 — волластонит; 7 — гематит; 8 — поры

Увеличение ×5000

0,321; 0,420 и 0,483 нм) обусловлено аортитом, линии ($d/n = 0,205$; 0,222; 0,230; 0,334 и 0,424 нм) кварцем, линии ($d/n = 0,247$; 0,297; 0,309 и 0,352 нм) волластонитом, линии ($d/n = 0,244$; 0,251; 0,269 и 0,365 нм) гематитом. Муллит в образцах состава № 2 при температуре обжига 1050 °С не образуется, что подтверждают и ИК-спектроскопические исследования (см. рис. 5, линия 2).

Электронно-микроскопические исследования подтвердили данные рентгенофазового и ИК-спектроскопических анализов, что при температуре обжига 1050 °С отмечается появление кристобалита, стеклофазы, гематита, аортита и волластонита (см. рис. 6, Б).

На рис. 6, Б показаны поля стеклофазы и оплавленные одиночные кристаллы кварца призматического и бипирамидального габитуса, одиночные крупные кристаллы α -кристобалита тетрагональной сингонии.

Содержание стеклофазы в образцах состава № 2 так же, как и в образцах состава № 1, до 30–35 % и при этом образуются желтоватые и бурье стекла с показателями преломления n от 1,55 до 1,57. На рис. 6, Б видны одиночные кристаллы гематита, волластонита и аортита таблитчатого облика. При содержании стеклофазы в составах № 1, 2 30–35 % плотность теплоизоляционных материалов относительно невелика и колеблется в пределах 1280–1390 кг/м³, а усадка не превышает 5 %.

На дифрактограмме порошка состава № 3 (см. рис. 4, линия 3) отмечаются характерные интенсивные линии ($d/n = 0,187$; 0,246; 0,248 и 0,403 нм) кристобалита, присутствие линии ($d/n = 0,196$; 0,241; 0,313; 0,321; 0,420 и 0,483 нм) обусловлено аортитом, линии ($d/n = 0,205$;

0,222; 0,230; 0,334 и 0,424 нм) кварцем, линии ($d / n = 0,244; 0,251; 0,269$ и 0,365 нм) гематитом. Муллит и волластонит в образцах состава № 3 при температуре обжига 1050 °C не образуются, что подтверждают ИК-спектроскопические (см. рис. 5, линия 3) и электронно-микроскопические исследования (см. рис. 6, В).

На дифрактограмме порошка состава № 4 отмечаются характерные интенсивные линии, аналогичные составу № 3 (см. рис. 4, линия 4).

Таким образом, использование углеродсодержащих отходов топливно-энергетической промышленности с повышенным содержанием оксида CaO в керамических массах для получения теплоизоляционных материалов способствует образованию муллита, анортита и волластонита, которые повышают физико-механические свойства изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б д р а х и м о в а, Е.С. Исследование процессов горения при обжиге теплоизоляционного материала из техногенного сырья цветной металлургии и энергетики [Текст] / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Журнал прикладной химии. — 2012. — Т. 85, вып. 8. — С. 1247–1251.
2. К о л п а к о в, А.В. Фазовый состав и структура пористости теплоизоляционного материала из отходов производств межсланцевой глины и нефтяного кека [Текст] / А.В. Колпаков, В.З. Абдрахимов // Новые оgneупоры. — 2012. — № 9. — С. 53–61.
3. Пат. № 2440317 Российская Федерация. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича [Текст] / В.З. Абдрахимов. — Опубл. 20.01.2012; Бюл. 2.
4. А б д р а х и м о в, В.З. Использование отходов горючих сланцев в производстве теплоизоляционных материалов без применения природного сырья [Текст] / В.З. Абдрахимов, И.Ю. Рощупкина, Е.С. Абдрахимова, А.В. Колпаков // Экология и промышленность России. — 2012. — № 3. — С. 28–31.

*КОЛПАКОВ Александр Викторович, асп.; E-mail: roland.alex@mail.ru
Самарская академия государственного и муниципального управления
АБДРАХИМОВ Владимир Закирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru
Самарская академия государственного и муниципального управления*

Получено 03.04.13

Kolpakov Alexander Viktorovich, post-graduate student; E-mail: roland.alex@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

Abdrakhimov Vladimir Zakirovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: 3375892@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

TO QUESTION ABOUT PHASE COMPOSITION OF CERAMIC MATERIALS BASED INTERSHALE CLAY, WASTES OF OIL SHALE AND COAL BENEFICATION

Use of oil shale and coal beneficiation waste in ceramic masses without application of natural traditional materials for production of ceramic materials is conduce formation of mullite, anorthite and wollastonite which increase physical and mechanical properties of wares.

Key words: ceramic materials, oil shale waste, intershale clay, cinder intermixture, burnt rocks, flotation of coal beneficiation waste, mullite, anorthite, cristobalite, hematite, wollastonite.

REFERENCES

1. Abdrakhimova, E.S. Research of burning processes at burning of heat-insulating material from man-triggered raw materials of the nonferrous metallurgy and the power industry [Text] / E.S. Abdrakhimova, V.Z. Abdrakhimov // Journal of applied chemistry. — 2012. — Vol. 85, fasc. 8. — P. 1247–1251.
 2. Kolpakov, A.V. Phase composition and porosity strucrure of heat-insulating material from production waste: interhale clay and petroleum cake [Text] / A.V. Kolpakov, V.Z. Abdrakhimov // New refractories. — 2012. — N 9. — P. 53–61.
 3. Pat. № 2440317 Russian Federation. Ceramic mass for production of ceramic brick [Text] / V.Z. Abdrakhimov. — Publ. 20.01.2012; Bull. 2.
 4. Abdrakhimov, V.Z. Use of oil shale waste in production of heat-insulating materials without application natural raw material [Text] / V.Z. Abdrakhimov, I.Yu. Roshupkina, E.S. Abdrakhimova, A.V. Kolpakov // Ecology and industry of Russia. — 2012. — N 3. — P. 28–31.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 693.547.3

А.И. ГНЫРЯ, М.М. ТИТОВ, С.М. КУЗНЕЦОВ

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОВОРОТНОГО БУНКЕРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Предложена модель оценки надежности работы поворотного бункера, с помощью которой можно оценить эффективность и надежность работы систем, комплектов, отдельных строительных машин и устройств на любом объекте. Это позволит наиболее точно прогнозировать сроки производства отдельных видов работ и их стоимость еще на стадии проектирования. Определены комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования и коэффициент сохранения эффективности.

Ключевые слова: поворотный бункер, надежность, модель, комплексные показатели, коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования, коэффициент сохранения эффективности.

Введение. Технология зимнего бетонирования с предварительным электроразогревом бетонной смеси получила широкое распространение и официальное признание в силу совершенно объективных достоинств этого метода. Прежде всего это единственный метод, где процессы приготовления, доставки, момент внесения тепла и режим остывания бетона происходят в полном соответствии с фундаментальным законом действия масс Гульберга и Бааге и принципом Ле Шателье. Благодаря этому скорость набора прочности в 1-2 сутки наибольшая, процесс гидратации более глубокий и качество бетона в конструкции наилучшее, а расход энергоресурсов наименьший вследствие используемого физического принципа электроконтактного нагрева бетонной смеси. Широкое распространение метод получил на стройках Новосибирска, Новокузнецка, Томска, Челябинска благодаря усилиям производственников и ученых: А.С. Арбенева, В.П. Лысова, А.И. Гныри, Б.А. Крылова, С.Г. Головнева, Н.Г. Пшонкина и др. [1].

Постановка задачи. Для анализа работы поворотных бункеров создана база данных, в которую включена за последние 10 лет следующая техническая и экономическая информация (табл. 1).

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 основными показателями надежности поворотного бункера являются:

1. Показатель надежности — количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность поворотного бункера.

Таблица 1

Технические и экономические показатели работы поворотных бункеров

Показатель	Обозначение	Поле
Марка машины	Марка	Marka
Заводской номер	N_z	N_z
Календарный фонд времени, ч	T_{Φ}	T_f
Время работы, ч	T_p	T_r
Время технологических перерывов всего, ч	T_p	T_p
Время технологических перерывов по режиму работы, ч	T_{pr}	T_{pr}
Время технологических перерывов в выходные и праздничные дни, ч	T_{pv}	T_{pv}
Время технологических перерывов на техническое обслуживание ЛЭП, ч	T_{pe}	T_{pe}
Время технологических перерывов из-за нахождения в резерве, ч	T_{pd}	T_{pd}
Время непланируемых простоев, ч	T_{np}	T_{np}
Простои из-за отсутствия бригады, ч	T_{br}	T_{br}
Простои из-за отсутствия автомобилей, ч	T_{am}	T_{am}
Простои из-за отсутствия эл/энергии, ч	T_{ee}	T_{ee}
Простои из-за неподготовленности рабочего места, ч	T_{fr}	T_{fr}
Простои из-за климатических условий, ч	T_{kl}	T_{kl}
Простои из-за других причин, ч	T_{dp}	T_{dp}
Коэффициент использования по времени	K_v	K_v
Коэффициент готовности	K_g	K_g
Коэффициент технического использования	K_{ti}	K_{ti}
Коэффициент сохранения эффективности	K_{se}	K_{se}
Время наработки на отказ, ч	T_n	T_n

2. Единичный показатель надежности — характеризующий одно из свойств, составляющих надежность поворотного бункера.

3. Комплексный показатель надежности — характеризующий несколько свойств, составляющих надежность поворотного бункера.

4. Расчетный показатель надежности — значения которого определяются расчетным методом.

5. Экспериментальный показатель надежности — точечная или интервальная оценка которого определяется по данным испытаний.

6. Эксплуатационный показатель надежности — точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации.

7. Экстраполированный показатель надежности — точечная или интервальная оценка которого определяется на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполирования на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

При анализе работы поворотных бункеров в статье рассмотрены только основные комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования, коэффициент сохранения эффективности. При этом для приведенных коэффициентов, на наш взгляд, целесообразно провести логическую и математическую обработку статистической информации [2, 3].

Алгоритм решения. Под коэффициентом готовности (K_g) понимается вероятность того, что поворотный бункер окажется в работоспособном

состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение поворотного бункера по назначению не предусматривается.

Коэффициент готовности представляет собой отношение времени исправной работы к сумме времен исправной работы и вынужденных простоев объекта, взятых за один и тот же календарный срок.

Коэффициент готовности определяется по формуле

$$K_g = \frac{T_p}{T_p + T_n}, \quad (1)$$

где T_p — суммарное время исправной работы объекта; T_n — суммарное время вынужденного простоя.

Для перехода к вероятностной трактовке величины T_p и T_n заменяются математическими ожиданиями времени между соседними отказами и времени восстановления соответственно

$$K_g = \frac{T_h}{T_h + T_b}, \quad (2)$$

где T_h — средняя наработка на отказ; T_b — среднее время восстановления.

На рис. 1, 2 показаны надежность коэффициента готовности поворотного бункера и плотность распределения вероятности коэффициента готовности поворотного бункера, полученные по результатам обработки натурных испытаний работы земснарядов при ежегодном анализе [4].

Коэффициент оперативной готовности (K_{op}) показывает вероятность того, что поворотный бункер окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение

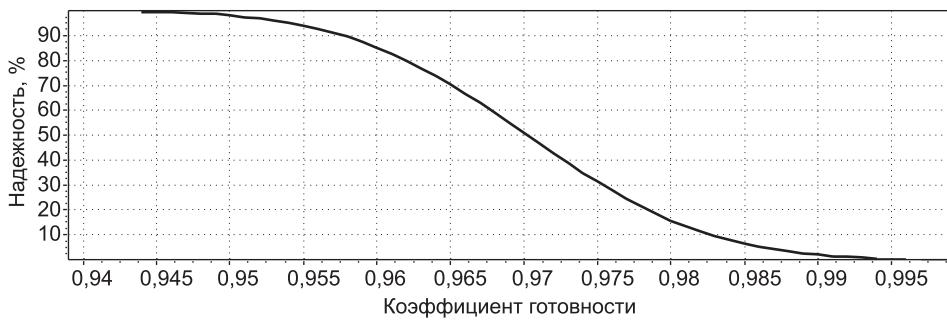


Рис. 1. Надежность коэффициентов готовности поворотного бункера

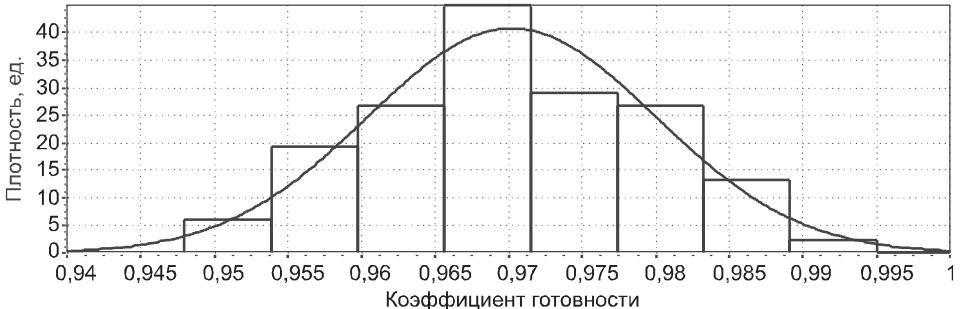


Рис. 2. Плотность распределения вероятности коэффициентов готовности поворотного бункера

которых применение поворотного бункера по назначению не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность изделия, необходимость применения которого возникает в произвольный момент времени, после которого требуется безотказная работа изделия в течение заданного интервала времени. Значение коэффициента оперативной готовности $K_{\text{ог}}$ определяется по формуле

$$K_{\text{ог}} = K_{\text{г}} P, \quad (3)$$

где $K_{\text{г}}$ — коэффициент готовности; P — вероятность безотказной работы поворотного бункера в течение заданного интервала времени.

Авторами предлагается вероятность безотказной работы определять по формуле

$$P = 1 - \frac{1}{\sigma_{\text{н}} \sqrt{2\pi}} \int_0^{T_0 + T_1} e^{-\frac{(T_{\text{н}} - \bar{T}_{\text{н}})^2}{2\sigma_{\text{н}}^2}} dT_{\text{н}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{н}}$ — время наработки на отказ;

$\bar{T}_{\text{н}}$ — среднее время наработки на отказ;

$\sigma_{\text{н}}$ — среднее квадратическое отклонение времени наработки на отказ;

T_0 — время с начала наработки на отказ;

T_1 — планируемый период времени безотказной работы поворотного бункера.

Значения коэффициента оперативной готовности используются при выполнении работ по оценке эффективности поворотного бункера, а также при оценке расчетных значений надежности по полученным из эксплуатации результатам работы поворотного бункера.

На рис. 3, 4 показаны надежность работы поворотного бункера и плотность распределения вероятности времени наработки поворотного бункера на отказ, полученные по результатам обработки натурных испытаний работы земснарядов.

По зависимости (см. рис. 3) можно оценить надежность работы поворотного бункера в заданном диапазоне от T_0 до $T_0 + T_1$. Например, при $T_0 = 400$ ч и $T_1 = 500$ ч надежность работы поворотного бункера равна приблизительно 70 %.

Коэффициент технического использования ($K_{\text{ти}}$) характеризует отношение математического ожидания суммарного времени пребывания поворотного бункера в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания



Рис. 3. Надежность работы поворотного бункера

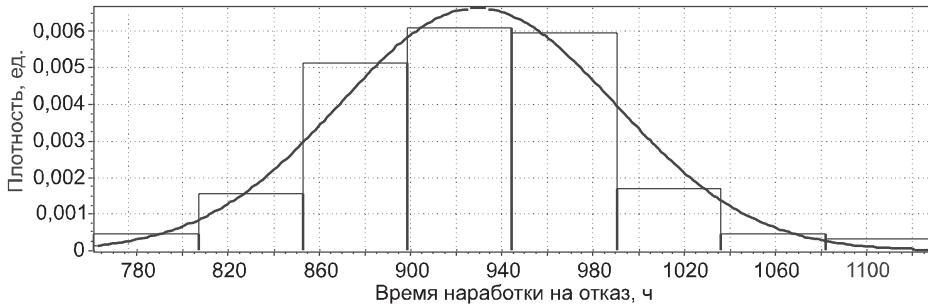


Рис. 4. Плотность распределения вероятности времени наработки поворотного бункера на отказ

поворотного бункера в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Коэффициент технического использования обычно оценивается за длительный период эксплуатации (от начала эксплуатации до капитального ремонта, между капитальными ремонтами, за весь период эксплуатации):

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_p}{T_p + T_{\text{рем}}}, \quad (5)$$

где T_p — суммарное время пребывания поворотного бункера в работоспособном состоянии за некоторый длительный период эксплуатации; $T_{\text{рем}}$ — суммарное время ремонтов и технического обслуживания за этот же период эксплуатации.

Коэффициент технического использования можно рассматривать как вероятность того, что в данный, произвольно взятый момент времени, объект работоспособен, а не находится в ремонте.

Авторами предлагается формула для расчета коэффициента технического использования

$$K_{\text{ти}} = \frac{K_{\text{в}}}{K_{\text{г}}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{в}}$ — коэффициент использования по времени; $K_{\text{г}}$ — коэффициент готовности.

На рис. 5, 6 представлены надежность коэффициента технического использования поворотного бункера и плотность распределения вероятности коэффициента технического использования поворотного бункера.

Коэффициент сохранения эффективности ($K_{\text{св}}$) показывает отношение значения показателя эффективности использования поворотного бункера по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номи-

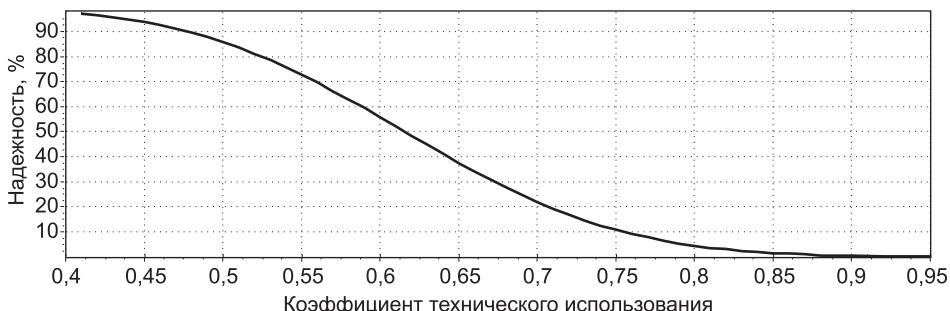


Рис. 5. Надежность коэффициентов технического использования поворотного бункера

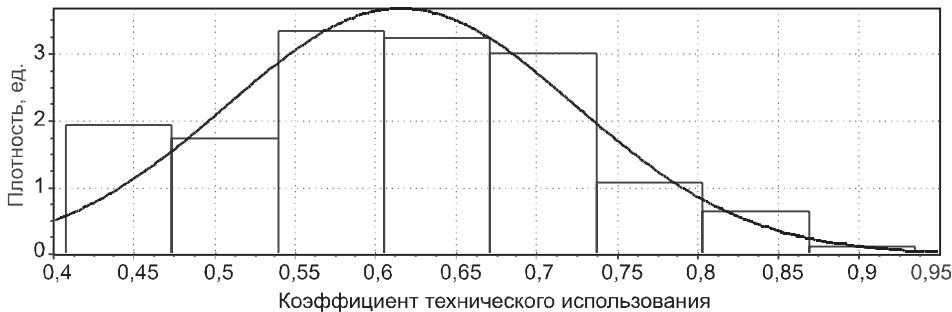


Рис. 6. Плотность распределения вероятности коэффициентов технического использования поворотного бункера

нальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы поворотного бункера в течение того же периода не возникают.

Коэффициент сохранения эффективности ($K_{\text{сэ}}$) — отношение значения показателя эффективности использования поворотного бункера по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы поворотного бункера в течение того же периода не возникают.

Коэффициент сохранения эффективности вычисляется по формуле

$$K_{\text{сэ}} = \frac{1}{\Theta_{\text{н}}} \sum_{i=1}^n \Theta_i P_i, \quad (7)$$

где Θ_i — эффективность поворотного бункера в i -м работоспособном состоянии;

P_i — вероятность пребывания объекта в i -м работоспособном состоянии; $\Theta_{\text{н}} = \max(\Theta_i)$ — номинальное значение показателя эффективности объекта, определенное при условии отсутствия отказов;

n — количество работоспособных состояний объекта.

Коэффициент сохранения эффективности, вычисленный по формуле (7), показывает отклонение расчетных параметров за конкретный промежуток времени от номинального значения.

По мнению авторов, коэффициент сохранения эффективности поворотного бункера можно выразить формулой

$$K_{\text{сэ}} = \frac{1}{n K_{\text{в}}^{\text{max}}} \sum_{i=1}^n K_{\text{в}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{в}}$ — коэффициент использования по времени по месяцам;

n — количество рассматриваемых месяцев;

$K_{\text{в}}^{\text{max}}$ — максимальное значение коэффициента использования по времени.

Рассчитаем коэффициент сохранения эффективности работы поворотных бункеров

$$\text{1-й поворотный бункер} — K_{\text{сэ}} = \frac{1}{35 \cdot 0,838} 20,026 = 0,6828 (68,28 \%)$$

$$\text{2-й поворотный бункер} — K_{\text{сэ}} = \frac{1}{35 \cdot 0,795} 20,046 = 0,7204 (72,04 \%)$$

$$\text{3-й поворотный бункер} — K_{\text{сэ}} = \frac{1}{35 \cdot 0,9} 21,567 = 0,6847 (68,47 \%)$$

$$\text{4-й поворотный бункер} — K_{\text{сэ}} = \frac{1}{35 \cdot 0,816} 21,974 = 0,7694 (76,94 \%)$$

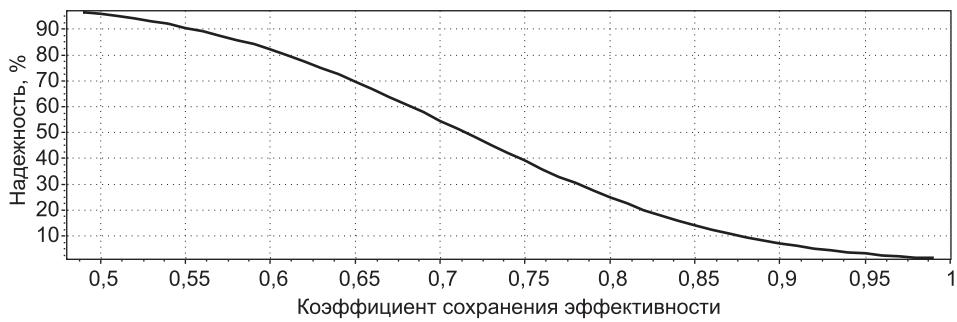


Рис. 7. Надежность коэффициентов сохранения эффективности поворотного бункера

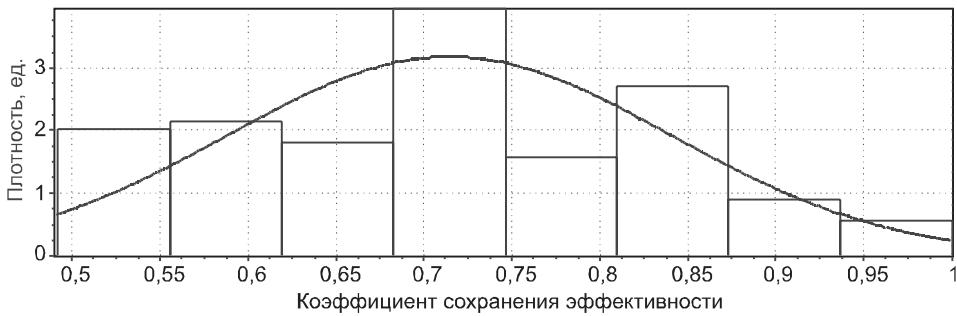


Рис. 8. Плотность распределения вероятности коэффициентов сохранения эффективности поворотного бункера

Характеристика выборки коэффициентов готовности, технического использования, сохранения эффективности и времени наработки на отказ поворотных бункеров

Таблица 2

Показатель	Величина			
Фактор	K_r	$K_{ти}$	$K_{с3}$	T_h
Количество опытов, шт.	140	140	140	140
Количество связей, шт.	3	3	3	3
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05	0,05
Минимальное значение фактора	0,948	0,407	0,492	761,0
Максимальное значение фактора	0,995	0,935	1,0	1128,0
Выборочное среднее значение фактора	0,9702	0,6157	0,7143	929,34
Среднее линейное отклонение фактора	0,00786	0,08630	0,10207	47,586
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,00975	0,10750	0,12541	60,033
Стандартное отклонение фактора	0,00978	0,10788	0,12586	60,249
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,00083	0,00912	0,01064	5,092
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,08522	1,48087	1,48922	0,5479
Эмпирическая дисперсия выборки	0,00010	0,01164	0,01584	3629,9
Вариации отклонения от среднего значения	0,00006	0,00745	0,01042	2264,4
Риск отклонения от среднего значения	0,00786	0,08630	0,10207	47,586
Коэффициент вариации	0,01005	0,17459	0,17558	0,06460
Вычисленное значение критерия Пирсона	1,45382	10,09241	14,15744	1,18817
Табличное значение критерия Пирсона	7,86	7,86	7,86	7,86
Количество интервалов	8	8	8	8

Приведенный выше анализ эффективности использования четырех бункеров показал, что лучше всего использовался четвертый бункер.

Коэффициент сохранения эффективности, вычисленный по формуле (8), показывает эффективность использования поворотного бункера за конкретный промежуток времени.

На рис. 7, 8 представлены надежность коэффициента сохранения эффективности поворотного бункера и плотность распределения вероятности коэффициента сохранения эффективности поворотного бункера.

В табл. 2 приведены параметры выборок коэффициентов готовности, коэффициентов технического использования, коэффициентов сохранения эффективности и времени наработки на отказ поворотного бункера.

Выводы. Предложен метод комплексной оценки работы поворотных бункеров с использованием технических показателей надежности и учета конкретных производственных условий выполнения работ, позволяющий прогнозировать основные показатели работы конкретного бункера. Предложенный метод является универсальным и его можно использовать для оценки надежности любых типов устройств, систем, комплектов и отдельных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Гныря, А.И. Совершенствование устройств предварительного электроразогрева бетонных смесей [Текст] / А.И. Гныря, М.М. Титов, С.М. Кузнецов // Строительные и дорожные машины. — 2011. — № 2. — С. 22–25.
- Кузнецов, С.М. Обработка результатов натурных испытаний при техническом и тарифном нормировании [Текст] / С.М. Кузнецов, К.С. Кузнецова // Экономика ж. д. — 2010. — № 7. — С. 88–99.
- Кузнецов, С.М. Оценка значимости факторов организационно-технологической надежности работы земснарядов [Текст] / С.М. Кузнецов, В.Б. Пермяков, П.А. Хабарова // Экономика ж. д. — 2009. — № 7. — С. 56–61.
- Кузнецов, С.М. Оценка технической надежности работы гидротранспортных систем [Текст] / С.М. Кузнецов // Экономика ж. д. — 2013. — № 8.

ГНЫРЯ Алексей Игнатьевич, д-р техн. наук, проф.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ТИТОВ Михаил Михайлович, д-р техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КУЗНЕЦОВ Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доц.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 11.04.13

Gnyrya Alexey Ignatyevich, doctor of technical sciences, professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Titov Mikhail Mikhaylovich, doctor of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Kuznetsov Sergey Mikhaylovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

COMPLEX ASSESSMENT OF RELIABILITY OF USE OF THE ROTARY BUNKER FOR THE ELECTROWARMING UP OF CONCRETE MIXES

Authors offered model of an assessment of reliability of operation of the rotary bunker. By means of this model it is possible to estimate efficiency and reliability of work of systems,

the sets, separate construction cars and devices on any object. It will allow to predict most precisely terms of production of separate types of works and their cost at a design stage. In article complex indicators of reliability are defined: availability quotient, coefficient of operational readiness, coefficient of technical use and coefficient of preservation of efficiency.

Key words: rotary bunker, reliability, model, complex indicators, availability quotient, coefficient of operational readiness, coefficient of technical use, coefficient of preservation of efficiency.

REFERENCES

1. Gnyrya, A.I. A carry to perfection of devices of a preliminary electrowarming up of concrete mixes [Text] / A.I. Gnyrya, M.M. Titov, S.M. Kuznetsov // Construction and road cars. — 2011. — N 2. — P. 22–25.
 2. Kuznetsov, S.M. Processing of results of natural tests at technical and tariff rationing [Text] / S.M. Kuznetsov, K.S. Kuznetsova // Economy of the railways. — 2010. — N 7. — P. 88–99.
 3. Kuznetsov, S.M. Assessment of the importance of factors of organizational and technological reliability of work of dredges [Text] / S.M. Kuznetsov, V.B. Permyakov, P.A. Habarova // Economy of the railways. — 2009. — N 7. — P. 56–61.
 4. Kuznetsov, S.M. Assessment of technical reliability of work of hydrotransport systems [Text] / S.M. Kuznetsov // Economy of the railways. — 2013. — N 8.
-

УДК 621.878.2:621.396

**Ю.В. АВДЕЕВ, А.Д. КОНОНОВ, А.А. КОНОНОВ,
Н.А. ВАРДАНЯН, В.Н. АНИКИН**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РАДИОВОЛНОВОГО КАНАЛА
СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫМИ МАШИНАМИ**

Приводится методика и результаты экспериментальных исследований характеристик электромагнитных полей в радиоволновом канале системы сопровождения землеройно-транспортных машин. Даются рекомендации по оптимизации использования радиотехнических устройств, обеспечивающих дистанционное управление мобильными рабочими объектами.

Ключевые слова: дистанционное управление, землеройно-транспортные машины, экспериментальные исследования.

Важным направлением повышения эффективности применения землеройно-транспортных машин (ЗТМ) и безопасности жизнедеятельности оператора является развитие систем дистанционного радиоуправления [1].

Решение проблемы дистанционного управления ЗТМ включает в себя ряд задач, часть из которых может быть решена теоретически, например [2, 3], а часть требует дополнительных экспериментальных исследований.

В работе [4] проведено исследование канала радиоуправления в различных условиях распространения электромагнитных волн. Математический анализ влияния всех факторов на результирующее электромагнитное поле в общем случае крайне сложен, поэтому для исследования процесса управления в реальной обстановке особая роль принадлежит макетированию и экспериментальному изучению устройств дистанционного радиоуправления.

В задачу настоящего исследования распределения электромагнитных полей не входила экспериментальная проверка всех результатов теоретических исследований, представленных в [4]. В данной работе устанавливаются параметры распределения электромагнитных полей между передатчиком и приемником в условиях реальной обстановки взаимодействия между машинами. При этом целью испытаний является экспериментальная оценка изменений уровня напряженности поля в ближней и дальней зоне с учетом влияния окружающей местности для дальнейшей оптимизации основных характеристик приемного и передающего устройств, используемых для обеспечения работы системы дистанционного радиоуправления ЗТМ.

Следует отметить, что с целью определения реальной возможности применения описываемых систем дистанционного управления [1–4] для различных строительных, дорожных, сельскохозяйственных и других

машин при проведении измерений выбирались участки местности с различным рельефом:

- измерения на ровном участке местности с высотами неровностей h_n не более 20 см;
- измерения на участке местности с резкими перепадами высот неровностей около 2–3 м;
- измерения в карьере;
- измерения в лесном массиве (смешанный лес).

Измерительный комплекс включает передающее и приемное устройства, разделенные радиоволновым каналом [4]. Антенна передающего устройства представляет собой вертикальный вибратор [4], расположенный на рабочей поверхности. Диаграмма направленности такой антенны имеет максимум излучения вдоль поверхности земли. Для всех перечисленных вариантов рельефа рабочего пространства измерения напряженности поля проводились для горизонтальной (Γ) и вертикальной (В) поляризаций приемной антенны.

Для настройки экспериментального комплекса и проведения измерений использовались осциллографы, генератор сигналов высокочастотный, измеритель напряженности поля и геодезические треноги для крепления антенн.

В процессе подготовки к измерениям осуществлялась общая проверка работоспособности всех основных узлов и блоков системы. На выбранных участках местности проводилось предварительное определение точек установки измерительной аппаратуры.

Для определения изменения напряженности поля на ровном участке местности измерительный комплекс устанавливается в центре круга диаметром 300 м. Антенна измерительного приемника может закрепляться на различных высотах от поверхности земли. Сначала передатчик устанавливается в непосредственной близости от измерительного приемника и проводится калибровочное измерение напряженности поля в контрольной точке. Затем передатчик перемещается в радиальном направлении от измерительного приемника до 150 м, определяется напряженность поля и результаты измерений фиксируются. Аналогичные процедуры проводятся для участков местности с резкими изменениями рельефа, в карьере и в лесном массиве.

В качестве иллюстраций на рис. 1–4 приведены некоторые усредненные результаты экспериментальных исследований, отражающие измене-

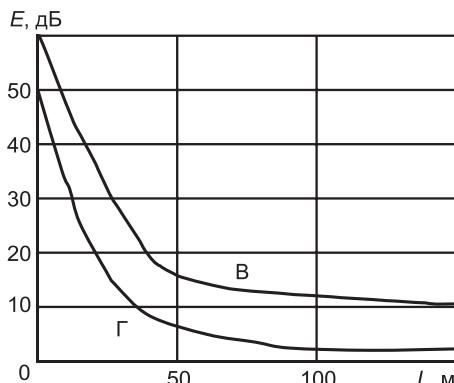


Рис. 1. Изменение напряженности поля на ровной местности при $H = 2$ м

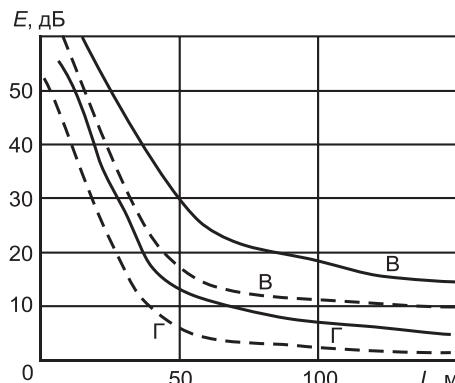


Рис. 2. Изменение напряженности поля на местности при наличии строений
— $H = 3,5$ м, - - - $H = 2$ м

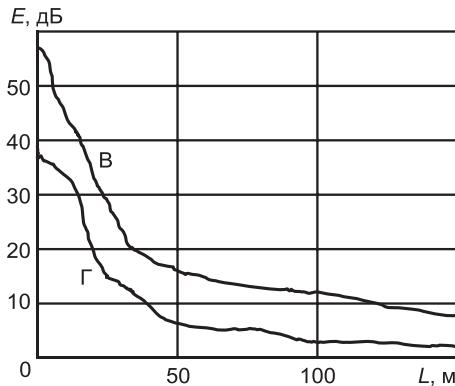


Рис. 3. Изменение напряженности поля в карьере при $H = 2$ м

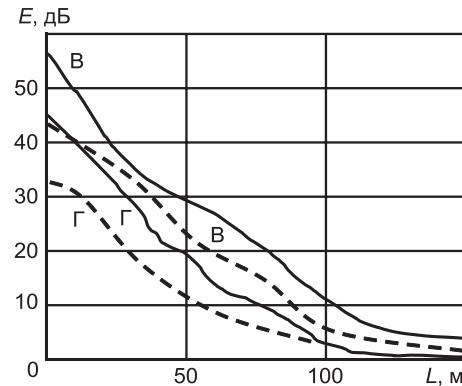


Рис. 4. Изменение напряженности поля в смешанном лесу при $H = 2$ м
(- - - лесная опушка)

ние напряженности поля в зависимости от расстояния между передатчиком и приемником. При этом в большинстве иллюстрируемых случаев высота установки приемной антенны составляла $H = 2$ м. Исключением являются лишь графики, соответствующие проведению эксперимента на местности при наличии строений. В этом случае результаты измерений представлены для двух вариантов поднятия приемной антенны: на $H = 2$ м и на высоту $H = 3,5$ м.

Из анализа графиков видно, что напряженность поля для всех вариантов рельефа местности при расстояниях не более 100 м значительно превышает реальную чувствительность приемного устройства, используемого в канале радиоуправления машинами, т.е. отсутствуют зоны фединга сигнала (потеря связи и управления). Общий характер кривых совпадает с расчетными данными, приведенными в [4] для случая передающей антенны в виде вертикального вибратора, расположенного вблизи поверхности земли. Отметим, что при такой установке вибратора наилучшее соответствие между экспериментальными и расчетными данными имеет место, когда высоты неровностей $h_n \ll \lambda$ (λ — длина волн).

Расчетные и экспериментальные кривые распределения полей для разных высот поднятия приемной антенны с горизонтальной (Γ) и вертикальной (В) поляризациями по своему характеру качественно идентичны. Уровень напряженности поля, отмеченный измерительным приемником с вертикальной поляризацией антенны, выше, чем для антенны с горизонтальной поляризацией. В ближней зоне, где происходит формирование фронта волны, значения напряженности поля для обоих случаев приблизительно одинаковы.

Резкое увеличение напряженности поля, а значит повышение помехоустойчивости системы радиоуправления происходит с увеличением высоты поднятия приемной антенны. Так, изменение высоты антенны на 1,5 м увеличивает уровень напряженности поля в среднем на 10 дБ.

На основании экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Напряженность поля убывает обратно пропорционально расстоянию.
2. При вертикальной поляризации приемной антенны уровень напряженности поля увеличивается на 10–15 дБ, поэтому в качестве приемной

антенны рабочего объекта целесообразно использовать четвертьволновую штыревую антенну, установленную на крыше управляемого агрегата.

3. Увеличение высот приемных антенн приводит к увеличению уровня сигнала. При высотах антенн до 1–2 м зона интерференции находится в пределах 3–5 длин волн, а на этих расстояниях уже нельзя пренебречь сферичностью волн. Проведенный эксперимент показывает, что во всех рассмотренных случаях провалов в ближней зоне нет.

4. Отдельные выбросы на экспериментальных кривых объясняются переотражениями радиоволн от окружающих предметов и подстилающей поверхности.

5. Изменение уровня сигнала при изменении расстояния до 150 м составляет не более 60 дБ.

Полученные результаты могут быть полезны разработчикам высокопроизводительных систем дистанционного управления строительных, дорожных, сельскохозяйственных и других машин, в частности, автоматизированных ЗТМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А в д е е в, Ю.В. Анализ принципов дистанционного адаптивного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 9. — С. 41–46.
2. Ко н о н о в, А.Д. Алгоритм формирования сигналов управления в системах следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / А.Д. Кононов, Ю.В. Авдеев, А.А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 1. — С. 81–86.
3. А в д е е в, Ю.В. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координатомерной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 10. — С. 74–79.
4. А в д е е в, Ю.В. К вопросу исследования радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 10. — С. 86–92.

АВДЕЕВ Юрий Валентинович, канд. техн. наук, доц.

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
КОНОНОВ Александр Давыдович, канд. физ.- мат. наук, доц.*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
КОНОНОВ Андрей Александрович, д-р техн. наук; E-mail: kniga16@mail.ru*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
ВАРДАНЯН Нара Арташесовна, асп.*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
АНИКИН Виталий Николаевич, асп.*

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 02.04.13

Avdeev Yuriy Valentinovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kononov Aleksandr Davydovich, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kononov Andrey Alexandrovich, doctor of technical sciences; E-mail: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Vardanyan Nara Artashesovna, post-graduate student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Anikin Vitaliy Nikolaevich, post-graduate student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

EXPERIMENTAL RESEARCH OF A WAVE DUCT OF A REMOTE CONTROL SYSTEM BY MOTORGRADERS, SCRAPERS AND BULLDOZERS

The procedure and results of experimental researches of performances of electromagnetic fields in a wave duct of a tracker of motorgraders, scrapers and bulldozers is given. The guidelines on optimization of usage of radio devices ensuring full remote control in mobile working plants are given.

Key words: full remote control, motorgraders, scrapers and bulldozers, experimental researches.

REFERENCES

1. Avdeev, Yu.V. The analysis of principles of a remote adaptive technique by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 9. — P. 41–46.
 2. Kononov, A.D. Algorithm of forming of management signals in systems of tracking full remote control by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / A.D. Kononov, Yu.V. Avdeev, A.A. Kononov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 1. — P. 81–86.
 3. Avdeev, Yu.V. The device of numeral handling of output signals of system of measuring of coordinates for full remote control by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov etc. // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 10. — P. 74–79.
 4. Avdeev, Yu.V. To a problem of examination of a wave duct of a remote control system by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov etc. // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 10. — P. 86–92.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697:620.9.003.1

Ю.А. ТАБУНЩИКОВ, Н.В. ШИЛКИН, Ю.В. МИЛЛЕР

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЙ И МЕРОПРИЯТИЙ

Приведен метод экспресс-оценки эффективности энергосберегающего оборудования, технологий, мероприятий и обоснована необходимость его разработки. Рассмотрены актуальные на данном этапе развития строительной отрасли пути снижения теплопотребления зданий. На основе представленного метода рассмотрены примеры расчета расхода тепловой энергии для отопления здания в годовом цикле с учетом применения энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, тепловой баланс внутреннего воздуха здания, системы теплоснабжения и климатизации, энергосберегающее оборудование, технологии и мероприятия.

К настоящему времени в мировой инженерно-строительной практике накоплен огромный перечень специализированного энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий. При этом показатели энергоэффективности оборудования, технологий и мероприятий известны либо по данным фирм-производителей оборудования, либо по литературным источникам. Известно также, что количественные энергосберегающие показатели одного и того же оборудования существенно зависят от технологического назначения здания, особенностей применения отопительного и вентиляционного оборудования, режима эксплуатации здания, объемно-планировочных решений и т.д. и могут меняться в достаточно широких пределах.

В соответствии с этим перед инвесторами и проектировщиками встает задача оценить вклад того или иного энергосберегающего решения в снижение теплопотребления конкретного здания за счет применения этого оборудования, технологии или мероприятия. Такие задачи, как правило, решаются на основе математического моделирования здания как единой энергетической системы и определения теплопотребления зданий за характерные расчетные периоды времени. Предполагается при этом, что должны быть известны математические модели энергосберегающего оборудования или устройств, таких как утилизаторы теплоты вытяжного вентиляционного воздуха для нагрева / охлаждения приточного, устройство автоматизированного узла управления расхода потребления тепловой энергии, применение комнатных контроллеров и т.д. Однако изучение исследовательской мировой литературы показывает, что создание таких математических моделей представляет собой самостоятельную сложную задачу и, как правило, эти математические модели в силу их

сложности и приближенности не используются при составлении теплового баланса здания как единой энергетической системы.

В данной статье предлагается упрощенный универсальный метод оценки вклада широкого спектра энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в снижение теплопотребления конкретного здания на основе использования метода экспертных оценок эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий.

Сущность предлагаемого метода состоит в следующем. Вклад энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в снижение теплопотребления здания может быть оценен для большинства случаев введением так называемых коэффициентов эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в уравнение теплового баланса внутреннего воздуха здания.

Определим коэффициент эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий следующим образом:

$$\alpha = 1 - \frac{Q_{\text{от/ox2}}}{Q_{\text{от/ox1}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{от/ox1}}$ — расход тепловой энергии для отопления или охлаждения здания в годовом цикле до применения энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий, кВт · ч;

$Q_{\text{от/ox2}}$ — расход тепловой энергии для отопления или охлаждения здания в годовом цикле после применения энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий, кВт · ч.

Коэффициент эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий характеризует относительную величину снижения теплопотребления конкретного здания за счет применения конкретного энергосберегающего оборудования, технологии или мероприятия.

Предположим, что в системе вентиляции здания применяется утилизация теплоты вытяжного воздуха для нагрева приточного посредством пластинчатого теплообменника. В этом случае уменьшение расхода тепловой энергии для нагрева вентиляционной нормы наружного воздуха может быть охарактеризовано коэффициентом эффективности:

$$\alpha_{\text{вент}} = 1 - \frac{Q_{\text{вент2}}}{Q_{\text{вент1}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{вент1}}$ — расход тепловой энергии для нагрева вентиляционной нормы наружного воздуха в годовом цикле до применения утилизации теплоты вытяжного воздуха для нагрева приточного, кВт · ч;

$Q_{\text{вент2}}$ — расход тепловой энергии для нагрева вентиляционной нормы наружного воздуха в годовом цикле после применения утилизации теплоты вытяжного воздуха для нагрева приточного, кВт · ч.

Действительно, уравнение теплового баланса внутреннего воздуха имеет вид

$$Q_{\text{от/ox}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вент}} \mp Q_{\text{вн}} \mp Q_{\text{с.р}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{огр}}$ — трансмиссионные теплопотери / теплопоступления через наружные светонепроницаемые ограждающие конструкции здания, кВт · ч;

$Q_{\text{ок}}$ — трансмиссионные теплопотери / теплопоступления через наружные светопроницаемые ограждающие конструкции здания, кВт · ч;

$Q_{\text{вент}}$ — теплопотери / теплопоступления за счет вентиляционного воздухообмена с учетом инфильтрации, кВт · ч;
 $Q_{\text{вн}}$ — теплопоступления от внутренних источников тепловыделений, кВт · ч;
 $Q_{\text{с.р}}$ — теплопоступления за счет воздействия солнечной радиации, кВт · ч.

С учетом этого расход тепловой энергии для нагрева вентиляционной нормы наружного воздуха можно оценить по формуле

$$Q_{\text{вент2}} = Q_{\text{вент1}}(1 - \alpha_{\text{вент}}). \quad (4)$$

Аналогичным образом можно оценить вклад в тепловой баланс внутреннего воздуха зданий другого энергосберегающего оборудования, технологий или мероприятий.

С учетом вышесказанного уравнение теплового баланса внутреннего воздуха примет вид

$$Q_{\text{от/ок}} = [(1 - \alpha_{\text{огр}}) \cdot Q_{\text{огр}} + (1 - \alpha_{\text{ок}}) \cdot Q_{\text{ок}} + (1 - \alpha_{\text{вент}}) \cdot Q_{\text{вент}} \mp \\ \mp Q_{\text{вн}} \mp Q_{\text{с.р}}] \cdot (1 - \alpha_{\text{от/ок}}) \cdot (1 - \alpha_{\text{тепл}}), \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{вент}}$, $\alpha_{\text{от/ок}}$, $\alpha_{\text{тепл}}$, $\alpha_{\text{огр}}$, $\alpha_{\text{ок}}$ — коэффициенты эффективности энергосберегающего оборудования технологий и мероприятий, соответственно, при снижении расхода тепловой энергии в системе вентиляции (устройство утилизаторов теплоты вытяжного воздуха для подогрева / охлаждения приточного, применение приточных регулируемых устройств и т.д.); при снижении расхода тепловой энергии в системе отопления / охлаждения (устройство терmostатов, комнатных контроллеров и т.д.); при снижении расхода тепловой энергии в системе теплоснабжения (устройство ИТП, автоматизированного узла управления и т.д.), при снижении трансмиссионных теплопотерь / теплопоступлений через светонепроницаемые ограждающие конструкции (устройство влияния «мостиков холода», повышение теплотехнической однородности ограждающих конструкций и т.д.); при снижении трансмиссионных теплопотерь / теплопоступлений через светопроницаемые ограждающие конструкции (установка затеняющих устройств, применение «ночных штор» и т.д.).

Такой подход будем называть методом экспресс-оценки эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий.

В соответствии с изложенным выше, рассмотрим основные пути снижения теплопотребления зданий и выберем соответствующее энергосберегающее оборудование, технологии и мероприятия:

- регулирование расхода потребления тепловой энергии на вводе в здание или квартиру (устройство ИТП, автоматизированного узла управления, квартирного теплового пункта и т.д.);

- регулирование теплоотдачи отопительных приборов (пофасадное регулирование, прерывистый режим отопления, устройство терmostатов, комнатных контроллеров);

- снижение трансмиссионных теплопотерь / теплопоступлений через наружные светонепроницаемые ограждающие конструкции (уменьшение влияния «мостиков холода», повышение теплотехнической однородности ограждающей конструкции);

- снижение трансмиссионных и инфильтрационных теплопотерь / теплопоступлений через наружные светопроницаемые ограждающие конструкции (применение «ночных» штор);

- регулирование вентиляционного воздухообмена в зависимости от потребности (устройство приточных регулируемых устройств, центральных и местных вентиляционных установок, персональной вентиляции);
- использование утилизаторов теплоты вытяжного вентиляционного воздуха для нагрева / охлаждения приточного (применение пластинчатых теплообменников, теплообменников с вращающейся теплообменной насадкой (роторных рекуператоров), теплообменников с промежуточным теплоносителем (теплообменники «жидкость — воздух»)).

Для оценки снижения теплопотребления зданий при применении выбранного ряда энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в качестве экспертов были приглашены ведущие специалисты в строительной отрасли: профессора, кандидаты технических наук, проектировщики и другие специалисты с большим опытом разработки, проектирования, применения и эксплуатации различного энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в системах климатизации и теплоснабжения зданий. При оценке снижения теплопотребления зданий было принято следующее допущение — обязательным условием обеспечения энергоэффективности является выполнение архитектурно-строительных и санитарно-гигиенических норм, правильная наладка и эксплуатация энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий. Экспертная оценка и обработка результатов осуществлялась методом «Дельфи» — многоэтапный количественный метод групповых оценок, предусматривающий независимость мнений экспертов друг от друга и обладающий высокой надежностью при прогнозировании. По результатам экспертной оценки были определены коэффициенты эффективности вышеперечисленного энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий для жилых и общественных зданий, три из которых приведены для примера в табл. 1.

Таблица 1
Коэффициенты эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий

Наименование энергосберегающего оборудования, технологии или мероприятия	Коэффициент эффективности энергосберегающего оборудования, технологии или мероприятия
Утилизация теплоты вытяжного воздуха для нагрева приточного посредством пластинчатого теплообменника	0,64
Устройство комнатных контроллеров	0,46
Устройство персональной вентиляции	0,72

Данные, приведенные в табл. 1, являются результатом одного из возможных путей экспертных оценок. Значения коэффициентов эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий, полученные с использованием других методов экспертных оценок другими специалистами, могут отличаться.

Важной задачей являлось решение вопроса об учете вклада энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в снижение теплопотребления здания. Для этого нами разработан специальный вид уравнения теплового баланса внутреннего воздуха здания и определено, что лучше всего учитывать вклад энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий в следующем виде.

Разработка системы уравнений теплового баланса внутреннего воздуха здания с учетом коэффициентов эффективности энергосберегающе-

го оборудования, технологии и мероприятий осуществляется на основе математической модели для расчета расхода тепловой энергии для отопления и охлаждения зданий [1].

Таким образом, разработана специальная форма уравнения теплового баланса внутреннего воздуха здания, позволяющая учесть применение различного энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий, которая нигде ранее в литературе не встречалась.

На основании разработанного метода экспресс-оценки эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий нами были проведены расчеты расхода тепловой энергии для отопления административного здания в годовом цикле при применении различных энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий.

Исходные данные:

- здание расположено в Москве;
- полезная площадь здания составляет 2537 м²;
- характеристики ограждающих конструкций помещения соответствуют требованиям [2];
- климатические параметры соответствуют параметрам «типового метеорологического года» для Москвы [3];
- температура внутреннего воздуха в помещении в холодный период с 8.00 до 18.00 составляет 19 °C, с 18.00 до 8.00 — 12 °C [4];
- внутренние тепловыделения в помещениях составляют с 9.00 до 10.00 — 29 Вт/м², с 10.00 до 17.00 — 57 Вт/м², с 18.00 до 19.00 — 29 Вт/м², с 19.00 до 9.00 — 0 Вт/м²;
- кратность воздухообмена в рабочее время составляет 2 ч⁻¹, в нерабочую часть суток 0,5 ч⁻¹;
- система вентиляции центральная механическая;
- система отопления водяная двухтрубная с вертикальными стояками;
- управление расходом тепловой энергии осуществляется в автоматизированном узле управления;
- применены следующее энергосберегающее оборудование, технологии и мероприятия: утилизация теплоты вытяжного воздуха для нагрева приточного посредством пластинчатого теплообменника; устройство комнатных контроллеров; устройство персональной вентиляции. Коэффициенты эффективности указанного энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий представлены в табл. 1.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2
Расход тепловой энергии для отопления здания в годовом цикле при применении энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий, кВт · ч/м²

Энергосберегающее оборудование, технологии или мероприятия	Расход тепловой энергии для отопления здания в годовом цикле, кВт · ч/м ²		Экономия тепловой энергии для отопления в годовом цикле, %
	до применения энергосберегающего оборудования, технологии или мероприятия	после применения энергосберегающего оборудования, технологии или мероприятия	
Утилизация теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного посредством пластинчатого теплообменника	68,7	41,8	39
Устройство комнатных контроллеров	68,7	50,8	26
Устройство персональной вентиляции	68,7	39,8	42

Таким образом, разработанный метод экспресс-оценки эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий позволяет оперативно оценить вклад в снижение теплопотребления конкретного здания энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий и может быть использован для определения класса энергоэффективности зданий, для рейтинговой оценки зданий в системе «зеленого» строительства и исследования теплового баланса зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табунщико^в, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщико^в, М.М. Бродач // АВОК-ПРЕСС. — 2012. — С. 54–78.
2. СП 50.13330.2012 : СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий: введ. в действие 01.07.2013 / Минрегион России. — М. : Минрегион России, 2013. — С. 10–11.
3. Marion, W. User's Manual for TMY2s — Typical Meteorological Years: Derived from the 1961–1990 National Solar Radiation Data Base [Текст] / W. Marion, K. Urban. — National Renewable Energy Laboratory, 1995. — Р. 2–5.
4. СП 60.13330.2012 : СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: введ. в действие 01.01.2013 / Минрегион России. — М. : Минрегион России, 2013. — 8 с.

ТАБУНЩИКОВ Юрий Андреевич, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.; E-mail: tab@abok.ru

Московский архитектурный институт (Государственная академия)

ШИЛКИН Николай Васильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: shilkin@abok.ru

Московский архитектурный институт (Государственная академия)

МИЛЛЕР Юлия Владимировна, инж.; E-mail: miller@abok.ru

НП «АВОК», г. Москва

Получено 12.04.13

Tabunshchikov Yuri Andreevich, corresponding member of State Academy of Architectural and Construction Sciences, doctor of technical sciences, professor; E-mail: tab@abok.ru, Head of the Department of Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russia

Shilkin Nikolay Vasilievich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: shilkin@abok.ru, Head of the Department of Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russia

Miller Yuliya Vladimirovna, engineer; E-mail: miller@abok.ru, Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics, Moscow, Russia

EXPRESS ASSESSMENT OF THE ENERGY-SAVING EQUIPMENT, TECHNOLOGY AND MEASURES EFFICIENCY

The article gives information about method for express assessment the efficiency of energy-saving equipment, technology and measures. The authors describe the necessity of creation this method. The ways of energy consumption decrease are presented in the article below. In the article the example of calculation of heat energy consumption is done, in order to building heating regarding of use the energy-saving equipment, technology and measures.

Key words: energy efficiency, the heat balance of indoor air of the building, climatization system, heat supply system, energy-saving equipment, technology and measures.

REFERENCES

1. Tabunshchikov, Yu.A. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings [Text] / Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach // AVOK-PRESS. — 2012. — P. 54–78.
 2. SP 50.13330.2012: SN&P 23-02-2003. Thermal performance of the buildings: enter 01.07.2013 / Minregion of Russia. — M. : Minregion of Russia, 2013. — P. 10–11.
 3. Marion, W. User's Manual for TMY2s — Typical Meteorological Years: Derived from the 1961–1990 National Solar Radiation Data Base [Text] / W. Marion, K. Urban. — National Renewable Energy Laboratory, 1995. — P. 2–5.
 4. SP 60.13330.2012: SN&R 41-01-2003 : Heating, ventilation and air conditioning : enter 01.01.2013 / Minregion of Russia. — M. : Minregion of Russia, 2013. — 8 p.
-

УДК 628.16.09:551.482

Е.Л. ВОЙТОВ, Ю.Л. СКОЛУБОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ОЧИСТКИ РЕЧНЫХ ВОД
С ВЫСOKИМ СОДЕРЖАНИЕM
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Приведены результаты экспериментальных исследований очистки маломутных речных вод с высоким содержанием органических веществ. Разработана технология подготовки питьевой воды из открытых водоисточников. Представлены результаты испытаний производственных сооружений водоподготовки после их реконструкции в соответствии с разработанной технологией очистки.

Ключевые слова: технология, водоподготовка, источники, питьевая вода, органические соединения, антропогенные факторы, осветление, фильтрование.

Более трети поверхностных источников России характеризуются высоким содержанием органических веществ, интегрально оцениваемым окисляемостью и цветностью воды, достигающими 3 ПДК и более. Кроме того, воды имеют малую мутность (до 50 мг/л).

Органические вещества, поступающие в открытые водоемы в результате вымывания гумусовых веществ из почв, торфяников, а также отмирания и разложения водных организмов в самих водоемах, являются главной причиной появления в воде привкусов и запахов. Природный гумус представлен гуминовыми и фульвокислотами, которые придают воде желто-коричневую окраску и образуют с металлами (в первую очередь с железом и марганцем) растворимые в воде, устойчивые к окислению комплексные соединения. Образование комплексных соединений алюминия в процессе коагуляционной очистки и защитное действие гуминовых кислот увеличивает концентрацию остаточного алюминия в очищенной воде. В результате хлорирования воды образуются токсичные галогенорганические соединения: хлороформ, дихлорбромметан, хлорфенол и др.

В ряде источников поверхностных вод отмечено присутствие специфических органических примесей — фенолов, нефтепродуктов и др.

Наиболее широко используемые двухступенчатые реагентные технологии очистки, соответствующие СНиП 2.04.02–84, на первой ступени очистки предусматривают осветление в отстойниках, осветлителях с взвешенным осадком и контактных префильтрах, на второй ступени — очистку на скорых фильтрах [1, табл. 15]. Отстойники и осветлители с взвешенным осадком при очистке маломутных вод с высоким содержанием органических веществ работают неудовлетворительно. В первую очередь это обусловлено неэффективным протеканием процесса коагуляции из-за невысокой концентрации твердой фазы в исходной воде. В маломутной воде отсутствуют центры конденсации продуктов гидролиза коагуланта, поэтому не создаются условия для возникновения зародышей твердой фазы и осадок не образуется. Нагрузка по взвешенным веществам приходится на скорые фильтры, барьерная роль которых оказывается недостаточной. Применение контактных префильтров перед скорыми

фильтрами требует большого расхода промывной воды (до 15 % и более от расхода очищаемой воды), что снижает их производительность, увеличивает стоимость эксплуатации.

Рациональное функционирование станций очистки природных вод связано с комплексным решением проблем ресурсосбережения и охраны водоемов от загрязнения, очисткой, повторным использованием промывных вод фильтров и утилизацией водопроводных осадков.

Таким образом, проблема разработки эффективных технологий очистки маломутных природных вод с высоким содержанием органических соединений для питьевого водоснабжения, решением экологических вопросов требует глубокого изучения и проведения специальных исследований.

С целью повышения эффективности работы сооружений предварительной реагентной очистки маломутных природных вод с высоким содержанием органических соединений для питьевого водоснабжения, на принципе контактной коагуляции для очистки подземных и поверхностных природных вод в НГАСУ (Сибстрин) разработаны реакторы-осветлители новой конструкции [2]. Очистка воды в реакторе-осветлителе происходит в минимально взвешенном слое промываемой и многократно используемой контактной загрузки из мелкозернистого песка горелой породы, выполняющей функцию замутнителя и фильтрующего материала.

Разработанная в НГАСУ новая технология реагентной очистки маломутных вод с высоким содержанием органических веществ предусматривает обработку воды на реакторах-осветлителях первой ступени очистки, скорых фильтрах, загруженных песком горелой породы, — на второй ступени и финишную очистку на сорбционных фильтрах с загрузкой гранулированным активным углем. Кроме того, новая технология очистки предусматривает обработку и повторное использование промывной воды реакторов-осветлителей и фильтров, а также подготовку и утилизацию водопроводного осадка [3].

Эффективность разработанной реагентной технологии очистки, состав и дозы реагентов, оптимальные параметры работы водоочистных сооружений определены в результате экспериментальных исследований, проведенных в натурных условиях станции очистки вод р. Омь г. Куйбышева Новосибирской области. Речная вода характеризуется низкой мутностью (в пределах от 0,5 до 10 мг/л), высокой цветностью (до 600 град.), окисляемостью (до 60 мг O₂/л) и наличием в ней повышенных содержаний антропогенных веществ (фенолов, нефтепродуктов, железа, марганца). Стандартные двухступенчатые реагентные технологии осветления и обесцвечивания воды не рассчитаны на очистку вод такого качества [4]. Это подтвердили результаты проведенных нами предварительных лабораторных исследований, а также анализ работы существующей станции водоподготовки г. Куйбышева.

Схема модельной экспериментальной установки производительностью до 150 л/ч представлена на рис. 1. Работа установки происходила следующим образом. Исходная речная вода из напорного трубопровода насосной станции первого подъема поступала через сетчатый фильтр 1 и эжектор 2 в контактный бак 4 установки. Озон вырабатывался из воздуха с помощью озонатора 3 с регулируемой производительностью по озону от 0,12 до 1,2 г/ч, контроль расхода воздуха осуществлялся с помощью ротаметра 5. Гипохлорит натрия получался путем электролиза из крепкого раствора поваренной соли. В реагентных баках 8, 19–21 емкостью по 40 л приготавливались растворы поваренной соли, коагулянта, флокулянта, химического гипохлорита натрия или перманганата калия. Готовые

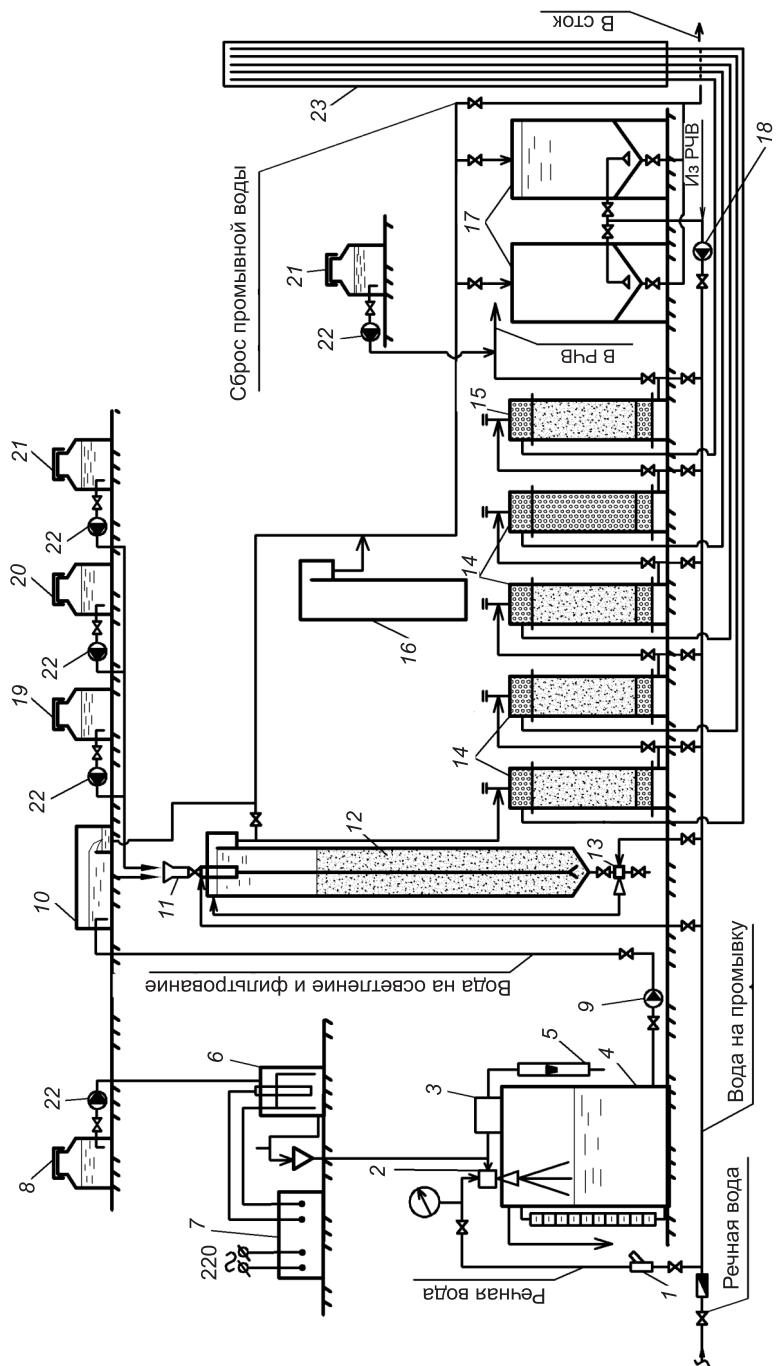


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по очистке речной воды в г. Куйбышеве Новосибирской области

1 — счетный фильтр; 2 — эжектор; 3 — озонатор; 4 — контактный бак; 5 — ротаметр; 6 — контактный бак; 7 — трансформатор; 8 — солевой бак; 9 — полкачивающий насос; 10 — бак постоянного уровня; 11 — воздухоотделитель; 12 — реактор-осветитель; 13 — промывные баки; 14 — промывные баки фильтров; 15 — модель сорбционного фильтра; 16 — промывная головка фильтра; 17 — промывные баки; 18 — промывочные баки; 19—21 — дозировочные насосы; 22 — баки коагуланта, флокулянта, гипохлорита натрия соответственно; 23 — пьезометрический щит

растворы с помощью перистальтических дозировочных насосов 22 подавались в контактный бак 4 или в воздухоотделитель 11. Из контактного бака 4 насосом 9 вода, обработанная реагентами, перекачивалась в бак-дозатор расхода 10. Вода из бака 10 через сборную воронку поступала в воздухоотделитель 11. Из воздухоотделителя обрабатываемая вода направлялась для предварительной очистки на модель реактора-осветителя 12, выполненную в масштабе 1 : 30 по диаметру и в масштабе 1 : 1 по высоте производственного реактора ($D = 3$ м, $H = 5$ м). Реактор загружался горелой породой с крупностью фракций 0,5–0,6 мм. Во взвешенном слое контактной загрузки реактора происходило образование

хлопьев гидроксида алюминия и сорбция на них гумусовых соединений. Скорость восходящего потока воды на реакторе-осветлителе в зоне осветления над слоем взвешенной контактной массы составляла от 2 до 3,5 мм/с в зависимости от расхода подаваемой на осветление воды. Осветленная вода поступала на модель скорого фильтра 14, состоящего из четырех фильтрационных колонок, соединенных последовательно и моделирующих фильтрующие и поддерживающие слои. Поддерживалась дозированная подача обрабатываемой воды на колонки, задаваемая с учетом обеспечения расчетных скоростей фильтрования, рекомендуемых СНиП для скорых фильтров при нормальном режиме их работы — до 8–10 м/ч [3, п. 6.97]. Из колонок, моделирующих скорый фильтр, вода поступала в фильтрационную колонку-модель сорбционного фильтра 15, загруженную активным углем марки АГ-3 с крупностью зерен 1,5–2,8 мм. Промывка фильтрационных колонок осуществлялась исходной или технической водой с интенсивностью и продолжительностью промывок, рекомендованных СНиП (16–18 л/(с · м²) в течение 5–6 мин для песчаных фильтров данной крупности загрузки и 14–16 л/(с · м²) в течение 6–7 мин для угольных фильтров) [1, табл. 23]. Сброс отработанной промывной воды производился с одновременным контролем ее расхода объемным способом в промывные баки 17 или в дренажный приемник. Продолжительности фильтроциклов (время между промывками) ограничивались 24–48 ч в зависимости от температуры речной воды в соответствии с существующими инструкциями по эксплуатации фильтров и для обеспечения должного санитарного состояния фильтрующих загрузок [4].

Анализ качества исходной, осветленной, фильтрованной и подвергнутой сорбционной обработке воды производился по мутности, цветности, перманганатной окисляемости, pH, щелочности, жесткости, содержанию остаточного хлора, алюминия, железа и марганца. Эпизодически контролировалось также содержание в очищаемой воде фенолов, нефтепродуктов и других веществ лабораторией очистной станции или испытательным лабораторным центром Госсанэпиднадзора.

В результате исследований, проведенных в полупроизводственных условиях, обоснован необходимый состав сооружений водоподготовки, определена эффективность окислительно-коагуляционной технологии подготовки питьевой воды из поверхностного источника с повышенным содержанием органических соединений на реакторах-осветлителях, в скорых фильтрах, сорбционных фильтрах. В качестве реагентов исследованы: окислители — гипохлорит натрия, озон, перманганат калия; коагулянты — сульфат алюминия (СА) и оксихлорид алюминия (ОХА); флокулянты — полиакриламид (ПАА) и Праестол 650 TR. Подобран рациональный окислитель для предварительной обработки воды. Определены технологические особенности различных реагентов для коагуляционной очистки поверхностных вод, эффективность работы нового сооружения для предварительного осветления воды — реактора-осветлителя в составе общей технологической схемы подготовки питьевой воды. В табл. 1 приведены результаты исследования по обоснованию состава водоочистных сооружений и определению особенностей технологии очистки маломутных высокоцветных вод р. Омь, включающей предварительное окисление, коагуляцию с применением различных видов реагентов, осветление в реакторе-осветлителе, фильтрование на песчаном фильтре, сорбцию на угольном фильтре. Исследования эффективности работы реактора-осветлителя проводились в осенний период низких температур

Таблица 1

Результаты характерных опытов по окислению и коагуляции воды р. Омь

№ опыта	Реагенты — доза, мг/л			Показатели качества очищенной воды			Темп прироста потерь напора в фильтрах, см/ч	Продолжительность фильтрования, ч
	окислитель	коагулянт	флокулянт	мутность, мг/л	цветность, град.	окисляемость, мг О ₂ /л		
Очистка без использования реактора-осветлителя								
1	—	СА — 100	ПРСТ — 0,1	0,21	18	4,9	0,17	2,5
2	—	ОХА — 80	ПРСТ — 0,1	0,32	12	4,6	0,19	5,5
3	ГХН _{Эл} — 5	СА — 123	ПРСТ — 0,1	0,18	11	4,2	0,25	3,0
4	ГХН _{Эл} — 5	ОХА — 50	ПРСТ — 0,1	0,20	9	3,9	0,12	15
5	Озон — 10	СА — 110	—	0,21	10	4,8	0,14	9,0
6	ПМК — 10	СА — 100	—	0,19	19	5,2	0,18	8
Очистка с применением реактора-осветлителя								
7	Озон — 10	ОХА — 21	ПРСТ — 0,1	0,20	16	4,5	0,15	2,2
8	ГХН _{Эл} — 5	ОХА — 18	—	0,48	16	4,1	0,14	26
9	ГХН _т — 5	ОХА — 25	ПРСТ — 0,1	0,31	17	4,8	0,16	1,8
10	ПМК — 10	ПОХА — 30	ПРСТ — 0,1	0,80	19	5,5	0,08	1,4
11	ГХН _т — 5	СА — 40	ПРСТ — 0,1	0,53	14	3,2	0,21	48

Приимечание: ГХН_{Эл} — гипохлорит натрия электролизный; ГХН_т — гипохлорит натрия технический; ПМК — перманганат калия; СА — сульфат алюминия; ОХА — оксихлорид алюминия; ПОХА — полиоксихлорид алюминия, ПРСТ — Праестол 650 ТР.

воды (4–6 °C) при мутности речной воды 2,4–2,5 мг/л, цветности 250–300 град., окисляемости 18–29 мг О₂/л, щелочности 2,5–3 мг/л, содержании железа 0,9–1 мг/л.

Установлено, что для достижения гарантированно высокого качества очищенной речной воды, отвечающего требованиям СанПин 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода...», необходима очистка, включающая предварительное окисление, коагулирование, осветление, фильтрование, сорбцию и обеззараживание. Первичная обработка исходной высокоцветной природной воды окислителями необходима для ее предварительного обеззараживания и поддержания санитарного состояния очистных сооружений. Она также повышает эффективность последующего коагулирования воды. Дозы гипохлорита натрия, озона или перманганата калия для первичной обработки воды должны быть ограничены 10 мг/л для выполнения нормативных требований на остаточное содержание свободного хлора и марганца в питьевой воде (0,5 и 0,1 мг/л соответственно) [5]. Применение повышенных доз озона, так же как и хлора, приводит к образованию в воде токсичных вторичных продуктов окисления: в результате воздействия озона органические вещества в высокоцветной воде могут разрушаться с образованием токсичных соединений, в первую очередь альдегидов и кетонов. Альдегиды обладают канцерогенной активностью, увеличивают вероятность образования хлорорганических побочных продуктов и представляют опасность для здоровья людей. С учетом дорогоизны применения в качестве окислителей перманганата калия и озона в дальнейших исследованиях по очистке поверхностных вод в качестве базового реагента был принят электролитический или химический гипохлорит натрия. При одинаковом качестве очищенной воды доза оксихлорида алюминия в 2 раза была ниже дозы сульфата алюминия, считая по Al₂O₃. При этом продолжительность фильтроцикла была в 2 раза короче. Это свидетельствовало о накоплении в порах загрузки фильтров большего объема рыхлого гидроксидного осадка при использовании в качестве коагулянта ОХА. Снижение продолжительности фильтроциклов при использовании в качестве коагулянта ОХА приводило к увеличению объемов промывной воды и снижению полезной производительности сооружений водоочистки. Образование повышенного объема осадка усложняло проблему его обработки и утилизации. При дозах выше 70 мг/л применение в качестве коагулянта СА давало преимущество по содержанию остаточного алюминия в очищенной воде по сравнению с ОХА. Применение флокулянта Праестол 650 TR увеличивало продолжительность фильтроцикла и сокращало расходование коагулянта на 15–20 %. Применение реактора-осветлителя позволяло снизить дозу коагулянта, требуемую для достижения питьевого качества очищенной воды в 2–3 раза. В загрузке реактора-осветлителя задерживалась значительная часть образовавшегося гидроксидного осадка. Соответственно снижались нагрузки по взвеси на фильтры и до 3 раз увеличивались продолжительности фильтроциклов.

Проведено исследование эффективности разработанной окислительно-коагуляционной технологии подготовки питьевой воды из поверхностного источника с повышенным содержанием органических соединений. Графики зависимостей цветности и мутности очищенной воды от доз коагулянтов в летний и зимний периоды года приведены на рис. 2. Анализ графиков показывает, что применение в качестве коагулянта оксихлорида алюминия в 2–3 раза снижало его дозу по сравнению с сульфатом алюминия при очистке воды от мутности в любой период года. При снижении цветности воды оксихлорид также имел двукратное преимущество по дозам коагулянта зимой. Летом при высоких дозах коагулянта оксихлорид

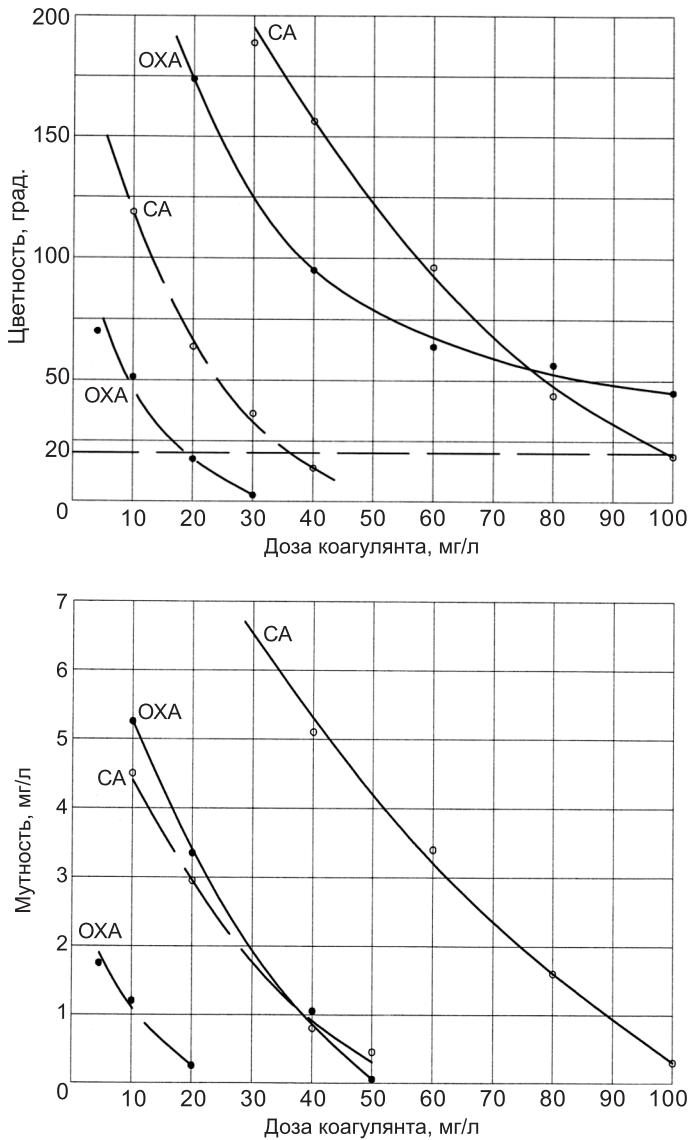


Рис. 2. Зависимость цветности и мутности очищенной воды от доз коагулянтов в летний (—) и зимний (---) период года

алюминия не только терял свое преимущество перед сульфатом алюминия по дозам, но и не позволял обеспечить нормативную цветность питьевой воды (20 град.) [5]. В качестве окислителя в исследованиях использовался гипохлорит натрия с дозами активного хлора от 3 до 5 мг/л. В качестве флокулянта использовался Праестол 650 TR с дозами 0,05–0,1 мг/л. В летний период максимальной цветности воды было рационально дробное коагулирование воды с введением 75 % коагулянта в трубопровод перед реактором-осветителем и 25 % перед скорым фильтром. Это обеспечивало более эффективное обесцвечивание и снижение концентрации остаточного алюминия.

В результате исследований установлено следующее: окислительная и коагуляционная технология очистки маломутной высокоцветной речной воды на реакторах-осветителях, в скорых фильтрах, угольных сорбционных фильтрах обеспечивала качество питьевой воды, соответствующее требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01 по органолептическим, санитар-

но-токсикологическим и микробиологическим показателям качества [5]. Основная роль в очистке воды принадлежала реактору-осветителю, в контактной массе которого образовывался и накапливался осадок гидроксида алюминия, являвшийся сорбентом для органических и минеральных примесей воды. Эффект снижения цветности на реакторе-осветителе составлял от 65 до 90 %, окисляемости от 50 до 75 %, железа общего от 30 до 50 %, марганца, фенолов и нефтепродуктов до 25 %. Скорый фильтр выделял из воды мелкие хлопья гидроксида алюминия, а также адсорбированные на них органические и минеральные примеси, не задержанные на реакторе-осветителе. Эффективность очистки на скором фильтре составила: по мутности 90–95 %, цветности 30–40 %, окисляемости 20–30 %, содержанию железа и марганца, фенолов и нефтепродуктов до 25 %. Сорбционный фильтр обеспечивал удаление растворенных органических и неорганических соединений: по мутности — до 100 %, цветности — 50–70, окисляемости — 40–60, содержанию железа — 50–80, марганца — 30–50, фенола и нефтепродуктов 50–70 %.

В связи с высоким содержанием марганца в речной воде в I квартале и в весенний паводок ежегодно рекомендовано применение в этот период года в качестве дополнительного окислителя перманганата калия, который необходимо вводить с дозами до 5 мг / л в фильтрованную воду перед сорбционными фильтрами. В результате окислительно-сорбционного взаимодействия перманганата калия и активного угля на поверхности его зерен образуется отрицательно заряженный осадок $Mn(OH)_4$, который действует как дополнительный сорбент и адсорбирует положительно заряженные ионы Mn^{2+} [4]. Марганец может быть также удален на фильтрах с модифицированным фильтрующим материалом, устанавливаемых вместо сорбционных фильтров, с постоянным дозированным вводом перманганата калия или с периодической регенерацией загрузки перманганатом после водяной промывки.

На основании экспериментальных исследований, выполненных при различной температуре и качестве речной воды в различные сезоны года, рекомендовано: при температуре воды выше 10 °C — использование сульфата алюминия, при более низкой температуре — оксихлорида алюминия; в качестве флокулянта — Праестола 650 TR; в качестве окислителя — гипохлорита натрия с дозами по активному хлору от 3 до 5 мг / л.

Производственные испытания разработанной технологии реагентной очистки поверхностных вод р. Омы проведены на реконструируемой НФС г. Куйбышева, производительностью 9,5 тыс. м³/сут в ноябре 2009 г. Существовавшая до реконструкции технология очистки воды не обеспечивала требуемого СанПиН качества очищаемой воды по цветности и другим показателям. Цветность и окисляемость очищенной воды превышали норму в 5 и более раз, превышение концентрации железа в очищенной воде — более чем в 3 раза (более 1 мг / л), марганца — более 5 раз (до 0,5 мг / л и выше). Проводилось первичное обеззараживание воды жидким хлором с дозами не менее 15 мг / л (до 60 мг / л в летнюю межень), что было причиной образования хлорорганических соединений. Вода от водозабора поступала на два микрофлотатора. В трубопровод перед флотаторами вводился коагулянт ОХА. Поскольку микрофлотаторы давали низкий эффект очистки, в соответствии с проектом первой очереди реконструкции НФС они были заменены на высокоэффективные сооружения предварительной очистки воды — реакторы-осветители (6 шт. диам. 3 м). В соответствии с проектом реконструкции применяемый ранее ПАА был заменен флокулянтом Праестол 650 TR, который вводился в трубопровод подачи речной воды на реакторы-осветители. Применяемые до реконструкции контактные осветители (6×5×5 м, 5 шт.) работали неэффективно вследствие нерационального

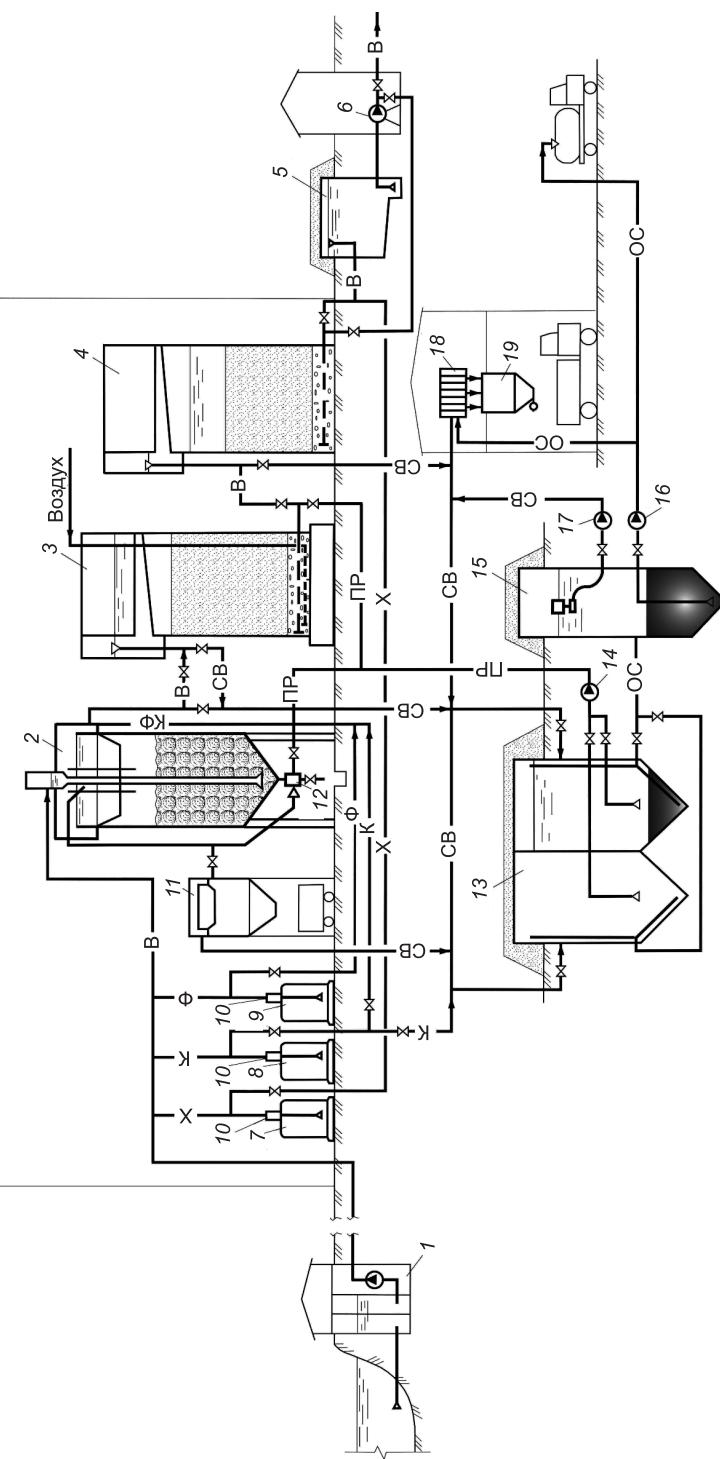


Рис. 3. Технологическая схема очистки маломутных вод открытых водоисточников с высоким содержанием органических соединений

1 — водозабор; 2 — реактор-осветитель; 3 — скорый фильтр; 4 — сорбционный фильтр; 5 — РВВ; 6 — насос подачи чистой воды потребителю и на промывку; 7—9 — баки гипохлорита натрия, коагуланта, флокулянта соответственно; 10 — дозировочные насосы; 11 — бункер отработанной контактной массы; 12 — гидролеватор; 13 — отстойник промывной воды; 14 — промывной насос; 15 — сгуститель; 16 — насос осадка; 17 — насос наливной воды; 18 — фильтр-пресс; 19 — очищенная вода; В — бункер осадка; ОС — осадок промывку; СВ — сбрасываемая промывная и надиловая вода; PR — промывная вода

состава и низких фильтрующих свойств материала загрузки (альбитофира), имели малую грязеемкость, короткую продолжительность фильтроциклов и как следствие высокий расход промывной воды. По плану реконструкции станции произведена замена загрузок контактных осветлителей на новый фильтрующий материал из дробленых горелых пород оптимального фракционного состава, и контактные осветлители дооборудованы системами для их водовоздушной промывки. Применение новых реагентов — оксихлорида алюминия и флокулянта Праестол 650 TR определило необходимость замены оборудования для приготовления, хранения и дозирования их рабочих растворов и реконструкции существующего реагентного хозяйства. Применение жидкого хлора в технологии обеззараживания воды, кроме повышенного риска образования хлорогранических соединений, представляло опасность для обслуживающего персонала водоочистных станций и населения вследствие его высокой токсичности. В связи с этим реконструирована существующая хлораторная и произведен переход на новый менее токсичный, но более эффективный обеззараживающий реагент — гипохлорит натрия. Рекомендованная доза хлора для предварительного хлорирования с учетом высокой хлоропоглощаемости воды составила 2–5 мг/л. Водоочистные сооружения дополнены блоком сорбционной доочистки воды от растворенных органических и неорганических соединений после контактных осветлителей. Сорбционные фильтры (4 шт.) конструктивно аналогичны контактным осветлителям и загружены гранулированным активированным углем марки АГ-ОВ.



Puc. 4. Реакторы-осветлители НФС г. Куйбышева

Расходование промывной воды на контактных осветлителях в паводок до реконструкции достигало 50 % от расхода очищаемой воды. Отработанная промывная вода сбрасывалась в источник водоснабжения р. Омь ниже водозабора по течению реки. Резервом сокращения расходования промывной воды является ее очистка и повторное использование. Одновременно с этим решается экологическая проблема охраны р. Омь от загрязнения сточными промывными водами. С этой целью в настоящее время построен блок отстойников для повторного использования промывной воды, обработки и утилизации водопроводного осадка.

Таблица 2

Результаты промышленных испытаний реконструированных водоподготовительных сооружений г. Куйбышева

Точки отбора проб и норма ПДК (СанПиН 2.1.4.1074-01)	Показатели качества воды						
	мутность, мг/л	цветность, град.	окисля- емость, мг O_2 /л	Feобщ, мг/л	Mn, мг/л	Жобщ, ммоль/л	фенолы, мг/л
ПДК	1,5	20	5,0	0,3	0,1	7,0	0,001
Исходная вода	2,2–2,7	180–240	14–21	0,5–0,7	0,05–0,08	7,6–8,1	< 0,001
Очищенная вода	0,3–0,5	15–18	4,4–4,8	0,2–0,3	0,03–0,05	6,2–6,5	—

Общая технологическая схема реконструированной станции очистки речной воды соответствует схеме, приведенной на рис. 3. На рис. 4 приведены три из шести действующих в настоящее время реакторов-осветителей первой ступени очистки. Результаты исследования эффективности коагуляционной очистки воды р. Омь после пуска в работу реакторов-осветителей и реконструкции контактных осветлителей представлены в табл. 2. Введение в строй блока сорбционных фильтров и сооружений повторного использования промывной воды в 2013 г. обеспечит дальнейшее повышение качества очистки речной воды и повышение эффективности работы водоочистных сооружений г. Куйбышева.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст] / Госстрой СССР. — М. : Стройиздат, 1986. — 136 с.
- Пат. 2307075, РФ, МКИ C02F 1/52. Устройство для очистки воды [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Опубл. 20.09.2007; Бюл. № 27.
- Пат. 2328454, РФ, МПК C02F 9/04. Станция водоподготовки [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Опубл. 10.07.2008; Бюл. № 19.
- Войтов, Е.Л. Подготовка питьевой воды из поверхностных источников с повышенным природным и антропогенным загрязнением [Текст] / Е.Л. Войтов, Ю.Л. Сколубович. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. — 216 с.
- СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Текст]. — М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. — 103 с.

ВОЙТОВ Евгений Леонидович, д-р техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

СКОЛУБОВИЧ Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 29.04.13

Voitov Evgeniy Leonidovich, doctor of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Skolubovich Yury Leonidovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

STUDY ON WATER PURIFICATION OF OPEN WATER SOURCES WITH A HIGH CONTENT OF ORGANIC COMPOUNDS

The results of experimental research of low turbidity of river water purification with high content of organic substances. The technology of preparation of drinking water from open water sources. The results of tests of water production facilities after their reconstruction in accordance with the cleaning technology.

Key words: technology, water treatment, power, potable water, organic compounds, anthropogenic factors, clarification, filtration.

REFERENCES

1. CN&R 2.04.02–84. Water Supply. External networks and structures [Text] / Gosstroy USSR. — M. : Stroyizdat, 1986. — 136 p.
2. Pat. 2307075, RF, MKI C02F 1/52. Device for purifying water [Text] / E.L. Voitov, Yu.L. Skolubovich. — Publ. 20.09.2007; Bull. N 27.
3. Pat. 2328454, RF, MPI C02F 9/04. Water treatment station [Text] / E.L. Voitov, Yu.L. Skolubovich. — Publ. 10.07.2008; Bull. N 19.
4. Voitov, E.L. Preparation of drinking water from surface sources with high natural and man-made pollution [Text] / E.L. Voitov, Yu.L. Skolubovich. — Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2010. — 216 p.
5. Sanitary code 2.1.4.1074–01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality drinking water supply systems. Quality control. Sanitary-epidemiological rules and regulations [Text]. — M. : Federal Center of Ministry of health of Russia according to necessary, 2002. —103 p.

УДК 699.865.001.24

Р.А. НАЗИРОВ, Т.В. БЕЛОВ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В БЛИЗИ АНКЕРА КРЕПЛЕНИЯ КАРКАСА НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

Представлены результаты расчетов температурных полей в узлах крепления каркаса вентилируемого фасада стеновых ограждающих конструкций. Установлено, что в ограждающих конструкциях с внутренним теплоизоляционным слоем в локальной зоне крепления анкера в материале стекового ограждения возникает область пониженных отрицательных температур.

Ключевые слова: навесные вентилируемые фасады, узел крепления навесного фасада, тепловизионное обследование, распределение температурных полей.

Навесные вентилируемые фасады (НВФ) появились в Германии в конце 1970-х гг. и в основном использовались для уменьшения воздействия агрессивной окружающей среды на материал стен и улучшения их внешнего вида.

Вентилируемые фасады начали широко применяться в России в начале 1990-х гг. и быстро завоевали популярность как системы, позволяющие эффективно увеличить сопротивление теплопередачи наружных ограждающих конструкций вновь возводимых и уже эксплуатируемых зданий при их капитальном ремонте или реконструкции. В европейских странах имеется довольно большой опыт эксплуатации навесных вентилируемых фасадов, позволяющий дать оценку их долговечности. Однако такая оценка для климатических условий нашей страны, сложившейся практики строительства и условий эксплуатации зданий явно не достаточна, а работа систем НВФ с теплоизоляционным слоем требует тщательного дополнительного изучения и, прежде всего, в условиях низких отрицательных температур.

Навесные вентилируемые фасады монтируются на металлический каркас, который крепится, как правило, стальными анкерами через слой теплоизоляции к несущей части стены здания, нарушая в значительной степени теплотехническую однородность ограждающих конструкций. На рис. 1 представлен этап утепления наружной ограждающей конструкции (НОК) путем устройства НВФ на трехслойной ограждающей панели (рис. 1, *а*) типового здания школы из сборного железобетона, построенного в середине 1980-х гг. при средних температурах наружного воздуха $-4,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 1, *б*) и -32°C (рис. 1, *в*, *г*).

Хорошо видно увеличение разницы температур на поверхности кронштейна крепления НВФ и средней температурой на поверхности ненаруженной теплоизоляции с понижением температуры наружного воздуха. Следует отметить наличие зоны повышенных температур теплоизоляционного материала в местах креплений ветрозащитной пленки (рис. 1, *г*).

Нами проведены специальные расчеты с целью выявления наиболее неблагоприятной конструкции стекового ограждения с позиции долговечности крепления навесного вентилируемого фасада. Расчеты производились для климатических условий г. Красноярска (табл. 1).

Таблица 1

Параметры	Значения параметров	Источник
Климатические характеристики		
Район строительства	г. Красноярск	—
Расчетная температура наружного воздуха, t_{ext} , °C	-40	СНиП 23-01-2003 (табл. 1)
Средняя температура отопительного периода, со среднесуточной температурой воздуха ниже 8 °C, t_{ht} , °C	-7,1	>>
Продолжительность отопительного периода, со среднесуточной температурой воздуха ниже 8 °C, z_{ht} , °C	234	>>
Влажностный режим помещений	Нормальный	СНиП 23-02-2003 (прил. В)
Условия эксплуатации ограждающих конструкций	A	СНиП 23-02-2003 (табл. 2)

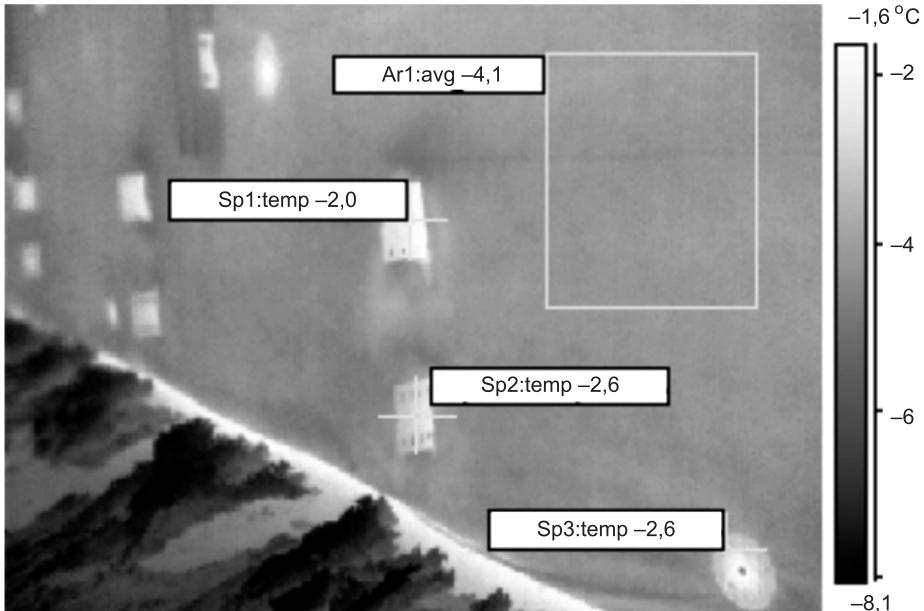
Таблица 2

Параметры	Значения параметров	Источник
НОК из кирпича толщиной 640 мм		
Толщина теплоизоляционного материала НВФ, мм	140	
НОК из кирпича толщиной 250 мм		
Толщина теплоизоляционного материала НВФ, мм	160	
НОК из кирпича толщиной 510 мм (облегченная кладка)		
Толщина несущего слоя из кирпича, мм	250	
Толщина внутреннего теплоизоляционного слоя, мм	140	
Коэффициент теплопроводности внутреннего теплоизоляционного слоя, Вт / м · °C	0,052	СП 23-101-2004 (прил. Д)
Толщина защитного слоя из кирпича, мм	120	
Толщина теплоизоляционного материала НВФ, мм	80	
Трехслойная стеновая железобетонная панель		
Толщина несущего слоя из керамзитобетона, мм	180	
Коэффициент теплопроводности керамзитобетона, Вт / м · °C	0,47	СП 23-101-2004 (прил. Д)
Толщина внутреннего теплоизоляционного слоя, мм	110	
Коэффициент теплопроводности внутреннего теплоизоляционного слоя, Вт / м · °C	0,064	СП 23-101-2004 (прил. Д)
Толщина защитного слоя из бетона, мм	60	
Коэффициент теплопроводности защитного слоя из бетона, Вт / м · °C	1,92	СП 23-101-2004 (прил. Д)
Толщина теплоизоляционного материала НВФ, мм	100	
Общие параметры для всех типов НОК		
Размеры анкера крепления НВФ, мм	Ø8×100	
Основание кронштейна крепления НВФ, мм	96×80×2	
Коэффициент теплопроводности металлических элементов НВФ, Вт / м · °C	58	СП 23-101-2004 (прил. Д)
Коэффициент теплопроводности кирпича глиняного обыкновенного, Вт / м · °C	0,7	СП 23-101-2004 (прил. Д)
Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала НВФ, Вт / м · °C	0,039	СП 23-101-2004 (прил. Д)

a)



б)



Были рассмотрены ограждающие конструкции с несущим слоем (для НВФ) из пенобетона, монолитного бетона, керамического кирпича, а также стенные ограждения из трехслойных железобетонных панелей и облегченной кладки из керамического кирпича с внутренним теплоизоляционным слоем.

Принятые к расчету типы наружных ограждающих конструкций (табл. 2) условно можно разделить на два вида по наличию или отсутствию внутреннего слоя утеплителя.

С целью упрощения расчетов приняты следующие допущения.

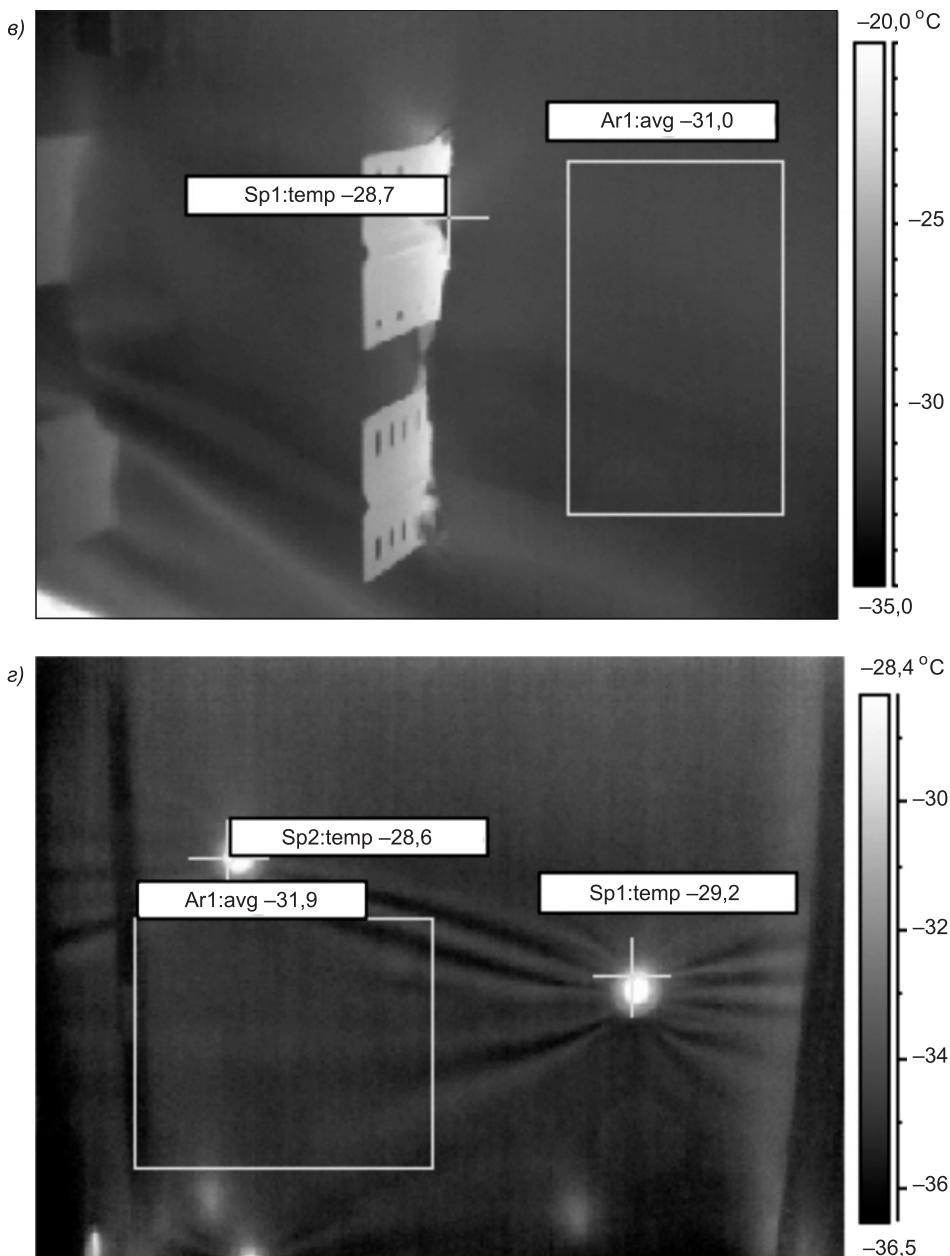


Рис. 1. Этап утепления наружной ограждающей конструкции и инфракрасные изображения элементов крепления навесного фасада

а — фотография этапа монтажа НВФ; б, в — инфракрасные изображения при температуре -4°C и -32°C ; г — зона повышенной температуры в местах крепления ветрозащитной пленки

1. Температура воздуха в воздушной прослойке постоянна и равна -40°C — расчетной температуре наружного воздуха для климатических условий г. Красноярска. Обоснованием такого допущения являются результаты исследований, опубликованные в [3], и график, представленный на рис. 2, построенный по результатам собственных тепловизионных натурных обследований высотного здания. По расчетам термическое сопротивление воздушной прослойки [3] не превышает 3...4 % от требуемого сопротивления теплопередачи НОК для принятых нами расчетных климатических условий, а график на рис. 2 свидетельствует о том, что темпера-



Рис. 2. Изменение температуры на защитном слое НВФ

туры воздуха в прослойке и на плитах облицовки отличаются не более чем на 0,4...0,6 °C.

2. Теплоизолирующая прокладка не оказывает существенной роли на распределение температуры в ограждающей конструкции, а выполняет в основном функцию уплотнителя между кронштейном и поверхностью стены. По результатам исследования [3] влияние наличия теплоизолирующей прокладки на температуру вблизи внутренней поверхности стены составляет менее 1 %.

На рис. 3 представлены результаты теплотехнического расчета НОК из сплошного кирпича толщиной 640 мм (толщина стены из кирпича для климатических условий г. Красноярска до принятия изменений к СНиП II-3-79) и 250 мм. Видно, что с уменьшением толщины стенового ограждения увеличивается температура материала стены вблизи анкера, повышается температура и самого анкера. Однако эта температура несколько ниже, чем температура в том же сечении на участке стены без анкера, изотерма 0 °C не выходит за пределы теплоизоляционного слоя НВФ, а сам анкер и окружающий его слой материала кирпичной кладки не испытывают отрицательное влияние знакопеременных температур при расчетных температурах выше -40 °C. Похожая картина распределения температур наблюдается во всех типах стенных конструкций без внутреннего утеплителя.

Во второй группе стенных конструкций с внутренним утеплителем тепловые поля распределяются по-другому (рис. 4). Вблизи заделки анкера образуется зона локальных пониженных отрицательных температур в форме усеченного конуса, что, безусловно, будет оказывать влияние на деструкцию материала в местах крепления анкера при циклических изменениях температур наружного воздуха.

Обращает на себя внимание наличие зоны пониженных отрицательных температур вблизи анкера в сравнении со средней температурой защитного слоя стенного ограждения без анкера. Это обстоятельство обусловлено экранированием теплового потока из теплого помещения внутренним теплоизоляционным слоем. Таким образом, зона материала стенного ограждения вокруг анкера будет испытывать большее количество переходов через 0 °C, кроме того, при одинаковой температуре на-

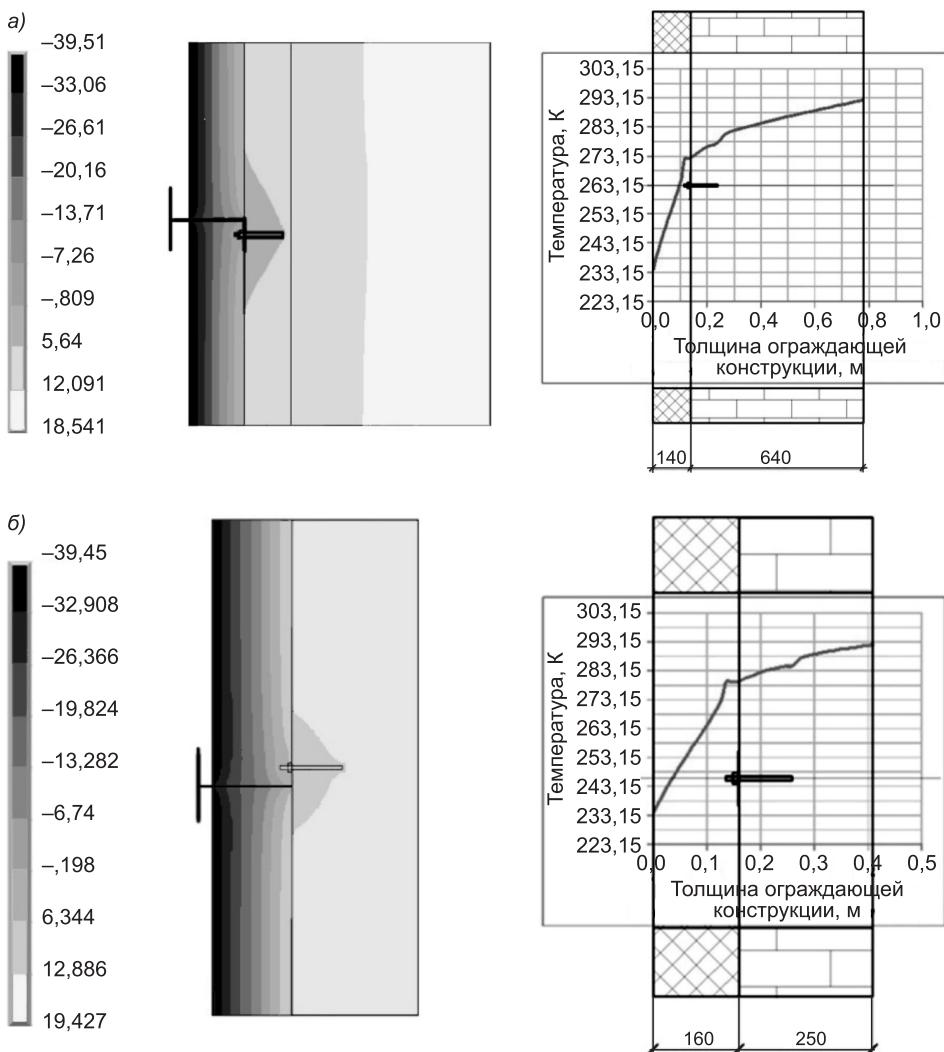


Рис. 3. Результаты расчета распределения температурных полей для стен из кирпичной кладки и НВФ

a — толщина кирпичной кладки 640 мм, теплоизоляционного слоя 140 мм; *б* — то же, 250 и 160 мм

ружного воздуха количество льда в местах крепления анкера, очевидно, также будет образовываться больше.

Вывод. В отличие от однослойных НОК в наружных ограждающих конструкциях с внутренним теплоизоляционным слоем в локальной зоне крепления анкера в материале стенового ограждения возникает область пониженных отрицательных температур, в которой материал испытывает циклы попеременного замораживания и оттаивания. Такой процесс ведет к снижению прочности материала НОК в области заделки анкера, т.е. именно там, где обеспечивается крепление НВФ к стеновому ограждению. Это существенным образом отражается на долговечности не только крепления НВФ, но и всего здания. Окончательное заключение о степени влияния выявленных особенностей формирования температурных полей в местах крепления НВФ к стеновым ограждениям со средним теплоизоляционным слоем можно будет сделать, применив методику, предложенную С.В. Александровским, учитывающую количеств-

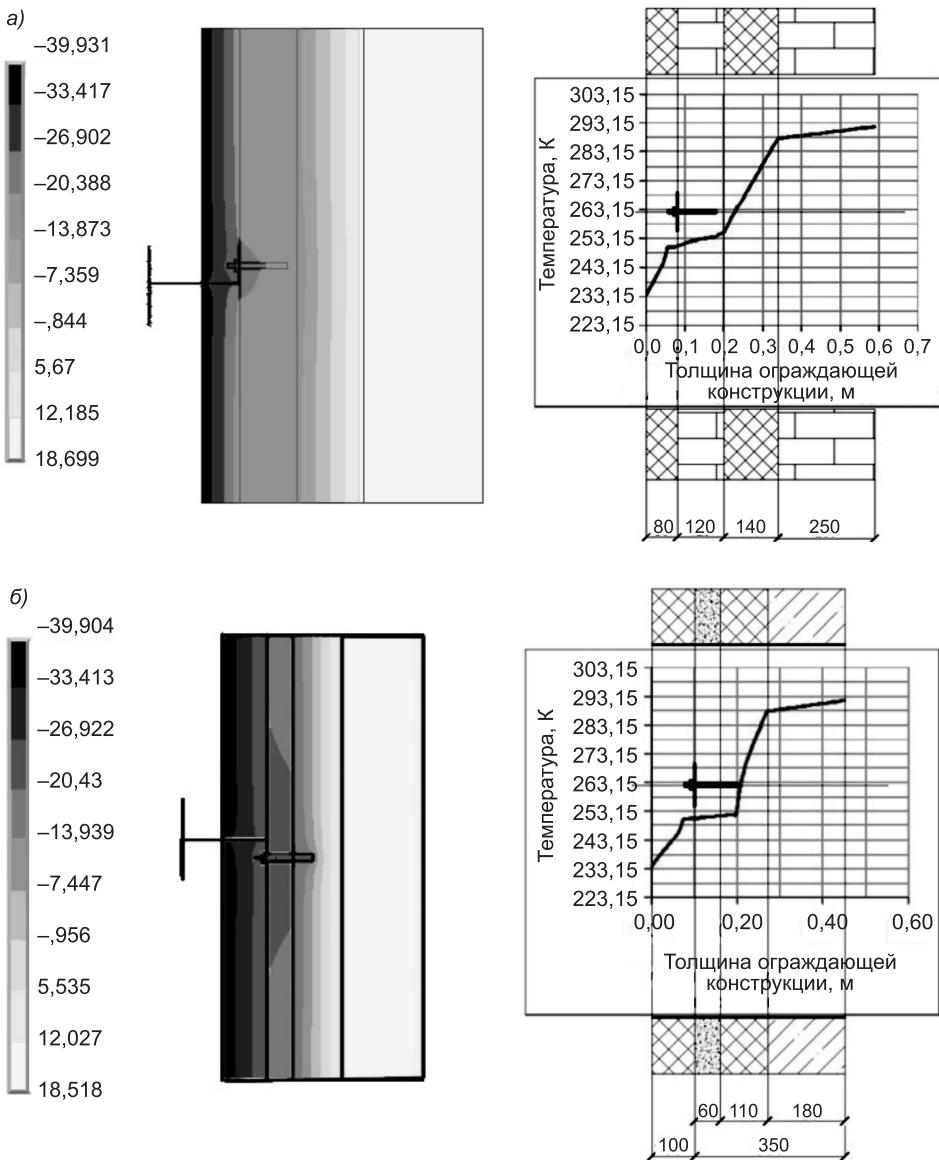


Рис. 4. Результаты расчета распределения температурных полей
 а — кирпичная кладка толщиной 510 мм с внутренним теплоизоляционным слоем; б — трехслойная стеновая панель с внутренним утеплителем

во переходах через 0 °С до некоторой отрицательной температуры и соответствующий этой температуре коэффициент льдистости материала стеклового ограждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. — М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2003. — 26 с.
2. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. — М. : ФГУП ЦНС, 2004. — 140 с.
3. Езерский, В.А. Исследование температурного поля наружной стены в узлах крепления каркаса вентилируемого фасада [Текст] / В.А. Езерский, П.В. Монастырев. — http://www.elcut.ru/articles//monastyrev/wall_article

*НАЗИРОВ Рашид Анварович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: nazirovr@rambler.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*
*БЕЛОВ Тимофей Владимирович, магистр техники и технологии; E-mail:
ppbarikoff@yandex.ru*
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено 22.04.13

Nazirov Rashit Anvarovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: nazirovr@rambler.ru, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
Belov Timofey Vladimirovich, master of engineering and technology; E-mail: ppbarikoff@yandex.ru, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

FEATURES OF FORMATING OF TEMPERATURE FIELDS NEAR AN ANCHOR OF FASTENING OF A FRAMEWORK OF HINGED VENTILATED FACADES

The results of calculation of temperature fields in knots for fastening the frame ventilated front wall walling. Found that Walling with internal insulation layer in the local area in a material fastening anchor wall fence a region of low freezing temperatures.

Key words: hinged ventilated facades, knot of fastening of a hinged facade, thermovision inspection, distribution of temperature fields.

REFERENCES

1. CN&R 23-02-2003. Thermal protection of buildings [Text]. — M. : Russian State Committee for Construction, Research CSE, 2003. — 26 p.
 2. SP 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings [Text]. — M. : FSUE CNS, 2004. — 140 p.
 3. Ezersky, V.A. The study of the temperature field in the nodes of the outer wall mounting frame ventilated facade [Text] / V.A. Ezersky, P.V. Monastyrsky. — http://www.elcut.ru/articles//monastyrsky/wall_article
-

УДК 697.34:697.444.003.1

М.С. КОНОНОВА

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕСКАНАЛЬНОЙ
ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Приводятся результаты определения капитальных расходов, эксплуатационных и дисконтированных затрат на строительство тепловых сетей для различных способов бесканальной прокладки тепловой сети при различных тепловых мощностях присоединяемых потребителей. Сформулированы рекомендации по целесообразности применения рассматриваемых конструкций тепловых сетей.

Ключевые слова: тепловые сети, бесканальная прокладка, затраты на строительство тепловой сети.

Тепловые сети являются одним из основных элементов систем централизованного теплоснабжения [1]. Их техническое состояние во многом определяет качество и надежность теплоснабжения. К сожалению, значительная часть эксплуатирующихся теплопроводов находится в неудовлетворительном состоянии и характеризуется большими тепловыми потерями и утечками теплоносителя. Изношенные тепловые сети заменяются при ликвидации аварий (прорывов) либо в ходе проведения плановых ремонтно-восстановительных работ.

В настоящее время проектировщики используют различные конструкции тепловых сетей, большинство которых прокладываются бесканальным способом. При этом каждый производитель рекламирует свою продукцию, выделяя ее достоинства, но зачастую умалчивая о недостатках. В связи с этим задача изучения и сравнения технико-экономических показателей способов прокладки тепловых сетей является актуальной, так как позволит минимизировать затраты и, соответственно, уменьшить стоимость отпускаемой потребителю теплоты [2, 3].

В настоящей работе сравниваются технико-экономические показатели нескольких вариантов конструкций бесканальной прокладки тепловой сети:

- 1) стальные трубы в монолитной изоляции из пенополиуретана (ППУ) с наружной оболочкой из жесткого полиэтилена¹;
- 2) гофрированные теплоизолированные трубы, выполненные из нержавеющей стали (на примере продукции «Касафлекс»)²;
- 3) гибкие полимерные теплоизолированные трубы «Изопрофлекс-А» из сшитого полиэтилена³.

¹ ГОСТ 30732–2006. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2008. 44 с.

² ТУ 4937-023-40270293–2004. Гибкие предизолированные тепловые гофрированные трубы из нержавеющей стали «Касафлекс». М.: Полимертепло, 2004. 16 с.

³ ТУ 2248-021-40270293–2005. Трубы «Изопрофлекс» и «Изопрофлекс-А» из сшитого полиэтилена с теплоизоляцией из пенополиуретана в гофрированной полиэтиленовой оболочке. М.: Полимертепло, 2005. 20 с.

Таблица 1

Технические характеристики рассматриваемых вариантов бесканальной прокладки тепловой сети

Наименование параметра	Характеристика параметра		
	стальные трубы в монолитной изоляции из ППУ (1-й вариант)	трубы из сшитого полиэтилена «Изопрофлекс-А» (2-й вариант)	гофрированные трубы из нержавеющей стали «Касафлекс» (3-й вариант)
Тип соединения	Сварка	С помощью пресс-фитингов с надвижными гильзами	С помощью стальных навинчивающихся фитингов под сварку
Длина монтажных участков труб	От 6 до 12 м	От 70 до 200 м (в зависимости от диаметра)	От 70 до 160 м (в зависимости от диаметра)
Количество стыков на прямолинейном участке длиной 100 м	От 8 до 16	Не более одного	Не более одного
Параметры теплоносителя	Температура +140 °C (с кратковременным повышением до +150 °C), давление до 1,6 МПа	Температура +95 °C (с кратковременным повышением до +110 °C), давление до 1 МПа	Температура +160 °C (с кратковременным повышением до +180 °C), давление до 1,6 МПа
Тип компенсаторов	П-образные, сильфонные	Не требуются, труба обладает свойством самокомпенсации	Не требуются, труба обладает свойством самокомпенсации
Срок службы	Не менее 25 лет	Не менее 50 лет	Не менее 50 лет

Некоторые технические характеристики рассматриваемых вариантов бесканальной прокладки тепловой сети приведены в табл. 1.

Для проведения исследований были сформированы расчетные схемы тепловых сетей с потребителями, имеющими различную среднюю тепловую мощность: 10, 50, 100, 200, 500, 1000 кВт.

Для каждого из этих значений мощности был разработан проект тепловой сети для трех вышеописанных вариантов конструкций прокладки: проведен гидравлический расчет, разработаны монтажные схемы, составлены спецификации необходимых материалов и посчитаны сметы на строительство.

Распределение затрат стоимости труб и фасонных частей в процентах от общей стоимости материалов приведено в табл. 2, из которой видно, что в варианте тепловой сети из стальных труб самая большая доля стоимости, приходящаяся на фасонные части и материалы для изоляции стыков.

Таблица 2

Распределение стоимости отдельных элементов тепловой сети

Наименование показателя	Значение показателя		
	стальные трубы в монолитной изоляции из ППУ (1-й вариант)	трубы из сшитого полиэтилена «Изопрофлекс-А» (2-й вариант)	гофрированные трубы из нержавеющей стали «Касафлекс» (3-й вариант)
Стоимость труб, % от общей стоимости материалов	63,7	86,5	74
Стоимость фасонных частей и материалов для изоляции стыков, % от общей стоимости материалов	36,3	13,5	26

Это связано с особенностями технологии производства и строительства — стальные трубы выпускаются не очень длинными отрезками (6–12 м), что приводит к большому количеству стыков при монтаже.

Для каждого варианта посчитана приведенная площадь продольного сечения $S_{\text{пр}}$, м², определяемая по формуле

$$S_{\text{пр}} = \sum l_i \cdot d_i, \quad (1)$$

где l_i — длина i -го участка, м; d_i — диаметр i -го участка, м.

Приведенная площадь продольного сечения $S_{\text{пр}}$ характеризует материалоемкость расчетного варианта тепловой сети. На рис. 1 приведены графики, показывающие зависимость приведенной площади продольного сечения от средней тепловой мощности потребителей для различных способов бесканальной прокладки тепловой сети. В результате анализа полученных графических зависимостей выявлено, что показатель $S_{\text{пр}}$ имеет наибольшее значение для гофрированных труб, а для гладких пластмассовых и стальных труб отличается незначительно. Это объясняется тем, что повышенные потери давления при движении внутри гофрированных труб требуют подбора большего диаметра. Соответственно для строительства тепловой сети в этом варианте потребуется больше материала.

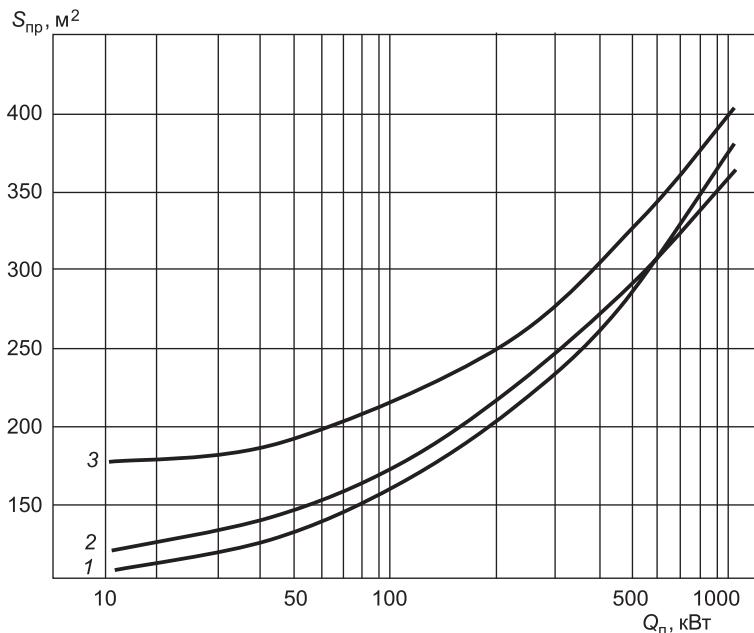


Рис. 1. Зависимость приведенной площади продольного сечения $S_{\text{пр}}$ от средней тепловой мощности потребителей Q_n

1 — стальные трубы (ГОСТ 30732-2006); 2 — пластмассовые трубы (ТУ 2248-021-40270293-2005 «Изопрофлекс-А»); 3 — гофрированные из нержавеющей стали (ТУ 4937-023-40270293-2004 «Касафлекс»)

Ценовой диапазон труб и фасонных частей в сравниваемых вариантах значительно различается. Графики, иллюстрирующие зависимость стоимости материалов тепловой сети от средней тепловой мощности потребителей, приведены на рис. 2. Цены приняты по данным фирм-производителей для Центрального региона Российской Федерации. Самая дорогая прокладка из труб «Касафлекс», ее стоимость в 1,5–2 раза выше, чем для пластиковых труб, и в 3–3,5 раза выше, чем для стальных труб.

\mathcal{E}_{tc} , млн руб.

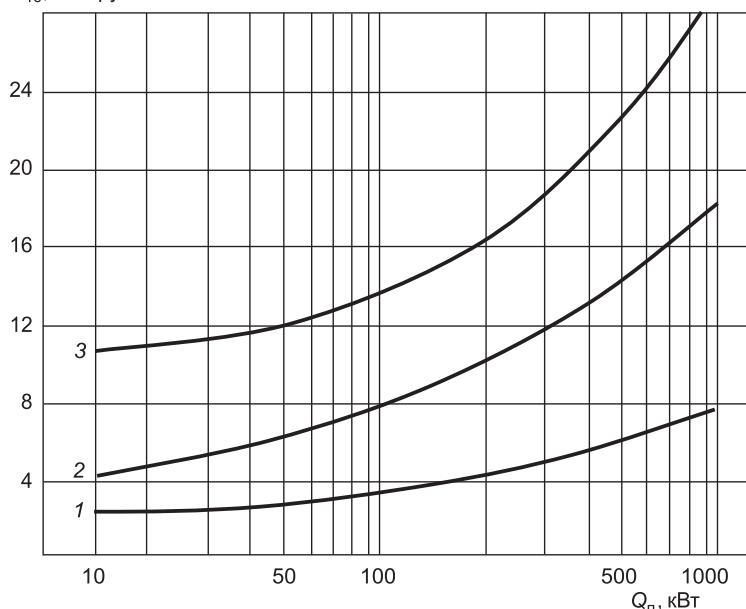


Рис. 2. Зависимость стоимости материалов тепловой сети \mathcal{E}_{tc} от средней тепловой мощности потребителей Q_n

Условные обозначения см. на рис. 1

В процессе расчетов оценивались объемы земляных работ, которые определяются конструктивными особенностями расположения трубопроводов в сечении траншеи и в среднем оказываются наибольшими для прокладки из стальных труб и наименьшими — для пластиковых труб «Изопрофлекс-А» (рис. 3).

$\mathcal{E}_{зем}$, млн руб.

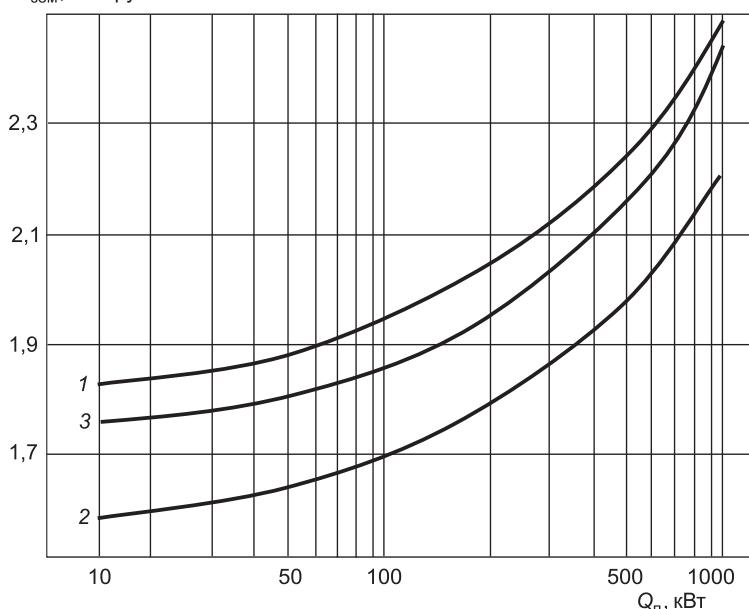


Рис. 3. Зависимость стоимости земляных работ $\mathcal{E}_{зем}$ от средней тепловой нагрузки потребителей Q_n

Условные обозначения см. на рис. 1

Таблица 3

Результаты расчета экономических показателей вариантов бесканальной прокладки тепловой сети

Средняя тепловая мощность потребителей $Q_{\text{тр}}$, кВт	Капитальные затраты К, руб.		Годовые эксплуатационные затраты Э, руб./год			Дисконтированные затраты ДЗ, руб.	
	стальные трубы в монолитной изоляции из ППУ (1-й вариант)	трубы из сшитого полиэтилена «Изопрофлекс-А» (2-й вариант)	стальные трубы в монолитной изоляции из ППУ (1-й вариант)	трубы из сшитого полиэтилена «Изопрофлекс-А» (2-й вариант)	стальные трубы в монолитной изоляции из ППУ (3-й вариант)	трубы из сшитого полиэтилена «Изопрофлекс-А» (1-й вариант)	трубы из сшитого полиэтилена «Изопрофлекс-А» (2-й вариант)
10	433691,5	5766608	12675778	243168	242902	243223	11005760
50	4784920	7623518	13372592	249915	250194	251232	11960502
100	5563618	8666874	15662880	261409	261658	262044	13617658
200	6267315	1464814	18385342	285155	285352	295356	15247670
500	7842632	15797633	24825097	351851	364865	510796	20030866
1000	10403889	17937603	31729076	511650	522799	939820	25691077

Суммарные капитальные затраты на строительство каждого из сравниваемых вариантов приведены в табл. 3. Они включают в себя стоимость материалов, необходимых для строительства тепловой сети, и стоимость монтажных работ.

При определении эксплуатационных расходов (табл. 3) учитывались затраты на перекачку теплоносителя и стоимость технического обслуживания тепловых сетей. Обе составляющие практически не зависят от типа конструкции тепловой сети, за исключением повышенных расходов на перекачку теплоносителя для гофрированных труб «Касафлекс» в случае с потребителями большой тепловой мощности (свыше 500 кВт). Это объясняется тем, что сортамент выпускаемых труб этой марки ограничен, и подбор маленьких диаметров труб при больших расходах теплоносителя приводит к повышенным потерям давления.

В качестве критерия для сравнения вариантов прокладки тепловой сети выбраны дисконтированные затраты ДЗ, руб., определяемые по формуле [4]

$$ДЗ = K + \sum_{t=1}^{T_{\text{сл}}} \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_a}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где К — капитальные затраты, руб.; $T_{\text{сл}}$ — продолжительность расчетного периода работы, лет;

r — расчетная норма дискона, определяемая по [4];

\mathcal{E} — ежегодные эксплуатационные затраты, руб./год;

\mathcal{E}_a — амортизационные отчисления в год, руб./год;

t — шаг расчетного периода, год.

Результаты расчета дисконтированных затрат для сравниваемых вариантов приведены в табл. 3. При этом в расчетах учитывалось, что расчетный срок службы стальных труб в два раза меньше, чем в двух других вариантах. С учетом этого, несмотря на самую низкую стоимость конструкции тепловой

ДЗ, млн руб.

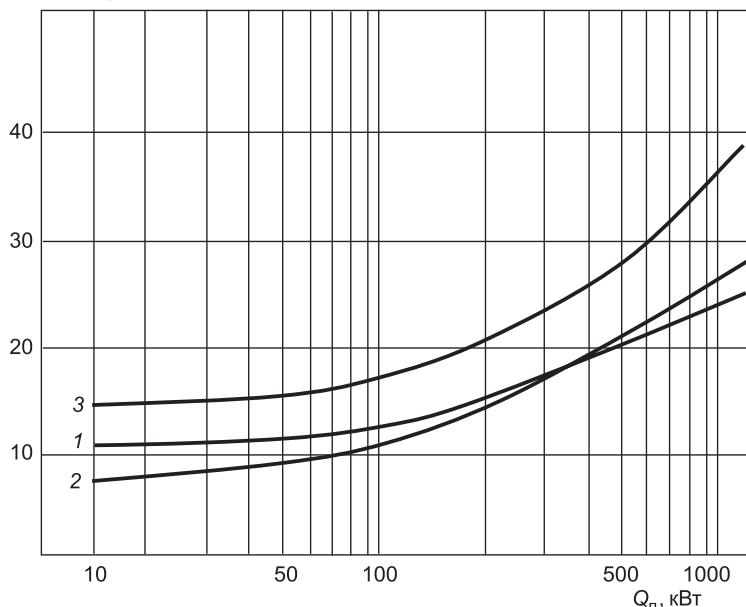


Рис. 4. Зависимость дисконтированных затрат ДЗ от средней тепловой

мощности потребителей Q_n

Условные обозначения см. на рис. 1

сети из стальных труб, этот вариант по критерию дисконтированных затрат оказывается не самым выгодным. На рис. 4 приведены графические зависимости дисконтированных затрат от средней тепловой мощности потребителей, из которых видно, что при тепловой мощности до 350 кВт наиболее экономически выгодной оказывается прокладка из пластмассовых труб. При большей тепловой мощности, с увеличением диаметра, затраты на пластмассовые трубы становятся больше, чем на стальные. В основном это связано с увеличением размера и стоимости соединительных фасонных частей и гильз, выполняемых из цветного металла.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод, что в диапазоне тепловых мощностей потребителей, типичных для городской застройки (до 350 кВт), целесообразным будет вариант строительства тепловой сети из пластмассовых труб. Ограничением для их применения могут служить высокие значения температуры и давления теплоносителя. Кроме того, результаты, полученные в работе, могут корректироваться при применении трубопроводов других производителей или при строительстве в других регионах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кононова, М.С. О влиянии температуры теплоносителя на технико-экономические показатели проектируемых тепловых сетей [Текст] / М.С. Кононова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 10. — С. 67–73.
2. Кононова, М.С. К вопросу разработки алгоритма оптимизации систем централизованного теплоснабжения [Текст] / М.С. Кононова, Д.В. Кривоносова, В.В. Исаева // Материалы XIII Междунар. науч.-метод. конф. «Информатика: проблемы, методология, технологии». — Воронеж, 2013. — С. 183–185.
3. Кононова, М.С. К вопросу выбора конструкции бесканальной прокладки тепловой сети [Текст] / М.С. Кононова, Д.В. Кривоносова, В.В. Исаева // Сб. материалов 3-й междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах». — Брянск, 2013. — С. 218–221.

4. Р НП «АВОК»-5–2005. Рекомендации по оценке экономической эффективности инвестиционного проекта теплоснабжения. Общие положения [Текст]. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. — 34 с.

*КОНОНОВА Марина Сергеевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kniga16@mail.ru
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 02.04.13

Kononova Marina Sergeevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE COMPARATIVE ANALYSIS TECHNOLOGICAL INDEXES OF SOME CONSTRUCTIONS UNCHANNEL LAYING OF THERMAL WEBS

The results of definition of government capital expenditures, operation and discounted expenditures on building of thermal webs for different expedients of unchannel laying of a thermal web are given at different thermal ratings of joined customers. The guidelines on expediency of application of viewed constructions of thermal webs are formulated.

Key words: thermal webs, unchannel laying, expenditure on building of a thermal web.

REFERENCES

1. Kononova, M.S. About temperature effect of the heat transfer medium on technological indexes of designed thermal webs [Text] / M.S. Kononova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 10. — P. 67–73.
2. Kononova, M.S. To a problem of development of algorithm of optimization of systems of the centralized supply by a heat [Text] / M.S. Kononova, D.V. Kriwonosova, V.V. Isaeva // Materials XIII of International scientific-methodical conference «Computer science: problems, methodology, technique». — Voronezh, 2013. — P. 183–185.
3. Kononova, M.S. To a problem of a select of a construction of unchannel laying of a thermal web [Text] / M.S. Kononova, D.V. Kriwonosova, V.V. Isaeva // The collection of materials of 3-rd international scientific - practical conference «Problems of a compatible socio economic development, new a biosphere, in building, habitation-municipal and road complexes». — Bryansk, 2013. — P. 218–221.
4. Р НП «АВОК»-5–2005. The guidelines of noncommercial partnership «the engineers on heating, ventilating, air conditioning, supply by a heat and building thermal physics» Guidelines for the rating of economic efficiency heat supply investment project. Generalities [Text]. — М. : AVOK-PRESS, 2006. — 34 p.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.7/.8

С.В. НОСОВ

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ГРУНТОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Представлена методология совершенствования технологий уплотнения грунтов земляного полотна и дорожных асфальтобетонных смесей, которая строится с учетом режимов движения уплотнителей (ведущего, ведомого и др.). Показано, что при расчете напряженно-деформированного состояния дорожно-строительных материалов компоненты деформаторов напряжений и деформаций должны рассчитываться с учетом особенностей взаимодействия уплотнителей с уплотняемой средой, включающих, в частности, время взаимодействия и скорость изменения напряженно-деформируемого состояния. При этом должны быть определены функции подобия, учитывающие неизвестные закономерности структурных изменений в уплотняемом слое материала и выраженные через уравнения регрессии, полученные экспериментальным путем.

Ключевые слова: грунт, асфальтобетонная смесь, эффективность уплотнения.

Совершенствование существующих или разработка новых технологий дорожного строительства производятся на базе следующих факторов: появления новых материалов, изучения новых свойств существующих материалов, появления новых машин, участвующих в технологических процессах строительства автодорог, а также модернизации существующих машин, в том числе путем применения новых или дополнительных рабочих органов.

Методы совершенствования технологии уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов основываются на применении математических моделей, описывающих их взаимодействие с различными уплотнителями, в первую очередь, гладковальцовыми, пневмоколесными и гусеничными, когда последние представлены на гусеничных бульдозерах и осуществляют предварительное уплотнение грунтов при их разравнивании. При этом необходимо проведение в полевых или лабораторных условиях предварительных исследований по оценке реологических характеристик дорожно-строительных материалов, к которым, в первую очередь, относятся модули деформации, коэффициент поперечной деформации, параметры функций скоростей ползучести уплотняемого материала. Кроме того, надлежащим образом следует представлять особенности взаимодействия грунтов и дорожных асфальтобетонных смесей с применяемыми уплотнителями.

Среди известных ученых, результаты исследований которых позволили достичь современного этапа развития теории и практики уплотнения,

можно выделить В.Ф. Бабкова, А.К. Бируля, Н.Н. Иванова¹, Я.А. Калужского², О.Т. Батракова², А.Ф. Полетаева, В.М. Сиденко³, А.П. Васильева⁴, Н.Я. Хархуты⁵, Ю.М. Васильева⁵ и многих других.

За рубежом данными вопросами активно занимались M.G. Bekker, J.Y. Wong и другие.

Обобщен значительный объем научного материала по разработанным математическим моделям, описывающим взаимодействие рабочих органов уплотняющих средств с обрабатываемой средой, по определению реологических характеристик грунтов и асфальтобетонных смесей, по возникновению и развитию напряженно-деформированного состояния среды в процессе уплотнения, по различным закономерностям изменения плотности, прочности и модулей деформации грунтов и асфальтобетонных смесей. На основе проведенного анализа большого количества известных исследований выделяются основные трудности и недостатки в предлагаемых подходах к решению общей проблемы повышения качества и эффективности уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов:

1. Просматривается явная неинвариантность известных методов определения реологических свойств грунтов земляного полотна и дорожных асфальтобетонных смесей путем применения различных деформаторов для этих целей, включая криволинейные штампы в виде элементов ходовой части.

2. Как правило, отсутствует одновременный учет времени и характера изменения действующих нагрузок со стороны различных уплотнителей в предлагаемых математических моделях и основанных на них методах совершенствования технологий уплотнения.

3. Рассматриваются упрощенные модели деформируемой среды — линейные или плоские. Объемные модели не рассматриваются.

4. Для исследования взаимодействия земляного полотна и дорожных одежд с уплотнителями выбираются упрощенные закономерности, определяющие реологические особенности различных материалов, которые при моделировании вносят существенные погрешности не только количественного, но и качественного характера.

5. Часто используемые сдвиговые характеристики уплотняемого материала, полученные при постоянной скорости сдвига на специальных установках, и коэффициенты объемного смятия не могут в полной мере описать особенности переходных процессов, возникающих при взаимодействии земляного полотна и дорожных одежд с различными уплотнителями.

Проведенные исследования позволили установить, что интенсифицировать процесс уплотнения с одновременным повышением качества уп-

¹ Иванов Н.Н. Основные принципы проектирования земляного полотна на автомобильных дорогах // Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 296 с.

² Калужский Я.А., Батраков О.Т. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. М.: Транспорт, 1971. 160 с.

³ Сиденко В.М., Батраков О.Т., Леушин А.И. Технология строительства автомобильных дорог. Ч.1: Технология строительства земляного полотна. Киев: Вища школа, 1970. 236 с.

⁴ Васильев А.П., Марышев Б.С., Силкин В.В. и др. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. 1. / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. М.: Информавтодор, 2005. 654 с.

⁵ Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1975. 286 с.

лотнения дорожно-строительных материалов возможно по двум направлениям:

— изменяя их реологические характеристики (параметры функций скоростей ползучести и модули деформации) путем подбора составов уплотняемых материалов или применения новых физических эффектов (технологий) в строительстве;

— варьируя величинами технологических параметров процесса уплотнения с учетом условий производства работ, режимами работы и параметрами применяемых средств уплотнения с учетом соответствия напряженно-деформированного состояния уплотняемых материалов их несущей способности, а также с учетом закономерностей его изменения под действием нагрузок, развивающихся со стороны уплотнителей, на основе разрабатываемых математических моделей с использованием теории наследственной ползучести, функций подобия, получаемых из экспериментальных данных и учитывающих неизвестные закономерности структурных изменений, а также с учетом соответствующих критериев эффективности.

При этом совмещение этих двух направлений позволяет создать конкурентно-способные технологии уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов и совершенствовать существующие, обеспечивающие интенсификацию процессов уплотнения, повышение качества возведения земляного полотна и дорожных одежд при снижении трудовых, материально-технических и топливно-энергетических ресурсов.

Упругие, вязкие и пластичные свойства грунта или асфальтобетонной смеси, их структурные показатели и характеристики, прочность, деформации и плотность, напряженно-деформированное состояние уплотняемого слоя, технологические параметры процесса уплотнения, режимы работы вибрационных уплотнителей, а также условия производства работ изменяются во времени от прохода к проходу применяемых дорожных катков и других машин. Следовательно, необходимо учитывать их взаимоувязанность и взаимовлияние, определяемые реологическими особенностями уплотняемых материалов и исследуемые в соответствии с определяемыми закономерностями в рамках развития их реологии.

Совершенствование технологического процесса уплотнения грунта или асфальтобетонной смеси можно рассматривать как достаточно сложную иерархическую задачу, зависящую от их свойств, применяемого оборудования, погодных и производственных условий. Число возможных вариантов по выбору требуемых параметров и режимов работы средств уплотнения, технологических параметров процесса уплотнения может оказаться достаточно большим, поэтому ставится задача выбора одного из них — оптимального с точки зрения целей и условий производства работ.

Варьируя перечисленными факторами, на основе выбранных критериев эффективности следует определять технологические составляющие режимов работы применяемых дорожных средств уплотнения по их проходам. При этом в случае применения гладковальцовых дорожных катков достаточно определять только вертикальные необратимые деформации уплотняемых слоев небольшой толщины и дополнительно продольные сдвиговые деформации для слоев повышенной толщины, а в случае применения пневмоколесных дорожных катков дополнительно к указанным условиям следует определять и поперечные деформации с дальнейшим выходом на определение объемной деформации и плотности грунта или асфальтобетонной смеси.

В рамках сформулированных принципов развития теории уплотнения дорожно-строительных материалов [1] именно в этом состоят пути совершенствования технологических процессов уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов.

Исследования по оценке реологических характеристик уплотняемых грунтов, включающих мгновенные модули линейных и сдвиговых деформаций уплотняемых слоев, а также коэффициенты их поперечной деформации, следует проводить с использованием специально разработанных методов и устройств на основе развития теории наследственной ползучести деформируемых сред и теории взаимодействия применяемых машин и их отдельных систем с деформируемыми слоями дорожно-строительных материалов⁶⁻⁸ с применением разработанных математических моделей и программных продуктов для ЭВМ.

Дальнейшие действия по разработке или совершенствованию процессов уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов следует осуществлять на основе алгоритма действий, основанного на учете представлений о технологических режимах работы, параметрах применяемых уплотнителей и реологических свойствах уплотняемого материала. Выбор технологических режимов работы и параметров уплотнителей следует производить с учетом особенностей их взаимодействия с уплотняемым материалом на основе разработанной концептуальной модели [2], позволяющей производить решение поставленной задачи с начального состояния процесса, переходя к их множеству на основе множества критериев эффективности, в рамках предложенной концепции совершенствования технологий уплотнения грунтов земляного полотна и дорожных асфальтобетонных смесей на основе развития их реологии.

Разработка методов совершенствования технологии уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов, основанных на применении математических моделей, описывающих их взаимодействие с гладковальцовыми, пневмоколесными и гусеничными уплотнителями предусматривает необходимость проведения в полевых или лабораторных условиях предварительных исследований реологических характеристик уплотняемых материалов. Кроме того, надлежащим образом следует представлять особенности их взаимодействия с применяемыми уплотнителями и учитывать закономерности изменения характеристик напряженно-деформируемого состояния уплотняемых грунтов и асфальтобетонных смесей, основанные на использовании теории наследственной ползучести деформируемых сред, учитывающие скорость нарастания и убывания уплотняющих нагрузок (нормальных и касательных напряжений в уплотняющем слое), время воздействия уплотнителей на слой материала, изменение модулей деформации и коэффициента поперечной деформации уплотняемого материала.

В отличие от методов совершенствования технологии уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей дорожными катками, где при уплотне-

⁶ Пат. 2192006 Рос. Федерации. Способ определения физико-механических характеристик слоя почвогрунта, преимущественно имеющего низкую и среднюю плотность, и устройство для его осуществления / С.В. Носов, М.В. Рощупкин, А.Л. Кононов, А.Г. Каплун; № 99126270; заявл. 14.12.99; опубл. 27.10.02. Бюл. № 30 (II ч.). 13 с.

⁷ Пат. 2236673 Рос. Федерации. Устройство для исследования физико-механических характеристик слоя почвогрунта / С.В. Носов, Н.Н. Азовцев, П.А. Бондаренко, Б.А. Маслов; № 2003109005; заявл. 31.03.2003; опубл. 20.09.04. Бюл. № 26 (III ч.). 13 с.

⁸ Пат. 2365916 Рос. Федерации. Устройство для исследования физико-механических характеристик слоя почвогрунта / С.В. Носов, Н.Е. Перегудов, Ю.Ю. Киндюхин; № 2008112526/28; заявл. 31.03.2008; опубл. 27.08.2009. БИПМ № 24.

нии асфальтобетонной смеси с конкретными реологическими свойствами имеется возможность выйти на оптимальные параметры и режимы работы катков, аналогичная процедура при уплотнении грунтов земляного полотна колесными и гусеничными уплотнителями, работающими в различных условиях (в различных погодно-климатических зонах с разными составами и свойствами грунтов; в различных составах машинно-тракторных агрегатов, выполняющих различные операции, и т.д.), является достаточно сложной задачей.

Существуют различные расчетные методы определения технологических режимов работы применяемых уплотняющих машин с учетом особенностей проведения работ в конкретных условиях, однако следует развивать и дальше методы, основанные на развитии реологии уплотняемых материалов. Это позволит дорожным организациям уйти от значительных затрат времени и средств при проведении обязательных предварительных мероприятий по определению необходимого числа проходов уплотняющих машин (пробных проходов) при уплотнении грунтов для достижения необходимых эксплуатационных качеств земляного полотна: плотности, прочности, несущей способности, устойчивости и т.д.

Подходы к выбору технологических режимов работы уплотняющих средств зависят от поставленной задачи с учетом конструктивных особенностей таких машин. Например, для колесных уплотнителей эти подходы определяются колесной формулой и типом межмостового дифференциала; для гусеничных уплотнителей эти подходы определяются принятыми допущениями в распределении давлений гусеничного движителя на грунт, типом подвески и т.д.

Методы совершенствования технологии уплотнения грунтов с выбором режимов работы уплотняющих машин реализуются на основе разработанных методов оценки взаимодействия уплотнителей с грунтом путем имитационного моделирования в соответствии с выбранными критериями эффективности. Применяя разработанные методы, зная условия взаимодействия уплотнителей с грунтом, обладающим конкретными реологическими свойствами при выполнении конкретных операций (разработка, разравнивание, планировка, уплотнение грунта), можно выйти на определение оптимальных технологических режимов движения машин с целью обеспечения их максимальной производительности и достижения требуемой плотности грунта [3].

Научная новизна исследований состоит в создании и реализации принципиально нового подхода к изучению напряженно-деформированного состояния дорожно-строительных материалов при их уплотнении на основе разработанных математических моделей, учитывающих их упруговязкопластичные свойства, описываемые теорией нелинейной наследственной ползучести, несущую способность, время действия и характер уплотняющих нагрузок в рамках четырехмерных пространственно-временных представлений, позволяющего совершенствовать технологические процессы уплотнения грунтов земляного полотна и дорожных асфальтобетонных смесей на основе развития общей теории уплотнения.

Таким образом, рассмотрены методологические основы совершенствования технологий уплотнения грунтов земляного полотна и дорожных асфальтобетонных смесей, определяющие пути повышения эффективности их уплотнения, базирующиеся на разработке и применении математических моделей взаимодействия различных уплотнителей с дорожно-строительными материалами на основе дальнейшего развития их реологии с применением теории наследственной ползучести упруговязкопластичных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носов, С.В. Принципы развития теории уплотнения и концептуальная модель формирования технологий уплотнения дорожно-строительных материалов [Текст] / С.В. Носов, Г.М. Бутузов // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Стр-во и архитектура. — 2012. — Вып. 27(46). — С. 16–21.
2. Носов, С.В. Концепция совершенствования технологий уплотнения дорожных грунтов и асфальтобетонных смесей на основе развития их реологии [Текст] / С.В. Носов // Вестник ЛГТУ. — 2012. — № 1 (20). — С. 86–94.
3. Носов, С.В. Методы совершенствования технологий уплотнения дорожных грунтов на основе развития их реологии [Текст] / С.В. Носов // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. — 2012. — № 4 (24). — С. 41–52.

*НОСОВ Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц.
Липецкий государственный технический университет*

Получено после доработки 24.04.13

Nosov Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor,
Lipetsk State Technical University, Russia

HOW TO IMPROVE THE COMPACTION OF ASPHALT MIXES AND SOILS IN ROAD CONSTRUCTION AT THE PRESENT STAGE

The methodology technologies improve soil compaction Earth lyanogo track and road asphalt mixes, which is built with the driving modes seals (master, slave, etc.). It is shown that the calculation of the stress-strain state of road-building materials components of the stress and strain deviators should be calculated taking into account the peculiarities of the interaction with the seals sealed medium, including reaction time and the rate of change of the stress-strain state. This should be determined by the similarity function, taking into account the unknown patterns of structural change in sealing layer material, and expressed in terms of the regression equation, obtained by experimental means.

Key words: soil, asphalt concrete mix, the effectiveness of the seal.

REFERENCES

1. Nosov, S.V. The principles of the theory of consolidation and conceptual model of the formation of sealing technology road-building materials [Text] / S.V. Nosov, G.M. Butuzov // Herald VolgGASU. Ser. Page-in and arhit. — 2012. — Fasc. 27 (46). — P. 16–21.
2. Nosov, S.V. The concept of improving the technology of road compaction of soil and asphalt mixes by developing their rheology [Text] / S.V. Nosov // Bulletin LSTU. — 2012. — N 1 (20). — P. 86–94.
3. Nosov, S.V. Methods of improving the technology of road compaction of soils on the basis of their rheology [Text] / S.V. Nosov // Scientific Bulletin of VGASU. Construction and architecture. — 2012. — N 4 (24). — P. 41–52.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 533.6:518

О.А. АВЕРКОВА, И.Н. ЛОГАЧЕВ, К.И. ЛОГАЧЕВ,
А.И. ПУЗАНОК, И.В. ХОДАКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ НА ВХОДЕ В КВАДРАТНЫЙ ВСАСЫВАЮЩИЙ КАНАЛ*

Рассматривается течение на входе во всасывающее квадратное отверстие с острыми кромками, расположенным в неограниченном пространстве. С помощью дискретных квадратных вихревых рамок строится математическая модель отрывного течения, определяются поле скоростей в характерных сечениях всасывающего канала, размеры области эффективного всасывания, коэффициент сжатия струи.

Ключевые слова: течения вблизи всасывающих отверстий, отрывные течения, метод дискретных вихрей.

Отрывные течения на входе во всасывающие каналы рассматриваются в двумерной постановке: плоской и осесимметричной [1–3]. Использование методов теории функций комплексного переменного возможно только для плоских отрывных течений в многосвязных областях. Метод дискретных вихрей (МДВ) позволяет расширить класс решаемых задач. С помощью МДВ решены задачи об отрывных течениях на входе в круглую трубу с острыми кромками [1], вблизи отсосов-раструбов [2], на входе в щелевые и круглые всасывающие каналы с экранами [3]. Для построения дискретной модели применялись бесконечно тонкие прямолинейные и кольцевые вихри, использование которых не позволяет решать пространственные задачи. Цель данной работы — построение математической модели отрыва потока на входе в квадратный всасывающий канал с острыми кромками, расположенный в неограниченном пространстве, с использованием квадратных вихревых рамок.

1. Вывод основных расчетных соотношений и вычислительный алгоритм. Задача состоит в определении поля скоростей в спектре действия квадратного полубесконечного патрубка (рис. 1, а), при заданной скорости всасывания в сечении, удаленном на значительное расстояние от входа в трубу. Во всем всасывающем сечении $ABCD$ скорость всасывания полагалась постоянной и равной v_0 . С острой кромки $EFMN$ происходит срыв потока. На стенках трубы выполняется условие непроницаемости.

Дискретная модель строится следующим образом (рис. 1, б). Стенки трубы дискретизируются на квадратные вихревые рамки (присоединенные вихри) и расчетные точки, где выполняются граничные условия непроницаемости для нормальной составляющей скорости. Эти точки рас-

* Исследования выполнены при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (проекты НШ-588.2012.8), РФФИ (проект №12-08-97500-р_центр_a), плана стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова (проект №А-10/12).

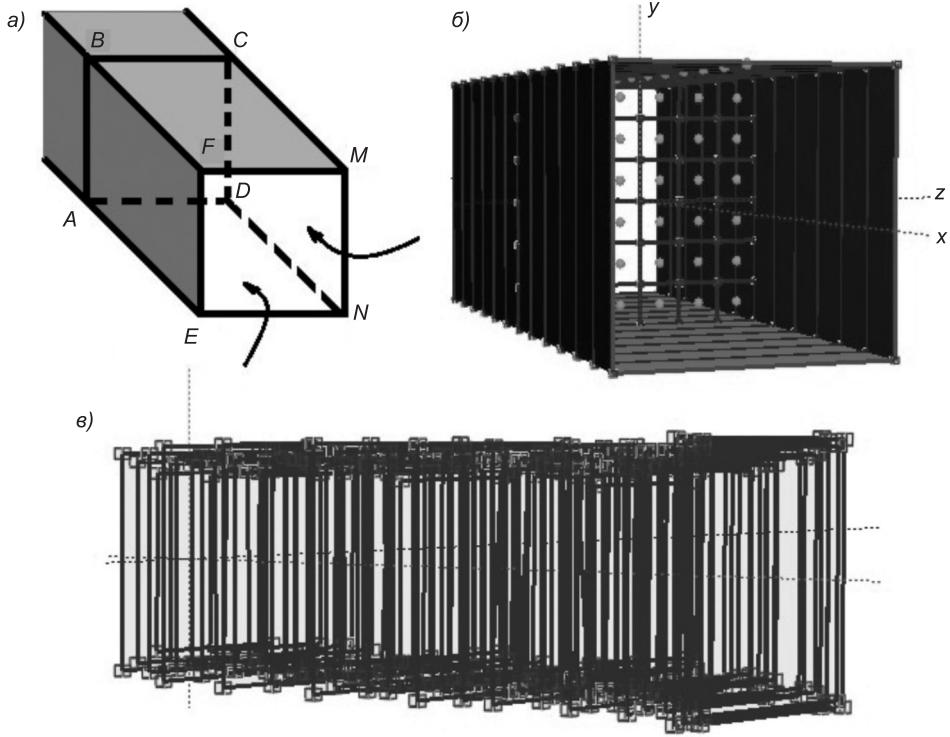


Рис. 1. Квадратный патрубок в неограниченном пространстве
 а — схема течения; б — дискретная модель; в — свободные квадратные вихревые рамки, полностью заполнившие область течения внутри трубы

положены на стенке трубы посредине между вихревыми рамками. Всасывающее сечение тоже разбивается на квадратные вихревые рамки, в центре каждой из них содержится расчетная точка, где нормальная составляющая скорости равна скорости всасывания v_0 .

Влияние вихревого отрезка AB с постоянной интенсивностью Γ вихревого слоя на точку $M(x, y, z)$ определяется следующей формулой:

$$\mathbf{v} = \frac{\Gamma}{4\pi} \cdot \frac{\mathbf{AB} \times \mathbf{AM}}{|\mathbf{AB}|^2 \cdot |\mathbf{AM}|^2 - (\mathbf{AB} \cdot \mathbf{AM})^2} \left(-\frac{\mathbf{AB} \cdot \mathbf{BM}}{|\mathbf{BM}|} + \frac{\mathbf{AB} \cdot \mathbf{AM}}{|\mathbf{AM}|} \right),$$

где \mathbf{v} — скорость в точке $M(x, y, z)$; $A(a_1, a_2, a_3)$ и $B(b_1, b_2, b_3)$ — вершины отрезка;

$$\mathbf{AB} = \{b_1 - a_1, b_2 - a_2, b_3 - a_3\}, \mathbf{AM} = \{x - a_1, y - a_2, z - a_3\},$$

$$\mathbf{AB} \cdot \mathbf{AM} = (b_1 - a_1) + (x - a_1) + (b_2 - a_2)(y - a_2) + (b_3 - a_3)(z - a_3),$$

$$\mathbf{AB} \cdot \mathbf{BM} = (b_1 - a_1)(x - b_1) + (b_2 - a_2)(y - b_2) + (b_3 - a_3)(z - b_3),$$

$$\mathbf{AB} \times \mathbf{AM} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ b_1 - a_1 & b_2 - a_2 & b_3 - a_3 \\ x - a_1 & y - a_2 & z - a_3 \end{vmatrix}.$$

Для определения величины скорости вдоль единичного направления $\mathbf{n} = \{n_1, n_2, n_3\}$ необходимо найти составляющие скорости $\{v_1, v_2, v_3\}$ с использованием формулы (1), а затем вычислить искомую скорость

$$v_n = v_1 n_1 + v_2 n_2 + v_3 n_3.$$

Введем обозначения: $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3, \mathbf{r}_4$ — радиус-векторы вершин четырехугольника.

Влияние на произвольную точку $x(x_1, x_2, x_3)$ вихревой четырехугольной рамки постоянной интенсивности Γ определяется из выражения

$$v(x) = \frac{\Gamma}{4\pi} \sum_{i=1}^4 \frac{[(\mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i) \times \mathbf{r}_i]}{\left| \mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i \right|^2 \left| \mathbf{r}_i \right|^2 - ((\mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i) \cdot \mathbf{r}_i)^2} \times \\ \times \left(-\frac{(\mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i) \cdot \mathbf{r}_{i+1}}{\left| \mathbf{r}_{i+1} \right|} + \frac{(\mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i) \cdot \mathbf{r}_i}{\left| \mathbf{r}_i \right|} \right).$$

Здесь полагается $\mathbf{r}_5 = \mathbf{r}_1$.

Введем функцию влияния на произвольную точку $x(x_1, x_2, x_3)$ k -й вихревой четырехугольной рамки единичной интенсивности:

$$\mathbf{G}(x, k) = \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^4 \frac{[(\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \times \mathbf{r}_i^k]}{\left| \mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k \right|^2 \left| \mathbf{r}_i^k \right|^2 - ((\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \cdot \mathbf{r}_i^k)^2} \times \\ \times \left(-\frac{(\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \cdot \mathbf{r}_{i+1}^k}{\left| \mathbf{r}_{i+1}^k \right|} + \frac{(\mathbf{r}_{i+1}^k - \mathbf{r}_i^k) \cdot \mathbf{r}_i^k}{\left| \mathbf{r}_i^k \right|} \right), \quad (1)$$

где $\mathbf{r}_i^k = \{A_{1i}^k - x_1, A_{2i}^k - x_2, A_{3i}^k - x_3\}$, $A_i^k(A_{1i}^k, A_{2i}^k, A_{3i}^k)$ — i -вершина k -й четырехугольной рамки.

Индукцированная рамкой интенсивности $\Gamma(k)$ скорость v в точке x вдоль направления \mathbf{n} вычисляется с помощью скалярного произведения

$$v_n(x) = (\mathbf{G}(x, k) \cdot \mathbf{n}) \Gamma(k).$$

Далее будем обозначать $\mathbf{G}^{pk} = (\mathbf{G}(x^p, k) \cdot \mathbf{n})$, где x^p — p -я контрольная точка. Контрольные точки располагаются посередине между квадратными вихревыми рамками по поверхности трубы или в центре вихревых рамок, расположенных в активном сечении трубы (см. рис. 1, б). Заметим, что по всей рамке интенсивность Γ неизменна во всех точках квадратной вихревой рамки.

Рассмотрим начальный момент времени $t = 0$. В этот момент существуют только присоединенные вихревые рамки (лежащие на границе области). Интенсивности этих вихрей неизвестны. Нормальная составляющая скорости в точке x^p вычисляется путем суммирования действия на нее всех вихревых рамок:

$$v_n^p = \sum_{k=1}^N G^{pk} \Gamma^k, \quad (2)$$

где $v_n^p = 0$ — скорость в p -й расчетной точке (она находится в центре p -й рамки) на поверхности трубы либо $v_n^p = v_0$ в активном сечении. Изменяя в выражении (2) номер p от 1 до N , получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения неизвестных интенсивностей вихревых рамок $\Gamma^1, \Gamma^2, \dots, \Gamma^N$. После решения этой системы уравнений скорость в любой внутренней точке области определяется по той же формуле (2), где вместо координат p -й расчетной точки подставляются координаты данной точки.

В момент времени $t = 1 \cdot \Delta t$ происходит срыв с острой кромки трубы первой свободной вихревой рамки. Определим ее положение

$$x' = x + v_x \cdot \Delta t, y' = y + v_y \cdot \Delta t, z' = z + v_z \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где (x, y, z) — координаты ее предыдущего положения, $\{v_x, v_y, v_z\}$ — составляющие вектора скорости в этой точке находятся с использованием формул (1), (2) при $\vec{n} = \{1, 0, 0\}$, $\vec{n} = \{0, 1, 0\}$, $\vec{n} = \{0, 0, 1\}$ соответственно. Интенсивность этой свободной вихревой рамки равна интенсивности рамки, лежащей на острой кромке трубы, и с течением времени не изменяется.

В этот момент времени необходимо заново определять интенсивности присоединенных вихревых рамок с учетом сошедшей с острой кромки свободной вихревой рамки. Система уравнений (2) в этот момент времени преобразуется к следующему виду:

$$\sum_{k=1}^N G^{pk} \Gamma^k = v_n^p - G^{p1} \gamma^1, \quad p = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

G^{p1} — функция влияния на p -ю контрольную точку первой свободной вихревой рамки интенсивности γ^1 .

В следующий момент времени $t = 2 \cdot \Delta t$ происходит сход второй свободной вихревой рамки, первая сдвигается по направлению потока. Положения ее вершин определяются при помощи формул (3) и выражения

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^N G^k \Gamma^k + G^1 \gamma^1. \quad (5)$$

Неизвестные циркуляции присоединенных вихревых рамок определяются путем решения преобразованной из (4) следующей системы уравнений:

$$\sum_{k=1}^N G^{pk} \Gamma^k = v_n^p - \sum_{\tau=1}^2 G^{p\tau} \gamma^\tau, \quad p = 1, 2, \dots, N.$$

Соответственно выражение (5) также преобразуется к виду

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^N G^k \Gamma^k + \sum_{\tau=1}^2 G^\tau \gamma^\tau.$$

Таким образом, в каждый расчетный момент времени будет сходить в поток новая свободная вихревая рамка. Положение в пространстве вершин «старых» свободных рамок определится при помощи формул (3).

В момент времени $t = m \cdot \Delta t$ система для определения неизвестных интенсивностей присоединенных вихревых рамок имеет следующий вид:

$$\sum_{k=1}^N G^{pk} \Gamma^k = v^p - \sum_{\tau=1}^m G^{p\tau} \gamma^\tau, \quad p = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

а скорость в данный момент времени во внутренней точке x вдоль заданного направления \mathbf{n} определяется путем суммирования на данную точку всех присоединенных и свободных рамок:

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^N G^k \Gamma^k + \sum_{\tau=1}^m G^\tau \gamma^\tau, \quad (7)$$

где G^k — функция влияния на точку x k -й вихревой рамки, Γ^k — ее циркуляция, G^τ — функция влияния на точку x вихревой рамки, сошедшей с острой кромки в момент времени τ .

В следующий момент времени происходит сход новых вихрей, старые сдвигаются по направлению потока, определяются неизвестные циркуляции присоединенных и т.д., пока не достигается заданная цель. При достижении вихревой рамкой активного сечения она удаляется из рассмотрения (см. рис. 1, в). Влияние вихревой рамки, попадающей в сферу с центром в данной точке и радиусом дискретности h , не учитывается. Радиус дискретности h обычно выбирают в диапазоне 0,88–0,99 от расстояния между соседними вихревыми особенностями [4].

2. Результаты расчета и их обсуждение. Расчеты производились на входе в квадратную трубу размером $0,2 \times 0,2$ м; длина трубы 1 м; посередине трубы расположено активное сечение, дискретизируемое набором 100 квадратных рамок; поверхность трубы состояла из 100 квадратных присоединенных вихревых рамок (без рамки, охватывающей активное сечение); радиус дискретности $h = 0,00495$ м; шаг по времени $\Delta t = 0,01$ с.

Сравнение величин осевой скорости воздуха (рис. 2) показывает, что квадратное всасывающее отверстие менее дальнобойно, чем круглое. По оси ординат откладывались величины скорости, отнесенной к скорости всасывания v_0 . По оси абсцисс откладывалась величина удаленности от входа в трубу, разделенное на радиус трубы a . Штрихпунктирная линия — это расчеты по формуле В.Н. Порохина для круглой трубы

$$v/v_0 = 1,1 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,655/(x/a)^2}} \right).$$

Кружочки — результаты опыта J.L. Alden для круглой трубы¹.

Для квадратной трубы a — половина стороны квадрата или радиус окружности, вписанной в него. В этом случае сравнение происходит в одних и тех же точках. При равной скорости v_0 в отсосе имеем завышенные величины скорости (кривая 1) для квадратной трубы. Но такое сравнение не корректно, поскольку расход в такой трубе выше, чем у круглой на величину $a^2 v_0 (4 - \pi)$, где a — сторона квадрата. Поэтому значение скорости, найденное для квадратной трубы, следует относить к $(4/\pi)v_0$. В этом случае объемные расходы всасываемого воздуха будут одинаковы для круглой и квадратной трубы. Кривая 2 на рис. 2 показывает, что значение осевой скорости на входе в квадратную трубу ниже, чем для круглой, т.е. это и свидетельствует о меньшей дальнобой-

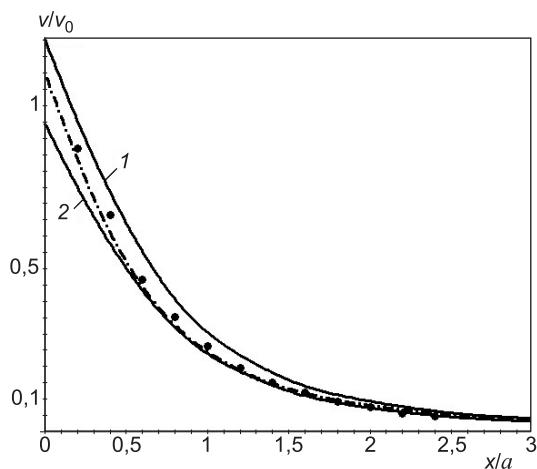


Рис. 2. Изменение осевой скорости при удалении от входа во всасывающий канал

¹ Alden J.L., Kane J.M. Design of Industrial Ventilation Systems. N.Y.: Industrial Press, 1982.

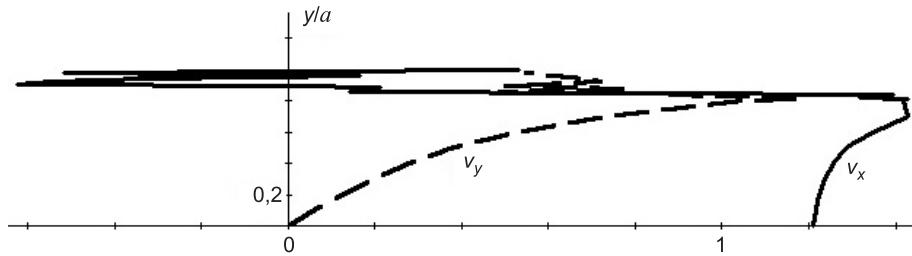


Рис. 3. Профиль скоростей на входе в квадратный всасывающий канал в плоскости, проходящей через середины противоположных сторон

ности квадратного всасывающего отверстия. Заметим, что иногда в литературе заявляется о большей дальности квадратной всасывающей трубы, но сравнение производится в разных точках. Удаленность от всасывающего отверстия измеряли в гидравлических радиусах: площади отверстия, отнесенными к периметру. Для круглого отверстия эта величина $a/2$, для квадратного $a/4$. В точке, лежащей ближе к отверстию, скорость, естественно, выше.

Профили скоростей на входе в трубу показывают, что на оси трубы скорость минимальна, далее скорость незначительно возрастает при приближении к стенкам (рис. 3). На расстоянии $0.6 \div 0.7a$ происходит тангенциальный разрыв скорости, т.е. резкое изменение величины и направления скорости. Вблизи стенок наблюдается вихревое течение. Линии тока пульсируют с течением времени (рис. 4). Величина ширины эффективного всасывания в осевом сечении, проходящем через середины противоположных сторон трубы на входе в трубу, осредненная во времени, $B \approx 0,82a$. При входе в трубу поток сжимается до $\approx 0,66a$. Это происходит на расстоянии $\approx 0,8a$ от входа в трубу.

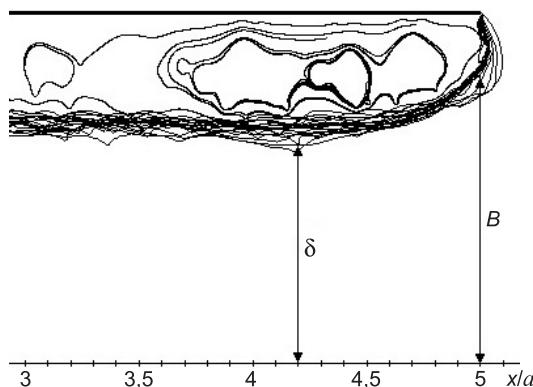


Рис. 4. Линии тока в сечении XOY (XOZ)

Для линий тока в системе координат (рис. 5) предлагается следующая формула расчета:

$$x = 1,72(|y|-1)^2 - 2,88(|y|-1) + 0,82 + 0,76\ln(|y|-0,66). \quad (8)$$

Здесь показаны линии тока в плоскости, проходящей через ось отсоса и через середины противоположных сторон. Ось OX направлена по оси отсоса; оси OY, OZ — через середины противоположных сторон. Все размеры отнесены к полустороне a квадрата. Понятно, что если в формуле (8) поменять y на z , получим линии тока в плоскости XOZ .

Отрывную поверхность тока в правой системе координат XYZ (см. рис. 5) можно определить из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} & (z \leq y \cap z \geq -y) \cup (z \geq y \cap z \leq -y) \Rightarrow \\ & \Rightarrow x = 1,72(|z|-1)^2 - 2,88(|z|-1) + 0,82 + 0,76\ln(|z|-0,66); \\ & (z \geq y \cap z \geq -y) \cup (z \leq y \cap z \leq -y) \Rightarrow \\ & \Rightarrow x = 1,72(|y|-1)^2 - 2,88(|y|-1) + 0,82 + 0,76\ln(|y|-0,66). \end{aligned}$$

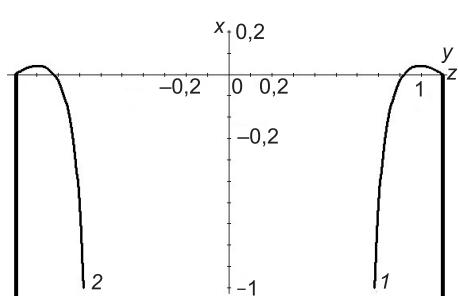


Рис. 5. Линии тока, построенные по формуле (8)

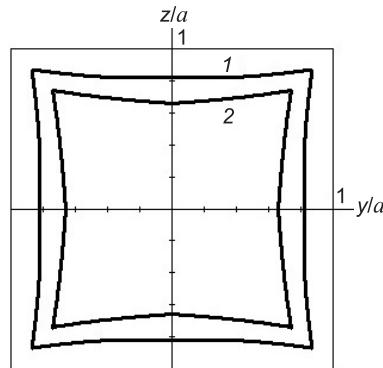


Рис. 6. Граница всасывающего сечения
1 — на входе в квадратную трубу; 2 — в сечении, заглубленном на расстояние $\approx 0,8a$

Заметим, в формулах полагалось, что сжатое сечение имеет квадратную форму, которая несколько нарушается при приближении к углам сечения (рис. 6).

Площадь всасывающего сечения $\approx 0,699a^2$, что на $\approx 4\%$ больше, если считать его квадратным с площадью $\approx 0,672a^2$. Площадь эффективного всасывания в сечении, заглубленном на расстояние $\approx 0,8a$ от входа в трубу, составляет $0,50675a^2$. Если посчитать коэффициент местного сопротивления (к.м.с.) по формуле Борда:

$$\zeta = \left(1 - \frac{a^2}{S}\right)^2 \approx \left(1 - \frac{1}{0,507}\right)^2 \approx 0,95.$$

Для практики принято считать этот коэффициент равным 1.

Выводы. В рамках идеологии метода дискретных вихрей в нестационарной квазисимметричной постановке построена математическая модель отрывного течения на входе в квадратный всасывающий патрубок и ее программно-алгоритмическая реализация. Определены поле скоростей на входе во всасывающий канал и линия отрыва потока. Полученные результаты могут быть полезны для проектирования систем местной вытяжной вентиляции сниженной энергоемкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Логачев, К.И. Расчет течения вблизи круглого всасывающего патрубка [Текст] / К.И. Логачев, В.Н. Посохин // Изв. вузов. Авиационная техника. — 2004. — № 1. — С. 29–32.
- Логачев, К.И. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы методом дискретных вихрей [Текст] / К.И. Логачев, А.И. Пузанок, В.Н. Посохин // Изв. вузов. Проблемы энергетики. — 2004. — № 7-8. — С. 61–69.
- Аверкова, О.А. Закономерности отрывного течения при входе в выступающий канал с экранами [Текст] / О.А. Аверкова, И.Н. Логачев, К.И. Логачев, А.И. Логачев // Ученые записки ЦАГИ. — 2013. — Т. XLIV, № 2. — С. 33–49.
- Белоцерковский, С.М. Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей [Текст] / С.М. Белоцерковский, А.С. Гиневский. — М. : Физматлит, 1995. — 368 с.

АВЕРКОВА Ольга Александровна, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЛОГАЧЕВ Иван Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЛОГАЧЕВ Константин Иванович, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ПУЗАНОК Алексей Иванович, канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ХОДАКОВ Илья Владимирович, асп.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 24.04.13

Averkova Olga Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor; Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Logachev Ivan Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Logachev Konstantin Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Puzanok Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Khodakov Ilya Vladimirovich, post-graduate student, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

SEPARATED FLOW MODELLING AT THE ENTRANCE INTO THE SQUARE SUCTION DUCT

The flow at the entrance into the suction square opening with the sharp edges, located in unlimited space is considered. By dint of the discrete square vortex framework the mathematical model of the suction duct is under construction, velocity field in the indicative sections of the suction duct, the sizes of effective absorption area, coefficient of the stream compression are defined.

Key words: flows near suction openings, separated flows, discrete vortex method.

REFERENCES

1. Logachev, K.I. Flow calculation near the round suction duct [Text] / K.I. Logachev, V.N. Posokhin // News of higher education institutions. Aircraft equipment. — 2004. — N 1. — P. 29–32.
2. Logachev, K.I. Flows calculation at the entrance into the suction bells with discrete vortex method [Text] / K.I. Logachev, A.I. Puzanok, V.N. Posokhin // News of higher education institutions. Power problems. — 2004. — N 7-8. — P. 61–69.
3. Averkova, O.A. Regularities of a separated flow at the entrance into the overhang duct with screens [Text] / O.A. Averkova, I.N. Logachev, K.I. Logachev, A.I. Logachev // Scientific notes of TsAGI. — 2013. — Vol. XLIV, N 2. — P. 33–49.
4. Belotserkovsky, S.M. Modelling of turbulent streams and traces on the basis of discrete vortex method [Text] / S.M. Belotserkovsky, A.S. Ginevsky. — M. : Physmatlit, 1995. — 368 p.

УДК 624.154:624.04

А.Л. ГОТМАН, Л.Я. СОКОЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ СВАЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ И ИХ РАСЧЕТ

Представлены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния горизонтально нагруженных комбинированных свай переменного сечения, на основании которых построена расчетная схема и разработана методика расчета таких свай на горизонтальную нагрузку.

Ключевые слова: комбинированная свая, горизонтальное перемещение, изгибающий момент, коэффициент постели.

Свайные фундаменты являются одним из самых надежных и универсальных видов фундаментов с практически неограниченными возможностями по области их применения, но в ряде случаев их высокая стоимость является серьезным сдерживающим фактором при принятии решения об их применении в практике проектирования. Поэтому последние 3–4 десятилетия постоянно велись исследования и работы по совершенствованию свай и свайных фундаментов. Так, к концу прошлого столетия с целью повышения эффективности свайного фундаментостроения были разработаны, исследованы и успешно применялись на практике сваи нестандартной конструкции, в том числе сваи-оболочки, полые круглые сваи, забивные железобетонные стаканы, а также сваи переменного по длине сечения как набивные, так и забивные и различные комбинации этих конструкций.

Наибольшее внимание исследователей уделялось сваям переменного сечения (пирамидальные, конусные, бипирамидальные), поскольку они значительно эффективнее по отношению к сваям постоянного по длине сечения работают на вертикальную нагрузку, так как имеют наклонные грани, создающие дополнительное сопротивление по грунту.

Такие сваи могут быть как забивные, так и набивные, бетонируемые в выштампованных скважинах.

Набивные пирамидальные сваи могут иметь достаточно большие размеры поперечного сечения верхней части (до $1,2 \times 1,2$ м), поэтому их целесообразно использовать в качестве односвайного фундамента под колонны каркасных зданий и сооружений, в том числе опор трубопроводов.

При применении пирамидальных свай в качестве односвайных фундаментов они также весьма эффективны и с точки зрения их работы на горизонтальную нагрузку в силу развитого поперечного сечения верхней части сваи. Однако несущая способность таких свай на вертикальную нагрузку ограничена технологическими возможностями сваепогружающего оборудования. Поэтому представляет интерес рассмотреть возможность использования некоторых конструктивных приемов для совершенствования

ния пирамидальных набивных свай с целью повышения их несущей способности на вертикальную нагрузку с сохранением их эффективной работы на горизонтальную нагрузку.

Одним из путей увеличения сопротивления таких свай является применение комбинированной двухэлементной конструкции односвайного фундамента (в дальнейшем для краткости будем называть «комбинированная свая»), изготавливаемой по следующей технологии. В выштампованную скважину после извлечения пирамидального штампа-скважинообразователя погружают молотом копра забивную сваю до отметки выше дна скважины на величину, требуемую для сопряжения этой сваи с телом набивной сваи. Для жесткого сопряжения забивной сваи с набивной необходимо, чтобы голова сваи была выше дна скважины на $0,8 \div 1$ м, для шарнирного сопряжения достаточно $0,3 \div 0,4$ м. Затем в скважину устанавливают арматурный каркас, укладывают бетонную смесь и формируют оголовок сваи для монтажа колонны.

Технологическая схема устройства таких свай показана на рис. 1.

При использовании таких фундаментов в качестве односвайных под колонны каркасных зданий и сооружений они всегда работают в условиях совместного действия на них горизонтальной, моментной и вертикальной нагрузок, поэтому актуальной является задача исследования работы таких свай на горизонтальную нагрузку.

Экспериментальные исследования. С целью получения данных для построения расчетной схемы таких свай на действие горизонтальной нагрузки проведены эксперименты на натурных сваях в полевых условиях на опытной площадке, сложенной глинистыми грунтами тугопластичной консистенции со следующими физико-механическими характеристиками: $\rho = 1,95 \text{ т} / \text{м}^3$, $C = 0,021 \text{ МПа}$, $\phi = 18^\circ$, $E = 10 \text{ МПа}$.

На опытной площадке молотом копра был забит штамп-скважинообразователь пирамидальной формы размером поперечного сечения верха 120×110 см, нижнего конца — 30×30 см, длиной 3,5 м. После отдыха

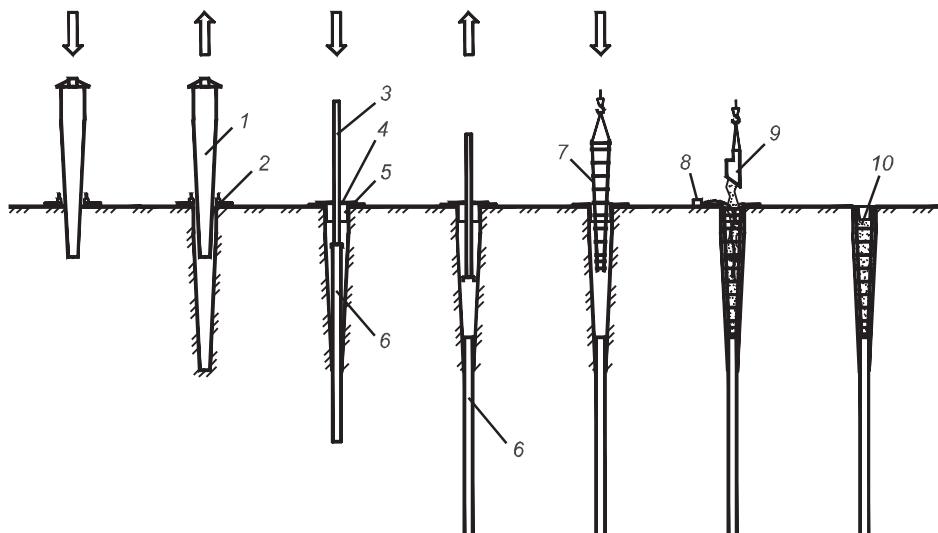


Рис. 1. Технологическая схема устройства комбинированной сваи переменного сечения
1 — штамп-скважинообразователь; 2 — опорная площадка с гидроцилиндрами; 3 — добойник;
4 — кондуктор для погружения забивной сваи; 5 — обсадной короб; 6 — забивная свая;
7 — арматурный каркас; 8 — глубинный вибратор; 9 — бадья; 10 — готовая свая

7 дней забитый штамп, который можно рассматривать как забивную сваю, был испытан на горизонтальную нагрузку. Затем штамп был извлечен из грунта и в скважину забита свая сечением 30×30 см, длиной 8 м до отметки головы сваи выше дна скважины на 80 см. В скважину на всю глубину установлен арматурный каркас пирамидальной формы, включающий 12 стержней $\varnothing 22$ АIII, т.е. по 4 стержня по каждой стороне. После этого была забетонирована свая путем укладки в скважину бетонной смеси марки В20 с вибрированием.

После набора бетоном проектной прочности комбинированная свая была испытана на горизонтальную нагрузку.

Оба испытания проводились по ускоренной методике БашНИИстроя, в соответствии с которой за критерий стабилизации горизонтальных перемещений сваи принималось перемещение в уровне поверхности грунта 0,1 мм за последние 15 мин.

Горизонтальные перемещения сваи измерялись в уровне поверхности грунта и на высоте 1 м от поверхности грунта.

На рис. 2 представлены результаты испытаний пирамидальной сваи (штампа-скважинообразователя): графики «нагрузка — перемещение» и «нагрузка — угол поворота» сваи (рис. 2, а), а также деформационная схема сваи как абсолютно жесткого стержня, поворачивающегося вокруг точки нулевых перемещений (рис. 2, б), что для короткой сваи ($l = 3,5$ м) с большим верхним поперечным сечением (120×110 см) является вполн-

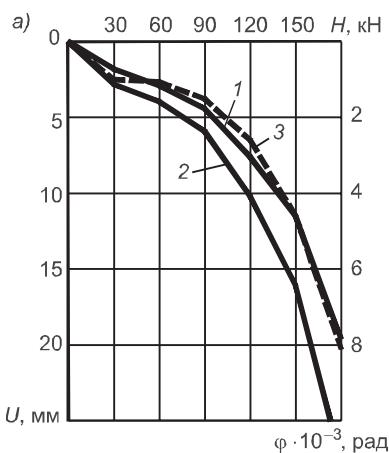


Рис. 2. Графики «нагрузка—перемещение» пирамидальной сваи (а):
1 — в уровне поверхности грунта,
2 — на высоте 1 м от поверхности грунта, 3 — «нагрузка—угол поворота»;
Схема поворота оси сваи (б): 1—5 —
при горизонтальной нагрузке 60, 90,
120, 150 и 180 кН соответственно

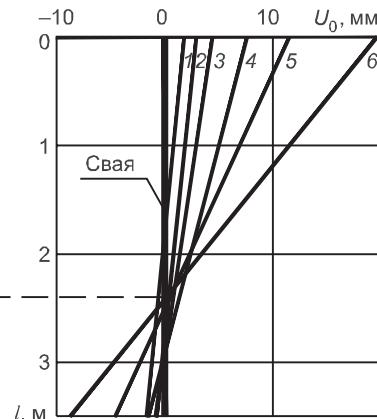
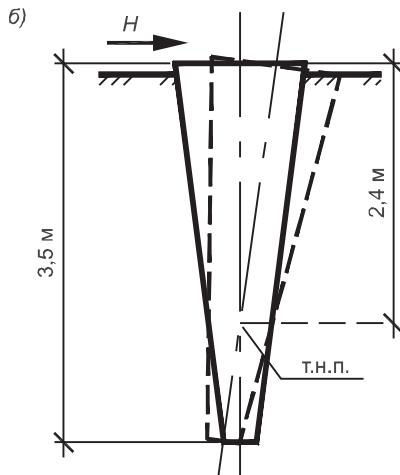


Таблица 1

**Результаты испытания на горизонтальную нагрузку пирамидальной сваи
(штампа-скважинообразователя)**

Параметры деформации	Значения параметров деформации при горизонтальной нагрузке на сваю, кН					
	30	60	90	120	150	180
U_0 , мм	1,80	2,90	4,40	7,60	11,50	19,60
U_1 , мм	2,80	3,95	5,91	10,20	16,10	27,70
φ , рад	0,00100	0,00105	0,00151	0,00260	0,00460	0,00810
l_0 , м	1,800	2,762	2,914	2,923	2,500	2,420
U_h , мм	-1,700	-0,775	-0,885	-1,500	-4,600	-8,747

не обоснованным. Угол поворота сваи φ , глубина точки нулевых перемещений l_0 и смещение нижнего конца сваи U_h вычислены по формулам (1) и сведены в табл. 1:

$$\varphi = \frac{U_1 - U_0}{l_1}; \quad l_0 = \frac{U_0 \cdot l_1}{U_1 - U_0}; \quad U_h = \frac{(l - l_0)}{l_0} \cdot U_0, \quad (1)$$

где U_0 — перемещение сваи в уровне поверхности грунта;

U_1 — перемещение сваи на высоте 1 м от поверхности грунта;

l_1 — расстояние между уровнями измерения перемещений сваи;

l — длина сваи;

l_0 — глубина точки нулевых перемещений.

Как видно на рис. 2, из графика «нагрузка — перемещение» до нагрузки 90 кН эта зависимость линейная, затем график искривляется, но предельного состояния достичь не удалось, несмотря на то что перемещение в уровне поверхности грунта достигло 21 мм.

Зависимость «нагрузка — угол поворота» в целом аналогична графику «нагрузка-перемещение». Глубина точки нулевых перемещений с увеличением нагрузки изменяется: сначала увеличивается, достигая 2,9 м, затем при максимальной нагрузке уменьшается до минимума — 2,4 м. Следует отметить, что на всех ступенях нагрузки имеет место перемещение нижнего конца в обратную сторону по отношению к направлению действия горизонтальной нагрузки.

Далее рассмотрим результаты подобных испытаний комбинированной сваи. Анализ результатов испытаний выполним по аналогии с испытанием пирамидальной сваи. Результаты испытаний представлены на рис. 3 и в табл. 2.

Как видно, наличие забивной сваи ниже пирамидальной части существенно меняет картину деформаций сваи под нагрузкой. До нагрузки 160 кН и перемещении 12 мм зависимость «нагрузка-перемещение» практически линейная, угол поворота также увеличивается линейно. Затем, по-видимому, в стыке забивной сваи с пирамидальной раскрылись трещины, жесткость на изгиб уменьшилась и отмечается скачкообразное увеличение перемещения и угла поворота. Характерным является то, что точка нулевых перемещений находится в области сопряжения забивной сваи с пирамидальной в пределах линейной части графика (до нагрузки 160 кН), т.е. голова забивной сваи практически не претерпевает горизонтальных перемещений. При дальнейшем повышении нагрузки несколько увеличивается перемещение нижнего конца пирамидальной сваи, а следовательно, и головы забивной сваи. Однако это перемещение невелико — не более 2 мм.

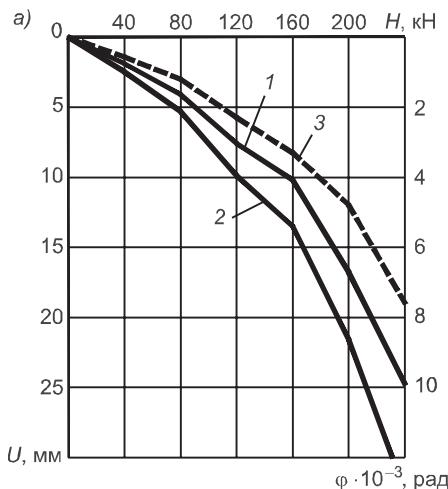
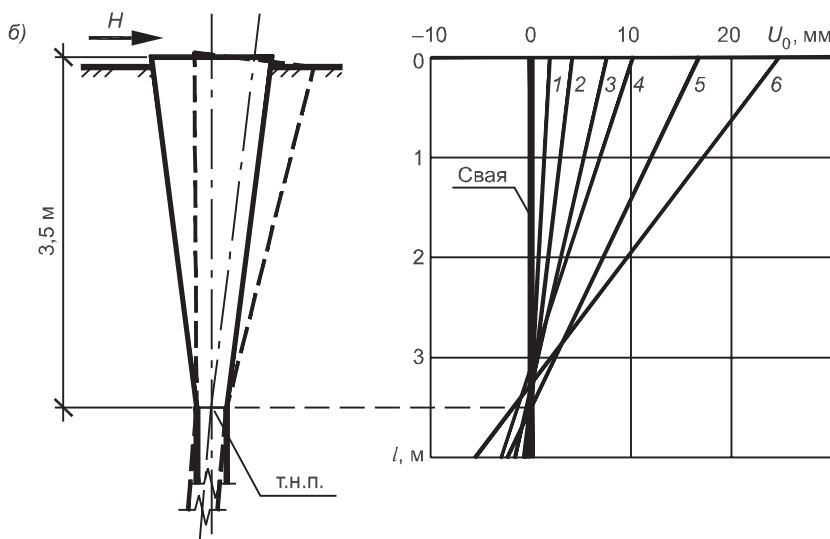


Рис. 3. Графики «нагрузка—перемещение» комбинированной сваи (а): 1 — в уровне поверхности грунта, 2 — на высоте 1 м от поверхности грунта, 3 — «нагрузка — угол поворота»; Схема поворота пирамидальной части сваи (б): 1–5 — при горизонтальной нагрузке 80, 120, 160, 200 и 240 кН соответственно



При этом отмечается существенное увеличение сопротивления такой сваи горизонтальной нагрузке по сравнению с пирамидальной сваей: при перемещении 10 мм со 120 до 140 кН, т.е. на 17 %, и при перемещении 20 мм — со 180 до 220 кН или на 22 %. Это увеличение объясняется включением в работу забивной сваи, что необходимо учесть в расчетной схеме.

Таким образом, при построении расчетной схемы комбинированной сваи переменного сечения, включающей верхнюю часть пирамидальной

Таблица 2

Результаты испытания на горизонтальную нагрузку комбинированной сваи

Параметры деформации	Значения параметров деформации при горизонтальной нагрузке на сваю, кН					
	40	80	120	160	200	240
U_0 , мм	1,90	4,10	7,60	10,20	16,80	24,80
U_1 , мм	2,47	5,30	9,90	13,50	21,60	32,40
φ , рад	0,00057	0,00120	0,00230	0,00330	0,00480	0,00760
l_0 , м	3,333	3,417	3,304	3,091	3,500	3,263
U_h , мм	-0,095	-0,100	-0,451	-1,350	-0,000	-1,801

формы и жестко соединенную с ней нижнюю часть призматической формы, необходимо учесть следующее.

При действии горизонтальной нагрузки перемещение нижнего конца верхней пирамидальной части сваи, а следовательно, жестко соединенной с ней головы забивной сваи не превышает 2 мм, поэтому забивная свая работает в области линейных деформаций. Верхняя пирамидальная часть деформируется нелинейно, поэтому для получения достоверных данных во всем диапазоне перемещений в расчетной схеме следует учитывать нелинейность деформаций основания.

Методика расчета. Рассмотрим общий случай конструктивного решения составной комбинированной сваи переменного сечения, когда верхняя часть имеет переменное, а нижняя часть — постоянное по глубине сечение.

Примем следующие предпосылки.

1. Комбинированная свая рассматривается как плоская система.

2. Основание по глубине неоднородное, многослойное, разбито на n слоев в пределах глубины пирамидальной части с постоянными в пределах каждого слоя коэффициентами постели K_i .

3. Размер поперечного сечения пирамидальной части фундамента d_z с глубиной изменяется по линейной зависимости

$$d_z = d_0(1 - \xi z), \quad (2)$$

$$\text{где } \xi = \frac{(d_0 - d_n)}{d_0 l_n};$$

d_0, d_n — размер сечения верха и низа пирамидальной части;

l_n — длина пирамидальной части;

z — текущая координата по глубине.

4. Изгибная жесткость верхней пирамидальной части принимается бесконечной, а закономерность изменения ее горизонтального перемещения в грунте по глубине имеет вид

$$U_z = U_0 - \phi_0 z, \quad (3)$$

где U_0 и ϕ_0 — горизонтальное перемещение и угол поворота сваи в уровне поверхности грунта.

5. В соответствии с моделью местных деформаций сопротивление грунта на лобовой поверхности пирамидальной части сваи q_z пропорционально ее перемещению U_z и коэффициенту постели K_z

$$q_z = U_z K_z d_z, \quad (4)$$

где d_z — размер поперечного сечения пирамидальной сваи на глубине z .

6. Призматическая свая жестко защемлена в пирамидальной части в уровне ее нижнего торца, а реакции головы сваи от действия на нее нагрузок определяются жесткостными характеристиками ρ_2, ρ_3 и ρ_4 [1].

Расчетная схема комбинированной сваи переменного сечения представлена на рис. 4.

Запишем изгибающий момент M_c и поперечную силу Q_c , возникающие в пирамидальной части сваи в месте ее сопряжения с призматической сваей от ее реакции при горизонтальном перемещении пирамидальной сваи U_0 и угле поворота ϕ_0 в уровне поверхности грунта.

$$M_c = \rho_4 \phi_0 + \rho_3 (\phi_0 l_n - U_0); \quad (5)$$

$$Q_c = \rho_2 (U_0 - \phi_0 l_n) - \rho_3 \phi_0.$$

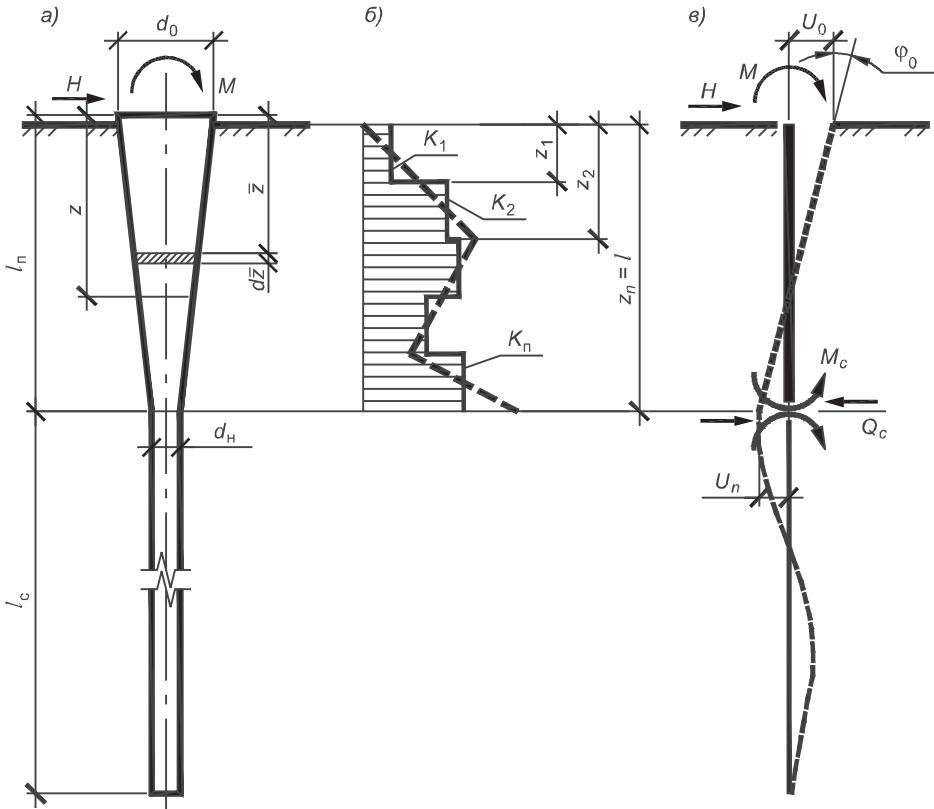


Рис. 4. Расчетная схема сваи

а — конструктивная схема с нагрузками; б — эпюра коэффициентов постели, сплошная толстая линия — расчетная, штриховая толстая — сопротивления грунта под наконечником зонда при статическом зондировании; в — деформационная схема сваи

Из условия равновесия действующих и реактивных сил в соответствии с расчетной схемой изгибающий момент M_z и поперечная сила Q_z в произвольном сечении пирамидальной сваи на глубине z при действии на фундамент горизонтальной нагрузки H и изгибающего момента M в уровне поверхности грунта имеют вид

$$\begin{aligned} M_z &= M + Hz - M_z^{\text{рп}}; \\ Q_z &= P - Q_z^{\text{рп}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $M_z^{\text{рп}}$ и $Q_z^{\text{рп}}$ — изгибающий момент и поперечная сила соответственно в произвольном сечении пирамидальной сваи на глубине z от сопротивления грунта $q_{\bar{z}}$ i -го слоя на глубине \bar{z} (см. рис. 4). Они определяются из выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\bar{z}_i}^{\text{рп}} = K_i \int_{\bar{z}_{i-1}}^{\bar{z}_i} (d_0 - \xi d_0 \bar{z}) (U_0 - \bar{z} \varphi_0) (z - \bar{z}) d\bar{z}, \\ Q_{\bar{z}_i}^{\text{рп}} = K_i \int_{\bar{z}_{i-1}}^{\bar{z}_i} (d_0 - \xi d_0 \bar{z}) (U_0 - \bar{z} \varphi_0) d\bar{z}. \end{array} \right. \quad (7)$$

После интегрирования выражений (7), суммирования результатов по длине пирамидальной части сваи до слоя, в котором расположено сечение z , и подставляя их в (6), принимая за граничные условия выражения

(5) при $z = l_n$, получим систему двух уравнений. Решая ее относительно U_0 и φ_0 после некоторых преобразований, имеем:

$$\left. \begin{array}{l} U_0 = H\delta_1 + M\delta_2 \\ \varphi_0 = H\delta_2 + M\delta_3 \end{array} \right\}, \quad (8)$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 = \frac{\varphi_4 - l_n \varphi_2}{\eta}; \delta_2 = \frac{-\varphi_2}{\eta}; \delta_3 = \frac{\varphi_1}{\eta}; \\ \eta = \varphi_2 \varphi_3 - \varphi_1 \varphi_4 \end{array} \right\}, \quad (9)$$

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_1 = d_0 \frac{A}{12} - \rho_2; \\ \varphi_2 = d_0 \frac{B}{12} + \rho_2 l_n + \rho_3; \\ \varphi_3 = \frac{d_0}{12} (Al_n + B) + \rho_3; \\ \varphi_4 = \frac{d_0}{12} (Bl_n - C) - \rho_3 l_n - \rho_4 \end{array} \right\}, \quad (10)$$

$$A = 6b\xi - 12a; B = 6b - 4d\xi; C = 4d - 3c\xi, \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} a = \sum_{i=1}^n K_i (z_i - z_{i-1}); b = \sum_{i=1}^n K_i (z_i^2 - z_{i-1}^2) \\ d = \sum_{i=1}^n K_i (z_i^3 - z_{i-1}^3); c = \sum_{i=1}^n K_i (z_i^4 - z_{i-1}^4) \end{array} \right\}, \quad (12)$$

где z_i и z_{i-1} — расстояние от поверхности грунта до подошвы и кровли i -го слоя грунта соответственно.

Выражения для определения изгибающего момента M_{nz} и поперечной силы Q_{nz} в пирамидальной свае на глубине z будут иметь вид

$$\left. \begin{array}{l} M_{nz} = M + Hz + U_0 \Phi'_3 + \varphi_0 \Phi'_4 \\ Q_{nz} = H - U_0 \Phi'_1 - \varphi_0 \Phi'_2 \end{array} \right\}, \quad (13)$$

где

$$\left. \begin{array}{l} \Phi'_1 = d_0 \frac{A_z}{12}; \Phi'_2 = d_0 \frac{B_z}{12}; \\ \Phi'_3 = \frac{d_0}{12} (A_z z + B_z); \Phi'_4 = \frac{d_0}{12} (B_z z - C_z). \end{array} \right\}, \quad (14)$$

Значения A_z , B_z и C_z определяются по формулам (11) и (12), при этом суммирование в (12) производится до слоя, в котором находится сечение z .

Усилия в стыке призматической сваи с пирамидальной определяются по формулам (5).

Жесткостные характеристики сваи ρ_2 , ρ_3 , и ρ_4 определяются по формулам, изложенным в [1], при этом перемещения от единичных усилий входящие в эти формулы могут определяться по разным методикам. Так, если принять закон изменения коэффициента постели по глубине в виде линейной функции от текущей координаты, то можно использовать методику СНиП.

Однако наиболее достоверные результаты будут получены, если принять расчетную схему с использованием многослойного основания с постоянным в пределах каждого слоя коэффициентом постели в соответствии с решением [2] с использованием МКЭ.

Коэффициент постели K_i i -го слоя грунта в пределах глубины пирамидальной части можно определять по формуле (1) в работе [3], которая позволяет учитывать нелинейность деформации основания и использовать в качестве расчетной характеристики грунта как модуль деформации, так и данные статического зондирования.

Учет нелинейности работы грунтового основания осуществляется по итерационной схеме путем пересчета на каждой итерации коэффициента постели K по контактным напряжениям и перемещениям сваи, определенных предыдущим расчетом до условной сходимости результатов последнего и предыдущего расчетов, например, по параметру перемещения сваи в уровне поверхности грунта U_0 .

Значение K_i на каждой i -й итерации определяется как

$$K_i = K_{i-1} \left[1 - \left(\frac{\sigma_{i-1}}{q_s} \right)^2 \right], \quad (15)$$

где

$$\sigma_{i-1} = U_{i-1} K_{i-1}, \quad (16)$$

q_s — сопротивление грунта под наконечником зонда при статическом зондировании.

Критерием сходимости принимается выполнение условия

$$U_i - U_{i-1} \leq 0,0001 \text{ м}. \quad (17)$$

Результат расчета комбинированной сваи на горизонтальную нагрузку по предложенной методике представлен на рис. 5. Как видно, расчетная кривая близка к экспериментальной: максимальное расхождение расчета с опытом при перемещении головы сваи на всех этапах нагружения в уровне поверхности грунта составляет в «запас» 10–15 %.

Выводы. 1. Комбинированная свая переменного сечения состоит из двух участков, как правило, с различной во всех случаях жесткостью на изгиб, что определенным образом оказывается на характере ее деформирования при действии горизонтальной нагрузки. Сопротивление комбинированной сваи горизонтальной нагрузке больше сопротивления соответствующей пирамидальной сваи и зависит от соотношения длин ее частей (штампонабивной и забивной) и жесткости на изгиб пирамидальной части.

2. Экспериментально на натурных сваях получены закономерности поведения комбинированной сваи переменного сечения при действии горизонтальной нагрузки. Установлено, что в месте стыка пирамидальной и призматической части сваи горизонтальные перемещения достаточно малы, т.е. нижняя призматическая часть сваи работает в области упругих деформаций. Верхняя пирамидальная часть сваи деформируется нелинейно.

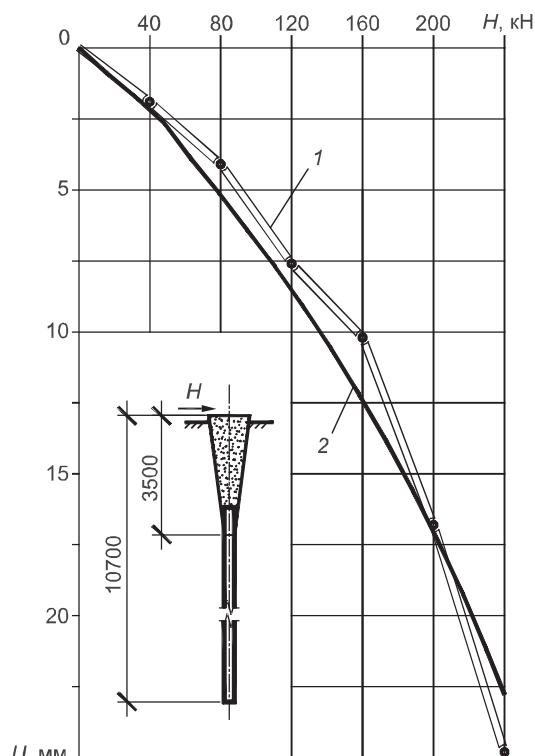


Рис. 5. Графики «нагрузка—перемещение» комбинированной сваи в уровне поверхности грунта

1 — по опыту; 2 — по расчету

3. На основе результатов экспериментальных исследований построена расчетная схема и разработан метод расчета комбинированной свай переменного сечения на горизонтальную нагрузку, в том числе с учетом нелинейности деформации грунтового многослойного основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Завриев, К.С. Расчеты фундаментов опор глубокого заложения [Текст] / К.С. Завриев, Г.С. Шпиро. — М. : Транспорт, 1970. — 215 с.
2. Готман, А.Л. Расчет свай переменного сечения на совместное действие вертикальной и горизонтальной нагрузок методом конечных элементов [Текст] / А.Л. Готман // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2000. — № 1. — С. 6–12.
3. Готман, А.Л. Расчет пирамидальных свай на совместное действие вертикальной, горизонтальной и моментной нагрузок [Текст] / А.Л. Готман // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1987. — № 1. — С. 12–14.

ГОТМАН Альфред Леонидович, д-р техн. наук, проф.

Пермский государственный технический университет

СОКОЛОВ Лев Яковлевич, асп.

ГУП институт «БашНИИстрой», г.Уфа

Получено 23.04.13

Gotman Alfred Leonidovich, doctor of technical sciences, professor, Perm State Technical University, Russia

Sokolov Lev Yakovlevich, post-graduate student, Scientific Research Institute «BashNIIstroy», Ufa, Russia

INVESTIGATIONS OF LATERAL LOAD BEHAVIOUR OF VARIABLE SECTION COMPOSITE PILES AND THEIR ANALYSIS

Results of experimental investigations of strain-stress state of the laterally loaded variable section composite piles are presented based on which the design diagram is plotted and method of lateral load behavior of such piles analysis is developed.

Key words: composite pile, lateral displacement, bending moment, coefficient of subgrade reaction.

REFERENCES

1. Zavriev, K.S. Analyses of deep supports foundations [Text] / K.S. Zavriev, G.S. Shpiro. — M. : Transport, 1970. — 215 p.
2. Gotman, A.L. Analysis of variable section composite piles for combined effect of vertical and lateral loads by finite element method [Text] / A.L. Gotman // Bases, foundations and soil mechanics. — 2000. — N 1. — P. 6–12.
3. Gotman, A.L. Analysis of tapering piles for combined effect of vertical, lateral and moment loads [Text] / A.L. Gotman // Bases, foundations and soil mechanics. — 1987. — N 1. — P. 12–14.

УДК 697:620.9.003.1

И.М. КОЗЛОВ

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПЛЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Определен состав и оценен срок окупаемости оборудования для энергосбережения многоэтажного жилого дома, обеспечивающего не только снижение сумм оплаты и объемов потребления тепловой и электроэнергии, но и снижение выбросов в атмосферу избыток тепловой энергии как на стороне производства, так и на стороне потребления.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, инженерное обеспечение зданий.

В соответствии со ст. 6 и 11 Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации 2009, № 48, ст. 5711; 2010, № 19, ст. 2291) и на основании п. 52 Плана мероприятий по энергоснабжению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. № 1830-р (Собрание законодательства Российской Федерации 2009, № 50, ст. 6114; 2010, № 18, ст. 2243) приказом Министерства регионального развития РФ от 28 мая 2010 г. № 262 «О требованиях энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» утверждены Требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений.

Согласно п. 9 требований, уровень энергоэффективности зданий с 2011 г. по классу В («высокий») достигается за счет оснащения систем отопления автоматизированными узлами управления, увеличения сопротивления теплопередаче наружных стен здания и замене окон на энергоэффективные. Далее с 2016 г. требуемый уровень энергоэффективности достигается применением *устройств утилизации теплоты вытяжного воздуха и энергоэффективных систем отопления и вентиляции*, систем централизованного теплоснабжения с коэффициентами энергетической эффективности выше 0,65, а также систем децентрализованного теплоснабжения.

Согласно п.14, вводимое в эксплуатацию при строительстве здание должно быть оборудовано (кроме прочего):

- устройствами автоматического регулирования подачи теплоты на отопление, установленными на воде в здание, а также части здания;
- терmostатами на отопительных приборах и измерителями расхода теплоносителя в горизонтальных, поквартирных системах отопления, либо квартирными теплосчетчиками;
- теплообменниками для нагрева воды на горячее водоснабжение с устройством автоматического регулирования ее температуры, установленными на воде в здание или части здания;

- электродвигателями для вентиляторов вентсистем, лифтов, перемещения воды во внутридомовых системах отопления, горячего и холодного водоснабжения, систем кондиционирования;
- приборами учета энергетических и водных ресурсов, установленными на вводе в здание, в квартирах, помещениях общего пользования и сдаваемых в аренду;
- устройствами, *оптимизирующими работу вентсистем* (воздухопропускные клапаны в окнах или стенах, автоматически обеспечивающие подачу наружного воздуха по потребности, утилизаторы теплоты вытяжного воздуха для нагрева приточного, использование рециркуляции);
- *регуляторами давления воды* в системах холодного и горячего водоснабжения на вводе в здание, в квартирах, помещениях общего пользования;
- устройствами, позволяющими снижать пиковую нагрузку в системах холодоснабжения за счет использования охлаждаемых перекрытий для аккумуляции холода в ночные времена;
- энергосберегающими осветительными приборами в местах общего пользования;
- оборудованием, *обеспечивающим выключение освещения при отсутствии людей* в местах общего пользования (датчики движения, выключатели);
- устройствами компенсации реактивной мощности при работе электродвигателей.

Выполнение требований закона предполагает применение дополнительного энергосберегающего оборудования и усложнение инженерных систем, что влечет увеличение стоимости строительства. Если в сегменте коммерческой недвижимости строительство энергоэффективных зданий экономически оправдано [1], то в сфере жилой недвижимости сроки окупаемости оборудования еще слишком большие, а высокая первоначальная стоимость может свести на нет эффект от экономии на содержании жилья. Наиболее проблематичным является сектор городского многоэтажного строительства, поскольку здесь пересекаются интересы большого числа собственников, а эксплуатацию и строительство выполняют, как правило, разные организации.

Требования энергетической эффективности определяют только предельные объемы потребления тепловой и электроэнергии. Законом устанавливается сокращение объемов потребления энергоресурсов и снижение расходов на оплату за их потребление.

Использование оборудования для снижения потребления тепловой энергии приводит к увеличению потребления электроэнергии (насосами и системами учета, контроля и регулирования). Поскольку электроэнергия вырабатывается в основном на ТЭЦ, то при отсутствии координации между снижением теплопотребления и производством тепла это приводит к увеличению выработки тепловой энергии, излишки которой выбрасываются в атмосферу. Таким образом, если при реализации требований закона руководствоваться не комплексным подходом, а только изложенными в законе критериями сокращения объемов оплаты и потребления, будет страдать экология.

Цель работы — определение состава и срока окупаемости оборудования для энергосбережения многоэтажного жилого дома, обеспечивающего как снижение сумм оплаты и объемов потребления тепловой и электроэнергии, так и снижение выбросов в атмосферу избытков тепловой энергии (как на стороне производства, так и на стороне потребления).

В качестве объекта исследования использовалось жилое семнадцатиэтажное двухсекционное здание с пристроенной автоматизированной парковкой [2] в климатических условиях г. Новосибирска. Оценка объемов потребления ресурсов выполняется по методике, изложенной в [3], ч. VI «Определение нормативов потребления коммунальных услуг в жилых помещениях, нормативов потребления коммунальных услуг на общедомовые нужды с применением расчетного метода», по формулам, предусмотренным разделом II приложения к указанным Правилам.

Результаты оценки представлены в табл. 1–6 для различных комбинаций оборудования. В графе «Период» указывается теплый период года (135 сут) или отопительный период (230 сут). В графе «Производство тепла на электроэнергию» указывается количество тепловой энергии, которую необходимо произвести на ТЭЦ для получения указанного количества электроэнергии. В графе «Производство тепла на отопление» указывается количество тепловой энергии, которую необходимо произвести сверх того, что вырабатывается для получения электроэнергии, для удовлетворения потребности в тепловой энергии на отопление. В графе «Сброс» указывается количество тепловой энергии, выбрасываемой в атмосферу. В итоговом поле к сумме по этому столбцу добавляется разница между произведенной и потребленной тепловой энергией. Отрицательные значения в ячейках таблиц означают противоположное действие для корректного вычисления сумм.

В табл. 1 представлена структура выработки и потребления энергии в случае применения кондиционеров для удаления теплоизбыток в теплый период года.

В этом случае в атмосферу выбрасываются не только сами теплоизбытки, но и тепло, которое вырабатывается при производстве электроэнергии, необходимой для работы кондиционеров (тепло на ГВС соизмеримо с количеством тепловой энергии, вырабатываемым при производст-

Таблица 1

Структура выработки и потребления энергии при использовании кондиционеров

Период	Категория	Потребление		Производство тепла		Сброс, Гкал	Оплата потребл., тыс. руб.	Стоимость оборудов., тыс. руб.
		эл. энергия, кВт·ч	тепло, Гкал	на эл. энерг., Гкал	на отопл., Гкал			
Теплый	ГВС		325					
	Кондиционирование	238 124		307		819		6 800
	Бытовые электроприборы	233 197		301				
	Освещение	10 121		13				
	Итого	481 442	325	621		1 115	1 343	
Холодный	Отопление		884					
	Вентиляция		884			884		
	ГВС		650					
	Бытовое электропотребление	397 298		512				
	Освещение	91 089		117				
	Итого	488 387	2 418	630	1 788	884	3 528	
	Всего в год	969 829	2 743	1 251	1 788	2 000	4 871	

ве электроэнергии на другие бытовые нужды). Оплате подлежит как тепловая энергия на ГВС, так и электроэнергия, необходимая на работу кондиционеров.

Сократить затраты можно, если теплоизбытки не выбрасывать в атмосферу, а утилизировать. Единственной потребностью в тепле является подогрев воды для ГВС. Осуществить сбор теплоизбыток можно с помощью фанкойлов, а утилизацию — с помощью чиллера с функцией теплового насоса.

В табл. 2 представлена структура выработки и потребления энергии в случае применения фанкойлов для удаления и утилизации теплоизбыток.

Таблица 2

Структура выработки и потребления ресурсов при использовании фанкойлов

Период	Категория	Потребление		Производство тепла		Сброс, Гкал	Оплата потребл., тыс. руб.	Стоимость оборудов., тыс. руб.
		эл. энергия, кВт·ч	тепло, Гкал	на эл.энерг., Гкал	на отопл., Гкал			
Теплый	ГВС		325					
	Фанкойл	238 124	-325	307		494		15040
	Бытовое электропотребление	233 197		301				
	Освещение	10 121		13				
	Итого	481 442	0	621	0	1 115	1 006	
	Итого за холодный период	488 387	2 418	630	1 788	884	3 528	
	Всего в год	969 829	2 418	1 251	1 788	2 000	4 534	

Электроэнергии на работу фанкойлов требуется примерно столько же, как и для кондиционеров, только часть теплоизбыток покрывает потребности в тепле на ГВС. Общий сброс тепла в атмосферу остается тем же, поскольку возникает необходимость на ТЭЦ избавиться от тепла, неиспользованного на ГВС. Но при этом идет сокращение текущих платежей, поскольку тепловая энергия на ГВС не оплачивается.

В холодный период года основным источником теплопотерь является вентиляция. Как показывают исследования [4], затраты на восполнение тепла, уносимого с воздухом при вентиляции, могут составлять порядка 50–60 % общего объема теплопотерь. Для сокращения теплопотерь предполагается использовать комнатные рекуператоры УВРК-50 с высоким КПД и работающих при температуре наружного воздуха -40°C .

В табл. 3 представлена структура выработки и потребления энергии в случае применения рекуператоров для уменьшения теплопотерь на вентиляцию. В теплый период года используются кондиционеры для удаления теплоизбыток.

Работа рекуператоров в отопительный период приводит к повышению потребления электроэнергии, но объемы сэкономленной тепловой энергии значительно превышают затраты на производство электроэнергии. Рекуперация напрямую снижает и потребление, и выбросы тепла в атмосферу. Текущие платежи сокращаются, поскольку затраты на электроэнергию существенно меньше стоимости сэкономленной тепловой энергии.

Таблица 3

Структура выработки и потребления энергии при использовании рекуператоров

Период	Категория	Потребление		Производство тепла		Сброс, Гкал	Оплата потребл., тыс. руб.	Стоимость оборудов., тыс. руб.
		эл.энергия, кВт·ч	тепло, Гкал	на эл.энерг., Гкал	на отопл., Гкал			
Теплый	Итого за теплый период	481 442	325	621		1 115	1 343	6 800
Холодный	Отопление		884					
	Вентиляция		88			88		
	УВРК	23 256		30				20 400
	ГВС		650					
	Бытовое электропотребление	397 298		512				
	Освещение	91 089		117				
	Итого	511 643	1 622	660	962	88	2 751	
	Всего в год	993 085	1 622	1 281	962	1 204	4 094	

В табл. 4 представлена структура выработки и потребления энергии в случае применения рекуператоров для уменьшения теплопотерь на вентиляцию и фанкойлов для удаления и утилизации теплоизбытоков.

При суммарном снижении потребления тепла и текущих платежей выбросы тепла в атмосферу как в предыдущем случае. Но при этом суммируются и первоначальные затраты на оборудование.

Снизить выбросы тепла в атмосферу можно за счет использования источника электроэнергии, не требующего выработки тепла. В качестве

Таблица 4

Структура выработки и потребления энергии при использовании фанкойлов и рекуператоров

Период	Категория	Потребление		Производство тепла		Сброс, Гкал	Оплата потребл., тыс. руб.	Стоимость оборудования, тыс. руб.
		эл.энергия, кВт·ч	тепло, Гкал	на эл.энерг., Гкал	на отопл., Гкал			
Теплый	ГВС		325					
	Фанкойл	238 124	-325	307		494		15 040
	Бытовое электропотребление	233 197		301				
	Освещение	10 121		13				
	Итого	481 442	0	621	0	1 115	1 006	
Холодный	Отопление		884					
	Вентиляция		88			88		
	УВРК	23 256		30				20 400
	ГВС		650					
	Бытовое электропотребление	397 298		512				
	Освещение	91 089		117				
	Итого	511 643	1 622	660	962	88	2 751	
	Всего в год	993 085	1 622	1 281	962	1 204	3 757	

таких источников могут быть солнечные панели и ветрогенератор. Оценка эффективности показала низкую рентабельность применения солнечных панелей в климатических условиях г. Новосибирска. С другой стороны, архитектурно-планировочные решения рассматриваемого здания позволяют эффективно применить ветровые панели, такие как, например, [5].

В табл. 5 представлена структура выработки и потребления энергии в случае применения рекуператоров, фанкойлов и ветрогенератора.

Таблица 5

Структура выработки и потребления энергии при использовании фанкойлов, рекуператоров и ветрогенератора

Период	Категория	Потребление		Производство тепла		Сброс, Гкал	Оплата потребл., тыс. руб.	Стоимость оборудования, тыс. руб.
		эл.энергия, кВт·ч	тепло, Гкал	на эл.энерг., Гкал	на отопл., Гкал			
Теплый	ГВС		325					
	Фанкойл	238 124	-325	307		494		15 040
	Бытовое электропотребление	233 197		301				
	Освещение	10 121		13				
	Ветрогенератор	-66 805		-86				1 743
	Итого	414 637	0	535	0	1 029	867	
Холодный	Отопление		884					
	Вентиляция		88			88		
	УВРК	23 256		30				20 400
	ГВС		650					
	Бытовое электропотребление	397 298		512				
	Освещение	91 089		117				
	Ветрогенератор	-133 610		-172				
	Итого	378 033	1 622	488	1 135	88	2 472	
	Всего в год	792 670	1 622	1 022	1 135	1 118	3 339	

Сокращение потребления от ТЭЦ электроэнергии в летнее время приводит к уменьшению объемов выработки тепловой энергии на получение электроэнергии и как следствие сокращению выбросов тепла в атмосферу. При этом уменьшаются текущие платежи. Небольшие объемы электроэнергии связаны с физической сложностью ее получения.

Дальнейшее сокращение выбросов тепла в атмосферу можно выполнить применением теплового насоса вместо воздушного чиллера. Теплоизбытки, собираемые фанкойлами, можно аккумулировать в фундаменте и слое грунта под зданием, что позволит повысить эффективность теплового насоса, работающего на отопление в холодное время года.

В табл. 6 представлена структура выработки и потребления энергии в случае применения рекуператоров, фанкойлов, ветрогенератора и теплового насоса для сокращения выбросов теплоизбыток в атмосферу и уменьшения потребления тепловой энергии на отопление.

Тепловой насос потребляет значительные объемы электроэнергии. Но количество тепловой энергии, необходимой на выработку электро-

Таблица 6

Структура выработки и потребления энергии при использовании фанкойлов, рекуператоров, ветрогенератора и теплового насоса

Период	Категория	Потребление		Производство тепла		Сброс, Гкал	Оплата потребл., тыс. руб.	Стоимость оборуд., тыс. руб.
		эл.энергия, кВт · ч	тепло, Гкал	на эл.энерг., Гкал	на отопл., Гкал			
Теплый	ГВС		325					
	Фанкойл	94 391	-325	122		0		15 040
	Тепловой насос	143 733		185				3 873
	Бытовое электропотребление	233 197		301				
	Освещение	10 121		13				
	Ветрогенератор	-66 805		-86				1 743
	Итого	414 637	0	535	0	535	867	
Холодный	Отопление		884					
	Вентиляция		88			88		
	УВРК	23 256		30				20 400
	ГВС		650					
	Тепловой насос	232 600	-800,00	300,00				
	Бытовое электропотребление	397 298		512				
	Освещение	91 089		117				
	Ветрогенератор	-133 610		-172				
	Итого	610 633	822	788	35	88	2 129	
	Всего в год	1 025 270	822	1 322	35	623	2 995	

энергии, меньше, чем аккумулируемые теплоизбытки. Поэтому в целом происходит сокращение выбросов тепловой энергии в атмосферу.

В отопительный период недоиспользование теплового насоса приводит к увеличению потребления тепловой энергии от ТЭЦ и как следствие увеличению текущих платежей. Однако попытки значительного увеличения мощности теплового насоса, предпринимаемые с целью предельного сокращения потребления тепла от ТЭЦ, могут привести к ситуации, когда объемы тепловой энергии, необходимой для выработки электроэнергии, будут значительно превышать объемы потребляемой тепловой энергии, что приведет к необходимости выбрасывать тепло на ТЭЦ в атмосферу в отопительный период. Существует некоторое оптимальное значение производительности теплового насоса, когда объемы тепловой энергии, необходимой на производство электроэнергии, сопоставимы с объемами потребляемой тепловой энергии. При этом текущие платежи будут не минимальны, но оптимальны.

На рис. 1 представлены абсолютные значения потребления, производства и выбросов в атмосферу тепловой энергии для разных комплексов оборудования, позволяющие сравнить распределение объемов тепловой энергии между потреблением, производством и выбросами. Полный объем выработки тепловой энергии представляет собой сумму тепловой энергии, необходимой на производство электроэнергии, и тепловой энергии, требуемой сверх того на отопление. Сброс тепла складывается из невостребованной тепловой энергии на ТЭЦ и удаляемых теплоизбыток в доме.

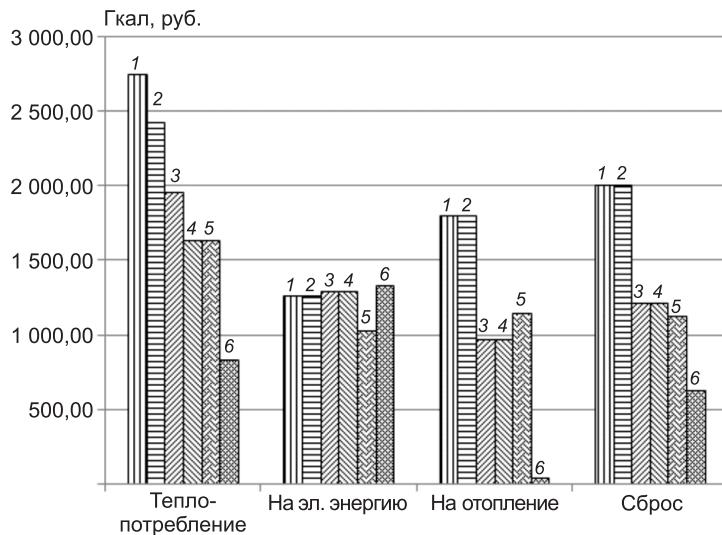


Рис. 1. Абсолютные значения потребления, производства и выбросов в атмосферу тепловой энергии для разных комплектов оборудования

1 — кондиционирование, 2 — фанкойл, 3 — УВРК, 4 — фанкойл + УВРК, 5 — фанкойл + УВРК + ветрогенератор, 6 — фанкойл + УВРК + ветрогенератор + тепловой насос

На рис. 2 представлено относительное изменение потребления электроэнергии, производства, потребления и выбросов в атмосферу тепловой энергии и объемов текущих платежей для разных комплектов оборудования. В качестве базового взят вариант с применением кондиционеров.

Судя по приведенным диаграммам, применение полного комплекта энергосберегающего оборудования позволяет сократить примерно вдвое производство тепловой энергии, почти на 40 % снизить текущие плат-

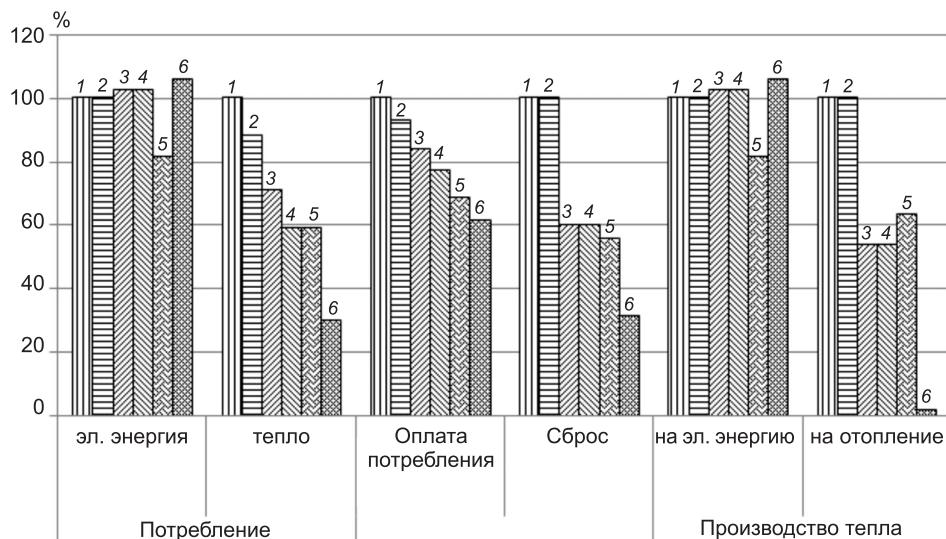


Рис. 2. Относительное изменение потребления электроэнергии, производства, потребления и выбросов в атмосферу тепловой энергии и объемов текущих платежей для разных комплектов оборудования

Условные обозначения см. на рис. 1

жи и в 4 раза уменьшить выбросы тепловой энергии в атмосферу. Оценка стоимости оборудования показана на рис. 3.

Если оборудование ставится за счет конечных потребителей, срок окупаемости составляет порядка 20 лет. При оценке срока окупаемости не учитывалось снижение затрат на выработку энергии, а экономический эффект от сокращения выбросов тепла в атмосферу вообще сложно оценить.

Выводы. При анализе путей удовлетворения требованиям Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и «Требованиям энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» было установлено следующее.

1. При применении оборудования для получения энергии из альтернативных источников в условиях доступности подключения к ТЭЦ существует некоторое *оптимальное значение* для количества вырабатываемого тепловым насосом тепла, когда объемы тепловой энергии, необходимой на производство электроэнергии, сопоставимы с объемами потребляемой тепловой энергии. Уменьшение производительности теплового насоса влечет увеличение потребления тепла от ТЭЦ и увеличение текущих расходов. Увеличение же производительности теплового насоса приводит к образованию излишков тепловой энергии на ТЭЦ и увеличению выбросов тепла в атмосферу.

2. Применение полного комплекта энергосберегающего оборудования позволяет сократить примерно вдвое производство тепловой энергии, почти на 40 % снизить текущие платежи и в 4 раза уменьшить выбросы тепловой энергии в атмосферу.

3. Если оборудование ставится за счет конечных потребителей, срок окупаемости составляет порядка 20 лет. При оценке срока не учитывалось снижение затрат на выработку энергии и сокращение выбросов тепла в атмосферу.

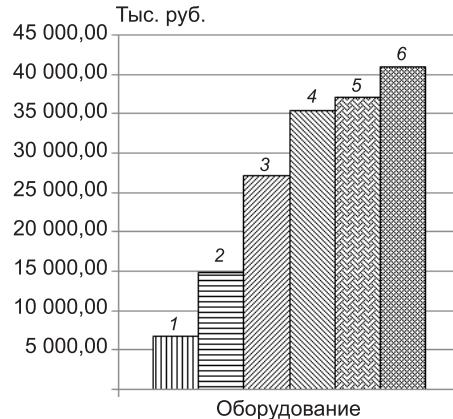


Рис. 3. Увеличение начальных капитальных вложений для разных комплектов оборудования

Условные обозначения см. на рис. 1

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Компании бойкотируют закон об энергосбережении [Текст] // Индикаторы рынка недвижимости: интернет-ресурс. — 2012. — url:<http://www.irn.ru/articles/33114.html>
- Козлов, И.М. Применение BIM в исследовании вопросов инженерного оборудования зданий [Текст] / И.М. Козлов, В.В. Талапов // Сб. тр. междунар. конф. в Честохове «Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym». — Честохов : Изд-во Честоховского политехн. ун-та (Польша), 2011. — С. 114–119.
- Правила установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг (утв. постановлением Правительства РФ от 23 мая 2006 г. № 306) (с изменениями от 6 мая 2011 г., 28 марта 2012 г.).
- Иванов, Г.С. Концепция энергосбережения при реставрации и капитальном ремонте зданий на примере жилого дома [Текст] / Г.С. Иванов, А.В. Спиридовов,

- Д.Ю. Хромец, А.М. Морозов // Новости теплоснабжения. — 2002. — № 5(21). — С. 41–44. — url: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=236
5. Отарашвили, З.А. Ветроэнергетическая установка «Ветропанель» [Текст] / З.А. Отарашвили // Российский новый университет. — 2009. — url: http://www.rosnou.ru/candidate/innovations/vetropanel_2009

КОЗЛОВ Игорь Михайлович, инж.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 05.04.13

Kozlov Igor Mihailovich, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

A COMPREHENSIVE APPROACH TO THE FORMATION OF THE SET OF EQUIPMENT FOR ENERGY EFFICIENCY OF MULTISTORY APARTMENT HOUSE

The composition of energy-saving equipment for multi-storey residential building is determined. This equipment provides a reduction in the amounts of payment and consumption of heat and electricity, and the reduction of emissions to the atmosphere of excess heat (both on the production and consumption side). The equipment payback period is estimated.

Key words: energy efficiency, energy saving, engineering buildings.

REFERENCES

1. Companies are boycotting the law on energy saving [Text] // Indicators of Housing Market: online resource. — 2012. — url: <http://www.irn.ru/articles/33114.html>
2. Kozlov, I.M. The use of BIM in the research issues of the engineering equipment of buildings [Text] / I.M. Kozlov, V.V. Talapov // Proceedings of the International Conference in Czestochow «Buildings on optimal use of energetics potential». — Czestochowa: Czestochowa University of Technology (Poland), 2011. — P. 114–119.
3. Setting rules and standards for determining the consumption of public service (approved by the Government of the Russian Federation dated May 23, 2006 № 306) (amended on May 6, 2011, March 28, 2012).
4. Ivanov, G.S. The concept of energy efficiency in the restoration and refurbishing of buildings on the example of a residential house [Text] / G.S. Ivanov, A.V. Spiridonov, D.Y. Khromets, A.M. Morozov // News of heat. — 2002. — N 5(21). — P. 41–44. — url: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=236
5. Otarashvili, Z.A. Wind Turbine «Vetropanel» [Text] / Z.A. Otarashvili // Russian New University. — 2009. — url: http://www.rosnou.ru/candidate/innovations/vetropanel_2009

УДК 666.9.022.3.001.24

А.А. РОМАНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ ПОДАЧИ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПВИ С ВАЛКОВЫМ УСТРОЙСТВОМ

Рассмотрены вопросы энергосбережения при измельчении анизотропных материалов в пресс-валковом измельчителе (ПВИ) с устройством для направленной подачи, позволяющим реализовать деформирование материалов с максимальным приложением усилия в направлении наименьшей прочности его кусков.

Ключевые слова: пресс-валковый измельчитель, энергосбережение, измельчение, анизотропные материалы, устройства для направленной подачи.

Исследования, проведенные учеными [1–4], подтверждают различную величину предела прочности кусков анизотропных материалов при приложении силового воздействия в перпендикулярном и параллельном направлении слоистости минерала.

Создание силового воздействия при измельчении материала, имеющего анизотропную структуру, в направлении его наименьшей прочности позволит значительно снизить энергозатраты.

Однако для создания силового воздействия в направлении наименьшей прочности кусков необходимо осуществить направленную подачу их к рабочим органам дробильно-помольного оборудования.

Известно [5], что равномерное распределение слоя шихты по ширине рабочих органов и эффективное его предуплотнение позволяет получить пресс-валковый измельчитель с валковым устройством¹ (рис. 1).

Рассмотрим возможность осуществления валковым устройством направленной подачи анизотропных материалов к рабочим органам ПВИ. Для этого проанализируем предельные положения частиц в пространстве между валком устройства и стенкой бункера: *A* — частица расположена продольно (вдоль стенки бункера), *B* — частица расположена поперек (перпендикулярно к стенке бункера), *C* — частицы, находящиеся в произвольном положении (рис. 2).

В процессе движения частицы взаимодействуют с валком устройства или стенкой бункера и между собой. Будем считать, что точки приложения сил воздействий на частицы равновероятны в любой точке поверхности частицы. При этом силы, линии действий которых проходят через центр масс или на расстояниях от центра его относительно небольших, оказывают малое влияние на изменение ориентации частиц. Вращающий эффект силы определяется ее моментом относительно центра масс частицы

$$M_C(\bar{F}) = \pm F \cdot h, \quad (1)$$

где *h* — плечо силы относительно центра масс *C* (рис. 3).

¹ Богданов В.С., Воронов В.П., Потапов Ф.П. Расчет величины работы, затрачиваемой на разрушение материала при каскадном режиме работы шаровой мельницы // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 61–64.

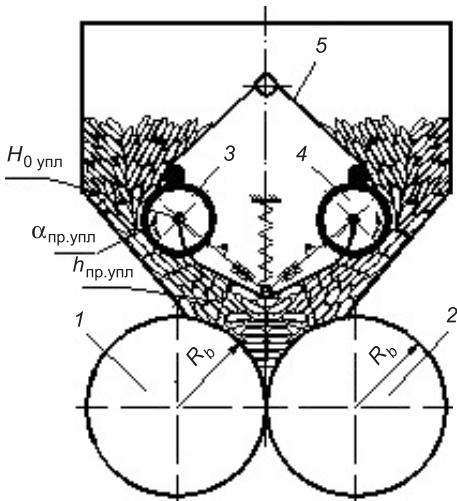


Рис. 1. Схема ПВИ с устройством для направленной подачи анизотропных материалов
1, 2 — валки ПВИ, 3, 4 — валки предизмельчителья,
5 — направление пластины бункера

$h = 0$, вращающий эффект равен нулю — действие этой силы не вызывает вращения частицы. Момент показанной силы \bar{P} равен $\bar{P}h$, он прямо пропорционален расстоянию от центра масс до линии действия силы \bar{P} .

Далее рассмотрим два предельных положения частицы (*A* и *B*). Определим вращающий эффект силы \bar{F}_1 (рис. 4, *a*)

$$M_C(\bar{F}_1) = -F_1 h_1 \quad (2)$$

и вращающий эффект силы \bar{F}_2 (рис. 4, *b*)

$$M_C(\bar{F}_2) = -F_2 h_2. \quad (3)$$

Таким образом, вращающий эффект силы \bar{F}_2 в случае, показанном на рис. 4, *b*, превышает вращающий эффект силы \bar{F}_1 в случае, показанном на рис. 4, *a*, в n раз

$$n = \frac{-F_2 h_2}{-F_1 h_1} = \frac{F_2 h_2}{F_1 h_1}. \quad (4)$$

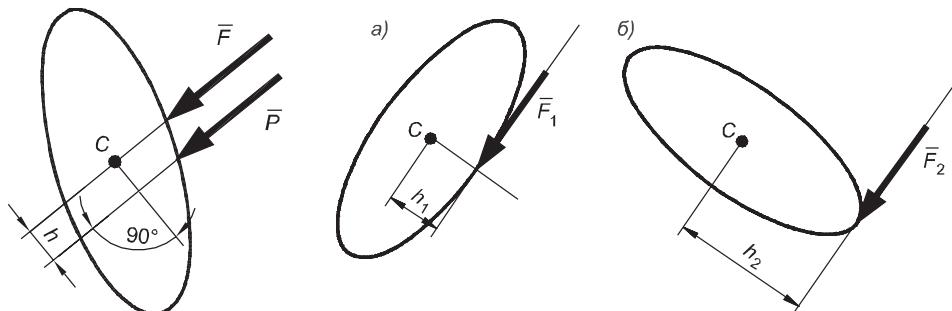


Рис. 3. К расчету вращающегося эффекта сил

Рис. 4. Вращающийся эффект сил для предельных положений частиц

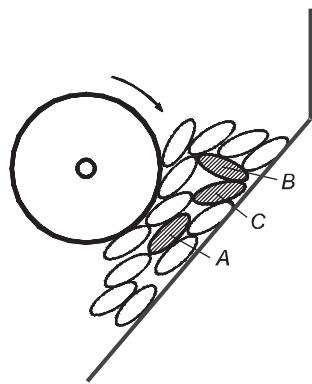


Рис. 2. Возможные положения анизотропных частиц при подаче в валковое устройство

Поэтому в случае с изображенной силой \bar{F} , когда линия действия силы проходит через центр масс *C*, т.е.

При равенстве сил, а в соответствии со сделанным выше допущением, что точки приложения сил воздействий на частицы равновероятны в любой точке поверхности частицы, найдем

$$n = \frac{h_2}{h_1}. \quad (5)$$

Учитывая, что h_1 равно половине ширины частицы H , а h_2 — половине длины L , окончательно получим

$$n = \frac{L}{H}. \quad (6)$$

Определим вращающий момент силы \bar{F} при произвольном положении частицы (рис. 5)

$$M_C(\bar{F}) = -Fh_3. \quad (7)$$

Согласно рис. 5 для анизотропных тел

$$h_1 \leq h_3 \leq h_2. \quad (8)$$

Из (8) следует, что вращающий эффект силы для произвольного положения частицы больше, чем для частицы, расположенной продольно, но меньше, чем для поперечно расположенной частицы.

Из вышеизложенного следует, что движение частицы, расположенной продольно в пространстве между стенкой бункера и валком, является устойчивым, в том смысле, что при случайных отклонениях от продольного положения действующие на частицу силы F стремятся вернуть ее снова в вертикальное положение. При этом чем больше отклонение частицы от продольного положения, тем больше вращающий эффект от действующих на нее сил, стремящийся вернуть частицу в продольное положение.

Как следует из формулы (6), устойчивость движения частиц в продольном положении проявляется сильнее при большей степени анизотропии частиц, т.е. чем больше отношение длин частиц L к их ширине H .

Проведенные исследования на экспериментальной установке пресс-валкового измельчителя с валковым устройством подтвердили аналитические исследования о возможности направленной подачи в него анизотропных материалов (рис. 6). Экспериментальная установка состояла из двух валков, над которыми расположено валковое устройство для направленной подачи. Валки и ролики валкового устройства приводились в движение от индивидуального привода.

В качестве исследуемого материала был принят метаморфический сланец трещиноватый с характеристиками, представленными в таблице.

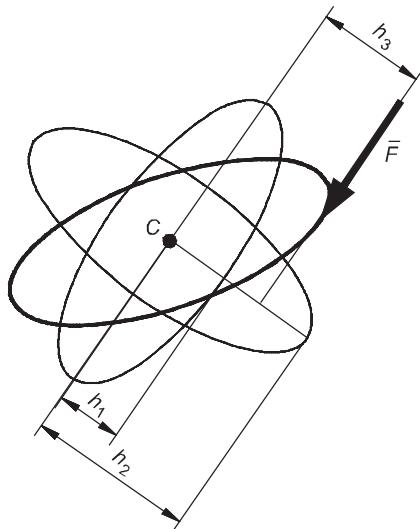


Рис. 5. Вращающий эффект силы для произвольного положения частицы

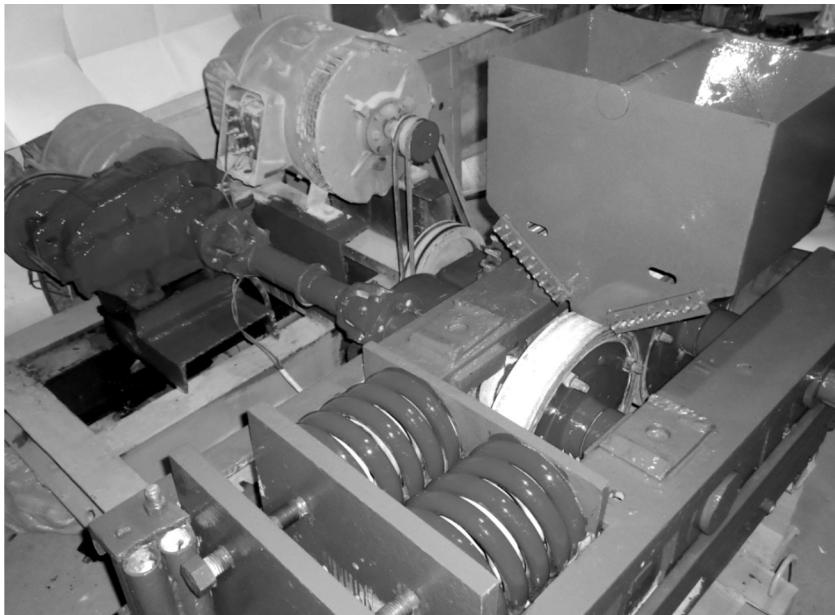


Рис. 6. Пресс-валковый измельчитель с валковым устройством для направленной подачи анизотропных материалов

Физико-механические характеристики исследуемого анизотропного материала

Наименование материала	Физико-механические характеристики						
	Истинная плотность, кг/м ³	Объемная масса, кг/м ³	Средне-взвешенный размер частиц, 10 ⁻³ м	Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент анизотропии, K _{ан}	
						δ _⊥	δ
Метаморфический сланец трещиноватый	2740	2690	4,9	1740	130	59	2,2

По результатам исследований потроена графическая зависимость величины потребляемой мощности привода от способа подачи анизотропных материалов к валкам ПВИ (рис. 7).

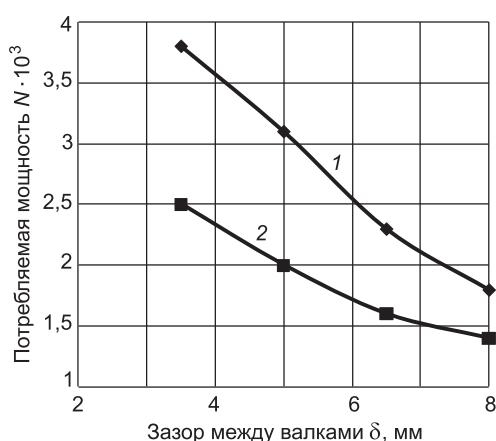


Рис. 7. Зависимость потребляемой мощности ПВИ от направления подачи измельчаемого материала
1 — без устройства, 2 — с устройством для направленной подачи

Как видно из графика, при подаче анизотропных материалов к валкам ПВИ без валкового устройства (линия 1) потребляемая мощность приводом гораздо больше, чем с валковым устройством. Например, при зазоре между валками 8 мм потребляемая мощность привода без направленной подачи $1,85 \times 10^3$ Вт, а с валковым устройством — $1,4 \times 10^3$ Вт. Это свидетельствует о том, что значительная часть анизотропных материалов разрушается силовым воздействием в направлении наименьшей прочности кусков. Таким образом, подтверждаются теоретические

выводы о возможности направленной подачи материалов валковым устройством.

При уменьшении зазора между валками, а следовательно, с увеличением давления измельчения разница между потребляемыми мощностями увеличивается. Таким образом, использование пресс-валкового измельчителя с валковым устройством позволяет осуществить направленное движение анизотропных материалов, имеющих лещадную форму, в межвалковое пространство и тем самым создает возможность силового воздействия в направлении наименьшей прочности его частиц, что позволяет уменьшить энергозатраты на его изменение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романович, А.А. Геолого-литологические основы расчета и проектирования оборудования для измельчения горных пород [Текст] / А.А. Романович, А.М. Гридчин, В.С. Лесовик. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. — 350 с.
2. Гридчин, А.М. Повышение эффективности дорожного строительства путем использования анизотропного сырья [Текст] / А.М. Гридчин. — Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. — 486 с.
3. Гридчин, А.М. Исследования процесса измельчения анизотропных материалов в пресс-валковых агрегатах [Текст] / А.М. Гридчин, В.С. Севостьянов, Г.М. Редкин, А.В. Колесников // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 9 (585). — С. 71–78.
4. Романович, А.А. Исследование процесса предуплотнения анизотропных материалов в пресс-валковом измельчителе [Текст] / А.А. Романович // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. — 2011. — № 1. — С. 56–60.

*РОМАНОВИЧ Алексей Алексеевич, канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Получено 16.04.13

Romanovich Alexey Alekseevich, candidate of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

RESEARCH DIRECTION SUBMISSION OF ANISOTROPIC MATERIALS IN THE PVI WITH VALKOVOE DEVICE

The questions of energy from the milling of anisotropic materials in a roller press mill with a device designed to supply that allows to realize the deformation of materials with maximum a force in the direction of the lower strength of its pieces.

Key words: press roller crusher, energy saving, shredding, anisotropic materials, devices for targeted delivery.

REFERENCES

1. Romanovich, A.A. Geological-lithology bases of calculation and design of the equipment for crushing of rocks [Text] / A.A. Romanovich, A.M. Gridchin, V.S. Lesovic. — Belgorod : Publishing house BSTU, 2012. — 350 p.
2. Gridchin, A.M. Increase of efficiency of road construction by use of anisotropic raw materials [Text] / A.M. Gridchin. — Publishing house «Association of construction higher educational institutions», 2006. — 486 p.
3. Gridchin, A.M. Researches of process of crushing anisotropic materials in press-roll units [Text] / A.M. Gridchin, V.S. Sevostyunov, G.M. Redcin, A.V. Kolesnikov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 9 (585). — P. 71–78.
4. Romanovich, A.A. Reseach of process of preconsolidation of anisotropic materials in press-roll grinder [Text] / A.A. Romanovich // Bulletin Shukhov Belgorod State Technological University. — 2011. — N 1. — P. 56–60.

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.011.1

Г.А. СТОЛПОВСКИЙ, С.В. ЛИСОВ, М.А. АРКАЕВ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИТОГО СТЕРЖНЯ КРЕСТООБРАЗНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА ЕГО НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ ВЫДЕРГИВАНИИ*

Приведены результаты исследования конструктивных параметров витого стержня крестообразного поперечного сечения на его несущую способность при выдергивании, полученные с использованием экспериментальных методов. Исследованы марка стали, шероховатость поверхности, длина и диаметр стержня, толщина и шаг навивки ребер стального стержня, влияющие на его несущую способность.

Ключевые слова: древесина, сталь, витой стержень, работа на выдергивание, эксперимент.

В деревянных конструкциях достаточно часто соединительные связи работают на выдергивание или на растяжение, обеспечивая фиксацию соединяемых элементов в проектном положении (гвозди, шурупы, винты, нагельные стяжные болты и т.п.). Все эти связи, несмотря на достаточно широкую номенклатуру, не лишены ряда существенных недостатков, таких как: соединения на гвоздях, работающих на выдергивание, в соответствии с действующими нормативными документами допускается применять только во второстепенных неответственных несущих элементах; расчетная несущая способность гвоздей определяется силами трениями, возникающими по площади поверхности соприкасания гвоздя с древесиной, а шурупов — работой древесины на срез между витками нарезной части, что предопределяет незначительную несущую способность таких соединений; внедрение в массив древесины гвоздей и шурупов диаметром более 6 мм требует предварительной рассверловки «пилотных» отверстий; известные типы шурупов исключают возможность применения скользких способов их внедрения в древесину (ударных, огнестрельного и т.п.); соединения на вклеенных стальных стержнях, работающих на выдергивание, имеют повышенную трудоемкость изготовления и могут быть выполнены только в заводских условиях при строгом контроле качества. Для устранения вышеперечисленных недостатков авторами статьи под руководством д-ра техн. наук, профессора П.А. Дмитриева был предложен новый тип соединительного элемента в виде стального витого стержня крестообразного поперечного сечения [1–3]. Особенностью предложенного стержня (рис. 1), в частности, явилась повышенная несущая способность на выдергивание, что расширяет область его применения в деревянном строительстве. Между тем в действующих нормативных

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.U02.21.0129.



Рис. 1. Стальной витой крестообразный стержень

документах [4] нет указаний по определению несущей способности подобного рода стержней на выдергивание, что предопределяет необходимость проведения комплекса экспериментальных исследований.

Анализ известных типов связей, работающих на выдергивание, показывает, что на расчетное усилие выдергивания влияют такие факторы, как глубина забивки, диаметр стержня, шаг навивки, толщина ребра стержня, угол и форма заточки остряя, плотность или порода древесины, шероховатость поверхности, марка стали, использованной для изготовления стержня, и способ ее обработки, а также способ забивки. Представляется целесообразным исследовать все вышеперечисленные параметры с целью оценки степени их влияния на прочность и жесткость соединений, при этом рациональными надо считать параметры, при которых максимальная несущая способность будет обеспечена при минимальных значениях расхода материалов и стоимости изготовления проектируемого узла.

Для выбора марки стали необходимо определить диапазон изменения диаметра стержня и толщины его ребер. Наиболее целесообразными диаметрами стального витого крестообразного стержня являются величины от 12 до 22 мм по следующим соображениям. При диаметре стержня меньше 12 мм теряется целесообразность витой формы, так как в качестве соединительных элементов диаметром от 2 до 10 мм для сравнительно небольших усилий выдергивания можно использовать известные типы шурупов. Технология их изготовления и внедрения в массив древесины достаточно хорошо отработана и апробирована как в отечественной, так и в зарубежной практике строительства. При диаметрах стержня 12 мм и более открывается возможность восприятия повышенных выдергивающих усилий. Однако при диаметре стержня больше 22 мм затрудняется его внедрение в древесину без предварительной рассверловки «пилотных» отверстий, в том числе с применением огнестрельных способов забивки. Кроме этого проведенные пробные эксперименты показали, что при диаметре больше 22 мм, толщине ребра 2 мм при внедрении стержня нарушается его геометрия даже при наличии термообработки. Для обеспечения геометрической неизменяемости больших диаметров стержней необходимо увеличение толщины ребра до 3...5 мм, что приводит к нарушению плотности гнезда и раскалыванию древесины в зоне забивки. С учетом того, что при толщине ребра 1,0...1,5 мм стержень не будет отвечать требованиям долговечности из-за возможных процессов коррозии металла, наиболее целесообразной толщиной ребра можно считать 2,0 мм, что, с одной стороны, предотвратит раскалывание древесины в зоне забивки, а с другой — обеспечит прочность и неизменяемость стержня при его выдергивании за счет выбора соответствующей марки стали.

При забивке стержня в массив древесины происходит разрыв ее волокон и смятие поперек волокон. При этом на ребра стержня действует двусторонняя нагрузка (рис. 2, а), значение которой меньше кратковременного расчетного сопротивления древесины смятию поперек волокон

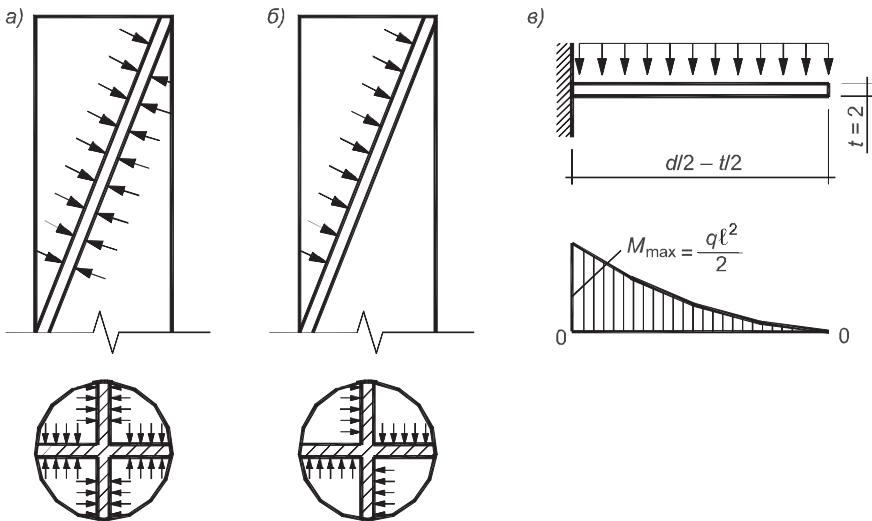


Рис. 2. Нагрузка, действующая на стержень

а — при его забивке; б — при его выдергивании; в — расчетная схема ребра при выдергивании стержня

за счет витой формы стержня (условие соблюдения плотности гнезда). При выдергивании стержня на его ребра будет действовать односторонняя нагрузка (рис. 2, б), значение которой можно принять равным расчетному сопротивлению древесины смятию поперек волокон (разрушение соединения за счет деформаций древесины при условии сохранения геометрической неизменяемости стержня). Это будет возможно при условии, что величины действующих в ребрах напряжений не превысят расчетного сопротивления стали изгибу по пределу текучести (отсутствие пластических деформаций). Тогда в соответствии с расчетной схемой ребра (рис. 2, в) значения максимальных напряжений в нем при толщине 2,0 мм и нагрузке 0,84 кН/см² (максимальное значение расчетного сопротивления смятию в узлах для древесины дуба с учетом возможного действия кратковременных нагрузок) составят: для диаметра 12 мм — 157 МПа, 14 мм — 226, 16 мм — 307, 18 мм — 420, 20 мм — 509, 22 мм — 627 МПа.

Полученные данные позволяют рекомендовать с точки зрения технической необходимости и экономической целесообразности для изготовления стержней диаметром не более 14 мм сталь марки С255 с расчетным сопротивлением текучести $R_y = 255$ МПа, для стержней диаметром 16–22 мм — сталь марки 40Х с термообработкой (закалка от 860 °С в воде, отпуск 500 °С) с $R_y = 785$ МПа. Проведенные забивки и выдергивание опытных стержней экспериментально подтвердили обоснованность рассмотренных положений.

Отметим также, что сталь 40Х относится к дешевым легированным, улучшаемым хромистым сталям. Она относительно легко обрабатывается (фрезерование, точение, прокатка, обработка давлением), а последующая термообработка позволяет значительно повысить ее механические свойства. В дальнейшем для массового производства, исходя из технико-экономической целесообразности возможно применение и других видов сталей, если механические свойства у них будут не ниже, чем у стали 40Х после термообработки.

К параметрам обработки стержня относится также шероховатость поверхности ребер. Для определения влияния этого фактора на усилие выдергивания сравнивали четыре стержня с диаметрами 12 и 16 мм, два из них с шероховатостью после фрезерования $R_a = 10\text{--}50$ мкм, два других шлифовали наждачной бумагой различной зернистости до шероховатости, соответствующей шероховатости после шлифовки $R_a = 0,63\text{--}1,25$ мкм. Указанные стержни внедряли огнестрельным способом в древесину на одинаковую глубину и затем определяли усилие выдергивания (см. таблицу).

Влияние шероховатости поверхности ребер стержня на усилие выдергивания

Шероховатость, мкм	Усилие выдергивания при диаметре стержня, Н	
	$d = 12$ мм	$d = 16$ мм
10–50	6700	9000
0,63–1,25	6901	9360

Полученные результаты позволили сделать вывод, что чем меньше шероховатость поверхности, тем больше усилие выдергивания, что объясняется повышенной плотностью гнезда у стержней с малой шероховатостью. Однако разность усилий выдергивания составила не более 5 %, в связи с чем исходя из технико-экономической целесообразности в дополнительной обработке, уменьшающей шероховатость, нет необходимости. При этом величина шероховатости должна оговариваться нормативными документами на изготовление стержней.

Внедрение винтового стержня в массив древесины может быть осуществлено вручную при помощи тяжелого молотка, вдавливанием гидравлическим прессом, огнестрельным способом. Как показали проведенные опыты, способ забивки существенно влияет на несущую способность соединения, что необходимо учитывать в практических расчетах (рис. 3). Так, витой стержень диаметром 10 мм, забитый на глубину 100 мм, способен выдержать выдергивающее усилие при применении способа вдавливания на 10 % меньше, чем при огнестрельном способе. При ручной забивке аналогичная цифра равна 12 %. Отметим, что практически такое же соотношение между усилиями выдергивания было выявлено и на

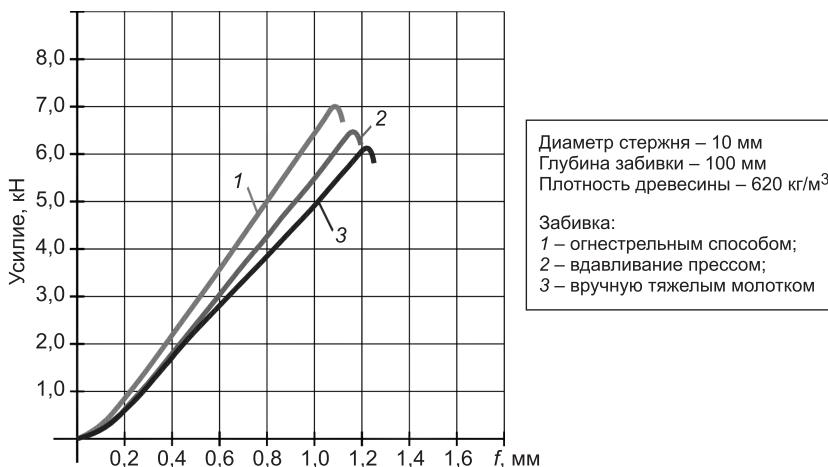
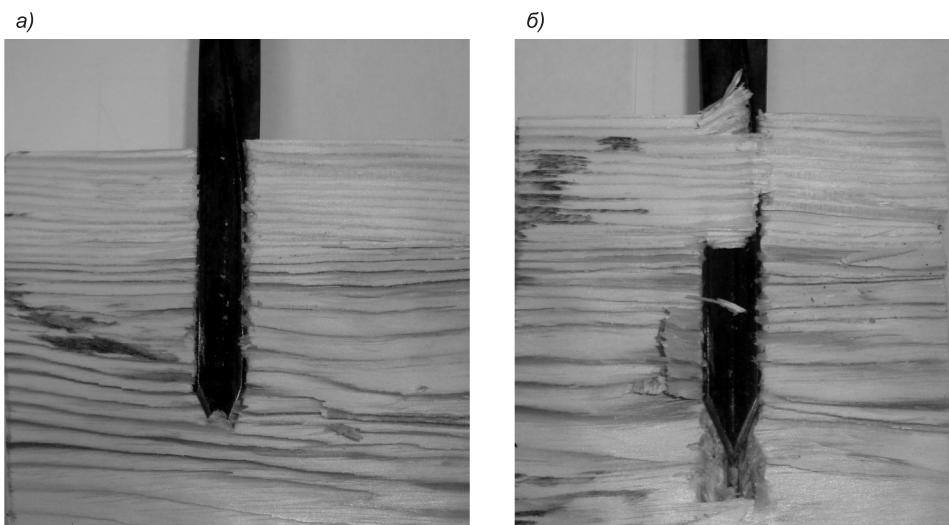


Рис. 3. Влияние способа забивки стержня на усилие выдергивания

стержнях других диаметров (14, 16, 22 мм), что делает возможным учесть исследуемый параметр в практических расчетах при помощи следующих коэффициентов: при огнестрельной забивке — 1,0; при вдавливании прессом — 0,9; при механической забивке — 0,85. Для огнестрельной забивки стержней рекомендуется использовать отечественные строительно-монтажные пистолеты типа ПЦ 84 с модернизированными наконечниками.

Для исследования влияния плотности древесины на усилие выдергивания были изготовлены деревянные призмы размером 100×150×400 мм из древесины липы, сосны и дуба. Фактическая плотность образцов находилась в интервале от 460 до 700 кг/м³. Влажность древесины при испытаниях составляла 8±2 %. Степень влияния исследуемого параметра на усилие выдергивания изучалась путем забивки в контрольные образцы одинаковых стержней на одну и ту же глубину. Для получения достоверной информации опыты при неизменных параметрах повторяли по пять раз. Расчетное усилие определяли как среднеарифметическое между тремя средними показателями. Эксперименты проведены на стержнях диаметром 12, 14, 18 и 22 мм. Общее количество испытанных образцов — 60. Дополнительно до и после проведения испытаний контролировали плотность гнезда после забивки стержня и характер разрушения путем раскалывания деревянных образцов вдоль волокон (рис. 4). Полученные результаты позволили констатировать следующее.



*Рис. 4. Характер деформирования древесины гнезда стержня
а — после забивки с обеспечением плотности гнезда; б — деформации древесины при выдергивании стержня*

Выводы. 1. Витые стержни крестообразного поперечного сечения обеспечивают плотность гнезда и свою геометрическую неизменяемость как при забивке, так и при выдергивании, в независимости от используемой породы древесины или от ее плотности.

2. Ряд параметров стержней, таких как марка стали и способ ее термообработки, способ заточки, толщина ребра, обеспечивают геометрическую неизменяемость стержня при его выдергивании и плотность гнезда, в связи с чем они должны приниматься постоянными и равными:

— марка стали для изготовления стержней и способ ее термообработки при диаметре стержня не более 14 мм — сталь марки не ниже С255; при диаметре стержня более 14 мм — сталь марки не ниже 40Х с термообработкой (закалка от 860 °С в воде, отпуск 500 °С);

- заточка — ножевая, коническая с углом заточки остряя 30°;
- толщина ребра стержня — 2 мм.

3. Зависимость предельного усилия выдергивания от плотности древесины носит прямолинейный характер. При изменении плотности от 460 до 700 кг / м³ происходит увеличение усилия выдергивания в среднем на 25 %, что, несомненно, необходимо учитывать в практических расчетах.

4. Аппроксимация полученных данных позволила вывести формулу $k_n = 0,5 + \gamma_{\text{пор}} / 1000$ для определения значения корректировочного коэффициента k_n , позволяющего учесть в практических расчетах степень влияния фактической плотности древесины на усилие выдергивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Столповский, Г.А. Соединение элементов деревянных конструкций быстровозводимых зданий и сооружений винтовыми крестообразными нагелями [Текст] / Г.А. Столповский, В.И. Жаданов, И.В. Руднев // Вестник ОГУ. — 2010. — № 5 (111). — С. 150–154.
2. Дмитриев, П.А. Соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание [Текст] / П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов, Г.А. Столповский // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 4. — С. 133–137.
3. Лисов, С.В. Экспериментальные исследования соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых стержнях (статья) [Текст] / С.В. Лисов, Г.А. Столповский // Вестник ОГУ. — 2011. — № 4. — С. 161–163.
4. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная версия СНиП 11-25-80. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко — институт ОАО «НИЦ «Строительство». — М., 2011. — 87 с.

СТОЛПОВСКИЙ Георгий Александрович, канд. техн. наук, ст. препод.

Оренбургский государственный университет

ЛИСОВ Сергей Вячеславович, препод.

Оренбургский государственный университет

АРКАЕВ Максим Александрович, асп.

Оренбургский государственный университет

Получено 12.04.13

Stolpovskiy Georgiy Alexandrovich, candidate of technical sciences, senior lecturer, Orenburg State University, Russia

Lisov Sergey Vyacheslavovich, lecturer, Orenburg State University, Russia

Arkaev Maxim Maximovich, post-graduate student, Orenburg State University, Russia

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF DESIGN DATA OF A TWISTED CORE OF CROSSWISE CROSS SECTION ON ITS BEARING ABILITY AT WREST

The results of the study design parameters coiled rod cruciform cross section in its bearing capacity when yanked obtained using experimental methods. Investigated the steel

grade, surface roughness, diameter and length of the rod, the thickness and coiling step edges steel rod affecting its bearing capacity.

Key words: wood, steel, twisted rod, pull-out work, experiment.

REFERENCES

1. Stolpovskiy, G.A. Connection of elements of wooden structures, prefabricated buildings and structures screw cross nageljami [Text] / G.A. Stolpovskiy, V.I. Zhadanov, I.V. Rudnev // Vestnik of OSU. — 2010. — N 5 (111). — P. 150–154.
 2. Dmitriev, P.A. Wooden junction of building constructions on the steel spiral cross-shaped rods working to an extraction [Text] / P.A. Dmitriev, V.I. Zhadanov, G.A. Stolpovskiy // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 4. — P. 133–137.
 3. Lisov, S.V. Experimental research of connection of elements of wooden structures on steel screw terminals (article) [Text] / S.V. Lisov, G.A. Stolpovskiy // Vestnik of OSU. — 2011. — N 4. — P. 161–163.
 4. SP 64.13330.2011. Wooden structures. The updated version of SN&R II-25-80. Cniisk them. V.A. Kucherenco – Institute JSC «Stroitelstvo». — M., 2011. — 87 p.
-

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 организацией. 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").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), 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. Иллюстраций, в том числе фотографий, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2013 г. — из расчета 750 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

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 и www.izvuzstr.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 2013 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 — 2100 р.

Цена отдельного номера — 350 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 (654) 2013

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*
Технический редактор *Г.П. Рыжкова*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*